

**ALTERACIONES ANTRÓPICAS EN EL SISTEMA LAGUNAR SAN RAFAEL (PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ) A TRAVÉS DE TRES SUBDIVISIONES DE HÁBITAT**

**VIANNY LIZHET PLAZA ORTEGA**

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

**ALTERACIONES ANTRÓPICAS EN EL SISTEMA LAGUNAR SAN RAFAEL (PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ) A TRAVÉS DE TRES SUBDIVISIONES DE HÁBITAT**

**VIANNY LIZHET PLAZA ORTEGA**

**Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Bióloga**

**DIRECTOR:**

**APOLINAR FIGUEROA CASAS Ph.D.**

**ASESORA:**

**Biól. Mónica Patricia Valencia Rojas**

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

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**DIRECTOR** \_\_\_\_\_  
**Ph. D Apolinar Figueroa Casas**

**JURADO** \_\_\_\_\_  
**M.Sc Diego Macías Pinto**

**JURADO** \_\_\_\_\_  
**Biólogo. Jaime Mauna de los Reyes**

Fecha de sustentación: Popayán, 21 de Abril 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios y la Virgen María**, por la vida y por darme una familia donde reina la unión y el amor, valores claves para forjar excelentes seres humanos.

**A mi abuela Leonise López (Q.E.P.D)**, mi motor en la vida, mi ejemplo de verriquera y entrega absoluta, TE AMO ETERNAMENTE.

**A mis padres Silvio Hernán Plaza Gaviria y Elsa Nubia Ortega López**, por ser un apoyo constante durante mi vida, gracias por formarme bajo los principios y valores que rigen mi camino, uds son la promesa de Dios de unos amigos incondicionales.

**A mis hermanos Wilber J. Plaza Ortega y Cristhian A. Plaza Ortega**, por la paciencia, la experiencia, los sanos consejos y la complicidad que sólo hay entre nosotros.

**A mis abuelos, tíos, primos; especialmente a mi “primo-colega” Edwin Coral**, por el apoyo, la preocupación y el aliento para no desfallecer, a ti primo gracias por tenerme en cuenta para que aprendamos juntos de esta profesión.

**Al profesor Apolinar Figueroa Casas, Ph. D**, por la confianza que depositó en mí desde el día que me acerqué a decirle que quería entrar al grupo, gracias porque la pasión y entrega que le imprime a su trabajo es la enseñanza más grande que me pudo brindar durante mi énfasis en el GEA. *“La pasión es el motor del éxito”*.

**A mi asesora Mónica Patricia Valencia Rojas, Candidata a Doctorado**, por creer en esta propuesta, por la paciencia en la ejecución del mismo y por compartir conmigo de la mejor manera su conocimiento.

**A mi familia no biológica Elena Triana, Cristian Gasca, Cristian Vidal, Santiago Valencia, Robinson Lizcano, Diego Imbachí y Jorge Becoche, Karol Montilla** gracias porque por ustedes conocí que los amigos son la familia que podemos elegir.

**A Betty Piamba, Jorge Gómez, Olga Levaza; los profesores: Marisaura Valdivieso, Silvio Carvajal, José Beltrán, Giovanni Varona, Diego Macías, Bernardo Ramírez, Giselle Zambrano y Germán Gómez,** ustedes marcaron importantes pasos en mi formación, y especialmente a **Héctor Ramírez,** parcerero, maestro, colega, gracias infinitas por enseñarme a hacer biología “*bonita como es ella*”.

**A todos los integrantes del grupo Grupo de Estudios Ambientales (GEA), John Carrera, Liliana Osorio, Juan Diego Otero “coleguita”** gracias por el apoyo, la presión y la motivación en mis momentos de “crisis académico-laboral”, **Margarita Salazar y Miller Guzmán** por la ayuda en el tema hídrico, **Angélica Mosquera, Martha Burbano** por la ayuda en la matriz de FEARO, **Dayán González** por la gran ayuda en el componente SIG, **Julian Cortes, Yudy Fernández** por la ayuda y momentos de distracción en campo, **Samir Joaquí** por los aportes como evaluador de mi anteproyecto de grado.

**Al Herbario de la Universidad del Cauca y sus integrantes,** por tener la disposición y facilitarme el trabajo con “mis planticas”.

**A los laboratoristas y técnicos de los departamentos de Biología y Química.**

**Al grupo de química de compuestos bioactivos (QCB) y su director Ph.D Fabio Cabezas,** por la ayuda con los reactivos y el laboratorio para mis análisis de sulfátos.

**Al profe Nelson,** y su paciente disposición en la lectura de las muestras de agua.

**A la UAESPNN, Parque Nacional Natural Puracé y sus funcionarios.**

**A los integrantes del cabildo Indígena de Puracé especialmente a William y a don Gregorio,** infinitas gracias por el acompañamiento en campo y compartir conmigo sus saberes.

**A los señores jurados,** por sus aportes en el desarrollo de esta investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN .....	3
3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES .....	4
3.1 Marco teórico.....	4
3.2 Estado del arte de la estimación de la intervención antrópica en ambientes acuáticos.....	7
4. OBJETIVOS .....	11
4.1 Objetivo general .....	11
4.2 Objetivos específicos.....	11
5. METODOLOGÍA.....	12
5.1 Área de estudio .....	12
5.2 Captura de información .....	15
5.2.1 FASE 1 (pre- trabajo de campo): .....	16
5.2.2 FASE 2 (trabajo de campo).....	16
5.3 Aplicación del Índice Integrado Relativo de Antropización (INRA) (Macrohábitat) modificado por Martínez (2010).....	20
5.4 Aplicación del Índice de Integridad Biótica (IBI) (meso y microhábitat) (Karr <i>et al.</i> , 1986) .....	21
5.5 Matriz de FEARO .....	23
5.6 Análisis estadístico .....	23
5.7 Lineamientos de conservación. ....	24
6. RESULTADOS .....	25
6.1 Caracterización general del sistema lagunar de San Rafael.....	25
6.1.1 Aplicación del Índice Integrado Relativo de Antropización .....	27
6.2 Intervención antrópica del sistema lagunar de San Rafael, a partir de sus comunidades bióticas (aves y plantas) y la físico-química del agua. ....	28
6.2.1 Composición de aves del sistema lagunar de San Rafael .....	28
6.2.2 Aplicación del Índice de Integridad Biótica.....	29
6.2.3 Plantas de la zona litoral de la laguna .....	30
6.2.4 Físico-química del agua.....	32
6.2.5 Relación físico-química del agua y plantas de la zona litoral de la laguna ..	35

6.3	Identificación de actividades antrópicas o de transformación.....	35
6.3.1	Identificación de Actividades antrópicas en un tiempo aproximado de 50 años.....	39
7.	DISCUSIÓN.....	41
7.1	Aplicación del Índice Integrado Relativo de Antropización.....	41
7.2	Intervención antrópica en el sistema lagunar de San Rafael .....	42
7.2.1	Aplicación del Índice de Integridad Biótica.....	42
7.2.2	Físico-química de la laguna de San Rafael.....	44
7.2.3	Relación físico-química del agua y plantas de la zona litoral .....	46
7.3	Comparación de actividades antrópicas o de transformación, en un rango de 50 años atrás .....	47
8.	LINEAMIENTOS DE CONSERVACIÓN .....	55
9.	CONCLUSIONES .....	58
10.	RECOMENDACIONES .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio laguna de San Rafael .....	13
Figura 2. Mapa de divisiones de hábitats .....	15
Figura 3. Puntos de conteo de aves, muestreo de físico-química y transectos de vegetación .....	18
Figura 4. Diseño del muestreo de plantas de ribera.....	19
Figura 5. Diseño de la aplicación del índice INRA.....	20
Figura 6. Macrohábitat, Mesohábitat y Microhábitat.....	26
Figura 7. Curva de acumulación de especies para aves .....	29
Figura 8. Representatividad de las especies de plantas en las 20 parcelas muestreadas	31
Figura 9. Relación entre el % de Oxígeno Disuelto y la Temperatura .....	34
Figura 10. Matriz de FEARO.....	37
Figura 11. Contaminación por residuos sólidos, provenientes de actividades de pesca ..	38
Figura 12. Actividades turísticas, atendidas por personal de la guardia indígena.....	39
Figura 13. Talleres y conversatorios con los diferentes actores sociales de la zona .....	40
Figura 14. Pastoreo extensivo en los alrededores de la laguna de San Rafael.....	48
Figura 15. Quema ocasionales .....	49
Figura 16. Crecimiento de pastos cortos por efecto del pastoreo.....	50
Figura 17. Registros de rastros de especies de animales observados en los alrededores de la laguna de San Rafael, que no presenta herbivoría.....	52



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción general de las subdivisiones de hábitat trabajadas.....	14
Tabla 2. Bitácora salidas de campo .....	16
Tabla 3. Variables físico-químicas medidas en el estudio .....	19
Tabla 4. Coberturas/uso de suelo .....	21
Tabla 5. Categorías de clasificación para el IBI .....	23
Tabla 6. Valores de significancia para interacción entre sitios y meses de la prueba Anova .....	32
Tabla 7. Valores de significancia de la prueba de Kruskal-Wallis para los puntos de muestreo .....	32
Tabla 8. Valores de significancia de la prueba de U de Mann Whitney entre puntos de muestreo .....	33
Tabla 9. Actividades antrópicas y sus impactos en ecosistemas de páramo.....	36
Tabla 10. Cambios en los componentes bióticos a nivel espacio-temporal. ....	40
Tabla 11. Servicios y Funciones ecosistémicas de la laguna de San Rafael.....	51

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Encuestas para talleres y conversatorios no formales. ....	66
Anexo 2. Definición de variables ecológicas de las aves .....	69
Anexo 3. Cálculo del Índice Integrado Relativo de Antropización.....	71
Anexo 4. Mapa de coberturas de suelo para INRA .....	73
Anexo 5. Coberturas de uso de suelo .....	74
Anexo 6. Listado actual de especies de aves del sistema lagunar de San Rafael .....	75
Anexo 7. Prueba de similitud de Jaccard para el registro histórico y actual de aves .....	76
Anexo 8. Significancias de la prueba de correlación de Spearman entre las variables ecológicas y la actividad antrópica ( $p < 0,05$ ) y Matriz de Correlación .....	77
Anexo 9. Cálculo del Índice de Integridad Biótica .....	79
Anexo 10. Listado de plantas de la zona litoral de la laguna de San Rafael.....	80
Anexo 11. Prueba de similitud de Jaccard entre sitios de muestreo para vegetación .....	84
Anexo 12. Listado de especies vegetales por puntos de muestreo. ....	85
Anexo 13. Variación mensual de algunos parámetros físico-químicos.....	86
Anexo 14. Valores promedio de físico-química de la superficie de la laguna de San Rafael. ....	88
Anexo 15. Relación de Plantas y físico-química de la laguna de San Rafael, mediante la prueba de U de Mann Whitney .....	89
Anexo 16. Variación mensual de los parámetros físico-químicos por cada punto de muestreo. ....	91
Anexo 17. Grupos de dieta en el registro histórico y actual de aves .....	92

## RESUMEN

En el presente estudio se determinó la alteración antrópica que sufre el sistema lagunar de San Rafael, manejando tres subdivisiones de hábitat (macro, meso y microhábitat), definidas a partir de sus asociaciones vegetales. El sistema lagunar estudiado, se ubica dentro de un ecosistema de páramo en el Macizo Colombiano, en la zona nor-oriental del Parque Nacional Natural Puracé, en el sector conocido como San Rafael.

Dicha determinación, se hizo mediante el uso de índices e indicadores a partir de comunidades bióticas (aves acuáticas, terrestres y macrófitos de la zona litoral) y parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna de San Rafael. Los índices que se usaron para tal fin fueron el Índice Integrado Relativo de Antropización (INRA) y el Índice de Integridad Biótica (IBI), cuya evaluación se hace a través de variables biológicas tomadas a partir de los elementos de medición seleccionados (aves). Finalmente se relacionó la presencia de macrófitos con las condiciones físico-químicas del espejo de agua. La información obtenida se comparó con una condición histórica que data de 50 años atrás y que reflejó un mínimo impacto de las actividades humanas en la zona.

Con los resultados obtenidos a partir de las metodologías trabajadas, se constató el excelente estado de la laguna de San Rafael, pese a las actividades antrópicas que se desarrollan en la zona.

La realización de este tipo de estudios permite implementar nuevas metodologías que tienen en cuenta la diversidad, lo biofísico y el componente sociocultural, facilitando así generar o recomendar estrategias de conservación para la protección, aprovechamiento y uso sostenible de éste ecosistema estratégico para el departamento del Cauca.

**Palabras Clave:** Aves, Conservación, INRA, IBI, Macrófitos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las lagunas de alta montaña son ambientes acuáticos producto de la última glaciación (Pleistoceno) (Donato, 2001), su importancia para el país radica en que de ellas nacen algunos de los principales ríos de Colombia (Portela, 2003; Roldán y Ramírez, 2008). Además son sitios con un alto potencial turístico, cultural y ecológico, pues dada su ubicación en ecosistemas paramunos, sirven de hábitat de muchas especies de fauna que son endémicas y además son considerados como sitios sagrados por diferentes comunidades indígenas que se ubican en las altas montañas colombianas (Castaño, 2002; Hofstede *et al.*, 2003; Izurieta, 2005; Buytaert *et al.*, 2006).

En el país, a pesar de la importancia ecológica de las lagunas y demás ambientes acuáticos, su conservación y prevalencia, dependen de la forma de subsistencia de las comunidades que los ocupan (Armenteras *et al.*, 2003; Buytaert *et al.*, 2006). Infortunadamente, la falta de un conocimiento encaminado al uso adecuado de los recursos, propician y aceleran de forma negativa el impacto que generan las actividades de subsistencia, haciendo de estos ambientes unos de los más amenazados, cuya pérdida o alteración es consecuencia de la agricultura, ampliación de la franja pecuaria, contaminación, construcción de represas, actividades mineras, adecuación de tierras para infraestructura turística, desecación, sobreexplotación de recursos y otras formas de intervención humana (MA, 2002; Muñoz, 2008).

El impacto de las actividades humanas sobre estos ecosistemas tiene efectos negativos representados principalmente en deterioro ambiental (pérdida de hábitats nativos y diversidad, erosión y cambios en el uso del suelo) e impactos en el ciclo del agua ya que alteran significativamente el comportamiento hidrológico, afectando directamente la función de suministro (Buytaert *et al.*, 2006).

A manera regional, el departamento del Cauca, posee ecosistemas paramunos los cuales han sido objeto de ocupación, y se han visto afectados por procesos de transformación antrópica, los cuales generan un desarrollo económico favorable para los habitantes de estas regiones (Bernsen, 1991; Armenteras *et al.*, 2003).

Tal es el caso del sistema lagunar de San Rafael que pese a encontrarse ubicada dentro del Parque Nacional Natural Puracé, se puede apreciar como las actividades de subsistencia como pastoreo, pesca y turismo principalmente, ejercen presión sobre el sistema léntico.

Es por tal motivo, que para la investigación (que se encuentra enmarcada dentro de la tesis doctoral denominada **“S susceptibilidad de las lagunas de páramo a procesos degradativos de origen antrópico incorporando la complejidad ambiental del territorio”** del programa doctoral en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca), se pretende proponer la implementación de nuevas metodologías, para evaluar los impactos antrópicos a través de una forma integral, que aborde componentes sociales, ecológicos y de paisaje y que de igual forma permita comprender las dinámicas de dichas alteraciones en tres niveles del hábitat, con la intención de generar insumos requeridos a la hora de generar lineamientos de conservación para sistemas lagunares.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que los sistemas pecuarios son generalmente la base del sustento económico de los habitantes de las zonas aledañas a la laguna San Rafael y que el uso inadecuado de los recursos naturales genera alteraciones, reducciones y pérdidas que comprometen la integridad del sistema lagunar y confluyen finalmente en la degradación de la calidad de los servicios que presta. El objetivo de la investigación fue determinar en qué medida estas actividades antrópicas estaban afectando la laguna de San Rafael, mediante el uso de herramientas de monitoreo rápido y costo-eficiente que miden el estado del sistema estudiado, abordado a partir de tres subdivisiones de hábitat (macro, meso y microhábitat).

La implementación de nuevos índices para la evaluación del impacto antrópico en la laguna de San Rafael, permite caracterizar la perturbación y evaluar la integridad del sistema, a partir de sus comunidades bióticas, al mismo tiempo que permite explorar posibles soluciones a manera de recomendaciones de lineamientos de conservación a las problemáticas encontradas en la zona de estudio.

Teniendo en cuenta que actualmente, los métodos de evaluación por factores antrópicos en ambientes acuáticos son poco integrales porque no consideran tipos de cobertura vegetal y usos de suelo que se identifican en el paisaje (Martínez, 2010) y además, dejan de lado aspectos ecológicos importantes en la interacción de los diferentes componentes del sistema; los resultados obtenidos de éste estudio constituyen un avance para el país y los ecosistemas de alta montaña en lo que respecta a la aplicación de metodologías más integradoras para evaluar el impacto generado por la actividad humana en sistemas lénticos paramunos, a partir de la evaluación de subdivisiones de hábitat lo cual facilita entender la antropización del sistema evaluado.

### 3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

#### 3.1 Marco teórico

La convención RAMSAR que es un tratado intergubernamental que trabaja en pro de la conservación y uso racional de los humedales de importancia internacional y sus recursos, considera las lagunas como humedales y las describe como parte determinante en el ciclo del agua en los páramos, en sus muy diversas formas, tamaños y características y revisten una importancia decisiva en las funciones de regular la cantidad, calidad y seguridad del agua como recurso a medida que pasan por sus diferentes estados a través del ciclo hidrológico (RAMSAR 2010).

Las lagunas de alta montaña de origen glaciar, son sistemas lénticos de gran belleza escénica, ubicados por encima de los 3000msnm, donde comienza la vegetación típica de páramos como frailejones y musgos; éstos lagos son ricos en flora de desmidiáceas, tienen pH ácidos, conductividad baja y alta transparencia, son lagos polimícticos<sup>1</sup> fríos de acuerdo a la clasificación térmica de lagos (Wetzel, 2001; Roldán y Ramírez, 2008).

La importancia de éstas lagunas, radica en los servicios ecosistémicos que ofrecen a sus habitantes, además, de modelar el suelo de éstas zonas y determinar el desarrollo de las comunidades de fauna y flora que las habitan, además de que son fuente de alimentación y de nacimiento de los principales ríos en Colombia (Roldán y Ramírez, 2008)

Aunque los páramos sean ecosistemas altamente protegidos por la legislación nacional (ley 99/1993; resolución 769/2002, plan nacional de desarrollo 2010-2014, entre otras), es innegable que debido a los patrones de distribución de la población colombiana, estos ecosistemas se vean fuertemente amenazados y vulnerados por procesos de transformación en el paisaje y actividades humanas (Armenteras *et al.*, 2003).

---

<sup>1</sup> Polimíctico, es una calificación limnológica que se da a los lagos que se caracterizan porque sus aguas se mezclan vertical y completamente varias veces al año.

Entre los factores de cambio que afectan los páramos y los ecosistemas dentro de él, se tiene:

- Transformaciones de tipo natural: debido a que los ecosistemas acuáticos son altamente dinámicos, están expuestos a factores naturales (sedimentación, desecación, avalanchas, actividad volcánica, inundaciones, entre otras) que determinan su modificación en el tiempo, cambiando sus atributos físicos, principalmente hidrográficos, topográficos y edáficos (MA, 2002). La magnitud, intensidad de frecuencia y la recurrencia de estos fenómenos, afectan las funciones ecosistémicas y la resiliencia del ecosistema (Holling, 1973).
- Actividades antrópicas: la intervención del hombre ha modificado los ecosistemas naturales preexistentes, creando mosaicos estrechamente relacionados con las prácticas culturales y de desarrollo económico de una región, influenciados principalmente por las políticas y planes de uso y manejo del territorio, lo que compromete la conservación de éstos ecosistemas (Naveh, 1987; Buytaert *et al.*, 2006).

El páramo ha sido objeto de ocupación humana desde tiempos ancestrales (Hofstede, 1995) y fue hasta la colonización española cuando se introdujeron sistemas de apropiación de tierras, desplazamiento de poblaciones a mayores altitudes e introducción de nuevas especies de animales principalmente ganaderas, que ocasionaron una pérdida gradual de las formas tradicionales de subsistencia (Molinillo y Monasterio, 2002; MAVDT-IAvH, 2010).

Actualmente, el mayor impacto sobre los páramos es generado por la agricultura, la ganadería, el pastoreo y las quemadas, cuya acción continua genera pérdida gradual de coberturas vegetales, de la capacidad de secuestro de carbono, de la capacidad de almacenamiento e infiltración de agua en los suelos, reducción y contaminación de fuentes hídricas (Hofstede, 1995; Molinillo y Monasterio, 2002; Vargas *et al.*, 2002; Morales y Estévez, 2006; Muñoz, 2008).



En Colombia, la práctica conjunta de actividades como el pastoreo y la quema, como una herramienta para mejorar la palatabilidad y calidad nutricional del forraje ocasiona cambios sustanciales en la composición florística y la estructura del páramo ya que eliminan la cubierta vegetal, dejando al suelo totalmente desnudo, sujeto a resequedad, erosión y pérdida de nutrientes (Hofstede, 1995; Molinillo y Monasterio, 2002; Vargas *et al.*, 2002; van der Hammen, 2008).

Además del deterioro geomorfológico y ecológico, los cambios en el uso del suelo pueden tener impactos en el ciclo del agua, porque pueden alterar significativamente el comportamiento hidrológico y la función de suministro (Buytaert *et al.*, 2006). Por ejemplo, el uso de agro insumos y la descomposición de los desechos de materia orgánica de actividades como el pastoreo, alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua ya que por procesos de escorrentía e infiltración estos compuestos llegan a las corrientes de agua más cercanas, alteran su calidad y afectan el desarrollo de la biota acuática (Vargas *et al.*, 2002; Ruíz, 2009)

Es así como la degradación progresiva e irreversible sobre los sistemas ecológicos hacen necesario el uso de indicadores para monitorear y evaluar su salud e integridad biológica (Karr, 1981; Canterbury *et al.*, 2000). Parrish *et al.* (2003) afirman que un ecosistema con buena integridad mantiene sus características ecológicas dominantes (composición, estructura, función) dentro de sus rangos naturales de variación; éstos ecosistemas pueden resistir y recuperarse de perturbaciones ambientales y antropogénicas (MAVDT-IAvH, 2010).

La evaluación de la influencia de la actividad humana sobre los sistemas acuáticos por medio del uso de las comunidades biológicas no es reciente (Moya *et al.*, 2011), sin embargo éstos estudios se han centrado en detectar una única forma de degradación a través de valoraciones que se basan en presencia/ausencia.

La complejidad de los sistemas biológicos y las diversas formas de alteración de los sistemas acuáticos por las actividades humanas requieren una aproximación multimétrica (Karr, 1981) que refleje la calidad biológica del sistema y que responda de manera

predecible a cada tipo de alteración (Pont *et al.*, 2009; Moya *et al.*, 2011). En principio, el desarrollo del índice multimétrico, como el índice de integridad biótica (IBI), requiere conocer las relaciones de una serie de atributos biológicos dependientes de la riqueza de especies, la composición de especies, la estructura trófica y condiciones individuales, con un gradiente de condiciones ambientales. Este gradiente abarca desde condiciones de referencia (con poca o ninguna perturbación antrópica) (Karr y Chu, 1999) hasta distintos grados de perturbación antrópica, además de los parámetros ambientales que se requieren para facilitar la comparación de dos sitios, tales como: similitud en los valores de altura sobre el nivel del mar, temperatura, evotranspiración e igual zona de vida.

### **3.2 Estado del arte de la estimación de la intervención antrópica en ambientes acuáticos**

La evaluación cuantitativa de algún aspecto de interés del paisaje en un tiempo determinado, es vital para detectar cambios en la condición ecológica de los humedales, estado de salud o integridad biológica (Pérez *et al.*, 2007) al mismo tiempo que permite generar herramientas de biomonitorio<sup>2</sup> a fin de mantener la buena integridad biológica y salud de ambientes acuáticos.

Hoy en día, se han desarrollado métodos que permiten evaluar la funcionalidad de éstos ambientes, mediante el uso de indicadores bióticos basados en la respuesta que ellos presentan a diferentes agentes de estrés (EPA, 2002; Miller *et al.*, 2006), y cabe resaltar que los resultados obtenidos de éstos estudios sirven como planificadores ecológicos y estrategias de monitoreo de los sistemas acuáticos (p.e. Convenio de cooperación ANAM-ACP (2006) y Peña-Cortés (2006)) que ayudan a tomar acciones que mejoren las condiciones ambientales (Howe *et al.*, 2007).

Hacia los años 70, la evaluación ecológica de los sistemas acuáticos se basaba en el estudio de las variables independientes, tanto físicas, como químicas y biológicas, expuestas a un sólo factor de estrés. Más adelante ésta metodología cambiaría para dar

---

<sup>2</sup> El biomonitorio es un conjunto de técnicas basadas en la reacción y sensibilidad de distintos organismos vivos a diversas sustancias contaminantes presentes en el ambiente.

paso a los análisis multimétricos que permiten una interpretación más compleja, integral y global del ecosistema (Pinilla *et al.*, 2010).

Los métodos de evaluación más sofisticados surgen con el desarrollo de índices multimétricos, que fueron inicialmente desarrollados para comunidades de peces en sistemas lóticos (Karr, 1981; 1991), actualmente la comunidad más estudiada para éste tipo de sistema son los macroinvertebrados, y dada la aceptación de los índices multimétricos su uso se extiende a otros organismos y tipos de sistemas acuáticos como sistemas lénticos. Las comunidades más trabajadas en este tipo de sistemas son las de macroinvertebrados (Karr y Chu, 1999; Peralta, 2007; Tiku *et al.*, 2013), de anfibios (EPA, 2002), de plantas vasculares (DeKeyser *et al.*, 2003; Miller *et al.*, 2006; Mack, 2007; Wilson *et al.*, 2013) y de aves (O'Connell *et al.*, 1998; Córdova *et al.*, 2009) o combinación de los grupos taxonómicos mencionados anteriormente (Simon *et al.*, 2000; EPA, 2005).

Jaramillo *et al.* (2008), reportan que desde hace 20 años, la aplicación del índice de integridad biótica, se empieza a implementar en países tropicales y subtropicales en sistemas como arroyos, algunos ríos y lagunas, usando comunidades de peces. Actualmente países como Argentina, Brasil, México y Venezuela, son los países de América del sur y Centro América, con más reporte de su aplicación; aunque cabe aclarar que una adaptación del IBI a las condiciones tropicales va más allá de encontrar unos equivalentes ecológicos para las métricas propuestas en regiones templadas, y es por tal razón, que la adaptación de éste índice en esta región, aún falta que sea estandarizada.

Por otro lado y usando aves como elemento de medición, O'Connell y colaboradores (1998), desarrollaron un índice de integridad biótica basado en comunidades de aves canoras y a partir de él, modelan un Índice de Comunidad de Aves (BCI por sus siglas en inglés) de uso sólo para Tierras Altas de Atlántico Medio (MAHA, por sus siglas en inglés), con la intención de que éste funcione como un recurso múltiple de indicadores de integridad biótica. En su estudio O'Connell *et al.* (1998) seleccionaron comunidades de aves canoras porque son componentes de ambientes terrestres y pueden integrar condiciones de tipos de hábitats dado sus requerimientos de estructura de vegetación, tamaño de parche, además de otros atributos específicos del ecosistema.

Así mismo, Crewe *et al.* (2005), desarrollaron un Índice de Integridad Biótica (IBI) usando atributos biológicos de poblaciones de aves de marisma y anfibios que responden a gradientes de perturbación que se ven reflejados en la cantidad de pantanos, bosques, sistemas agrícolas y desarrollo urbano alrededor del complejo de humedales costeros en la región de los Grandes Lagos, en cuatro escalas espaciales (500m, 1km, 20km y las cuencas hidrográficas) evaluadas por separado en diferentes periodos de niveles de agua; en consecuencia los IBIs fueron significativamente correlacionados con sus gradientes de perturbación respectivos.

Por su parte Córdova *et al.* (2009), evaluaron en su estudio el estado de conservación de dos asociaciones vegetales de la reserva de la Biosfera Pantanos de Centla en México, mediante el desarrollo del Índice de integridad biótica utilizando las aves como indicadoras. En el estudio ratificaron el uso de aves como indicadoras de la salud de los ecosistemas al relacionar que los sitios más impactados por actividades humanas presentan una dominancia de especies generalistas dentro del ensamblaje, y aquellos sitios que son menos impactados favorecen una alta integridad al registrar especies asociadas a vegetación madura.

En Colombia, sólo se conoce que se diseñó una metodología para la aplicación del IBI con diferentes comunidades bióticas en sistemas lóticos, en el marco del convenio 004/2007 entre la Universidad Nacional y en ese entonces, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT-UN (2008), por tal razón, la aplicación del índice para sistema lénticos y aún más para sistemas lénticos de alta montaña, constituye una novedad.

Igualmente, Castro (2009) desarrolló un índice de diatomeas, denominado Índice biótico de Diatomeas para Humedales de Bogotá (IDHB), con el cual evaluó cinco humedales dentro de Bogotá afectados por la matriz urbana que los rodea y un humedal en la zona rural bajo similares características climáticas y altitudinales pero ajeno a la matriz. En el estudio, Castro (2009) concluyó que una evaluación de los ecosistemas mediante especies de diatomeas es la más acertada para lograr una discriminación en el estado limnológico de estos cuerpos de agua.

Mediante revisión bibliográfica sobre el uso de índices multimétricos en sistemas lenticos, se encontró que Pinilla (2010) y Pinilla *et al.* (2010) han desarrollado y aplicado diferentes índices multimétricos, para evaluar el estado limnológico y ecológico de humedales de Bogotá sometidos a diferentes grados de alteración generado por el impacto de las actividades humanas, permitiéndoles clasificarlos en tres categorías: humedales con condiciones limnológicas aceptables, regulares y pobres y favoreciendo así el desarrollo de herramientas útiles de gestión y conservación para los humedales que evaluaron.

Por otro lado, se destacan varios estudios de aves asociados a sistemas lénticos de Colombia, entre ellos los realizados por (Rodríguez, 2003; Velásquez *et al.*, 2005; Acevedo *et al.*, 2013), donde se caracterizó la riqueza y diversidad de especies de aves en diferentes humedales de Colombia. Así mismo, muchas iniciativas y programas entre ellos Birdlife, Proaves, WWF y Calidris, actualmente centran sus estudios de conservación de aves asociadas a humedales, dado el avance a pasos agigantados del deterioro ambiental en estos ecosistemas.

A escala regional, Martínez (2010) modifica el Índice Integrado Relativo de Antropización (INRA) que permite entender la antropización de manera cuantitativa y cualitativa como un mosaico de ecosistemas con diferentes grados de modificación antropogénica a través del cambio en los tipos de suelo, a partir de unidades de análisis que componen una ventana de estudio. El autor presenta un caso de estudio en la ciudad de Popayán, donde obtiene el valor de antropización para cada unidad de análisis abordado.

Para el sector de San Rafael los estudios desarrollados han estado encaminados a identificar y caracterizar los diferentes procesos de degradación antrópica que ocurren en el sector mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis de coberturas vegetales, monitoreo de parámetros fisicoquímicos del agua, y estudios de algas (Rangel, 2000; Donato, 2001; Joaqui, 2005; Martínez, 2005; Muñoz, 2008).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Determinar las alteraciones antrópicas sobre el sistema lagunar de San Rafael a través de tres subdivisiones de hábitat

### **4.2 Objetivos específicos**

Evaluar la intervención antrópica que sufre el sistema lagunar de San Rafael y su relación con la diversidad de aves, plantas de ribera y la físico-química del agua

Comparar la intervención antrópica que sufre actualmente el sistema lagunar de San Rafael, con las condiciones de la laguna en un rango histórico aproximado de 50 años

Recomendar lineamientos de conservación de las funciones ecosistémicas que brinda la laguna

## 5. METODOLOGÍA

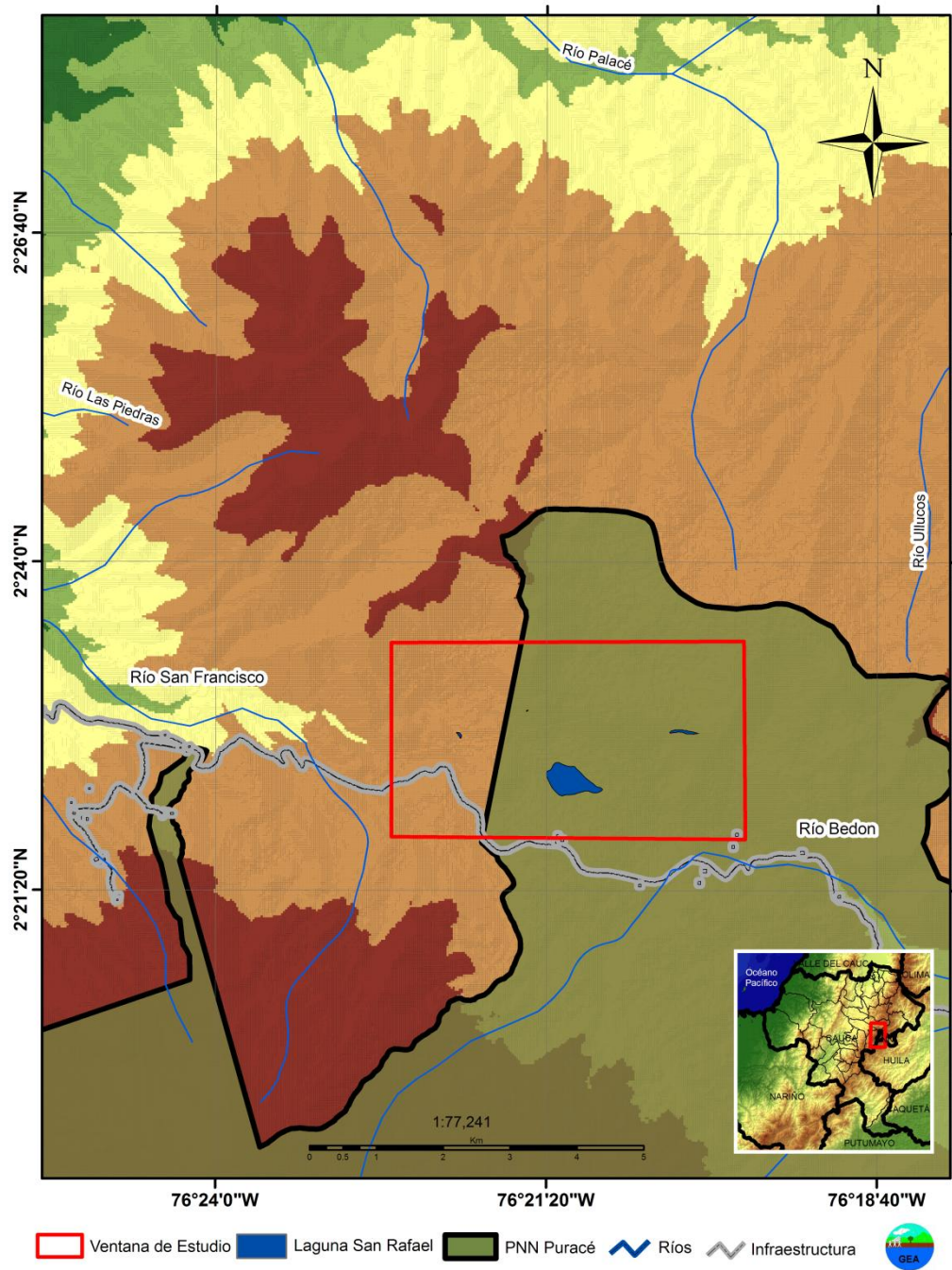
### 5.1 Área de estudio

El Parque Nacional Natural (PNN) Puracé, se encuentra ubicado en el Macizo Colombiano ( $1^{\circ} 50'$  -  $2^{\circ} 24'$  Latitud Norte y  $76^{\circ} 37'$  -  $76^{\circ} 42'$  Longitud Oeste), con una extensión de 83.000 hectáreas dentro de los departamentos de Cauca y Huila (UAESPNN, 2004). Está dividido en nueve sectores los cuales son: Quinchada, Granates, Mármol, Paletará, San Nicolás, San Juan, San Rafael, Pilimbalá y Valencia, y abarca ecosistemas como: bosque andino, bosque altoandino y páramo (UAESPNN, 2004).

La zona de estudio (sistema lagunar de San Rafael) (Figura 1), se encuentra ubicada en el Sector San Rafael, al nororiente del PNN, municipio de Puracé, Cauca, en un pequeño valle aluvial a 3300msnm, la laguna tiene una profundidad relativamente baja: cinco metros, recibe agua constantemente de la quebrada Chorrillos y en ella nace el río Bedón que más adelante tomará el nombre del río de La Plata, tributario del Magdalena.

El sistema léntico de San Rafael, ha estado expuesto a actividades de subsistencia como la pesca tradicional y el pastoreo; ésta última es quizás la que más ejerce presión en el sistema debido a la descomposición de la materia orgánica que llega a ella por escorrentía superficial. Por otro lado el pisoteo constante en determinadas áreas del perímetro de la laguna ha generado compactación del terreno y la pérdida de la capacidad de regulación hídrica que posee. Dichas actividades pecuarias que se llevan a cabo en la zona, están influenciadas por la tradición de la designación de tierras a los indígenas del resguardo de Puracé y la consecuencia más notable hasta el momento es la reducción del espejo de agua. En el esquema de ordenamiento territorial de la laguna de San Rafael se reportó un área de 26.5 ha (Yasnó *et al.* (2000) Citado por Joaquín, 2005); Donato (2001) reportó 20 ha; mientras que Muñoz (2008) reportó un área aproximada de 18.9 ha para el espejo de agua, a partir de la poligonización del espejo de agua de la laguna. Actualmente la laguna tiene un área de 16,75 ha aproximadamente (Datos obtenidos mediante herramientas SIG por Fernando F. Muñoz en el 2012).

Figura 1. Zona de estudio laguna de San Rafael



Elaboración: Dayán González



En la presente investigación, se trabajaron tres subdivisiones de hábitat (macro, meso y microhábitat) definidas a partir de sus asociaciones vegetales (Tabla 1, Figura 2), así mismo la metodología se usó de acuerdo a los análisis estipulados para cada subdivisión de hábitat trabajada, de esta manera tenemos que i) para Macrohábitat, se determinó la antropización a través del Índice Integrado Relativo de Antropización modificado por Martínez (2010) que permitió caracterizar la perturbación del macrohábitat a través de un análisis espacial, mediante el uso de herramientas SIG. ii) Para Mesohábitat y Microhábitat, se aplicó el Índice de Integridad Biótica propuesto por Karr *et al.* (1986), que permitió estimar la intervención antrópica a través de la integridad del sistema evaluado; la aplicación de este índice solo en estas dos divisiones de hábitat se debe principalmente a que el IBI está diseñado para evaluar ambientes acuáticos y semi-acuáticos como humedales. Finalmente, iii) Para Microhábitat se evaluó en función de las variables físico-químicas en relación con la presencia de plantas de ribera del espejo de agua estudiado.

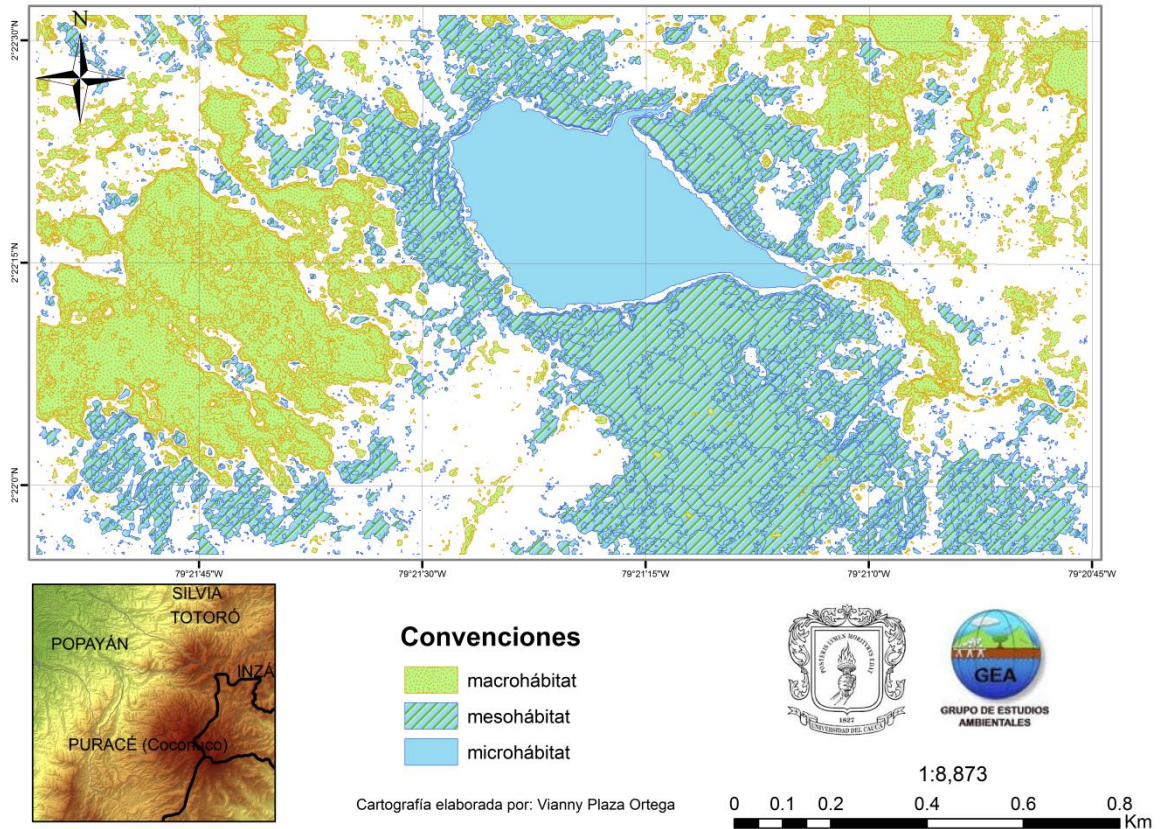
Cabe mencionar que en la aplicación del índice IBI, se usaron las aves como elementos de medición, debido a la capacidad de respuesta de este grupo faunístico frente a las perturbaciones; y porque los ambientes acuáticos ofrecen a éstas refugio, alimento, sirven para la nidificación y son importantes áreas de concentración durante el período de muda de plumaje o la migración anual (Blanco, 1999), por otro lado, las aves han sido señaladas como un grupo idóneo para su inclusión en el desarrollo del índice de integridad biótica (IBI), ya que se conoce su taxonomía, biología, estado de conservación y contiene especies ubicadas en diferentes niveles tróficos, además se presentan en variados ambientes con diferentes niveles de intervención antrópica lo que las convierte en buenas indicadores ecológicas a escala local y regional (O'Connell *et al.*, 1998; Córdova *et al.*, 2009).

**Tabla 1. Descripción general de las subdivisiones de hábitat trabajadas.**

<b>División de Hábitat</b>	<b>Especies Vegetales</b>	<b>Actividades humanas</b>
Macrohábitat	<i>Polylepis</i> , <i>Pentacalia</i> , <i>Hypericum</i> , <i>Diplostephium</i> , <i>Senecio andicola</i> (Chilco), <i>Hesperomeles lanuginosa</i> (mortiño), <i>Blechnum loxense</i> .	Pastoreo Quemas Contaminación por residuos sólidos
Mesohábitat	<i>Espeletia</i> sp. (Frailejón), <i>Calamagrostis effusa</i> , <i>Cortaderia</i> sp. cojines de plantas vasculares, cojines de musgos ( <i>Sphagnum</i> sp. y <i>Breutelia</i> sp.), chuscales y rosetas, <i>Plantago australis</i> .	Camino de herradura Pastoreo

Microhábitat	<i>Myriophyllum quitense</i> , <i>Lachemilla paludicola</i> , <i>Equisetum bogotense</i> , <i>Isoetes killipii</i> , <i>Potamogeton paramoanus</i> , <i>Callitriche</i> sp.	Pesca tradicional Refrescamiento Turismo
--------------	---	--

**Figura 2. Mapa de divisiones de hábitats.**



## 5.2 Captura de información

La captura de información se realizó en dos fases: La fase de revisión bibliográfica, donde los datos colectados en esta fase sirvieron para referenciar las condiciones preliminares en cuanto a avifauna de la zona de estudio, con el fin de representar la mejor situación de integridad biológica que pudo existir, para ser considerada como un estándar de comparación. La segunda fase se realizó durante los meses de Febrero y Agosto del 2013 (Tabla 2) y estuvo enfocada al componente fauna más exactamente las aves, el componente agua mediante la toma de muestras para el análisis fisicoquímico, así como talleres y conversatorios con los diferentes actores sociales del sector.

**Tabla 2. Bitácora salidas de campo**

<b>Fecha de salidas</b>	<b>Actividad</b>
Febrero 2013	Caracterización avifauna, vegetación y colecta de muestras de agua
Marzo 2013	Caracterización avifauna, vegetación, colecta de muestras de agua y Talleres sociales
Abril 2013	Caracterización avifauna, vegetación, colecta de muestras de agua y Talleres sociales
Mayo 2013	Talleres sociales
Agosto 2013	Caracterización avifauna, vegetación y colecta de muestras de agua

#### 5.2.1 FASE 1 (pre- trabajo de campo):

Levantamiento de información secundaria para la lista preliminar: para la colecta de datos preliminares, se revisó el catálogo en línea de aves del Instituto de Ciencias Naturales (ICN), así como la base de datos del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca (MHNUC) y como complemento se hicieron revisiones bibliográficas de los estudios de aves para la zona de estudio (p.e: Vidal (2012)) y el departamento del Cauca (p.e: Ruiz (2012), Montezuma (2010), Salaman *et al.* (2009), UAESPNN (2004)) teniendo como principal referente el trabajo realizado por Ayerbe-Quiñones *et al.* 2008, en la zona de distribución geográfica trabajada por el autor como Zonas elevadas de las cordillera Central y Centro-Oriental (CCO) entre los 3000 y 5000msnm que comprende: Almaguer, Corneteros, Guanacas, Impamal, Laguna Cusiyaco, Laguna La Herradura, Laguna San Rafael, Malvazá, Mina de azufre de Puracé, Paletará, Páramo de Granadillos, Páramo de Puracé, Pilimbalá, Río Bedón, San Francisco, Valle de Las Papas, Volcán Petacas, Volcán Puracé; con el fin de hacer un recuento histórico de las aves esta zona.

#### 5.2.2 FASE 2 (trabajo de campo)

El trabajo de campo se centró en cuatro aspectos:

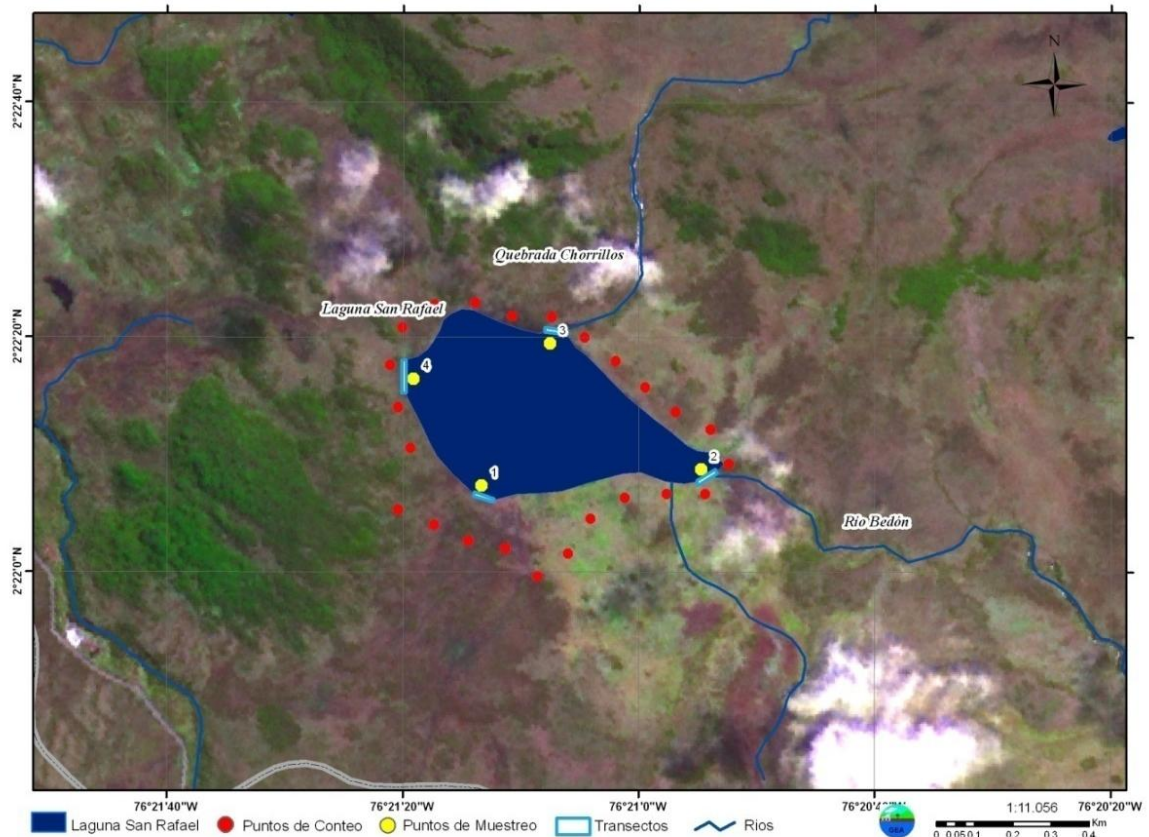
- Registro actual de aves
- Muestreo de los parámetros físico-químicos del agua
- Muestreo de plantas de ribera o macrófitas de la zona litoral de la laguna
- Conversatorios con los habitantes del sector

Registro actual de Aves: Se realizó jornadas de campo de tres días de duración durante cuatro meses (Febrero-Agosto de 2013), con el fin de registrar aves acuáticas y terrestres en la zona de estudio. Para la colecta de datos se estableció 24 puntos de conteo (Ralph *et al.*, 1996) abarcando la mayor parte de la laguna de San Rafael (Figura 3), cada punto de observación se ubicó a 100m de distancia de otro punto de conteo, con un radio de 20m, según los análisis de coberturas vegetales mediante SIG y el reconocimiento en campo de la zona; el tiempo establecido para cada punto de conteo fue de 10 minutos (Ralph *et al.*, 1996). En el registro de aves se tuvo en cuenta las aves registradas mediante observación y canto.

Para la observación de las aves se usaron binoculares (8 X 42 mm, marca Tasco) y para el registro auditivo se utilizó una grabadora (Sony cassette-corder TMC - 200DV/150). El tratamiento taxonómico siguió a Hilty y Brown (2001) y Remsen (2014).

Parámetros fisicoquímicos del agua (Microhábitat): Se realizó un muestreo estratificado simple en las fechas anteriormente mencionadas, sobre cuatro puntos clave de la laguna (1,2,3,4), según parámetros del cuerpo de agua como: características físicas y fuentes de contaminación (Figura 3).

**Figura 3. Puntos de conteo de aves, muestreo de físico-química y transectos de vegetación**



Elaboración: Dayán González

Las variables físico-químicas que se registraron en campo fueron Oxígeno Disuelto (OD), %OD, pH y temperatura hídrica; para los demás parámetros se tomaron muestras en cinco sitios por cada punto de muestreo (Tabla 3), colectadas en botellas de plástico de 1L previamente rotulado; la colecta de la muestra se hizo a favor de la corriente para evitar el burbujeo y la inoculación de sedimentos que puedan afectar la lectura. Las muestras se analizaron en el Laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales (GEA) y la Universidad del Cauca.

Para la caracterización y análisis físico-químico del agua se utilizó la sonda portátil multiparamétrica HACH HQ40d multi, y los kits para análisis de aguas de Aquamerck®.

Las variables medidas se presentan en la Tabla 3.

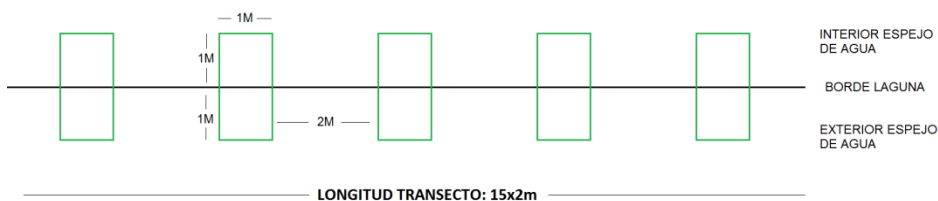
**Tabla 3. Variables físico-químicas medidas en el estudio**

Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	Temperatura hídrica (T)	°C
Saturación de Oxígeno disuelto (%OD)	%	Salinidad	Ppt
Conductividad	μS/cm	Compuestos nitrogenados (nitrato, nitrito y amonio)	mg/L
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L	Fosfatos	mg/L
pH	[H+]	Sulfatos	mg/L

Muestreo de plantas de ribera o macrófitas de la zona litoral: El muestreo de Plantas de ribera se hizo siguiendo la recomendación del profesor Bernardo Ramírez; donde se trabajaron cuatro transectos de 15x2m cada uno, con cinco parcelas de 2x1m por cada transecto (Figura 4), sobre el borde del sistema a evaluar (Figura 3), en los mismos puntos de muestreo de la físico-química del agua (1,2,3,4); el muestreo de cada transecto se hizo aleatoriamente durante toda la fase de campo de la investigación.

El material colectado, se encuentra depositado en el Herbario de la Universidad del Cauca (CAUP), bajo la ficha de colecta VPlaza 0019-0041; el material se secó y se determinó por comparación con los registros del CAUP con ayuda de los monitores y posteriormente se confirmó con los especialistas en botánica de la Universidad del Cauca.

**Figura 4. Diseño del muestreo de plantas de ribera**



Recomendación Bernardo Ramírez, profesor asociado a la Universidad del Cauca.

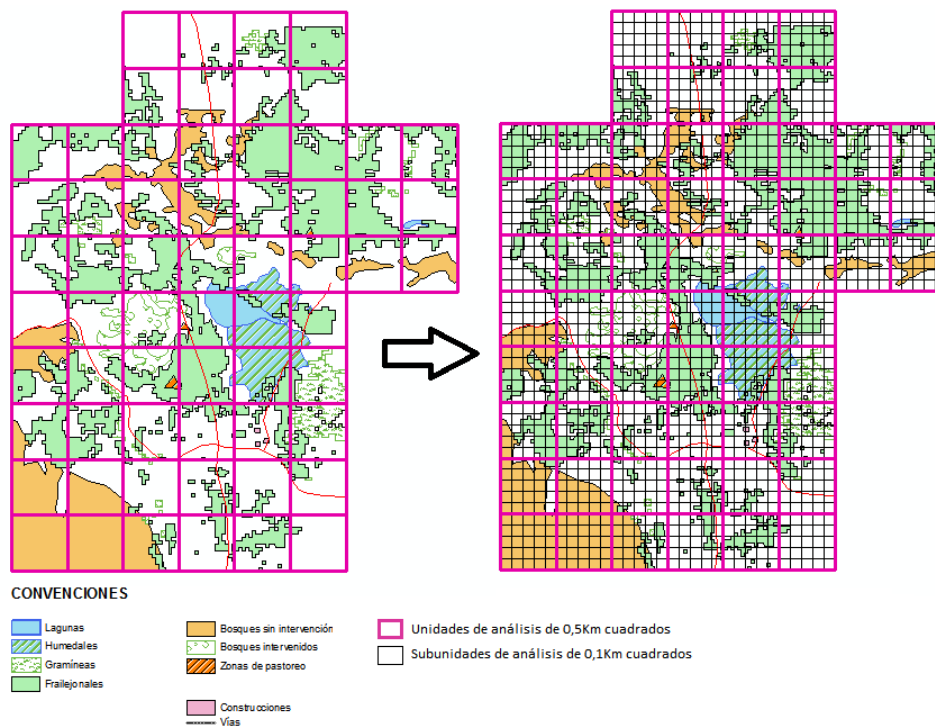
Talleres con los habitantes del sector: Se realizaron tres talleres y conversatorios con la comunidad indígena y funcionarios de Parques Nacionales entre Marzo y Mayo de 2013

(Anexo 1), cuyo objetivo fue complementar la descripción de las actividades antrópicas en la laguna de San Rafael y conocer la percepción de los habitantes frente al cambio que ha ocurrido en ésta zona en los últimos 50 años.

### 5.3 Aplicación del Índice Integrado Relativo de Antropización (INRA) (Macrohábitat) modificado por Martínez (2010)

Se tomó una imagen satelital del año 2010 del área de estudio, con una extensión de 6x5Km, posteriormente se definieron unidades de análisis (UA) de 0,5Km<sup>2</sup> por medio de grillas (Figura 5) y dentro de cada UA se asignó subunidades de análisis (SUA) de 0,1Km<sup>2</sup>, cada una.

**Figura 5. Diseño de la aplicación del índice INRA**



Se identificó las coberturas o usos del suelo relacionadas en la Tabla 4, tomando como referente las categorías de evaluación base, propuestas por Martínez (2010) y se modificó teniendo en cuenta las coberturas propias del páramo identificadas en los trabajos de Mosquera (2009), Muñoz (2008) y Joaquín (2005), una vez identificados, se les asignó un

valor entre 0 y 1 cualitativamente a la cobertura o uso de suelo que se identificó entre cada SUA, siguiendo el criterio establecido por Martínez (2010).

**Tabla 4. Coberturas/uso de suelo**

Simbología	Categoría de evaluación	Definición	Área (Ha)	Valor
A	Coberturas sin intervención antrópica	Lagunas, Humedales, Frailejones, Gramíneas	547.42	0
B	Bosques sin intervención antrópica	Coberturas boscosas que no presentan ningún tipo de actividad humana	190.070	0,25
C	Bosques con intervención antrópica (quemados y pastoreo)	Coberturas boscosas que presentan actividades de quema y pastoreo recurrentemente	31.95	0,5
D	Zonas de pastoreo	Zonas libres de pastoreo en áreas de frailejones y chuscales	2.22	0,75
E	Infraestructura	Vía principal, camino de herraduras y casas	0,53 (casas)	1

Posteriormente se procedió a conocer el valor de INRA para cada UA, mediante la siguiente fórmula (Martínez, 2010):

$$INRA = (\sum SUA' / n) \cdot 100$$

Donde:  $\sum SUA$ , es la sumatoria del valor de antropización para todas las SUA y n, es el número total de SUA.

La interpretación final del INRA varía de 0-100, donde 0 son valores de UA con nula antropización y 100 son valores de UA muy antropizados.

#### **5.4 Aplicación del Índice de Integridad Biótica (IBI) (meso y microhábitat) (Karr et al., 1986)**

Debido a la dificultad que presentó encontrar un sitio con condiciones prístinas e igual condiciones ambientales y ecosistémicas (zona de vida, temperatura, altura, precipitación anual) como es lo sugerido inicialmente para la aplicación del índice IBI; para esta investigación, se recreó las condiciones de mínimo impacto de la misma laguna, teniendo



un referente de 50 años debido a los procesos sociales que marcaron la historia en términos de cambios para la comunidad asentada en el sector.

Definición de atributos biológicos y selección de variables: Todas las especies de aves que se registraron en la zona se clasificaron en las subdivisiones de hábitat trabajadas, entendiendo como hábitat el tipo de asociación vegetal (Canterbury *et al.*, 2000), y según su distribución espacial de acuerdo a las fuentes de contaminación presentes para el sistema lagunar. Igualmente, las aves fueron agrupadas en grupos de dieta y estatus migratorio siguiendo a (Hilty y Brown, 2001) y fuentes bibliográficas sobre ecología de aves.

Para la selección de variables, se escogió las variables ecológicas que dan indicios de cómo está la comunidad de aves de la zona estudiada.

Las variables ecológicas, que se listaron se presentan y definen en el Anexo 2.

Puntaje: A las variables de la condición de referencia se le otorgó un puntaje máximo y a partir de ese máximo valor de puntuación se otorgó los puntajes para las demás variables, siguiendo el método de interpolación lineal utilizado por Córdova *et al.* (2009), donde:

Valor intermedio= (valor observado en campo/valor de registro histórico) \* valor al sitio de referencia.

La puntuación final del IBI para los sitios evaluados se determinó mediante la siguiente operación (Córdova *et al.*, 2009):

$$IBI = \sum_{i=1}^n \frac{\text{puntajes de las } n \text{ variables} \times 10}{\text{número de variables}}$$

La interpretación del valor final del IBI, siguió el cuadro de interpretación (Tabla 5) modificado de Karr *et al.* (1986), por Córdova *et al.* (2009).

**Tabla 5. Categorías de clasificación para el IBI**

<b>Categoría de calificación</b>	<b>Puntaje numérico</b>	<b>Categoría de calificación</b>	<b>Puntaje numérico</b>
Excelente	91-100	Aceptable	61-70
Buena	81-90	Umbral o mínima conservación	51-60
Regular	71-80	Pobre	≤ 50

Fuente: modificado de Karr *et al.* 1986

### **5.5 Matriz de FEARO**

A partir de los datos obtenidos en los talleres y conversatorios se desarrolló la matriz de FEARO donde se relacionó las actividades de la zona con los componentes del ecosistema trabajado, permitiendo identificar las actividades que actualmente generan mayor impacto y los componentes más afectados.

### **5.6 Análisis estadístico**

Según los supuestos de normalidad y homogeneidad, los datos no presentan una distribución ajustada a la normalidad por lo que se evaluaron mediante pruebas no paramétricas.

De esta manera, para evaluar si hay o no relación entre cada métrica ecológica para el IBI y las actividades de perturbación, se aplicó una prueba de correlación de Spearman; así mismo se generó una prueba de similitud de Jaccard entre el registro histórico y el registro actual de aves.

Para analizar los parámetros fisicoquímicos en cada punto de muestreo se realizó una Anova, seguido de una prueba de Kruskal Wallis para determinar si hay diferencia significativa entre las variables físico-químicas y los sitios y meses de muestreo, seguido de la prueba de Kruskal Wallis, se realizó una prueba de T de U Mann Whitney para comparar entre sitios y meses de muestreo de físico-química.

Se realizó una prueba de similitud de Jaccard entre los sitios de muestreo de vegetación. Y finalmente, la relación de cada parámetro fisicoquímico y la presencia de plantas en la zona litoral de la laguna se realizó mediante una prueba de U de Mann Whitney.

Las pruebas estadísticas, análisis de agrupamiento y curvas de acumulación, se realizaron con los paquetes estadísticos SPSS 15.0 (SPSS, 2006), PAST 2.15 (Hammer *et al.*, 2001) y StimatS 7.5.2 (Colwell, 2006), respectivamente.

### **5.7 Lineamientos de conservación.**

Con base a toda la información obtenida mediante las diferentes metodologías descritas anteriormente, se hicieron recomendaciones para generar lineamientos de conservación encaminados al buen uso y aprovechamiento de los recursos naturales, teniendo en cuenta los criterios y principios contemplados en las políticas que rigen éstos ecosistemas acuáticos y los planes de manejo de la zona de estudio.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Caracterización general del sistema lagunar de San Rafael

Para el sistema lagunar de San Rafael, se trabajó con cinco tipos de coberturas vegetales (arbóreo, arbustales, humedal, laguna y pajonal-frailejónal) definidas de acuerdo al trabajo de Mosquera (2009).

El macrohábitat (Figura 6) para el presente estudio se caracterizó por especies arbustales de los géneros *Polylepis*, *Pentacalia*, *Hypericum*, *Diplostephium*, especies *Senecio andicola* (Chilco), *Hesperomeles lanuginosa* (mortiño), sobre él se registraron actividades humanas como pastoreo, quemas y contaminación por residuos sólidos e igualmente un camino de herradura que sirve para el transporte del ganado.

El mesohábitat (Figura 6) o la cobertura vegetal pajonal-frailejónal se caracterizó por formaciones abiertas de frailejones (*Espeletia* sp.), gramíneas (*Calamagrostis effusa* y *Cortaderia* sp.) y la zona de humedal caracterizado por cojines de plantas vasculares (*Paepalanthus* sp.) y musgos (*Sphagnum* sp. y *Breutelia* sp.), chuscales y rosetas; sobre un costado de este hábitat, se registró un camino de herradura, que sirve de paso para turistas que visitan el cuerpo de agua.

El microhábitat (Figura 6) o laguna, cuya vegetación se caracterizó por especies herbáceas de la zona litoral (*Myriophyllum quitense*, *Lachemilla paludicola*, *Potamogeton paramoanus*, *Isoetes killipii*, *Ranunculus nubigenus*, entre otras), para este hábitat se registraron actividades de pesca tradicional, refrescamiento<sup>3</sup> y turismo.

El trabajo mediante información geográfica, fue corroborado en campo mediante caminatas y avistamientos en la ventana de estudio.

---

<sup>3</sup> Ritual que se lleva a cabo en la laguna de San Rafael por las autoridades indígenas, con el fin de realizar una limpia de varas como agradecimiento a las ninfas de las aguas e igualmente la actividad se realiza para armonizar la comunidad y obrar con rectitud y equilibrio; la actividad tiene un tiempo de duración hasta pasada la medianoche.

**Figura 6. Macrohábitat, Mesohábitat y Microhábitat**



Macrohábitat



Mesohábitat



Microhábitat

#### 6.1.1 Aplicación del Índice Integrado Relativo de Antropización

Se observó que la categoría de evaluación más frecuente fue la denominada A (69,51%) seguido de la categoría B (17,29%), los cuales corresponden a Coberturas y Bosques sin ningún tipo de intervención antrópica, respectivamente. La categoría relacionada con Zonas de pastoreo libre, fue la más baja (0,97%); mientras que las categorías Bosques con intervención antrópica (Quema y Pastoreo) e Infraestructura presentaron valores de 4,17% y 8,02%, respectivamente (Anexo 3).

Las unidades de análisis (UA): E6, F5, H6 y H7 (Anexo 3, Anexo 4), presentaron los valores más altos del INRA, debido a que están relacionados con coberturas de bosques donde se registraron actividades antrópicas, zonas de pastoreo, casas, vías principales y caminos de herradura, lo que otorga el carácter de antropización a éstas UA.

En general, los valores del INRA para los cuadrantes evaluados, oscilaron entre 0 y 12,25 (Anexo 3), lo que confirma que el paisaje evaluado presenta valores muy bajos de antropización.

## **6.2 Intervención antrópica del sistema lagunar de San Rafael, a partir de sus comunidades bióticas (aves y plantas) y la físico-química del agua.**

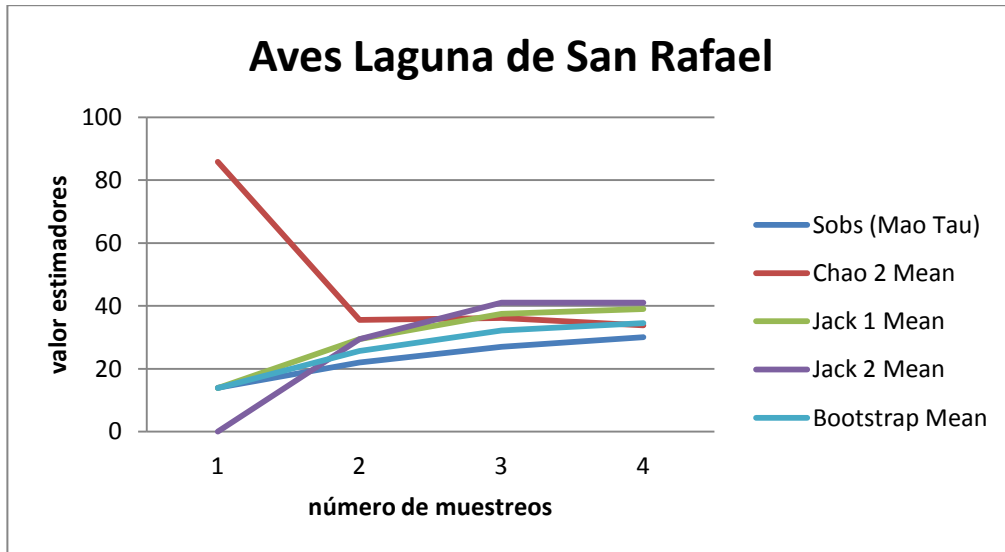
### **6.2.1 Composición de aves del sistema lagunar de San Rafael**

Se registró 30 especies de aves (Anexo 6), entre aves terrestres, acuáticas estrictas y acuáticas no estrictas según (Ruíz, 2012), pertenecientes a 19 familias y 8 órdenes. De éstas, dos especies son endémicas y casi-endémicas (*Oxyura jamaicensis* y *Eriocnemis mosquera*, respectivamente) y tres se clasifican dentro de alguna categoría de amenaza según el libro rojo de Aves de Colombia (Renjifo *et al.*, 2002), dos en la categoría En Peligro (EN) y una en Vulnerable (Vu).

Se reportó la presencia de especies como *Phalacrocorax brasilianus*, que no había sido reportada en el estudio referente de Ayerbe *et al.* (2008), para la zona de muestreo (CCO), igualmente se destaca la ausencia de registros como *Sarkidiornis melanotos* y *Fulica americana*, que fueron reportados para la laguna de San Rafael, en el año 1953, según los registros de las colecciones del ICN.

Las curvas de acumulación de especies (Figura 7), mostraron una tendencia a estabilizarse conforme avanzaron los muestreos. Según la proporción entre el valor observado y el promedio de los estimadores, se obtuvo un esfuerzo de muestreo del 80.88%, considerándose bueno para la zona muestreada.

Figura 7. Curva de acumulación de especies para aves



Durante las salidas de campo se registró un total de 30 especies pertenecientes a 16 grupos de dieta (Anexo 17), mientras que, a partir de la revisión de información histórico se incrementó 9 grupos para el área de estudio. El grupo Insectívoro fue el mejor representado (*Cistothorus platensis*, *Grallaria rufula*, *Calidris bairdii*, entre otros) para las tres subdivisiones de hábitat trabajadas.

Durante la fase de campo, se registró 13 especies generalistas de hábitat como *Anisognathus igniventris*, *Diglossa humeralis*, *D. lafresnayi*, *Turdus fuscater*, condición que las hace independientes de bosques primarios y les permite tener una mayor tolerancia a la perturbación que presenta la zona. Estas especies de aves fueron observadas forrajeando en borde de bosques.

#### 6.2.2 Aplicación del Índice de Integridad Biótica

Se listó 180 especies de aves de las cuales 29 cuentan con ejemplares de referencia depositados en las colecciones zoológicas del ICN y MHNUC. Estos ejemplares fueron reportados en los últimos 50 años en las localidades de la laguna de San Rafael, el páramo de Puracé y Pilimbalá.



El porcentaje de similitud de Jaccard fue del 21 % entre los datos obtenidos en el registro de campo y los datos utilizados para el registro histórico (Anexo 7), lo que pone en manifiesto el escaso conocimiento de éste grupo avifaunístico para éste sector.

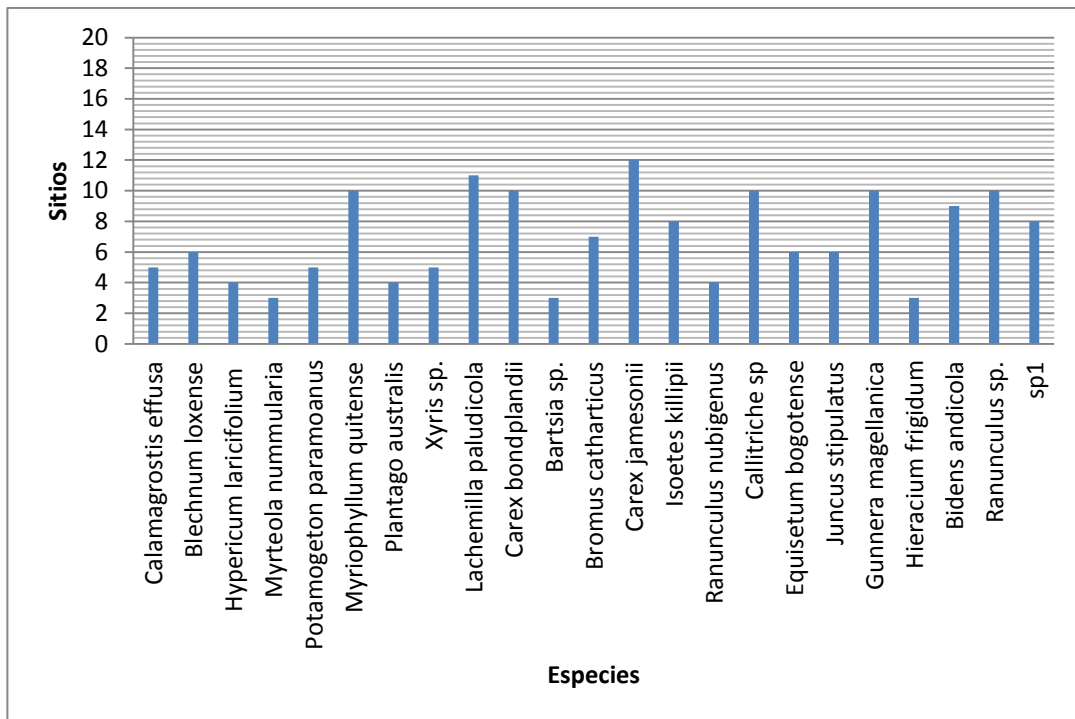
Según la correlación de Spearman (Anexo 8), variables ecológicas como: Aves en el sistema lagunar de San Rafael ( $r=0.900$ ,  $p \leq 0,037$ ), Aves migratorias y residentes ( $r=0.900$ ,  $p \leq 0,037$ ), Aves migratorias ( $r=0.975$ ,  $p \leq 0,005$ ) y Total de especies ( $r=0.900$ ,  $p \leq 0,037$ ) presentan una correlación positiva muy buena con las actividades antrópicas, lo que significa que estas variables presentan cambios como respuesta a las actividades registradas.

El valor del índice de integridad biótica para el sistema lagunar de San Rafael fue de 96.55 (Anexo 9), lo que confirma el buen estado de la laguna y la incluye en la categoría Excelente.

### 6.2.3 Plantas de la zona litoral de la laguna

Se reportó 23 especies de plantas de ribera en la laguna de San Rafael (Anexo 10) pertenecientes a 17 familias, la especie con más reporte dentro del muestreo fue *Carex jamesonii* la cual se reportó en 12 de las 20 parcelas muestreadas (Figura 8).

**Figura 8. Representatividad de las especies de plantas en las 20 parcelas muestreadas**



De acuerdo a la prueba de similitud de Jaccard (Anexo 11), los puntos de muestreos 1, 2 y 3 presentan baja similitud (42 %), y así mismo el punto 4 muestra una similitud del 20% con respecto al grupo anterior. Estos análisis concuerdan con las observaciones en campo (Anexo 12), que evidenciaron que los puntos 1 y 3 presentan un mayor número de herbáceas con relación al resto de puntos, principalmente al punto 4 el cual estuvo compuesto por especies gramíneas y donde era fácil observar suelo firme desprovisto de vegetación. El punto dos, presentó un mayor número de plantas de ribera incluyendo especies herbáceas, gramíneas, y especies de arbustos en proceso de crecimiento, al igual que el punto tres, probablemente debido a que en el punto dos no se evidencia aún efectos del impacto antrópico señalados en este estudio, y a la ubicación del punto sobre la desembocadura de la laguna, favoreciendo de esta manera que se complemente la vegetación del sistema léntico y lótico.

Algunas de las especies determinadas para la zona de estudio coincidieron con las especies reportadas en los estudios de Muñoz (2008), Rangel (2000) y Troyano (1999).

#### 6.2.4 Físico-química del agua

Durante la investigación se presentaron dos temporalidades: los meses secos correspondieron a Marzo y Abril de 2013 (Meses 2 y 3, respectivamente) y los meses de lluvias o precipitaciones fuertes correspondieron a Febrero y Agosto de 2013 (Meses 1 y 4, respectivamente), durante los meses de lluvia se observó que los nutrientes, el Oxígeno Disuelto y el porcentaje de saturación tienen una tendencia a incrementar, mientras que el pH y la temperatura tienden a disminuir (Anexo 13).

Según las interacciones entre meses y sitios de muestreo reportadas en la prueba Anova ( $p < 0,05$ ), se infiere que los sitios y los meses influyen sobre las variables físico-químicas (excepto para OD), además, la influencia de la primera es dependiente de la segunda (Tabla 6). El sitio que presenta mayor variación con respecto a los otros sitios de muestreo fue el sitio 1, según las pruebas de Kruskal-Wallis y U de Mann Whitney ( $p < 0,05$ ) (Tabla 7, Tabla 8).

**Tabla 6. Valores de significancia para interacción entre sitios y meses de la prueba Anova**

Parámetro	significancia sitios	significancia meses	significancia sitios*meses
Temperatura	0.000	0.000	0.000
Conductividad	0.000	0.000	0.000
TDS	0.000	0.000	0.000
Salinidad	0.000	0.001	0.000
%OD	0.000	0.081	0.000
OD	0.000	0.000	0.000
pH	0.000	0.000	0.002

**Tabla 7. Valores de significancia de la prueba de Kruskal-Wallis para los puntos de muestreo**

Parámetro	Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ )	Parámetro	Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ )
Temperatura (°C)	0,411	pH [H+]	0,001
Conductividad (µS/cm)	0,001	Amonio NH4+ (mg/L)	0,738
TDS (mg/L)	0,001	Nitrito NO2- (mg/L)	0,065
Salinidad (ppt)	0,003	Nitrato NO3 (mg/L)	0,155
Oxígeno disuelto (%)	0,001	Fosfato PO4 (mg/L)	0,504
Oxígeno disuelto (mg/L)	0		

**Tabla 8. Valores de significancia de la prueba de U de Mann Whitney entre puntos de muestreo**

Parejas de sitios	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	TDS (mg/L)	Salinidad (ppt)	Oxígeno disuelto (%)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH [H+]
sitios 1-2	,000(a)	,000(a)	,002(a)	,000(a)	,000(a)	,005(a)
sitios 1-3	,000(a)	,000(a)	,005(a)	,000(a)	,000(a)	,157(a)
sitios 1-4	,968(a)	,947(a)	,060(a)	,010(a)	,002(a)	,038(a)
sitios 2-3	,820(a)	,883(a)	,461(a)	,142(a)	,046(a)	,000(a)
sitios 2-4	,086(a)	,056(a)	,183(a)	,968(a)	,583(a)	,820(a)
sitios 3-4	,028(a)	,024(a)	,461(a)	,277(a)	,968(a)	,002(a)

Los parámetros fisicoquímicos que se midieron en la laguna de San Rafael, presentan un comportamiento de buena calidad, propias de aguas frías naturales y permiten la preservación de flora y fauna (Anexo 14). A continuación, se relaciona las variables que se estudiaron para la laguna de San Rafael:

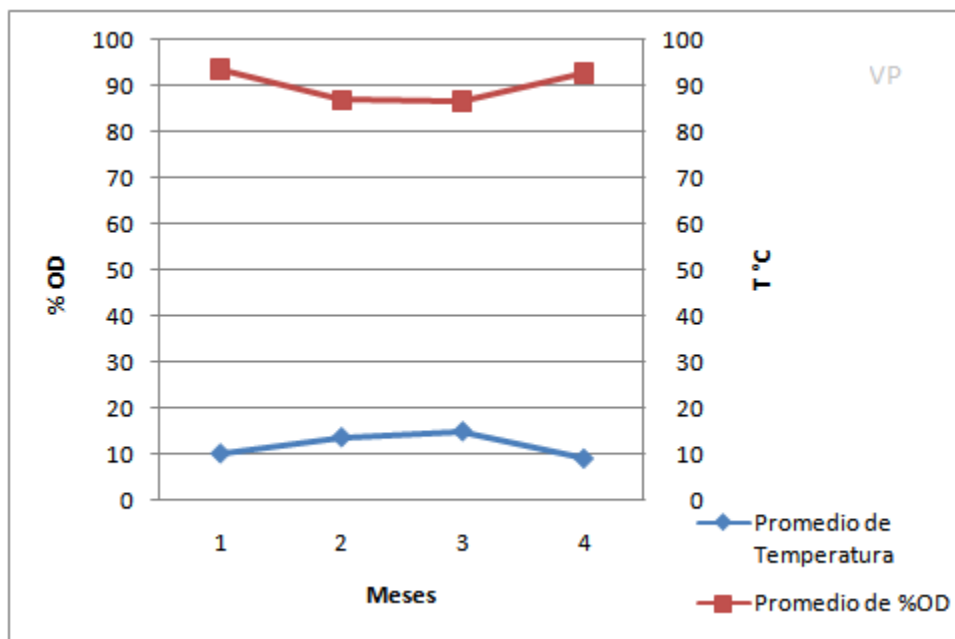
**pH:** Los valores obtenidos para la laguna de San Rafael (6,2 - 6,8), durante esta investigación se encuentran dentro del rango normal (6,5 - 7,5) para lagunas naturales de alta montaña (Roldán y Ramírez, 2008) pese a que se presentó un intervalo de tiempo no prudente entre la toma de la muestra y la medición de pH, que influye en la variación del pH debido a la interacción con el  $\text{CO}_2$  y la actividad biológica (MacKereth *et al.*, 1978). El valor del pH, obtenido para la laguna se considera bueno, y permite el normal desarrollo de la biota acuática del sistema.

**T°C:** Durante la investigación, se presentaron variaciones en la temperatura hídrica (Anexo 14), debido a los cambios fuertes en la precipitación que marcaron dos temporalidades (sequías y lluvias), de acuerdo a estas temporalidades se registró la temperatura en los siguientes intervalos 8,5-10,7°C (tiempo de lluvias) y 11,6-19,5°C (tiempo seco).

**Conductividad:** Los valores de conductividad para la laguna de San Rafael son bajos (10-30  $\mu\text{S/cm}$ ) (Anexo 14) y distan de los valores registrados por otros autores y lo reportado por Roldán y Ramírez (2008) como valores característicos de sistemas oligotróficos (20-50  $\mu\text{S/cm}$ ).

**Oxígeno disuelto y % Oxígeno disuelto:** Durante la investigación se evidenció que los resultados de OD y % de OD, presentes en la laguna de San Rafael permanecen constantes y son dependientes de la Temperatura. Además, se pudo constatar, que la variación de estos parámetros esta mediado con relación al cambio en las temperaturas (Figura 9), donde se puede observar cómo en el último mes de muestreo se presentó una baja en la temperatura del agua (8-9°C) y un incremento en el OD y porcentaje de saturación con un promedio por encima del 90%.

**Figura 9. Relación entre el % de Oxígeno Disuelto y la Temperatura**



**Nutrientes:** Los valores obtenidos para el ciclo de nitrógeno son bajos para Amoniaco (0,03-0,1) y Nitritos (0,03-0,05) mientras que para Nitratos se encuentran entre 1,5-2,0; igualmente los valores de fosfatos obtenidos para la laguna de San Rafael son bajos (0,2-0,5).

Durante el muestreo, el mes de abril (3) presentó los valores más bajos de fosfatos y nitratos (Anexo 13), con relación a los meses anteriores, incluso a los meses de febrero y agosto (1 y 4, respectivamente) que correspondieron a meses de precipitación fuerte, lo que contrasta con otros autores como Margalef (1983) y Wetzel (2001), que argumentan

que durante la época de precipitaciones fuertes, ocurre un lavado hidráulico que ocasiona pérdida de nutrientes y disminución en la concentración de los mismos por efecto de la dilución

#### 6.2.5 Relación físico-química del agua y plantas de la zona litoral de la laguna

Se encontró una relación de preferencia de algunas plantas a parámetros como: Salinidad, conductividad, temperatura, TDS, OD, pH y nutrientes, según la prueba de U de Mann Whitney ( $p < 0,05$ ) (Anexo 15), debido a que la vegetación influye en la dinámica de nutrientes por la producción y la descomposición de la materia orgánica y se ve afectada por parámetros como el pH. Los sitios con mayor temperatura, presentaron mayor riqueza de especies de macrófitos; así mismo los sitios que presentaron mayor conductividad reportaron una menor riqueza de especies.

Durante todo el muestreo fue común encontrar la especie *Myriophyllum quitense* al interior de la laguna y en la mayoría de los puntos a excepción del punto uno. También se reportó la especie *Potamogeton paramoanus* abundantemente en los puntos dos y tres. Igualmente sólo en el punto tres se constató la presencia de musgos (en identificación). No se registró especies de macrófitos flotantes.

### **6.3 Identificación de actividades antrópicas o de transformación**

A través de la revisión literaria, se identificaron posibles impactos que las actividades identificadas en el área de estudio, tienen sobre ecosistemas frágiles como los páramos (Tabla 9)

Aunque la mayoría de las actividades que se registraron, presentan reportes literarios de impactos fuertes sobre ecosistemas frágiles como los páramos, para la zona de estudio, la capacidad de resiliencia y la poca recurrencia de éstas actividades permiten que el ecosistema se recupere rápidamente de los efectos antrópicos, sin que hasta ahora se comprometa fuertemente la dinámica y buen funcionamiento del sistema lagunar evaluado.

Sin embargo, ello no indica que no se deba actuar frente a éstas situaciones que eventualmente pueden generar un deterioro ambiental como se ha visto a través de los análisis multitemporales que se registran para la zona de estudio

**Tabla 9. Actividades antrópicas y sus impactos en ecosistemas de páramo.**

<b>Actividades humanas</b>	<b>Impactos</b>	<b>Referencias bibliográficas</b>
Pastoreo	cambios de vegetación nativa por pastos cortos, cambios en las propiedades físicas del suelo, incremento de nutrientes en suelo y fuentes hídricas	Molinillo y Monasterio, 2002; Vargas <i>et al.</i> , 2002; van der Hammen, 2008
Quemas	alteración de coberturas vegetales, emisión de gases, erosión, resequedad, pérdida de nutrientes, pérdida de disponibilidad de hábitats, pérdida de retención hídrica y regulación del clima, pérdida de la producción de biomasa	Hofstede, 1995; Molinillo y Monasterio, 2002; Morales y Estévez, 2006
Vías y Caminos de herradura	Fragmentación, efecto de borde, favorecen la conectividad e incrementa el pisoteo por desplazamiento de bovinos en áreas frágiles, procesos erosivos	Harden, 1993; Mena 2000; Vázquez <i>et al.</i> , 2000; Crissman, 2001
Pesca tradicional no tecnificada	Extracción de recursos, contaminación por residuos sólidos	Vázquez <i>et al.</i> , 2000
Turismo	Contaminación por residuos sólidos	

Es por ello que con la matriz de FEARO (Figura 10) se identificó los posibles impactos que las actividades que actualmente se desarrollan en el sistema lagunar de San Rafael ejercen sobre los componentes ambientales evaluados. Los datos de esta matriz, se correlacionan con las actividades que describieron los actores sociales del área y las identificadas y relatadas en trabajos en la zona, así como en páramos colombianos.

**Figura 10. Matriz de FEARO**

CONVENCIÓNES											
No hay impacto	-	ACTIVIDADES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	PASTOREO	QUEMA	TURISMO	PESCA ARTESANAL	ACTIVIDADES CULTURALES	EXTRACCIÓN DE PLANTAS PARA USO MEDICINAL	CONFLICTO ARMADO	APERTURAS DE CAMINOS	MANEJO DE ÁREAS DE INTERÉS PARA LA
Falta de información	I										
Efecto significativo adverso											
Efecto adverso											
Efecto significativo benéfico	+										
Efecto benéfico	*										
COMPONENTES	ELEMENTOS										
ABIÓTICO	SUELO	Capacidad de regulación del agua			I	-	-	I	I		*
		Propiedades químicas y biológicas del suelo				-	-	I	I		
		Propiedades físicas del suelo				-	-	-			I
	AGUA	Calidad de agua		I	I		-	-		I	I
		Cantidad de agua		-	I		-		I	-	
		Propiedades físico-químicas del agua		I			I	-		-	
		Comunidad vegetal acuática	I	-	-	I	-	-	-	-	-
	AIRE	Calidad de aire	I		I	-	-	-	I	-	
		Emisión de gases (CO <sub>2</sub> )	*	+	I	-	-	-	I	I	-
BIÓTICO	FAUNA	Especies endémicas					-				+
		Especies nativas					-				+
		Especies generalistas	*	*	I	I	-	*	*	+	I
		Hábitats			-	-	-				*
	FLORA TERRESTRE	Especies vegetales generalistas	*	+	I	-	I	*	*	+	I
		Especies nativas				-	I		I		+
		Coberturas vegetales nativas				I	I				+
		Capacidad de regeneración o procesos sucesionales			I	-	-		I		+
PERCEPTUAL	PAISAJE	Calidad escénica					-			+	
ECONÓMICO		Servicios ecosistémicos			I	*	-	*	I	*	+
		Subsistencia y Comercialización local	+	*	+	*	*	*		*	



ANTRÓPICO		Generación de empleo	+	I	+	*	-	-		-	+
		Recreación	-	-	+	+	-	-		*	+
	SOCIO-CULTURAL	Significado cultural de la laguna	-	-	-	-	*	I		-	+

Se identificó que las actividades que generan un mayor impacto negativo fueron el Pastoreo, las Quemas ocasionales y el Turismo; por otra parte, actividades como el Manejo de zonas de interés para la conservación, influyen notoriamente en el control y desempeño de las otras actividades.

Y es que resultó evidente que la figura de áreas protegidas, bajo la cual se encuentra la laguna no ha significado un fuerte obstáculo para el pastoreo. La falta de articulación entre los diferentes actores sociales para la conservación de ésta y otras zonas dentro del Parque, han generado conflictos con las comunidades locales, sin generar soluciones alternativas para controlar el manejo de las actividades impactantes y la entrada de turistas o pescadores provenientes de otras zonas que generan contaminación de residuos sólidos en la laguna y alrededor de ella como lo muestra la Figura 11.

**Figura 11. Contaminación por residuos sólidos, provenientes de actividades de pesca**



Los componentes que recibieron un impacto adverso fueron la vegetación, el suelo, y la fauna. Mientras que el componente que mayor impacto positivo recibió en la matriz fue el

antrópico, debido a que actividades como el turismo (anteriormente frenadas por conflicto armado) aportan notablemente a los ingresos de los habitantes de estas regiones quienes sirven de guías de grupos de estudiantes y visitantes que visitan atractivos como el volcán, la laguna de San Rafael y San Juan (Figura 12).

**Figura 12. Actividades turísticas, atendidas por personal de la guardia indígena**



### 6.3.1 Identificación de Actividades antrópicas en un tiempo aproximado de 50 años

De los talleres, conversatorios y entrevistas no formales desarrollados con los actores sociales del sector (Figura 13) se identificó que entre las actividades que más ejercían presión ecológica hace 50 años atrás, se encuentran el conflicto armado, la cacería y la pesca descontrolada.

**Figura 13. Talleres y conversatorios con los diferentes actores sociales de la zona**



Del mismo modo, la comunidad manifestó durante los talleres y entrevistas no formales, una reducción de la laguna de San Rafael si ésta se comparará con años anteriores, e igualmente, expresó que en términos culturales se ha perdido el valor de la laguna como sitio sagrado.

Mediante revisión literaria, se identificó los siguientes cambios a nivel espacio-temporal en una brecha de 50 años aproximadamente, presentados con relación a algunos componentes bióticos en la zona de estudio (Tabla 10).

**Tabla 10. Cambios en los componentes bióticos a nivel espacio-temporal.**

Componente	Elementos de comparación	fuelle (Revisión literaria)	Cambio actual con respecto al reporte literario
Aves	Organismos migratorias	Colecciones de referencia ICN, MHNUC, Ayerbe <i>et al.</i> (2008)	Disminución
	Organismos generalistas		Incremento
	Número de grupos de dieta		Incremento
Agua	Espejo del agua (ha)	Yasnó <i>et al.</i> (2000), Donato (2001), Muñoz (2008)	Disminución
	Valores de físico-química del agua	Donato (2001), Roldán <i>et al.</i> (2008)	Estable
Vegetación	Coberturas vegetales	Muñoz (2008)	Incremento
Socio-económico	Áreas Intervenidoas	Joaquí (2005)	Incremento

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 Aplicación del Índice Integrado Relativo de Antropización

Los valores obtenidos en la aplicación del INRA, muestran claramente que en el sistema lagunar de San Rafael, predominaron las coberturas sin intervención como: los valles de frailejones, gramíneas, humedales, los cuerpos de agua y los bosques sin actividad de quema y pastoreo (Anexo 3).

Sin embargo, las vías de acceso como: la carretera hacia la plata y los caminos de herradura, constituyen un aporte importante en los valores de antropización obtenidos en el índice, que aunque distan de ser valores altos, se alejan del promedio de los valores obtenidos para el resto del paisaje evaluado.

Si se hace una comparación temporal con estudios realizados para este sector en un rango de aproximadamente 10 años atrás, se observa un incremento en la actualidad de las áreas intervenidas en la zona de estudio representadas como zonas de pastoreo y bosques intervenidos (Anexo 4, Anexo 5), lo cual puede ser una consecuencia de las vías de acceso que han propiciado el desarrollo de las diferentes actividades humanas que se llevan a cabo en la zona, debido a que ellas favorecen el tránsito y desplazamiento de animales, turistas y pescadores que buscan obtener un mayor provecho de los servicios que ofrece este ecosistema, favoreciendo notables consecuencias ambientales como la ganancia en área de coberturas vegetales, la aparición de especies de pastos cortos y la consecuente reducción del espejo de agua de la laguna debido a procesos de sedimentación, entre otras afectaciones indirectas.

Igualmente a nivel del paisaje, el desarrollo de actividades antrópicas como las quemas, incrementan los procesos de fragmentación generando una alteración de las comunidades vegetales que se ven representadas en los cambios de los grados de cobertura e incremento de la heterogeneidad del paisaje, tal como lo reportó Martínez (2005), donde observó los procesos de fragmentación y la ocurrencia de cambios en las coberturas vegetales para el sector nor-oriental del PNN Puracé.

## 7.2 Intervención antrópica en el sistema lagunar de San Rafael

### 7.2.1 Aplicación del Índice de Integridad Biótica

Aunque en teoría, las lagunas con bajos niveles de nutrientes y escasa vegetación, resultan ser poco atractivos para especies de Anátidos y aves acuáticas en general (Blanco, 1999), durante la investigación se observó especies de aves asociadas a ambientes acuáticos como *Anas andium* y *Gallinago nobilis*, debido a la presencia de bordes con extensos pastizales, los cuales proveen sitios de refugio, anidación y alimentación para las aves acuáticas (Blanco, 1999; O'Connell *et al.*, 2013) y otros animales (mamíferos, artrópodos, anfibios) que habitan el sistema lagunar (Vejarano, 2012), al mismo tiempo que contribuye al buen funcionamiento de la dinámica del ecosistema de páramo y aporta importantes funciones ecosistémicas como provisión de hábitat y regulación del clima.

La presencia de especies de *Grallaria rufula*, *G. nobilis* y *Phalacrocorax brasilianus* en la zona de estudio, reflejan el potencial biológico de este sector y el buen estado de la laguna de San Rafael ya que permite ser sitio de anidación de especies de aves asociadas a éstos ambientes, sin embargo la ausencia de algunas especies características de ambientes acuáticos (*F. americana*, *S. melanotos*) reportadas anteriormente, y el reporte de nuevas especies (*P. brasilianus*), que no estaban registradas para ésta altura evidencia falencias en los registros previos o la ocurrencia de cambios espacio-temporales en el sistema lagunar que influyen la presencia o ausencia de estos taxones, los cuales pueden deberse a fenómenos naturales como el cambio climático o pueden ser consecuencia de las actividades humanas que se reportaron para la zona de estudio, tal como la cacería o incluso el pastoreo y las quemas ya que ellas favorecen a largo plazo la alteración de las coberturas vegetales y la reducción del espejo de agua.

El desarrollo del IBI para este estudio, fue algo complejo debido a la poca similitud de los datos como consecuencia de los vacíos existentes en los registros históricos, los estudios sobre ecología de las especies de aves en el país y el conocimiento de los procesos que han marcado las variaciones en los gradientes ambientales a nivel temporal, sumado a

ésto el pequeño tamaño del sistema evaluado con respecto a otros estudios y la baja riqueza de especies reportada, influyó en que las variables ecológicas seleccionadas tuvieron una tendencia a ser poco específicas.

Sin embargo, el resultado obtenido por el IBI, muestra que pese a las actividades antrópicas (pastoreo, pesca y turismo) que se llevan a cabo en la zona, la capacidad de resiliencia del ecosistema, hace que la laguna de San Rafael soporte la perturbación a la que se ve expuesto y se recupere rápidamente de los efectos por factores antrópicos sin alterar su estructura y funcionalidad; sumado a ésto, se infiere que el valor cultural y la presencia de una figura de protección hacen de la laguna un lugar que presenta un bajo nivel de intervención antrópica y un alto valor de integridad registrado, lo que le permite así albergar y conservar la biota nativa del sector.

Al igual que otros estudios, la aplicación del IBI tomando como elementos de medición a las aves, reafirma que éste grupo es idóneo para estimar la condición de conservación en ambientes acuáticos, ya que la composición y estructura trófica de las aves en un determinado sistema está mediado entre otras, por el impacto de las actividades antrópicas en la zona de estudio (O'Connell *et al.*, 1998; Canterbury *et al.*, 2000; Bryce *et al.*, 2002; Córdova *et al.*, 2009; O'Connell *et al.*, 2013).

Finalmente, la aplicación del IBI en la laguna de san Rafael, tuvo en cuenta aspectos importantes que fueron comentados en el trabajo de Jaramillo y Pellegrini (2008) con el fin de hacer de la aplicación de éste índice en un ecosistema alto-andino, una aplicación no subjetiva y con validez científica. La aplicación del índice en un sistema léntico alto-andino, constituye un elemento novedoso y alternativo que permitió conocer el estado en que se encuentra la laguna de San Rafael a causa de las actividades antrópicas de la zona, el excelente resultado obtenido con ésta herramienta de evaluación rápida fue confirmado por los análisis de agua que se hicieron y que estuvieron dentro del rango permitido por la normatividad para recursos naturales y los valores obtenidos mediante la aplicación del INRA.

El análisis multitemporal que se hizo con la aplicación del IBI bajo las condiciones trabajadas en la investigación y teniendo en cuenta que es una prueba piloto, fue

oportuno y válido si se mira desde el punto de vista de representar una condición de mínimo impacto, que registrara los cambios importantes que se han presentado y que han marcado la dinámica del sistema lagunar, sin embargo, es necesario recurrir a la aplicación del IBI en dos sitios con similares condiciones ambientales y diferencias antrópicas a fin de evaluar la efectividad del índice con respecto a los resultados y estandarizar los atributos ecológicos trabajados.

### 7.2.2 Físico-química de la laguna de San Rafael

Las lagunas de la alta montaña, se caracterizan por ser cuerpos de agua oligotróficos con pH predominantemente ácidos, debido a la naturaleza química del sustrato, conductividades relativamente bajas entre (20 y 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y valores altos del porcentaje de saturación de oxígeno, ambos mediados por la temporalidad en la región tropical (Roldán y Ramírez, 2008).

Los valores de pH obtenidos en el estudio, se asemejan a los valores reportados anteriormente por Roldán (2008) y Vejarano (2012): (6-7) y (6,89-6,93) respectivamente, aunque distan de los valores reportados por (Donato, 2001; Muñoz, 2008) (7.0 -7.2), (7.2 - 7.4) respectivamente, en la laguna de estudio, así mismo éstos valores se asemejan a lo reportado para otras lagunas de alta montaña como es el caso del estudio realizado por Toro *et al.* (2012) (6,18-7,07).

En los resultados obtenidos en campo, se registraron valores para la conductividad entre 10 y 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que distan de los valores registrados por otros autores y lo reportado por Roldán *et al.* (2008) como valores característicos de sistemas oligotróficos (20-50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Probablemente debido a la poca profundidad de la laguna de San Rafael además se presume que los sedimentos de la laguna sean geoquímicamente muy pobres.

La relación inversa que se presentó entre la  $T^\circ$ , el OD y el %OD, se debe a que el oxígeno se hace más soluble a medida que disminuye la temperatura y menos soluble cuando incrementa la salinidad (Roldán *et al.* 2008). Donato (2001) argumentó que los valores bajos de OD en los lagos andinos colombianos se debe a la reducción en la presión

parcial del Oxígeno, como consecuencia de la altura que dificulta la difusión de Oxígeno desde la atmósfera a las capas profundas.

Resultados similares fueron reportados en la laguna de San Rafael por Muñoz (2008) quien argumentó esta variación de acuerdo a la concentración y estabilidad del material orgánico presente, como consecuencia de la actividad antrópica. Contrario a lo argumentado por Muñoz (2008), durante ésta investigación el punto 1 presentó las más bajas concentraciones de OD (Anexo 16), donde particularmente no se presentan actividades antrópicas de ningún tipo y se encuentra la vegetación típica de humedal, por lo que se asume que esta baja concentración se debe a la gran masa de lodo y partículas que en lecho de la laguna favorecen una columna de agua poco profunda.

Dentro de los nutrientes los elementos más importantes para la productividad primaria en ambientes acuáticos son el fósforo y el nitrógeno; sus valores varían dependiendo el medio (sistemas oligotróficos o eutróficos) y los ritmos de lluvia y sequía en zonas tropicales (Roldán y Ramírez, 2008), de acuerdo a los valores obtenidos para los nutrientes en la laguna de San Rafael, se considera los nitratos como el compuesto más abundante en la laguna; la abundancia de éste compuesto, principalmente en el punto cuatro (Anexo 16) constituye la principal fuente de nitrógeno para el fitoplancton y su aporte se debe a la presencia de pastoreo y la contaminación por residuos sólidos que son considerados fuentes importantes de nitrógeno.

De los nutrientes, el elemento más limitante de la productividad primaria en sistemas acuáticos, es el fósforo (Roldán y Ramírez, 2008), los valores obtenidos en este trabajo reflejan esta premisa, al encontrarse en menor proporción que los nitratos. Sin embargo, según Kiersch (2004) valores como los obtenidos para la laguna indicarían una posible eutrofización del sistema, lo cual tendría una causa desconocida pues en la zona no existen actividades humanas (p.e. cultivos y uso de agroquímicos) que influyeran en los niveles de fósforo obtenidos, por lo que se asume que los valores de fosfatos presentes en la laguna se deben a la poca profundidad de la columna de agua en los sitios de muestreos, pues, las condiciones anóxicas del lecho de la laguna favorecen la liberación de  $H_2S$  que a su vez ocasiona la desmineralización en el sedimento y aumenta los nutrientes en el agua.



En general los valores de nutrientes obtenidos en la laguna de San Rafael se encuentran en un rango normal.

### 7.2.3 Relación físico-química del agua y plantas de la zona litoral

Las dos temporalidades durante el muestreo no tuvieron relevancia en la composición de las especies de plantas encontradas, sin embargo es preciso aclarar que contrario a lo expresado por otros autores (Durán *et al.*, 2011) en los meses de marzo y abril (tiempo seco), las plantas se encontraron reproductivamente más activas que en tiempo de lluvias, es decir se facilitó encontrarlas con presencia de flor y en algunos casos infrutescencia. Probablemente éste fenómeno esté ligado a que en el mes de marzo y sin condiciones de precipitación fuerte, hubo una crecida en la laguna que pudo influenciar en la reproductividad de las plantas y a la constante brisa o páramo que cae en éste tipo de biomas.

Aunque la laguna de San Rafael presente procesos de intervención antrópica en algunas zonas aledañas, el estado oligotrófico y la capacidad del sistema para soportar la perturbación, permiten la estabilidad de las variables físico-químicas y la homogénea composición vegetal encontrada, al mismo tiempo que evita la colmatación e invasión de la laguna por el crecimiento excesivo de éstas plantas, las cuales requieren de condiciones eutróficas con altos niveles de nutrientes (De la Barra, 2003; Roldán y Ramírez, 2008).

La abundancia de la especie *Potamogeton paramoanus* en los puntos dos y tres puede estar influenciado porque ambos puntos colindan con los sistemas lóticos de la zona, lo que incrementaría los requerimientos nutritivos y de hábitat de la especie, ya que debido a la geomorfología de la laguna éstos puntos favorecen el paso de la intensidad lumínica a través del agua, como consecuencia de la poca profundidad de la laguna en estos puntos, permitiendo de esta manera el crecimiento de esta especie.

La baja conductividad y salinidad de la laguna de San Rafael permite el crecimiento de especies de géneros como *Isoetes*, *Callitriche*, que están catalogadas como plantas exclusivas de aguas no mineralizadas, muy claras casi que transparentes (De la Barra,

2003). Los resultados obtenidos en el estudio coinciden con lo reportado por De la Barra (2003) para lagunas de Bolivia que presentan valores similares de estos parámetros. El registro de *M. quitense* a lo largo del cuerpo de agua, y el reporte de esta especie en lagos eutróficos (Durán *et al.*, 2011), demuestran la independencia de la especie a las condiciones tróficas de los cuerpos de agua debido a su plasticidad para soportar cambios en la salinidad (De la Barra, 2003; Durán *et al.*, 2011) y corrobora que no todas las especies de macrófitas como es el caso de *M. quitense* pueden ser usadas como indicadores de contaminación de cuerpos de agua (De la Barra, 2003; Kiersch *et al.*, 2004).

Cabe resaltar, que durante la investigación, no se registró especies de macrófitas flotantes, cuya presencia según Fontúrbel (2003) indica el estado eutrófico de un ambiente acuático con un alto nivel de confiabilidad debido a que depende de un incremento en los valores de fósforo, carbono orgánico y nitrógeno.

Algunos autores se atreven a mencionar la calidad de agua de acuerdo a los géneros de plantas encontrados, tal es el caso del estudio realizado por Durán (2011). Sin embargo, aparentemente no se puede definir la calidad de agua de la laguna de San Rafael, basados sólo en la riqueza de macrófitas presente, dado que muchas de ellas también crecen en aguas contaminadas.

### **7.3 Comparación de actividades antrópicas o de transformación, en un rango de 50 años atrás**

Aunque el desarrollo de actividades como el Pastoreo, Pesca, Apertura de caminos, Turismo, quemas ocasionales, extracción de recursos naturales (uso de plantas medicinales) en un páramo, puede generar un fuerte impacto debido a su fragilidad, sucesión natural lenta y bajo nivel de recuperación (Molinillo y Monasterio, 2002), la figura de protección que brinda PNN, el valor cultural de la laguna, la discontinuidad de algunas actividades antrópicas y la resiliencia del ecosistema, hacen que éste sea mínimamente impactado por las actividades de subsistencia que tienen lugar en la zona de estudio.

En particular, para la zona de estudio, el pastoreo dista de ser intensivo (Figura 14), generalmente de subsistencia y en ocasiones para la venta por lo que constituye una fuente de ingreso ocasional, que a un inmediato plazo no genera un impacto negativo en las propiedades físicas, químicas y biológicas de la laguna, el lecho lacustre y sus alrededores; sin embargo los patrones de pastoreo libre y con pocos controles (característicos de la herbivoría en páramos) generan un efecto negativo a largo plazo, ya que altera poco a poco las propiedades físico-químicas del suelo como consecuencia del constante pisoteo y el efecto “abono” debido al orín del ganado que incrementa los niveles de nitratos en el suelo (Molinillo y Monasterio, 2002; van der Hammen, 2008), al mismo tiempo que recrea condiciones ambientales, de humedad y nutritivas favorables para la competencia entre comunidades vegetales existentes, lo cual explicaría la ganancia en área de las coberturas vegetales colindantes a la laguna y la consecuente reducción del área del espejo de agua, premisas que han sido reportadas en diferentes estudios multitemporales para la zona.

**Figura 14. Pastoreo extensivo en los alrededores de la laguna de San Rafael**



En cuanto a las quemas, éstas producen un efecto de homogenización en los páramos reduciendo de esta manera los remanentes de bosques y arbustales, y frailejones en una estructura monótona de pajonal y pastos cortos para aprovechamiento ganadero (MAVDT-IAvH, 2010) lo que podría favorecer, la llegada de especies de animales generalistas que compiten por el recurso y espacio con especies endémicas y nativas,

generalmente ocasionando un desplazamiento de las mismas, afectando las relaciones interespecíficas y las relaciones planta-animal, tales como la dispersión de semillas por parte de los animales; además esta actividad, también ayuda al incremento de los procesos erosivos debido a la pérdida y alteración de las coberturas protectoras del suelo y así mismo, contribuyen a la pérdida de la calidad de aire por las emisiones de gases que produce e incrementa el material de arrastre, favoreciendo procesos de sedimentación en los cuerpos de agua.

Pese a que las quemas fue una de las actividades más impactantes en la matriz de FEARO, la actividad es ocasional y de muy poca extensión (Figura 15), por lo que en la zona de estudio, aún se mantienen los remanentes de arbustales y vegetación típica de éste ecosistema, lo que fue evidenciado también en el trabajo de Molina (2013).

**Figura 15. Quema ocasionales**



Durante la investigación, también se observó que las turberas de cojines vasculares, *Sphagnum* y gramíneas en el costado de la laguna donde hay presencia de pastoreo, han sido reducidas por el pisoteo repetitivo de ganado cambiándolas poco a poco por pastos

cortos (Figura 16), lo que favorece procesos erosivos y a largo plazo la disminución de importantes funciones ecológicas tales como capacidad de retención hídrica y refugio de especies de animales, en especial mamíferos pequeños; impactos que ya han sido mencionados por autores como (Molinillo y Monasterio, 2002; Vargas *et al.*, 2002; Cleef, 2008; van der Hammen, 2008), para esta actividad.

**Figura 16. Crecimiento de pastos cortos por efecto del pastoreo**



Contrario a lo anterior, el costado de la laguna que no presenta herbivoría, mantiene el buen desarrollo de funciones ecológicas (Tabla 11) como provisionamiento de hábitat para especies de artrópodos, anfibios, aves y pequeños mamíferos ( Figura 17), servicios ecosistémicos de regulación hídrica y abastecimiento (alimentos y plantas de uso medicinal) (Tabla 11) que provee la laguna tal como lo reportó Vejarano (2012) en su estudio sobre funciones y servicios ecosistémicos de la laguna de San Rafael.

**Tabla 11. Servicios y Funciones ecosistémicas de la laguna de San Rafael**

<b>Servicios y Funciones ecosistémicas</b>	
Funciones hidrológicas	Almacenamiento de agua Recarga y descarga de aguas subterráneas
Funciones biogeoquímicas	Exportación y retención de nutrientes Secuestro de carbono
Funciones ecológicas	Mantenimiento de ecosistemas Soporte de la cadena alimenticia
Servicios de regulación	Retención de carbono Regulación del clima Regulación del agua
Servicios de abastecimiento	Suministro de agua Materiales de construcción Alimento Tierras para pastoreo Medicinas Recursos maderables
Servicios culturales	Recreacionales y estéticos Espirituales Educación

**Fuente: Vejarano (2012)**

Figura 17. Registros de rastros de especies de animales observados en los alrededores de la laguna de San Rafael, que no presenta herbivoría



a: Huevos de *Gallinago nobilis*, b: Hozadero de *Nasua nasua*, c: Heces (en identificación), d: Heces de *Sylvilagus cf. brasiliensis*, e: *Osornophryne bufoniformis*, f: Huella de *Tapirus pinchaque*

Anteriormente, prácticas como: la extracción de recursos maderables o la cacería alrededor de la laguna, aportaron a la extinción local de algunas especies (principalmente

mamíferos) y se cree que de algunas especies de aves como: *F. americana* y *S. melanotos*, de igual forma, los cambios en área de coberturas vegetales reportados por Muñoz (2008) explicarían el incremento del número de grupos de dieta que se registraron en la actualidad con respecto al reporte histórico (Anexo 17), ya que la ganancia en áreas de coberturas herbáceas y frailejona representan una mayor oferta en los recursos alimenticios para las aves lo que favoreció el aumento de especies generalistas en la actualidad.

Otra evidencia de los cambios que han ocurrido temporalmente en el sistema lagunar, incluye el incremento de las coberturas vegetales herbáceas y la consecuente reducción del área del espejo de agua de la laguna de San Rafael, evidencias que se pueden argumentar con el estudio realizado por Muñoz (2008), quien analizó los cambios de comunidades herbáceas en cuatro temporalidades para este sector, lo obtenido por el autor, refleja la ganancia en área de algunas de éstas comunidades circundantes de la laguna con el paso de los años, cabe resaltar que por falta de insumos cartográficos la valoración actual de estas premisas no se realizaron, sin embargo mediante poligonización se obtuvo una aproximación del área del espejo de agua. La reducción observada actualmente para el espejo de agua, sugiere que el espacio perdido por la laguna, ha sido ganado por dichas coberturas vegetales colindantes al cuerpo de agua.

El incremento de éstas comunidades vegetales, se podría deber a las condiciones ambientales y a características en los nutrientes del suelo, resultantes de intervenciones antrópicas que aceleran los procesos de crecimiento en las plantas y favorece la competencia entre comunidades vegetales; las variaciones ambientales de este tipo de ecosistemas permite la coexistencia de las diferentes comunidades vegetales, lo que implica que difícilmente una comunidad en especial pueda generar el desplazamiento de otra comunidad vegetal (Muñoz, 2008).

Por su parte, los valores de físico-química de la laguna de San Rafael, se mantienen estables en comparación con los resultados obtenidos por Roldán y Ramírez (2008) y Donato (2001) para el mismo sitio, lo que puede ser generado porque a lo largo del tiempo, en el sistema lagunar de San Rafael, no se han presentado actividades tan



impactantes como cultivos, que podrían generar un incremento notable y preocupante en los niveles de nutrientes y demás parámetros presentados en el sistema evaluado.

Aunque durante el estudio, se demostró que no existe una relación entre los parámetros físico-químicos y la presencia de plantas, el uso de agroquímicos que implicaría el desarrollo de una actividad agrícola, generaría en la laguna, una alteración en los niveles de nutrientes que afectaría la presencia de especies macrofitas en el cuerpo de agua, el cual se presume se vería representado en un cambio en la composición y estructura de las especies encontradas en éste estudio, las reportadas por Troyano (1999) y la consecuente aparición de especies flotantes, características de cuerpos eutróficos (De la Barra, 2003; Fontúrbel, 2003).

Pese a los cambios que se observan (ver capítulo resultados, Tabla 10), entre el tiempo pasado y el actual, generados por sus costumbres y diversos usos del ecosistema, la valoración cualitativa de los elementos anteriores en una escala temporal, sugiere que la llegada de un área protegida como el PNN Puracé propició la generación de herramientas que aportan a la protección del sistema lagunar y su biodiversidad. De igual forma, la propuesta de protección de especies bandera por parte de Parques, genera la conservación de especies de fauna y flora ya que pone fin a las prácticas de cacería, tala indiscriminada y pesca intensiva que eran llevadas a cabo por la comunidad en tiempos pasados. Sin embargo en la zona de estudio aún se desarrollan actividades como pastoreo sin ningún tipo de control, lo que favorece el pastoreo libre del ganado y la aparición de especies de plantas invasivas como pastos cortos.

## 8. LINEAMIENTOS DE CONSERVACIÓN

Con base a los resultados obtenidos en ésta investigación, los lineamientos de conservación que se recomiendan serán preventivos y se centrarán en tres temáticas (Alternativas de monitoreo y seguimiento, La laguna como sitio de conservación para la biodiversidad y Los saberes como herramientas en la generación de estrategias para el desarrollo sostenible).

### Alternativas de monitoreo y seguimiento:

Teniendo en cuenta lo estipulado en la política nacional de humedales interiores para Colombia, se brinda información que puede ser usada como herramienta a la hora de generar planes o estrategias de gestión ambiental que promuevan el uso racional de importantes humedales para el suroccidente colombiano, que no estén enmarcados dentro de la convención RAMSAR, como es el caso de la mayoría de humedales y cuerpos de agua de éste sector en Colombia.

Además con el fin de generar estrategias integrales, se recomienda a las entidades territoriales presentes en el sector, replicar la aplicación del índice de integridad biótica (IBI) con el fin de estandarizar la selección de atributos ecológicos, para que su aplicación sea más confiable y se convierta en una alternativa rápida de monitoreo y seguimiento de ambientes acuáticos que permiten ejecutar monitoreos constantes para predecir patrones de cambio e implementar rápidamente medidas efectivas que puedan mitigar el deterioro ambiental generado por la intervención humana.

Igualmente, se recomienda capacitar a la comunidad indígena, con respecto a las formas de seguimiento ambiental que ellos como entidad pueden identificar a través del conocimiento de su entorno (p.e: Turbiedad o cambios de coloración del espejo de agua, sedimentación o colmatación, avistamiento de especies de aves, especies nuevas, especies ausentes, migraciones, entre otras), de igual forma la comunidad indígena puede estar en la capacidad de apoyar en el control de actividades antrópicas (pesca y pastoreo, contaminación por residuos sólidos) por parte de personas externas a la

población habitante de la zona que se presentan en los ambientes acuáticos de su jurisdicción.

#### La laguna como sitio de conservación para la biodiversidad

Por otro lado, el análisis generado en ésta investigación destaca la capacidad que tiene la laguna para soportar la perturbación y mantener estable su funcionamiento y comunidad biótica pese a los procesos antrópicos que se presentan en la zona, razón por la cual se propone considerar a la laguna como un objeto de conservación ecosistémica en el marco conceptual del plan de manejo del PNNP, no sólo por su belleza escénica, sino también como sistema que provee hábitat y refugio a especies de aves consideradas en peligro o vulnerables según el libro rojo de aves de Colombia para el caso de aves, y otras especies de animales las cuales se constituyen en especies emblemáticas para el país.

Así mismo, se recomienda que en una tarea conjunta entre parques y el resguardo indígena, se potencialice los programas de reforestación para las zonas aledañas del sector San Rafael y se ejerza mayor control sobre actividades como quemas asociadas a pastoreo y/o a extracción de recursos maderables, con el fin de mantener una conectividad entre los remanentes de bosques a fin de asegurar la provisión de hábitat a especies que se encuentran en bajo alguna categoría de amenaza.

De igual forma se exhorta a la comunidad del resguardo indígena, a hacer un uso adecuado de los recursos naturales en el marco de las buenas prácticas agrícolas, las cuales generan mayores beneficios.

#### Los saberes como herramientas en la generación de estrategias para el desarrollo sostenible:

Por último y teniendo en cuenta lo evidenciado durante la investigación con relación a la información obtenida mediante talleres y conversatorios no formales con los actores sociales y de acuerdo al pensamiento crítico de la Directora del IAvH: Dra. Brigitte Baptiste, en la conferencia sobre conciencia ecológica realizada en la Universidad del Cauca, el pasado 13 de septiembre de 2013, se recomienda a las entidades territoriales

con jurisdicción en la zona de estudio: tener en cuenta los saberes propios de las diferentes etnias relacionadas con el manejo de prácticas agropecuarias tradicionales a la hora de diseñar y plantear estrategias en ambientes altamente productivos y benéficos para las comunidades asentadas.

Pues tal como lo plantea Franco *et al.* (2013), el carácter ecológico de éstas actividades realizadas a pequeña escala, el valor cultural y el manejo tradicional de los elementos que componen un ecosistema, no implica transformaciones severas de éstos ambientes y puede ayudar a promover un aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, propiciando un desarrollo económico favorable sin generar impactos negativos en los ecosistemas y su oferta ambiental.

Aunque sin embargo, se debe ser consciente de los efectos del pastoreo libre en zonas frágiles, por lo que se recomienda rotar el ganado en sistemas agroecológicos para permitir que el suelo se pueda recuperar de los efectos ocasionados por el pisoteo constante del ganado.

De igual forma se recomienda a los actores sociales con jurisdicción en la zona, a ejercer un mayor control sobre actividades de subsistencia como el turismo, ya que su práctica inadecuada ocasiona contaminación por residuos sólidos e igualmente la excesiva demanda de esta actividad ocasiona daños en el suelo de estos ecosistemas, pues son ecosistemas frágiles cuya capacidad de carga es muy limitada.

## 9. CONCLUSIONES

En general, el sistema lagunar de San Rafael presenta bajo nivel de intervención antrópica, lo que puede ser corroborado por los resultados obtenidos en la aplicación del INRA, el IBI y la valoración físico-química. Lo que sugiere que pese a las actividades humanas que se reportaron en la zona y debido a la capacidad de resiliencia del sistema lagunar de San Rafael, éste mantiene estable su funcionamiento y dinámica lo que favorece que en general, la laguna presente un estado de conservación propio de ecosistemas de alta montaña bajo una figura de protección, sin embargo tanto el análisis de físico-química y la aplicación del INRA coinciden en mostrar al punto 4, como el punto más afectado por las actividades antrópicas identificadas para la zona de estudio.

El manejo del sistema lagunar en tres subdivisiones de hábitat requirió análisis detallados y específicos para cada una de ellas, de los cuales se obtuvieron resultados confiables y precisos que muestran en conjunto la buena condición del sistema evaluado. De los tres hábitats evaluados, el hábitat que presentó procesos de intervención antrópica más impactantes fue el macrohábitat. Sin embargo en términos metodológicos, la evaluación paisajística que se realizó a nivel de macrohábitat fue poco específica si se compara con las otras dos metodologías propuestas para el análisis de las subdivisiones trabajadas.

Durante la investigación se pudo identificar patrones de cambio a nivel de los componentes del paisaje, que se han presentado a través del tiempo y que pueden ser el resultado de las actividades humanas y/o factores naturales (p.e: reducción del espejo de agua e incremento en las coberturas vegetales adyacentes a la laguna); si bien estos cambios no han alterado el buen funcionamiento, la dinámica y las funciones ambientales de la laguna, esta investigación constituye un elemento de soporte para proponer medidas de planificación preventivas que promuevan la conservación y el uso sostenible del ecosistema.

Se considera que la aplicación del índice de integridad biótica IBI, tuvo un desempeño favorable bajo las condiciones en las que se evaluó el sistema lagunar en ésta propuesta, ya que la valoración arrojada por el IBI fue apropiado y se ajustó a la percepción del entorno por parte del investigador y en términos cuantitativos el resultado obtenido en el

desarrollo del IBI fue coincidente con los valores obtenidos por la aplicación del INRA y el análisis físico-químico del agua de la laguna. La autora recomienda el uso del IBI pues es una herramienta de monitoreo de fácil uso, rápida y costos reducidos.

Por otro lado, la condición oligotrófica de la laguna de San Rafael y sus coberturas vegetales aledañas mantienen estable la prestación de servicios y bienes ambientales, representados en provisión, regulación climática e hídrica, favoreciendo así la dinámica del sistema lagunar evaluado.

Es inminente resaltar que el valor cultural de una laguna para una comunidad indígena, junto con la presencia de una figura de protección como en el caso de la laguna de San Rafael, favorece su conservación al mismo tiempo que se logran adaptar medidas encaminadas a un desarrollo sostenible del recurso hídrico y demás bienes ambientales.

## 10. RECOMENDACIONES

Se sugiere para posteriores estudios, hacer un comparativo entre las condiciones limnológicas dentro y en la zona litoral de la laguna, teniendo en cuenta los diferentes estratos verticales propios de los sistemas lénticos.

Se recomienda hacer un estudio detallado de las características químicas de la laguna de San Rafael haciendo uso de métodos más exactos; así mismo es importante conocer los componentes químicos de los sedimentos y el lecho lacustre, a fin de hacer una relación con las plantas que se desarrollan en la laguna y la tasa de sedimentación de la laguna con el objeto de prever futuros procesos de colmatación.

Se recomienda aplicar el uso del Índice de Integridad Biótica haciendo uso de datos actuales, en más de dos ecosistemas acuáticos con diferencias en sus gradientes antrópicos, teniendo en cuenta datos que indiquen el estado de las poblaciones y las abundancias. Así mismo, es necesario aplicar la técnica a más casos y diferentes tipos de ecosistemas, con el fin de estandarizar los procedimientos de muestreo, y mejorar la selección y la clasificación de los atributos biológicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, O., MATTA, N. E.Y MONCADA, L. I. Registros nuevos o poco conocidos de aves migratorias en la laguna del Otún, Parque Nacional Natural los Nevados, Risaralda, Colombia. En: Acta Biológica Colombiana. 2013, vol. 18 no. 1, p. 191-198
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE - AUTORIDAD CANAL DE PANAMÁ. Componente de Calidad de Agua. Región Oriental de la Cuenca del Canal, Ciudad de Panamá; 2006, 63 p.
- ARMENTERAS, D., GAST, F.Y VILLAREAL, H. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. En: Biological Conservation. 2003, vol. 113 no. 2, p. 245-256
- BERNSEN, O. Observaciones preliminares sobre cultivo en zonas de páramo de Colombia. En: Novedades colombianas, Nueva Epoca. 1991, vol. 3 no. p. 63-73
- BLANCO, D. E. Los humedales como hábitat de aves acuáticas. En: Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Ana Ines Malvarez, 1999. p. 219-228
- BRYCE, S. A., HUGHES, R. M.Y KAUFMANN, P. R. Development of a bird integrity index: using bird assemblages as indicators of riparian condition. En: Environmental management. 2002, vol. 30 no. 2, p. 294-310
- BUYTAERT, W., CÉLLERI, R., DE BIÈVRE, B., CISNEROS, F., WYSEURE, G., DECKERS, J.Y HOFSTEDE, R. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. En: Earth-Science Reviews. 2006, vol. 79 no. 1-2, p. 53-72
- CANTERBURY, G. E., MARTIN, T. E., PETIT, D. R., PETIT, L. J.Y BRADFORD, D. F. Bird communities and habitat as ecological indicators of forest condition in regional monitoring. En: Conservation Biology. 2000, vol. 14 no. 2, p. 544-558
- CASTAÑO, C. Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición Hotspot y Global Climatic Tensor. Ministerio del Medio Ambiente. IDEAM. PNUD, 2002. p.
- CASTRO, D. Desarrollo de un índice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedales bogotanos. Tesis de Maestría Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Biología. 2009.
- CLEEF, A. M. Influencia humana en los páramos. En: Memorias Panorama y perspectivas sobre la gestión ambiental de los ecosistemas de páramo. 2008. p. 26-33
- COLWELL, R. K. 2006. Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples, 7.5.2 Connecticut
- CÓRDOVA, A., ALCÁNTARA, J. L., GUZMÁN, R., MENDOZA, G. D.Y GONZÁLEZ, V. Desarrollo de un índice de integridad biológica avifaunístico para dos asociaciones vegetales de la reserva de la biosfera pantanos de Centla, Tabasco. En: Universidad y ciencia. 2009, vol. 25 no. 1, p. 1-22
- DE LA BARRA, N. Clasificación ecológica de la vegetación acuática en ambientes lacustres de Bolivia. En: Revista boliviana de ecología y conservación ambiental 2003, vol. 13 no. p. 65-93
- DEKEYSER, E. S., KIRBY, D. R.Y ELL, M. J. An index of plant community integrity: development of the methodology for assessing prairie wetland plant communities. En: Ecological Indicators. 2003, vol. 3 no. 2, p. 119-133
- DONATO, J. C. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de sudamérica (Colombia). Santafe de Bogotá, D.C. Colombia: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2001. 232. 232 p.



DURÁN, L. R., TERNEUS, H. E., GAVILÁN, R. A.Y POSADA, J. A. Composición y estructura de un ensamble de plantas acuáticas vasculares de una represa alto andina (Santander), Colombia. En: Actual Biol. 2011, vol. 33 no. 94, p. 51-86

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Amphibian index of biotic integrity (AmphIBI) for wetlands, 2002, 46 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Assessing biological integrity of Great Lakes coastal wetlands using marsh bird and amphibian communities, Canada; 2005, 89 p.

FONTÚRBEL, F. Algunos criterios biológicos sobre el proceso de eutrofización a orillas de seis localidades del lago Titikaka. En: Ecología Aplicada. 2003, vol. 2 no. 1, p. 75-79

FRANCO, L., DELGADO, J.Y ANDRADE, G. I. Factores de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos de Colombia al cambio climático global. En: Revista Colombiana de Geografía. 2013, vol. 22 no. 2, p. 69-85

HAMMER, Ø., HARPER, D. A. T.Y RYAN, P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis., 2.15

HILTY, S. L.Y BROWN, W. L. Guía de las aves de Colombia. American Bird Conservancy. Imprelibros S.A, 2001. p.

HOFSTEDE, R. The effects of grazin and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian páramo grasslands. En: Plant and Soil. 1995, vol. 173 no. p. 111-132

HOFSTEDE, R., SEGARRA, P.Y MENA V, P. Los páramos del mundo. Proyecto: atlas mundial de los páramos. Quito: Global Peatland Initiative/NC-IUCN/Ecociencia, 2003. p.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. En: Annual review of ecology and systematics. 1973, vol. 4 no. p. 1-23

HOWE, R. W., REGAL, R. R., HANOWSKI, J., NIEMI, G. J., DANZ, N. P.Y SMITH, C. R. An index of ecological condition based on bird assemblages in Great Lakes coastal wetlands. En: Journal of Great Lakes Research. 2007, vol. 33 no. sp3, p. 93-105

IZURIETA, X. Turberas altoandinas. Espacios frágiles de vida y cultura. Proyecto Peatlands in the Tropical Andes. Quito: Global Peatland Initiative/NC-IUCN/Grupo Páramo, 2005. p.

JARAMILLO, U.Y PELLEGRINI, É. Índices de integridade biótica usando peixes de água doce: uso nas regiões tropical e subtropical. En: Oecol. Bras. 2008, vol. 12 no. 3, p. 442-462

JOAQUI, S. C. Análisis multitemporal de las coberturas vegetales para ecotopos paramunos caracterizando las intervenciones antrópicas, en una ventana del Parque Nacional Natural Puracé. Tesis de Pregrado. Popayán: Universidad del Cauca. Biología. 2005.

KARR, J. R. Assessment of biotic integrity using fish communities. En: Fisheries. 1981, vol. 6 no. 6, p. 21-27

KARR, J. R. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. En: Ecological applications. 1991, vol. 1 no. 1, p. 66-84

KARR, J. R.Y CHU, E. W. Restoring life in running waters: better biological monitoring. Island Pr, 1999. 220 p.

KARR, J. R., FAUSCH, K. D., ANGERMEIER, P. L., YANT, P. R.Y SCHLOSSER, I. J. Assessing biological integrity in running waters: A method and its rationale. Illinois Natural History Survey, Champaign, Special Publication, 1986. 28 p.

KIERSCH, B., MÜHLECK, R.Y GUNKE, G. Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización. En: Revista de Biología Tropical. 2004, vol. 52 no. 4, p. 829-837

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DE COLOMBIA. Política nacional de humedales interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso sostenible. Bogotá D.C Consejo Nacional Ambiental. 2002. 67 p.

MACK, J. J. Developing a wetland IBI with statewide application after multiple testing iterations. En: Ecological Indicators. 2007, vol. 7 no. 4, p. 864-881

MARGALEF, R. Limnología. Barcelona: Omega, 1983. 1010 p.

MARTÍNEZ, J. P. Estudio espacio temporal del proceso de fragmentación en la zona nor-oriental del Parque Nacional Natural Puracé, mediante el análisis de las comunidades vegetales. Tesis pregrado. Popayán: Cauca. Biología. 2005.

MARTÍNEZ, W. A. INRA- Índice Integrado Relativo de Antropización: Propuesta técnica-conceptual y aplicación. En: Revista Intropica. 2010, vol. 5 no. 1, p. 45-54

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL - INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. Definición de criterios para la delimitación de páramos del país y de lineamientos para su conservación. PARTE I, Bogotá; 2010, 91 p.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Metodología para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados, Bogotá, D.C; 2008, 135 p.

MILLER, S. J., WARDROP, D. H., MAHANEY, W. M. Y BROOKS, R. P. A plant-based index of biological integrity (IBI) for headwater wetlands in central Pennsylvania. En: Ecological Indicators. 2006, vol. 6 no. 2, p. 290-312

MOLINILLO, M. Y MONASTERIO, M. Patrones de vegetación y pastoreo en ambientes de páramo. En: ecotrópicos. 2002, vol. 15 no. 1, p. 19-34

MONTEZUMA, M. F. Aproximación al conocimiento a la estructura del ecosistema laguna de la Magdalena (PNN-Puracé) e identificación de posibles tensores relevantes sobre sus componentes e interrelaciones. Tesis de pregrado. Popayán: Universidad del Cauca. Biología. 2010.

MORALES, J. A. Y ESTÉVEZ, J. V. El páramo: ¿ecosistema en vía de extinción? En: Revista Luna azul. 2006, vol. 1 no. 22, p. 39-51

MOSQUERA, A. M. Caracterización de dos zonas de transición, mediante el análisis de las coberturas vegetales y variables microambientales en una zona de páramo, en el sector nororiental del Parque Nacional Natural Puracé. Tesis de pregrado. Popayán: Universidad del Cauca. Departamento de Biología. 2009.

MOYA, N., DOMINGUEZ, E., GOITIA, E. Y OBERDORFF, T. Desarrollo de un índice multimétrico basado en macroinvertebrados acuáticos para evaluar la integridad biológica en ríos de los valles interandinos de Bolivia. En: Ecología Austral. 2011, vol. 21 no. 2, p. 135-147

MÚÑOZ, F. F. Caracterización biofísica, análisis espacio temporal y de intervenciones antrópicas, para humedales altoandinos, caso tipo laguna de San Rafael (Zona Norte) Parque Nacional Natural Puracé y Humedal de Calvache. Tesis de Pregrado. Popayán-Cauca: Universidad del Cauca. Biología. 2008.

NAVEH, Z. Biocybernetic and thermodynamic perspectives of landscape functions and land use patterns. En: Landscape Ecology. 1987, vol. 1 no. 2, p. 75-83

O'CONNELL, T. J., BROOKS, R. P., PROSSER, D. J., GAUDETTE, M. T., GYEKIS, J. P., FARRELL, K. C. Y CASALENA, M. J. Wetland-Riparian Birds of the Mid-Atlantic Region. En: Mid-Atlantic Freshwater Wetlands: Advances in Wetlands Science, Management, Policy and Practice. New York: R. P Brooks y D. H Wardrop, 2013. p. 479

O'CONNELL, T. J., JACKSON, L. E. Y BROOKS, R. P. A bird community index of biotic integrity for the mid-Atlantic highlands. En: Environmental Monitoring and Assessment. 1998, vol. 51 no. 1-2, p. 145-156

PARRISH, J. D., BRAUN, D. P. Y UNNASCH, R. S. Are We Conserving What We Say We Are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. En: BioScience. 2003, vol. 53 no. 9, p. 851-860

PEÑA, F., GUTIÉRREZ, P., REBOLLEDO, G., ESCALONA, M., HAUENSTEIN, E., BERTRÁN, C., SCHLATTER, R.Y TAPIA, J. Determinación del nivel de antropización de humedales como criterio para la planificación ecológica de la cuenca del lago Budi, IX región de La Araucanía, Chile. En: Revista de Geografía Norte Grande. 2006, vol. no. 36, p. 75-91

PERALTA, L. A. Diseño de un índice de integridad biótica para los lagos interdunarios de la región costera central del estado de Veracruz, México. Tesis de doctorado. Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología. 2007.

PÉREZ, R., PINEDA, R.Y MEDINA, M. Integridad biótica de ambientes acuáticos. En: Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. México: Óscar Sánchez, Mónica Herzig, Eduardo Peters, Roberto Márquez y Luis Zambrano, 2007. p. 71

PINILLA, G. An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogota city, Colombia. En: Ecological Indicators. 2010, vol. 10 no. 4, p. 848-856

PINILLA, G. A., DUARTE, J.Y VEGA, L. Índice de Estado Limnológico (IEL) para evaluar las condiciones ecológicas de las ciénagas del canal del Dique, Colombia. En: Acta Biológica Colombiana. 2010, vol. 15 no. 2, p. 169-188

PONT, D., HUGHES, R. M., WHITTIER, T. R.Y SCHMUTZ, S. A predictive index of biotic integrity model for aquatic-vertebrate assemblages of western US streams. En: Transactions of the American Fisheries Society. 2009, vol. 138 no. 2, p. 292-305

PORTELA, H. El pensamiento de las aguas de las montañas. En: Etnográfica. 2003, vol. VII no. 1, p. 63-86

RALPH, C. J., GEUPEL, G. R., PYLE, P., MARTIN, T. E., DESANTE, D. F.Y MILÁ, B. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. General Technical Report PSW-GTR-159. Albania, C.A: Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 1996. 49 p.

RAMSAR. The Ramsar Convention on Wetlands. Disponible en Internet: <http://www.ramsar.org>

RANGEL, O. Colombia Diversidad Biótica III: La Región de la Vida Paramuna. Bogotá: Unibiblos, 2000. 902 p.

REMSEN, J. V. J., CADENA, C. D., JARAMILLO, A., NORES, M., PACHECO, J. F., PÉREZ-EMÁN, J., ROBBINS, M. B., STILES, F. G., STOTZ, D. F.Y ZIMMER, K. J. A classification of the bird species of South America. American Ornithologists' Union, 2014.

RENJIFO, L. M., FRANCO, A. M., AMAYA, J. D., KATTAN, G. H.Y LÓPEZ, B. Libro rojo de aves de Colombia. Libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia: Instituto de investigación en recursos biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente, 2002. 564 p.

RODRÍGUEZ, Q. Estudio de la comunidad aviaria en la Reserva Natural. Semillas de Agua Páramo de los valles, Cajamarca, Tolima. En: Boletín Informativo ALETEO. 2003, vol. 9 no. p. 1-15

ROLDÁN, G. A.Y RAMÍREZ, J. J. Fundamentos de limnología neotropical. Ciencia y Tecnología. 2. Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, 2008. 440 p.

RUÍZ, C. Listado de Aves Acuáticas de Colombia. Asociación Calidris, 2012. 15 p.

RUÍZ, D. M. Determinación del impacto ambiental sobre el recurso hídrico para consumo humano generado por el establecimiento de actividades antrópicas en la parte alta de la subcuenca río San Francisco, Municipio Puracé. Departamento del Cauca. Tesis de Pregrado. Popayán: Universidad del Cauca Departamento de Biología. 2009.

SALAMAN, P., DONEGAN, T.Y CARO, D. Listado de aves de Colombia. En: Revista de difusión de acciones de conservación de la biodiversidad en Colombia. Conservación Colombiana. 2009, vol. 8 no. p. 1-89

SIMON, T. P., JANKOWSKI, R.Y MORRIS, C. Modification of an index of biotic integrity for assessing vernal ponds and small palustrine wetlands using fish, crayfish, and amphibian

assemblages along southern Lake Michigan. En: Aquatic Ecosystem Health and Management. 2000, vol. 3 no. 3, p. 407-418

SPSS, I. 2006. SPSS for Windows, 16.0 Chicago

TIKU, S., BOETS, P., DE MEESTER, L.Y GOETHALS, P. L. M. Development of a multimetric index based on benthic macroinvertebrates for the assessment of natural wetlands in Southwest Ethiopia. En: Ecological Indicators. 2013, vol. 29 no. p. 510-521

TORO, D. R., JARAMILLO, M. T., OCAMPO, D. M., CORREA, R. M.Y SALGADO, P. A. Estudio limnológico de la Laguna Negra. Zona amortiguadora del P.N.N Los Nevados. En: Boletín Científico Centro de museos museo de historia nacional. 2012, vol. 16 no. 2, p. 23-38

TROYANO, D. L. Estudio fitosociológico de las comunidades de macrofitas acuáticas en la laguna de San Rafael. Parque Nacional Natural Puracé. Tesis de pregrado. Popayán: Fundacion Universitaria de Popayán. Departamento de Ecología. 1999.

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DEL SISTEMA DE PARQUES NACIONALES NATURALES. Plan de manejo Parque Nacional Natural Puracé. Popayán. 2004. 224 p.

VAN DER HAMMEN, T. El páramo: de la destrucción a la conservación. En: Memorias Panorama y perspectivas sobre la gestión ambiental de los ecosistemas de páramo. 2008. p. 11-15

VARGAS, O., PREMAUER, J.Y CÁRDENAS, C. D. L. Á. Efecto del pastoreo sobre la estructura de la vegetación en un páramo húmedo de Colombia. En: Ecotrópicos Sociedad Venezolana de Ecología. 2002, vol. 15 no. 1, p. 35-50

VEJARANO, P. Ecosystem functions and services of a tropical highland wetland in Colombia. Tesis de Maestría. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education. 2012.

VELÁSQUEZ, A., RICAURTE, L. F., LARA, F., CRUZ, E. J., TENORIO, G. A.Y CORREA, M. Lista anotada de las aves de los humedales de la parte alta del Departamento de Caquetá. Perú, 2005.

VIDAL, C. C. Relación de procesos de fragmentación ecosistémica con diversidad de comunidades de aves frugívoras e insectívoras en dos sectores altoandinos de la cordillera central en el departamento del Cauca Tesis de pregrado. Popayán: Universidad del Cauca. Departamento de Biología. 2012.

WETZEL, R. G. Limnology Lake and River Ecosystem. 2001.

WILSON, M. J., BAYLEY, S. E.Y ROONEY, R. C. A plant-based index of biological integrity in permanent marsh wetlands yield consistent scores in dry and wet years. En: Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 2013, vol. 23 no. 5, p. 698-709

## ANEXOS

Anexo 1. Encuestas para talleres y conversatorios no formales.

### GRUPO DE ESTUDIOS AMBIENTALES - GEA TALLER DE TEMPORALIDADES (1950-1980 Y 1980-2009) MARZO 2013

1. Cuáles fueron las actividades o procesos relacionados con la producción y subsistencia, durante la temporalidad de 1950-1980 y 1980-2009; y donde se localizaban?
2. Como se dio el proceso de poblamiento e infraestructura en el territorio durante la temporalidad de 1950-1980 y 1980-2009?
3. Dibujar la relación del ser humano con la naturaleza en su territorio antes del parque durante la temporalidad de 1950-1980 y 1980-2009?

Formato 2. En su comunidad, según su percepción, que señas de la naturaleza permiten advertir cambios o eventos extremos en el clima que afectan los cultivos.	
Componente de la naturaleza	
Vegetación	
Fauna	
Agua	
Suelo	
Atmósfera (Nubes, vientos, temperaturas)	
Otro	

4. Dibujar que factores internos y externos que han influenciado la consolidación del territorio durante la temporalidad de 1950-1980 y 1980-2009?
5. El clima del pasado.

**GRUPO DE ESTUDIOS AMBIENTALES  
TALLER VULNERABILIDAD DE LAGUNAS DE ALTA-MONTAÑA  
MAYO 2013**

1. Cuáles eran los problemas que afrontaba la laguna San Rafael o Andulbío

Problema	Descripción	Ejemplos	Efectos	Calificación
Hidrológico	• • •	Calidad y cantidad agua, disminución espejo agua?		
Ecológico	• • •	Funciones del sistema, hábitats, contaminaciones (Beneficios del sistema)		
Biológico	• • •	Estado de conservación de especies endémicas /en peligro,		
Infraestructura	• • •	Casas, carreteras, drenajes, caminos		
Económico	• • •	Conflictos por predios, inversiones,		
Institucional	• • •	Planes de manejo, interacción entre diferentes actores institucionales para trabajar por la laguna		
Sociocultural	• • •	Usos culturales de la laguna (rituales de refrescamiento)		
Eventos naturales	• • •			
Otro	• •			

Califique teniendo en cuenta los siguientes impactos

Calificación	Puntaje asociado
Impacto mínimo	1
Impacto medio	2
Impacto alto	3
Impacto máximo	4
No impacta	5
Impacto positivo	6

2. Que acciones humanas puede hacer que esta laguna se deteriore?

Actividad	Calificación (1 a 6)
Pesca	
Quema	
Pastoreo	
Turismo	
Otras	

3. Cuáles eran y son los beneficios de la laguna?

Componente	Antes	Actuales
Hidrológico	• • •	• • •
Ecológico	• •	• •
Biológico	• •	• •
Económico	• •	• •
Institucional	• •	• •
Sociocultural	• •	• •

4. Qué hace usted o su comunidad para que la laguna no se deteriore y se mantenga?
5. Qué sucedería en su comunidad y en su territorio si la laguna se deteriorara al punto que dejara de existir?
6. Cuáles considera que son las problemáticas de las lagunas ubicadas en todo el parque nacional natural de Puracé?
7. Considera usted que la laguna es sensible o vulnerable a las actividades humanas? Por qué?
8. Relatar cómo era a los alrededores de la laguna de San Rafael en los 50 - 70, 70 - 90, 90 - 2012
9. Qué señales observa usted en la laguna que manifiesten sus cambios?
10. En cuanto a plantas de uso medicinal y animales de interés para la conservación, qué especies existían y ya no se mantienen en la zona?, por qué cree ud que ya no existen.
11. ¿Cómo eran las relaciones con el estado en los años 60 - 80, 90 – 2000, 2001 – 2010 y 2013? ¿Qué esperan a futuro por parte del estado?
12. ¿Creen que la construcción del parque ha hecho que pierdan autonomía en sus territorios?

## Anexo 2. Definición de variables ecológicas de las aves

VARIABLES ECOLÓGICAS	DEFINICIÓN	RESPUESTA PREDICHA AL IMPACTO HUMANO
Riqueza de especies	Número total de especies reportadas tanto por vuelo como por observación y audición, con localidad definida	Disminuye
# de especies residentes y migratorias que componen el sistema lagunar	Total de especies tanto residentes como migratorias, observadas o escuchadas en el espejo de agua, humedal y zona boscosa (menos las observadas sobrevolando)	Disminuye
# de especies residentes del sistema lagunar	especies de aves no migratorias vistas o escuchadas en el espejo de agua, humedal y zona boscosa (menos las vistas sobrevolando)	Disminuye
# de especies migratorias	Especies de aves migratorias boreales o australes	Disminuye
# de especies de aves acuáticas estrictas	Especies de aves que dependen exclusivamente del agua, tienen adaptaciones anatómicas y fisiológicas para este tipo de ambientes según Calidris (2010)	Disminuye
# de especies de aves acuáticas no estrictas	Especies de aves que se asocian a la vegetación que rodean cuerpos de agua, aves terrestres con dependencia a los hábitos acuáticos según Calidris (2010)	Disminuye
# de especies de aves terrestres	Especies de aves que no se asocian a humedales o cuerpos de agua	Aumenta
# de especies bajo categoría de amenaza	Especies de aves que se encuentran catalogadas como: En peligro (EN) y Vulnerable (VU)	Disminuye
# de especies generalistas o tolerantes	Especies de aves que toleran la perturbación	Aumenta
# de especies de aves omnívoras	Especies de aves que se alimentan de todo	Aumenta



# de especies de aves piscívoras	Su dieta principal son los peces	Disminuye
# de especies de aves que se alimentan de animales (carnívoro)	Especies de aves que se alimentan principalmente de todo tipo de vertebrados excluyendo peces	Disminuye
# de especies de aves herbívoras bentónicas o de buceo	Su dieta principal son las plantas acuáticas	Aumenta
# de especies de aves granívoras	Su dieta principal son las semillas	Aumenta
# de especies de aves insectívoras	Su dieta principal se basa en insectos y/o macroinvertebrados acuáticos	Disminuye

---

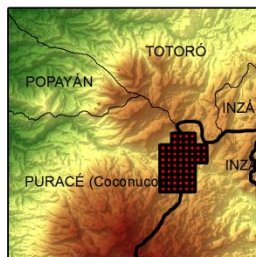
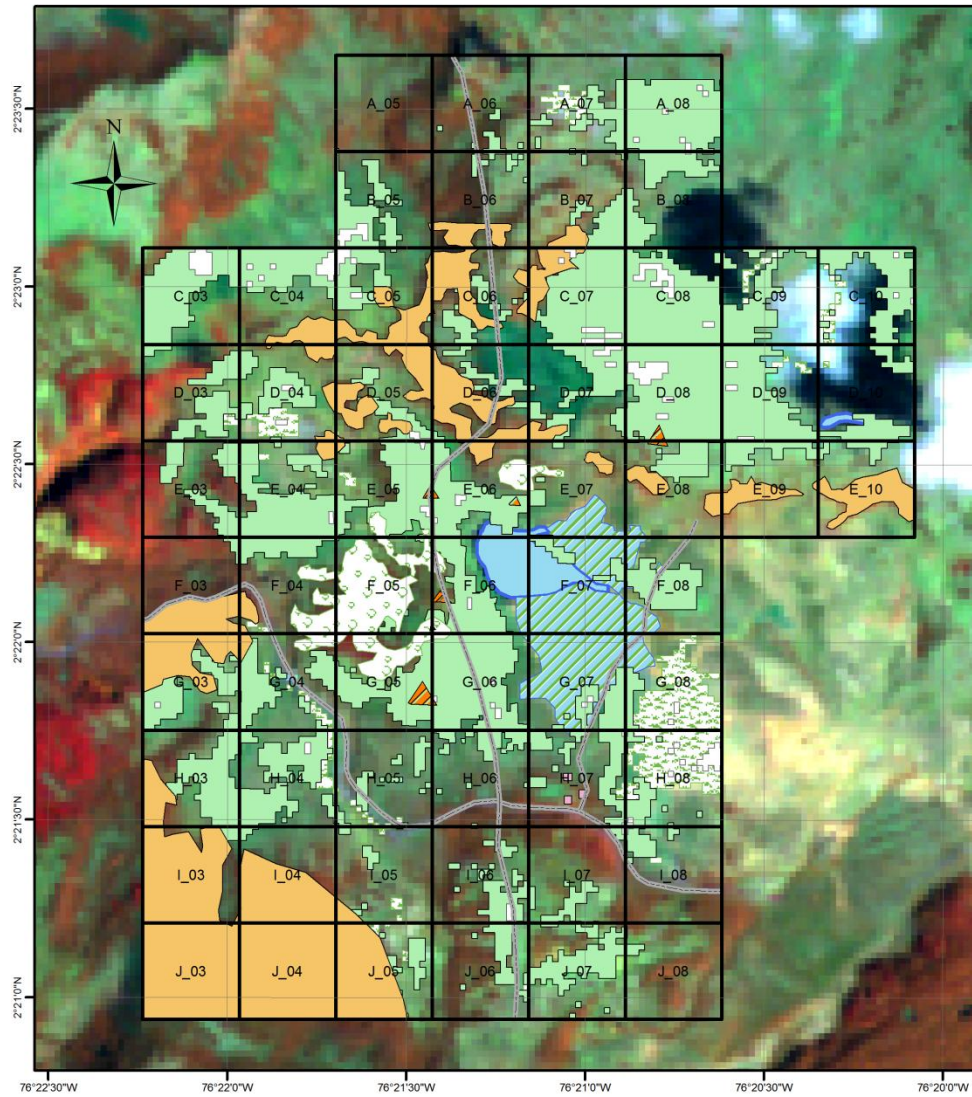
Anexo 3. Cálculo del Índice Integrado Relativo de Antropización

UA	A(0)	B(0,25)	C(0,50)	D(0,75)	E(1,00)	INRA
A5	0	0	0	0	0	0
A6	7	0	0	0	5	5
A7	18	0	0	0	0	0
A8	20	0	0	0	0	0
B5	18	1	0	0	0	0,25
B6	6	9	0	0	5	7,25
B7	14	6	0	0	0	1,5
B8	16	0	0	0	0	0
C3	17	0	0	0	0	0
C4	15	6	0	0	0	1,5
C5	11	13	0	0	0	3,25
C6	14	16	0	0	5	9
C7	24	0	0	0	0	0
C8	24	0	0	0	0	0
C9	20	0	0	0	0	0
C10	28	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0
D3	20	0	0	0	0	0
D4	21	0	0	0	0	0
D5	14	17	0	0	0	4,25
D6	14	18	0	0	5	9,5
D7	20	2	0	0	0	0,5
D8	25	0	0	2	0	1,5
D9	26	0	0	0	0	0
D10	22	0	0	0	0	0
E3	19	0	0	0	0	0
E4	29	1	0	0	0	0,25
E5	25	1	5	1	0	3,5
E6	19	5	4	4	5	11,25
E7	16	5	2	0	2	4,25
E8	11	6	0	2	1	4
E9	14	0	0	0	0	0
E10	6	15	0	0	0	3,75
F3	2	11	0	0	6	8,75
F4	12	3	12	0	3	9,75
F5	10	0	23	1	0	12,25
F6	27	0	3	2	5	8
F7	37	0	0	0	0	0
F8	21	0	0	0	7	7
G3	19	14	0	0	0	3,5
G4	28	0	3	0	8	9,5
G5	17	0	11	3	1	8,75
G6	27	0	1	0	6	6,5
G7	34	0	0	0	5	5
G8	29	0	0	0	1	1
H3	16	7	0	0	5	6,75
H4	26	0	0	0	0	0
H5	18	0	0	0	7	7
H6	14	0	0	0	11	11
H7	21	0	0	0	10	10
H8	28	0	0	0	0	0

I3	2	23	0	0	0	5,75
I4	1	16	0	0	0	5,75
I5	14	3	0	0	0	4
I6	19	0	0	0	6	6
I7	13	0	0	0	2	2
I8	6	0	0	0	7	7
J3	0	25	0	0	0	6,25
J4	0	25	0	0	0	6,25
J5	17	17	0	0	0	4,25
J6	11	0	0	0	5	5
J7	21	0	0	0	0	0
J8	22	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	1065	265	64	15	123	
<b>Porcentaje</b>	69,5169713	17,2976501	4,17754569	0,97911227	8,02872063	

UA: Unidad de Análisis, A: Coberturas sin intervención antrópica, B: Bosques sin intervención antrópica, C: Bosques con intervención antrópica (Quemas y Pastoreo), D: Zonas de pastoreo, E: Infraestructura. Los resaltados en amarillo corresponden a los valores mas altos para el índice.

Anexo 4. Mapa de coberturas de suelo para INRA

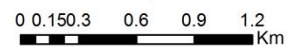


CONVENCIONES

- Unidades de análisis
- Frailejonales
- Lagunas
- Bosques sin intervención
- Humedales
- Bosques intervenidos
- Gramíneas
- Zonas de pastoreo
- Construcciones
- Vías

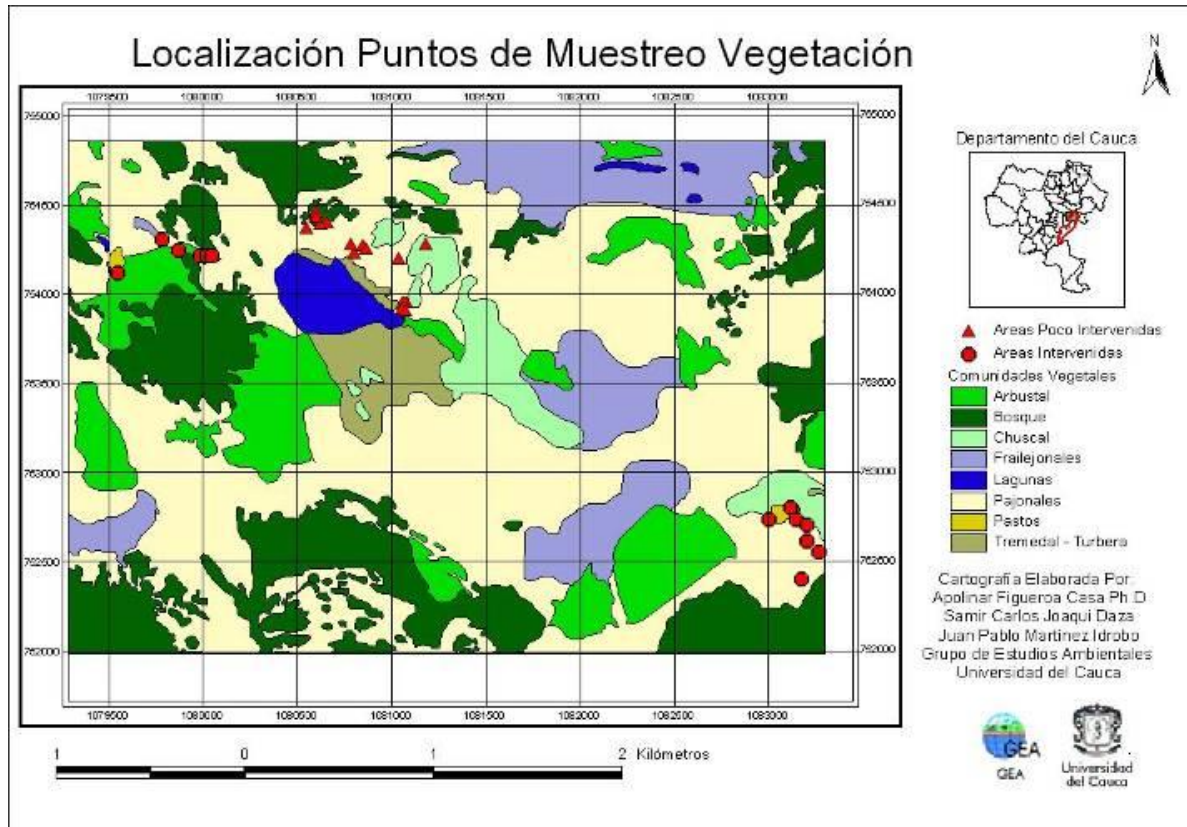


1:26,570



Cartografía elaborada por: Vianny Plaza Ortega

Anexo 5. Coberturas de uso de suelo

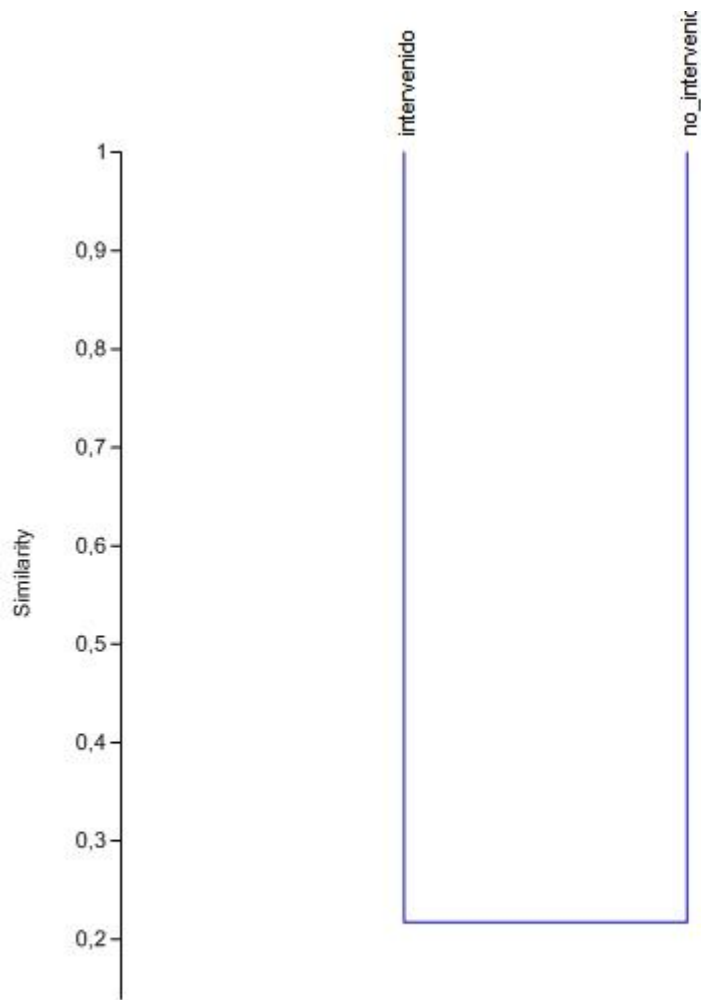


Fuente: Joaquín (2005)

Anexo 6. Listado actual de especies de aves del sistema lagunar de San Rafael

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	MACROHÁBIT AT	MESOHÁBIT AT	MICROHÁBITAT
Anatidae	<i>Anas andium</i>		X	X
	<i>Anas geórgica</i>			X
	<i>Anas discors</i>		X	X
	<i>Oxyura jamaicensis</i>			X
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>			X
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	X	X	X
Charadriidae	<i>Vanellus resplendens</i>	X	X	
Scolopacidae	<i>Gallinago nobilis</i>		X	
	<i>Calidris bairdii</i>			X
	<i>Calidris melanotos</i>			X
Strigidae	<i>Asio flammeus</i>	X	X	
Apodidae	<i>Streptoprocne zonaris</i>	X		
Trochillidae	<i>Eriocnemis mosquera</i>	X	X	
Falconidae	<i>Caracara cheriway</i>	X	X	X
	<i>Phalcoboenus carunculatus</i>	X		X
Psittacidae	<i>Leptosittaca branickii</i>	X	X	
Grallariidae	<i>Grallaria rufula</i>	X	X	
	<i>Grallaria quitensis</i>	X		
Furnariidae	<i>Hellmayrea gularis</i>	X		
	<i>Asthenes fuliginosa</i>	X		
Tyrannidae	<i>Ochthoeca fumicolor</i>	X		
Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	X		
Troglodytidae	<i>Cistothorus platensis</i>		X	
Turdidae	<i>Turdus fuscater</i>	X	X	
Thraupidae	<i>Anisognathus igniventris</i>	X		
	<i>Diglossa lafresnayii</i>	X		
	<i>Diglossa humeralis</i>	X	X	
	<i>Catamenia homochroa</i>	X		
Emberizidae	<i>Atlapetes pallidinuca</i>	X		
Parulidae	<i>Myioborus ornatus</i>	X		

Anexo 7. Prueba de similitud de Jaccard para el registro histórico y actual de aves



Poco intervenido (Registro histórico), Intervenido (Registro actual)

Anexo 8. Significancias de la prueba de correlación de Spearman entre las variables ecológicas y la actividad antrópica ( $p < 0,05$ ) y Matriz de Correlación

	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
<b>actividad antrópica</b>	1		5
número de aves en sistema lagunar	,900(*)	0,037	5
número de aves acuáticas estrictas	0,667	0,219	5
número de aves acuáticas no estrictas	0	1	5
número de aves terrestres	0,872	0,054	5
número de aves residentes y migratorias	,900(*)	0,037	5
número de aves migratorias	,975(**)	0,005	5
número de aves generalistas	0,6	0,285	5
número de aves omnívoras	0,707	0,182	5
número de aves piscívoras	0,866	0,058	5
número de aves carnívoras	-0,354	0,559	5
número de aves herbívoras de buceo	0,205	0,741	5
número de aves granívoras	0,447	0,45	5
número de aves insectívoras	0,41	0,493	5
número total de especies	,900(*)	0,037	5
número de aves en amenaza	0,354	0,559	5



### Matriz de correlación

actividad antrópica	número de aves en sistema lagunar	número de aves acuáticas estrictas	número de aves acuáticas no estrictas	número de aves terrestres	número de aves residentes y migratorias	número de aves migratorias	número de aves generalistas	número de aves omnívoras	número de aves piscívoras	número de aves carnívoras	número de aves herbívoras de buceo	número de aves granívoras	número de aves insectívoras	número total de especies	número de aves en amenaza	
actividad antrópica	1	,900(*)	0,667	0	0,872	,900(*)	,975(**)	0,6	0,707	0,866	-0,354	0,205	0,447	0,41	,900(*)	0,354
número de aves en sistema lagunar	,900(*)	1	0,821	0,289	,975(**)	0,8	,975(**)	0,7	0,707	0,866	-0,354	0,359	0,447	0,667	0,8	0,707
número de aves acuáticas estrictas	0,667	0,821	1	0,444	,921(*)	0,821	0,763	0,462	0,725	0,74	0,181	0,816	0,229	,921(*)	0,821	0,725
número de aves acuáticas no estrictas	0	0,289	0,444	1	0,296	0	0,148	-0,289	0,612	-0,167	0,408	0,296	0,645	0,74	0	0,408
número de aves terrestres	0,872	,975(**)	,921(*)	0,296	1	0,872	,947(*)	0,667	0,725	,889(*)	-0,181	0,553	0,344	0,763	0,872	0,725
número de aves residentes y migratorias	,900(*)	0,8	0,821	0	0,872	1	0,872	0,5	0,707	0,866	0	0,564	0,224	0,564	1,000(**)	0,354
número de aves migratorias	,975(**)	,975(**)	0,763	0,148	,947(*)	0,872	1	0,667	0,725	,889(*)	-0,363	0,289	0,459	0,553	0,872	0,544
número de aves generalistas	0,6	0,7	0,462	-0,289	0,667	0,5	0,667	1	0	0,866	-0,707	0,205	-0,224	0,205	0,5	0,707
número de aves omnívoras	0,707	0,707	0,725	0,612	0,725	0,707	0,725	0	1	0,408	0,25	0,363	0,791	0,725	0,707	0,25
número de aves piscívoras	0,866	0,866	0,74	-0,167	,889(*)	0,866	,889(*)	0,866	0,408	1	-0,408	0,444	0	0,444	0,866	0,612
número de aves carnívoras	-0,354	-0,354	0,181	0,408	-0,181	0	-0,363	-0,707	0,25	-0,408	1	0,544	0	0,363	0	-0,25
número de aves herbívoras de buceo	0,205	0,359	0,816	0,296	0,553	0,564	0,289	0,205	0,363	0,444	0,544	1	-0,229	0,789	0,564	0,544
número de aves granívoras	0,447	0,447	0,229	0,645	0,344	0,224	0,459	-0,224	0,791	0	0	-0,229	1	0,344	0,224	0
número de aves insectívoras	0,41	0,667	,921(*)	0,74	0,763	0,564	0,553	0,205	0,725	0,444	0,363	0,789	0,344	1	0,564	0,725
número total de especies	,900(*)	0,8	0,821	0	0,872	1,000(**)	0,872	0,5	0,707	0,866	0	0,564	0,224	0,564	1	0,354
número de aves en amenaza	0,354	0,707	0,725	0,408	0,725	0,354	0,544	0,707	0,25	0,612	-0,25	0,544	0	0,725	0,354	1

Anexo 9. Cálculo del Índice de Integridad Biótica

Variable	Valor histórico	Valor observado	valor al sitio de referencia	valor por cada variable
Riqueza de especies	29	30	10	10,34482759
# de especies residentes y migratorias que componen el sistema lagunar	19	25	10	13,15789474
# de especies residentes del sistema lagunar	25	27	10	10,8
# de especies migratorias	4	3	10	7,5
# de especies de aves acuáticas estrictas	5	9	10	18
# de especies de aves acuáticas no estrictas	1	1	10	10
# de especies de aves terrestres	23	21	1	0,913043478
# de especies bajo categoría de amenaza	1	3	10	30
# de especies generalistas o tolerantes	3	13	1	4,333333333
# de especies de aves omnívoras	1	0	1	0
# de especies de aves piscívoras	1	1	10	10
# de especies de aves que se alimentan de animales (carnívoro)	1	2	10	20
# de especies de aves herbívoras bentónicas o de buceo	2	3	1	1,5
# de especies de aves granívoras	2	1	1	0,5
# de especies de aves insectívoras	9	7	10	7,777777778
			Sumatoria	144,8268769
			Valor IBI	96,55125127

Anexo 10. Listado de plantas de la zona litoral de la laguna de San Rafael

<b>N°</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>
1	Poaceae	<i>Calamagrostis effusa</i>
2	Poaceae	<i>Bromus catharticus</i>
3	Cyperaceae	<i>Carex jamesonii</i>
4	Isoetaceae	<i>Isoetes killipii</i>
5	Ranunculaceae	<i>Ranunculus nubigenus</i>
6	Equisetaceae	<i>Equisetum bogotense</i>
7	Plantaginaceae	<i>Callitriche</i> sp.
8	Rosaceae	<i>Lachemilla paludicola</i>
9	Cyperaceae	<i>Carex bonplandii</i>
10	Haloragaceae	<i>Myriophyllum quitense</i>
11	Xyridaceae	<i>Xyris</i> sp.
12	Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i>
13	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton paramoanus</i>
14	Orobanchaceae	<i>Bartsia</i> sp.
15	Myrtaceae	<i>Myrteola nummularia</i>
16	Blechnaceae	<i>Blechnum loxense</i>
17	Hypericaceae	<i>Hypericum laricifolium</i>
18	Juncaceae	<i>Juncus stipulatus</i>
19	Gunneraceae	<i>Gunnera magellanica</i>
20	Asteraceae	<i>Hieracium frigidum</i>
21	Asteraceae	<i>Bidens andicola</i>
22	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i> sp.
23		Sp 1

Fotos de algunas de las especies reportadas en el estudio.



*Blechnum loxense*



*Potamogeton paramoanus*



*Ranunculus nubigenus*



*Myrteola nummularia*



*Isoetes killipii*



*Myriophyllum quitense*



*Hypericum laricifolium*



*Juncus stipulatus*



*Carex jamesonii*



*Equisetum bogotense*

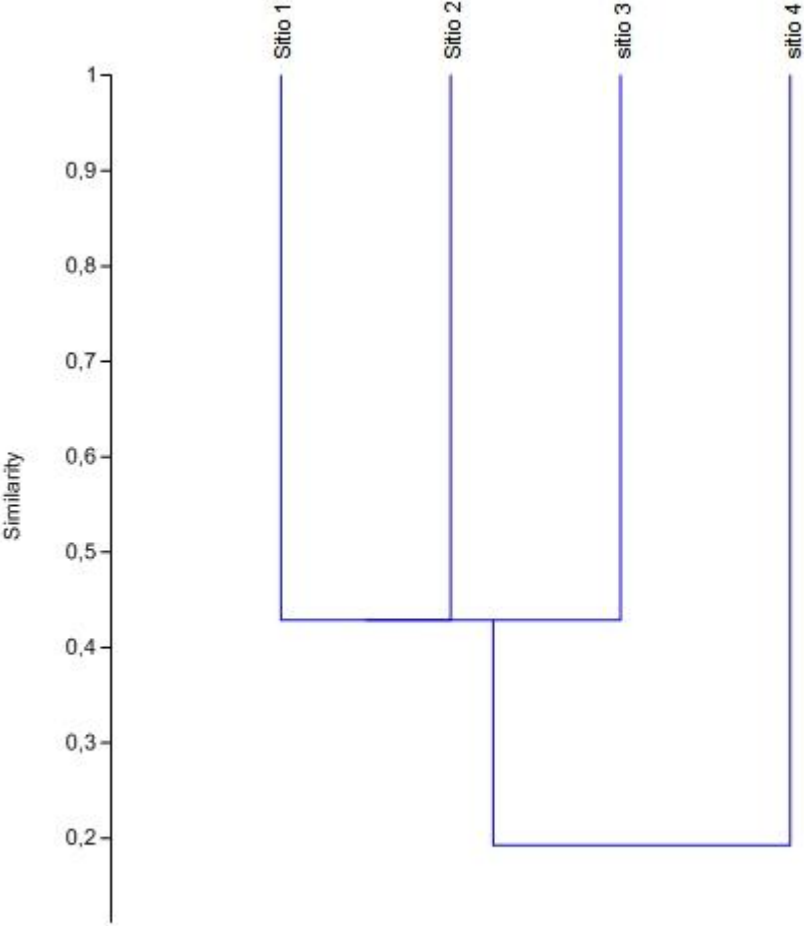


*Lachemilla paludicola*



*Plantago australis*

Anexo 11. Prueba de similitud de Jaccard entre sitios de muestreo para vegetación

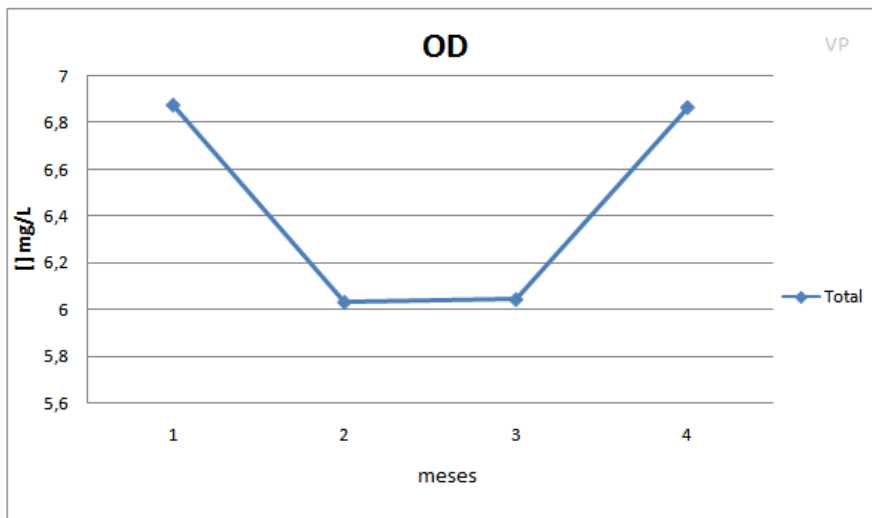
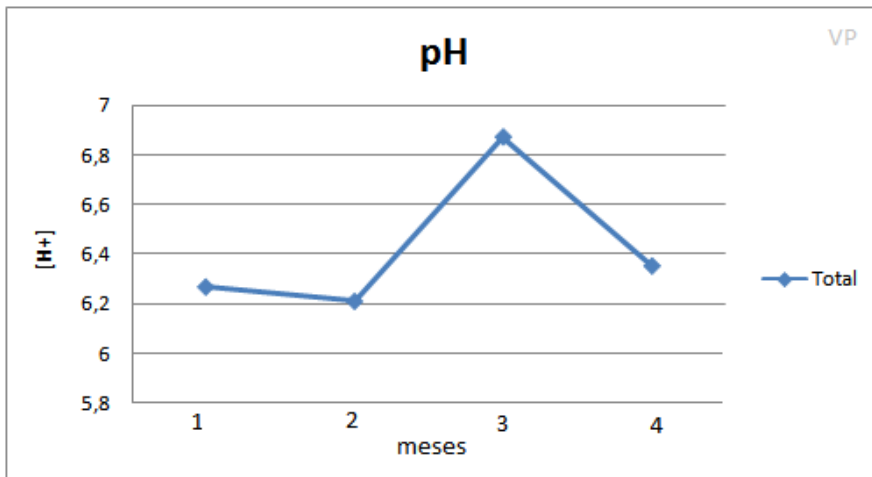


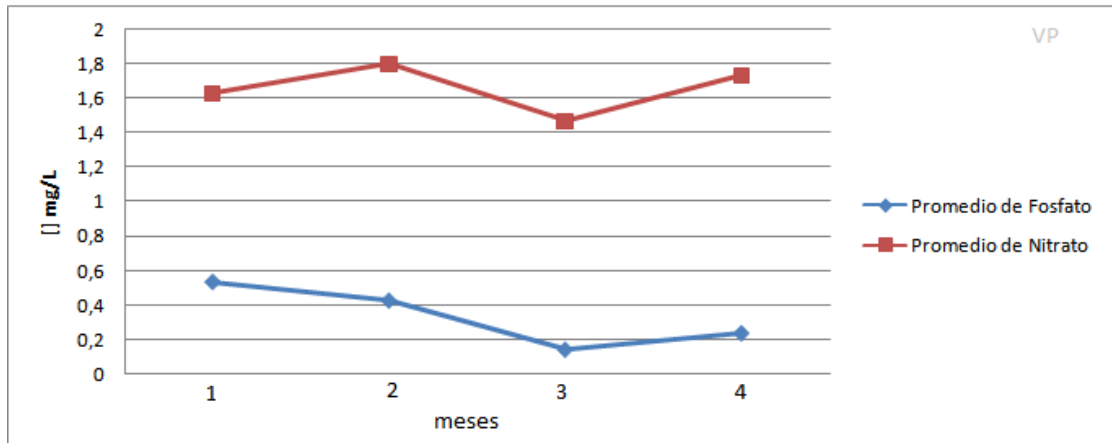
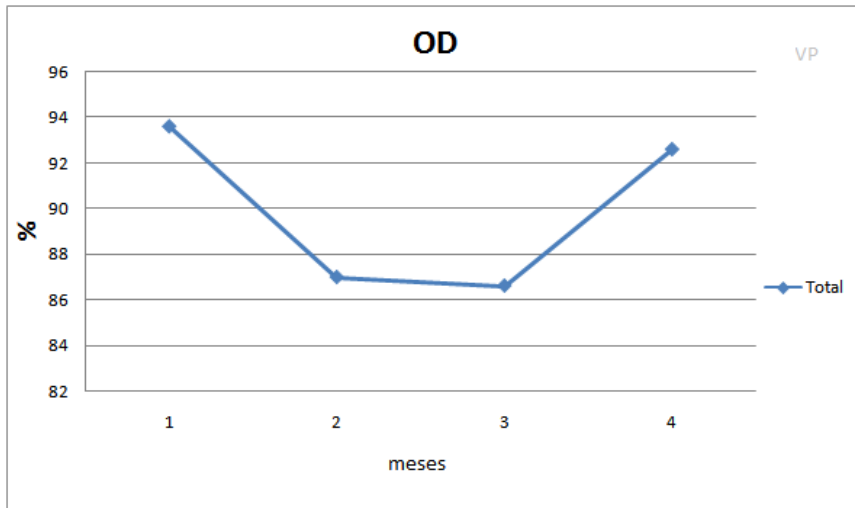
Anexo 12. Listado de especies vegetales por puntos de muestreo.

N°	Familia	Nombre científico	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
1	Poaceae	<i>Calamagrostis effusa</i>			x	x
2	Poaceae	<i>Bromus catharticus</i>		x	x	
3	Cyperaceae	<i>Carex jamesonii</i>	x	x	x	x
4	Isoetaceae	<i>Isoetes killipii</i>		x	x	x
5	Ranunculaceae	<i>Ranunculus nubigenus</i>	x		x	
6	Equisetaceae	<i>Equisetum bogotense</i>	x	x		
7	Plantaginaceae	<i>Callitriche</i> sp.	x	x	x	
8	Rosaceae	<i>Lachemilla paludicola</i>	x	x	x	
9	Cyperaceae	<i>Carex bonplandii</i>	x	x	x	
10	Haloragaceae	<i>Myriophyllum quitense</i>		x		X
11	Xyridaceae	<i>Xyris</i> sp.	x		x	
12	Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i>		x		
13	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton paramoanus</i>		x		X
14	Orobanchaceae	<i>Bartsia</i> sp.		x		
15	Myrtaceae	<i>Myrteola nummularia</i>			x	
16	Blechnaceae	<i>Blechnum loxense</i>		x		X
17	Hypericaceae	<i>Hypericum laricifolium</i>		x		X
18	Juncaceae	<i>Juncus stipulatus</i>	x			X
19	Gunneraceae	<i>Gunnera magellanica</i>	x	x	x	
20	Asteraceae	<i>Hieracium frigidum</i>		x		
21	Asteraceae	<i>Bidens andicola</i>	x	x	x	
22	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i> sp.	x	x	x	
23		Sp 1	x	x		
<b>Total especies</b>			12	18	13	8



Anexo 13. Variación mensual de algunos parámetros físico-químicos





Anexo 14. Valores promedio de físico-química de la superficie de la laguna de San Rafael.

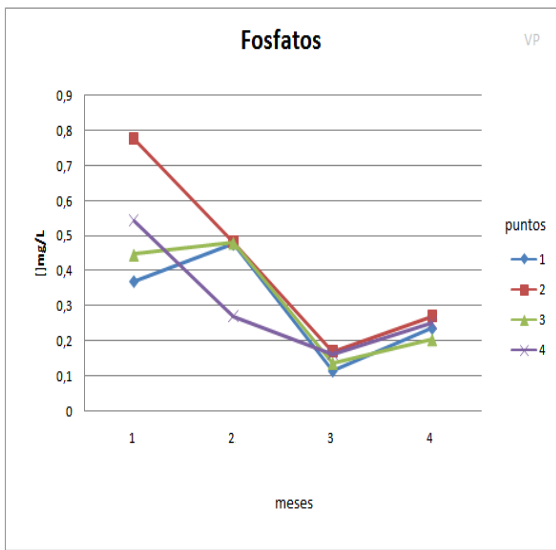
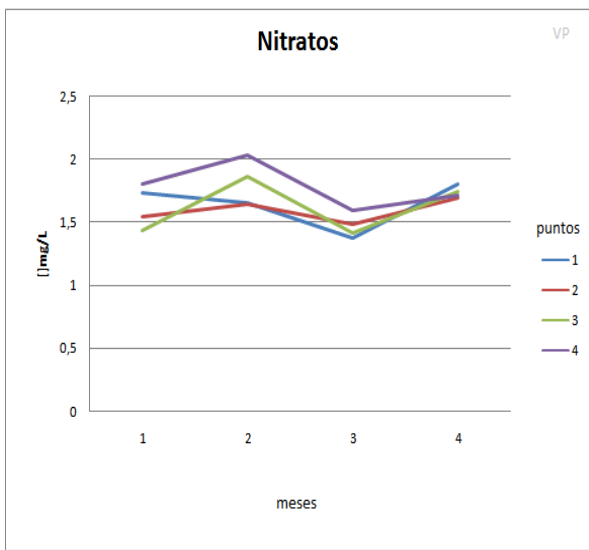
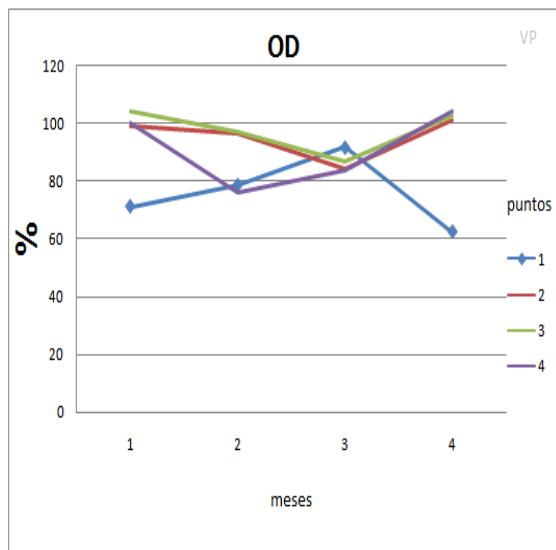
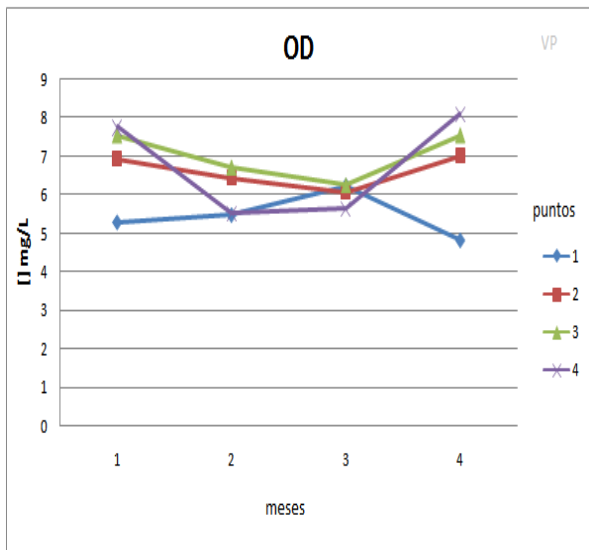
Meses	Puntos	pH [H+]	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	TDS (mg/L)	Salinidad (ppt)	OD (%)	OD (mg/L)	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)
Febrero (1)	1	5,99	10,6	24,8	11,6	0,03	71,3	5,28	0,098	0,042	1,74	0,37
	2	6,768	10,3	12,804	5,928	0	99,2	6,93	0,074	0,024	1,55	0,776
	3	5,512	9,9	19,744	9,472	0,01	104	7,53	0,098	0,032	1,44	0,446
	4	6,808	9,3	28,398	13,146	0,01	99,8	7,75	0,072	0,03	1,806	0,542
Marzo (2)	1	6,456	13,504	23,736	11,604	0,01	78,746	5,47	0,032	0,04	1,66	0,476
	2	6,422	15,2	13,594	6,52	0,01	96,388	6,454	0,03	0,036	1,652	0,482
	3	5,922	13,76	6,37	2,778	0,002	96,74	6,702	0,036	0,036	1,862	0,48
	4	6,048	11,632	16,81	7,88	0,006	76,074	5,506	0,032	0,034	2,034	0,27
Abril (3)	1	6,636	15,528	17,22	8,086	0,018	91,754	6,238	0,044	0,038	1,38	0,114
	2	6,892	11,714	23,998	11,218	0,012	84,258	6,074	0,048	0,04	1,486	0,17
	3	6,65	12,404	14,356	6,742	0,002	86,576	6,244	0,068	0,036	1,418	0,136
	4	7,31	19,54	25,654	12,91	0,022	83,854	5,622	0,058	0,038	1,594	0,162
Agosto (4)	1	6,17	9,71	19,8	9,518	0,01	62,484	4,81	0,116	0,048	1,806	0,236
	2	6,626	8,45	8,252	4,176	0	101,19	7,016	0,058	0,05	1,698	0,27
	3	6,156	8,66	15,112	7,436	0,01	102,52	7,534	0,038	0,042	1,74	0,204
	4	6,464	8,78	11,444	5,388	0	104,106	8,09	0,044	0,042	1,714	0,25

Anexo 15. Relación de Plantas y físico-química de la laguna de San Rafael, mediante la prueba de U de Mann Whitney

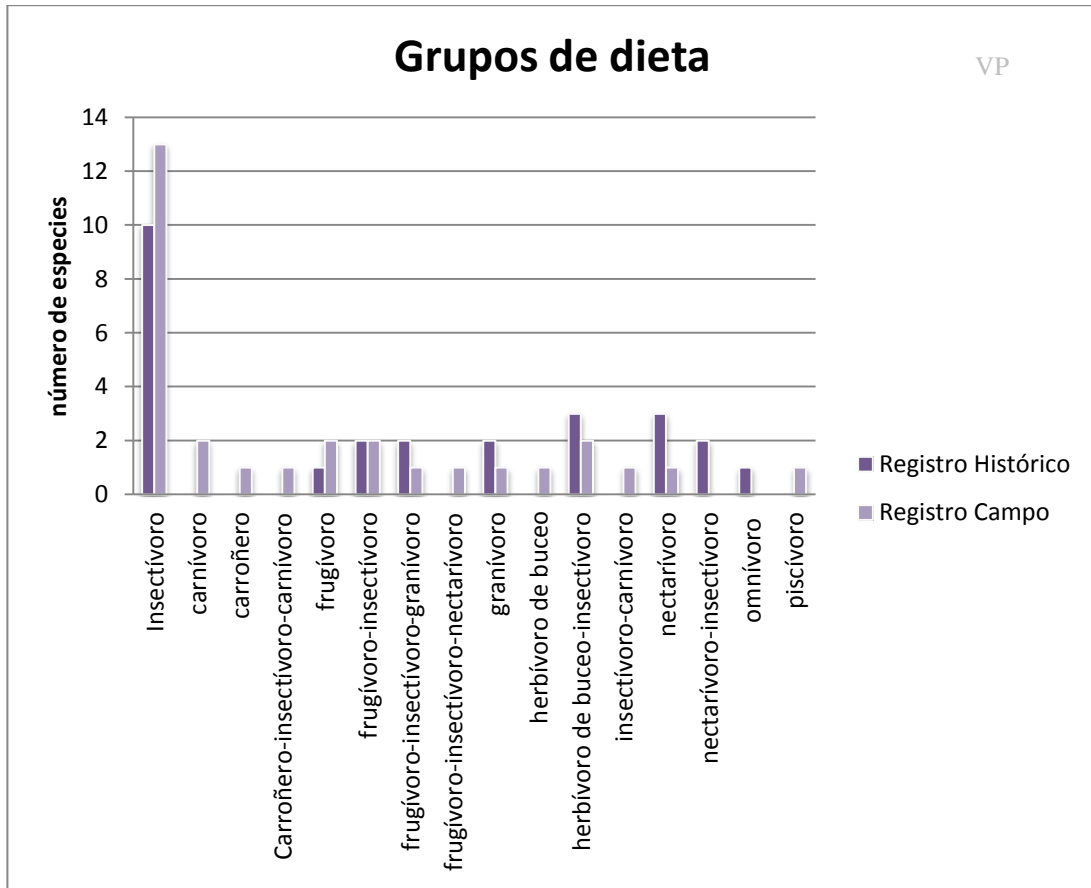
Espece	Conductivida d (µS/cm)	Temperatur a (°C)	TDS (mg/L)	Salinida d (ppt)	Oxigen o disuelto (%)	Oxigen o disuelto (mg/L)	pH [H+]	Amoni o NH4+ (mg/L)	Nitrito NO2- (mg/L)	Nitrat o NO3 (mg/L)	Fosfat o PO4 (mg/L)
<i>Calamagrostis effusa</i>	,933(a)	,866(a)	1,000(a)	,553(a)	,553(a)	,553(a)	,866(a)	,553(a)	,866(a)	,735(a)	,142(a)
<i>Bromus catharticus</i>	,008(a)	,024(a)	,011(a)	,005(a)	,115(a)	,699(a)	,241(a)	,757(a)	,351(a)	,067(a)	,006(a)
<i>Carex jamesonii</i>	,343(a)	,851(a)	,427(a)	,792(a)	,910(a)	,624(a)	,792(a)	,678(a)	,792(a)	,343(a)	,098(a)
<i>Isoetes killipii</i>	,734(a)	,970(a)	,734(a)	,384(a)	,678(a)	,734(a)	,039(a)	,427(a)	,970(a)	,910(a)	,384(a)
<i>Ranunculus nubigenus</i>	,750(a)	,682(a)	,892(a)	,494(a)	,335(a)	,750(a)	,178(a)	,682(a)	,554(a)	,682(a)	,178(a)
<i>Equisetum bogotense</i>	,718(a)	,779(a)	,841(a)	,239(a)	,718(a)	,239(a)	1,000(a)	,904(a)	,312(a)	,904(a)	,444(a)
<i>Callitriche sp.</i>	,023(a)	,063(a)	,035(a)	,853(a)	,315(a)	,579(a)	,003(a)	,796(a)	,353(a)	,436(a)	,739(a)
<i>Lachemilla paludicola</i>	,456(a)	,603(a)	,552(a)	,824(a)	,656(a)	,230(a)	,112(a)	,080(a)	,261(a)	,456(a)	,331(a)
<i>Carex bonplandii</i>	,063(a)	,247(a)	,105(a)	,529(a)	,529(a)	,912(a)	,579(a)	,684(a)	,739(a)	,739(a)	,052(a)
<i>Myriophyllum quitense</i>	,912(a)	,853(a)	,853(a)	,190(a)	,280(a)	,353(a)	,000(a)	,043(a)	,280(a)	,315(a)	,063(a)
<i>Xyris sp.</i>	,672(a)	,933(a)	,800(a)	,553(a)	,553(a)	,735(a)	,053(a)	,349(a)	,866(a)	,395(a)	,553(a)
<i>Plantago australis</i>	,039(a)	,290(a)	,050(a)	,099(a)	,249(a)	,892(a)	,148(a)	,820(a)	,335(a)	,249(a)	,001(a)
<i>Potamogeton paramoanus</i>	1,000(a)	,497(a)	1,000(a)	,445(a)	,866(a)	1,000(a)	,053(a)	,098(a)	,933(a)	,800(a)	,553(a)
<i>Bartsia sp.</i>	,216(a)	,765(a)	,258(a)	,216(a)	,479(a)	,921(a)	,093(a)	,546(a)	,842(a)	,479(a)	,007(a)
<i>Myrteola nummularia</i>	,146(a)	,054(a)	,146(a)	,258(a)	,216(a)	,305(a)	,146(a)	1,000(a)	,479(a)	,689(a)	,616(a)
<i>Blechnum loxense</i>	,904(a)	,968(a)	,841(a)	,547(a)	,353(a)	,353(a)	,009(a)	,718(a)	,312(a)	,109(a)	,397(a)
<i>Hypericum laricifolium</i>	,892(a)	,820(a)	,750(a)	,249(a)	,554(a)	,335(a)	,064(a)	,554(a)	,178(a)	,148(a)	,494(a)
<i>Juncus stipulatus</i>	,026(a)	,015(a)	,062(a)	,239(a)	,494(a)	,779(a)	,109(a)	,353(a)	,353(a)	,006(a)	,274(a)

									)		
<i>Gunnera magellanica</i>	,247(a)	,218(a)	,353(a)	,853(a)	,684(a)	,971(a)	,218(a)	,353(a)	,218(a)	,853(a)	,684(a)
<i>Hieracium frigidum</i>	,019(a)	,179(a)	,019(a)	,216(a)	,146(a)	,546(a)	,546(a)	,546(a)	,118(a)	,479(a)	,002(a)
<i>Bidens andicola</i>	,766(a)	,412(a)	,656(a)	,882(a)	,824(a)	,603(a)	,295(a)	,095(a)	,824(a)	,046(a)	,941(a)
<i>Ranunculus</i> sp.	,190(a)	,052(a)	,123(a)	,853(a)	,436(a)	,912(a)	,015(a)	,353(a)	,579(a)	,009(a)	,739(a)
sp 1	,792(a)	,851(a)	,678(a)	,305(a)	,343(a)	,039(a)	1,000(a)	,427(a)	,384(a)	,343(a)	,571(a)

Anexo 16. Variación mensual de los parámetros físico-químicos por cada punto de muestreo.

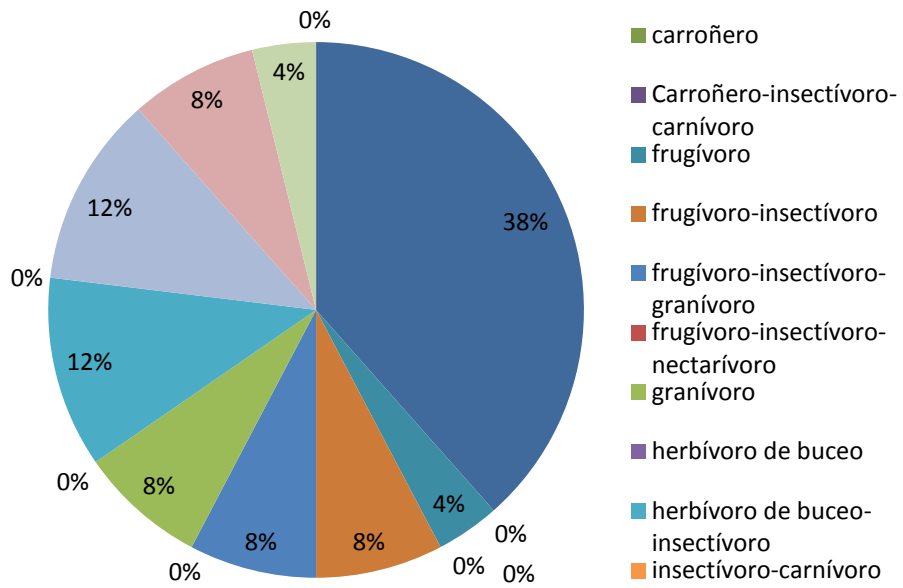


Anexo 17. Grupos de dieta en el registro histórico y actual de aves



VP

## Registro histórico





## Registro Campo

