FISICOQUIMICA Y CAMBIOS ESPACIO TEMPORALES EN EL ESPEJO DE AGUA PARA LA LAGUNA DE SONSO

Apolinar Figueroa Casas PhD.[1]

INTRODUCCIÓN

La biota de los ecosistemas acuáticos, se han adaptado a las condiciones físicas y químicas de este medio y su conservación y desarrollo dependen directamente de las condiciones de sostenibilidad de los ecosistemas que los rodea. En ocasiones, por procesos que se desarrollan por actividades humanas, alteran las características normales del agua y se sobrepasa el umbral tolerable para muchos organismos acuáticos, generándose alteraciones en los hábitat y el nicho de los organismos que los habitan afectando sus cadenas tróficas.

En el sector de la laguna de Sonso esta se encuentra rodeada de actividades agrícolas y urbanas, las cuales se han desarrollado durante los últimos treinta años, lo cual ha determinado y afectado su desarrollo ambiental y su sostenibilidad, siendo una preocupación las condiciones ecológicas y ambientales en que se encuentra. Dicha condición a determinado que los efluentes de las zonas urbanas sean vertidos a cauces que terminan avenando a la laguna, situación que se hace critica cuando en sus alrededores las actividades agrícolas intensivas en el cultivo de la caña vierten a las aguas residuos químicos orgánicos sintéticos, pesticidas y componentes inorgánicos, que alteran y determinan las condiciones fisicoquímicas de sus aguas.

El desarrollo agrícola en el Valle del Cauca y el crecimiento de la población, han incrementado las necesidades de agua y cada vez con mejor y mayor calidad. A su vez, los requerimientos han emergido principalmente para agua potable e higiene personal, piscicultura, agricultura (irrigación), abastecimiento de energía eléctrica y actividades de recreación, la mayor parte de la demanda se da más en términos de cantidad para irrigación en agricultura y de calidad para consumo humano, siendo critica cada vez más la confrontación por uso del agua para consumo humano y para procesos agrícolas. Los suministros de agua potable y las manufacturas industriales especializadas ejercen la más sofisticada demanda sobre la calidad del agua, pero sus necesidades cuantitativas son relativamente moderadas. En paralelo con estos usos, las aguas han sido consideradas como el mejor medio para limpiar, dispersar, transportar y disponer los residuos de las actividades humanas.

Debido a estos usos, el impacto antropogénico sobre la calidad del agua a escala regional y global ha ido aumentando progresivamente haciendo de los reservorios

[1] Profesor Titular departamento de Biología Universidad del Cauca, Director Grupo de Estudios Ambientales (GEA)

naturales un activo ambiental de gran importancia para la sostenibilidad de la vida y el desarrollo regional. Esta característica hace de la laguna de Sonso un ecosistema de trascendencia, su localización y función como reservorio natural para el desarrollo de la fauna, como reguladora en los periodos invernales y quizás lo más trascendente su utilidad relictual, siendo quizá el ultimo sistema lagunar de un conjunto de ecosistemas asociados al rio Cauca hoy desaparecidos que han cumplido y cumplen la función biológica de regular la biota y los ciclos de crecientes y biogeoquimicos en la Cuenca del Rio Cauca en el valle del cauca

La Laguna de Sonso o del Chircal esta ubicada sobre la margen derecha del río Cauca, entre los municipios de Buga, Yotoco y Guacarí, en el centro del departamento del Valle, a escasos 7 kilómetros de Buga. Su principal fuente aportante son las aguas del río Cauca en invierno y en menor proporción de algunos afluentes de los ríos Guadalajara y Sonso . La reserva constituye un sistema de regulación natural del Río Cauca y es utilizada como medio de subsistencia para pescadores artesanales de bocachico y tilapia

En el Valle del Cauca el uso de fertilizantes y pesticidas en la agricultura está contribuyendo a la contaminación de La Laguna de Sonso o del Chircal tanto por la intensidad de su uso como por las condiciones agro climatológicas de la región, aunado a esto, la reducción de cobertura vegetal en el valle del rio cauca ha llevado a un incremento de sedimentos en las corrientes de agua, afectando sus características físicas y biológicas.

Los humedales cumplen una serie de funciones ambientales (regulación, abastecimiento, de irrigación, de producción de conservación, de depuración entre otras), las cuales solo ocurren en este ambiente, así que estas se perderían si se destruye el humedal. Pocos humedales realizan todas las funciones puesto que dependen de sus características biológicas y físicas particulares. Los grandes humedales como el de Sonso tienen funciones valiosas y constituye junto con ambientes vecinos ubicados a lado y lado y a lo largo del río Cauca un corredor biológico que debe ser conservado y recuperado.

Este ecosistema es poco profundo se localiza a baja altitud y las zonas inundables, actúan como reguladores de los regímenes hidrológicos de las áreas tributarias específicamente del rio Cauca, cumpliendo funciones como hábitat de flora y fauna, siendo fuente de recursos pesqueros con valor económico y trascendencia social para la estabilidad de las comunidades humanas del sector.

Los servicios que ofrece este humedal se pueden resumir en tres grandes categorías: suministro de agua para diferentes usos, suministro de biomasa y

suministro de beneficios no extractivos como la recreación y el transporte y la conservacion.[2],[3] además, este ecosistema constituyen un referente cultural.
Las actividades humanas han sido un elemento integral del funcionamiento ecológico de los humedales Vallecaucanos, por lo cual su gestión debe estar orientada a mantener los procesos ecológicos esenciales y los hábitats así como la relación entre las comunidades y el ambiente natural.

Hasta la fecha, pocos análisis económicos se han elaborado de los humedales tropicales Sin embargo, los últimos estudios en todas las regiones en desarrollo han sugerido que estos ecosistemas bien sean continentales o costeros, tienen un papel crucial que desempeñar en el desarrollo económico de las regiones donde se encuentran (Barbier 1993)[4].

Estos sistemas, ya sean naturales o hechos por el hombre, se caracterizan por tres conceptos: su caudal, las corrientes, y la organización de sus caudales y flujos. Estas características del sistema tienen conceptos en paralelo con la ecología de los componentes y sus estructuras, con el medio ambiente sus funciones y la diversidad, y finalmente con la economía por los bienes, servicios y atributos que ofrece a las comunidades

Es por lo tanto vital que se reconozcan las relaciones entre los humedales y la supervivencia de las tradiciones económicas, históricas y los valores culturales de las comunidades que dependen de ellos para su supervivencia, generalmente las campesinas o rurales que en principio tienden a vivir en equilibrio con la naturaleza y a menudo con prácticas de manejo tradicional, aunque puede haber excepciones, mas sin embargo históricamente las comunidades y sus tradiciones han contribuido a la existencia de estas áreas para su conservación, mas en los procesos de producción agrícola intensiva, estas condiciones ya no se dan y los tensores e impactos sobre el sistema natural se incrementan,

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO Y VARIABILIDAD DEL ESPEJO DE AGUA

También conocida como laguna del Chircal, está ubicada sobre la margen oriental del río Cauca, en el departamento del Valle del Cauca. Es el humedal de mayor tamaño del sistema Cauca, en su parte alta, y es uno de los sitios más importantes a nivel regional para observar aves, realizar educación ambiental, recreación e investigación.

---

[2] A. Ramírez, G. Viña. *Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis.* Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano-BP Exploration Company (Colombia) Ltda. 1998. pp. 131.
[3] S. Asprilla, J. J. Ramírez, G. Roldán. "Caracterización limnológica de la ciénaga de Jotaudó (Chocó-Colombia)". *Revista actualidades Biológicas.* Vol. 20. 1998. pp. 87-107.
[4] Barbier, Edward B. 1993. "Valuing Tropical Wetland Benefits: Economic Methodologies and Applications. " ***Geographical Journal,*** Part 1, 59 (Mar.):22-32.

A través del tiempo la laguna de Sonso ha sufrido alteraciones generadas por el desarrollo de infraestructura siendo la más importante la construcción de la carretera Buga – Buenaventura, lo cual condujo al taponamiento del Caño Carlina escindiéndose así el flujo natural de agua hacia el Río Cauca y la demanda de tierras para la ampliación de la frontera agrícola. Con el fin de permitir la comunicación del río Cauca con la laguna y aminorar el impacto por la alteración de sus condiciones hidráulicas se construyó el Caño Nuevo, localizado un poco más al sur del antiguo Caño Carlina. Actualmente Caño Nuevo es la única conexión entre el río Cauca y la laguna de Sonso de esta forma la dinámica laguna - río Cauca se limita a los flujos y reflujos a través de él, sin embargo la baja pluviosidad y la fuerte evapotranspiración ocasionada por el buchón de agua juega un papel importante en la consolidación del espejo de agua en la laguna. En la figura XX adjunta se presentan los datos de precipitación promedia de 30 días en base a TRMM[5] que nos muestra los valores diarios promedios de precipitación para el área circundante a Sonso presentando valores que están entre 7,5mm/d y 10mm/d

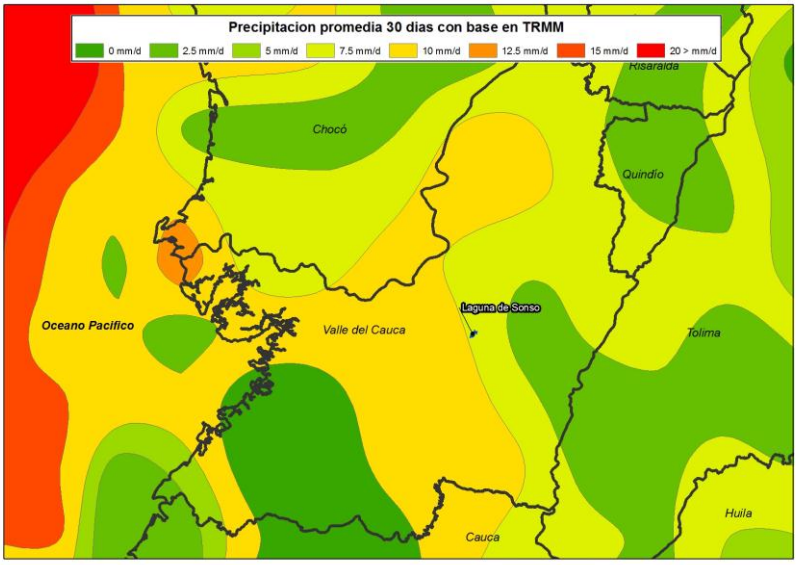


Figura XX precipitación promedio de 30 días con base en TRMM

El área está cubierta principalmente por hábitats lacustres rodeados de potreros y terrenos dedicados a la agricultura y ganadería. Esta laguna mantiene poblaciones importantes de aves acuáticas. (BirdLife International 2006 Fichas de especies para migratorias neotropicales en las IBAs: *Reserva Natural Laguna de Sonso*.)[6]

---

[5] *Tropical Rainfall Measuring Mission* (*TRMM*) es una conjunción de exploración espacial entre la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA) diseñada para monitorear y estudiar precipitaciones tropicales y subtropicales, entre 35º N y 35º S

[6] Bird Life International (2009) Important Bird Area factsheet: Reserva Natural Laguna de Sonso, Colombia. Downloaded from the Data Zone at http://www.birdlife.org on 21/9/2009

Los parámetros físicos de la laguna de Sonso se expresan en la Tabla 1, los cuales fueron obtenidos de una imagen satelital con las siguientes características:

Sensor: Landsat ETM+
ID Imagen: LE70090572001108EDC00
Cobertura de Nubes: 39%
Calidad: 9/10
Fecha de Captura: 2001/Abril/18
Hora Inicial de Captura: 15:08:49
Hora Final de Captura: 15:09:16
Provedor: USGS

Es de aclarar que los datos de coordenadas, elevación, y variables climáticas y zona de vida son fijos y existen variaciones importantes en el espejo de agua que definen el ancho, largo y perímetro de la laguna. Todas la imágenes utilizadas son Landsat ETM+ y su proveedor es el USGS.

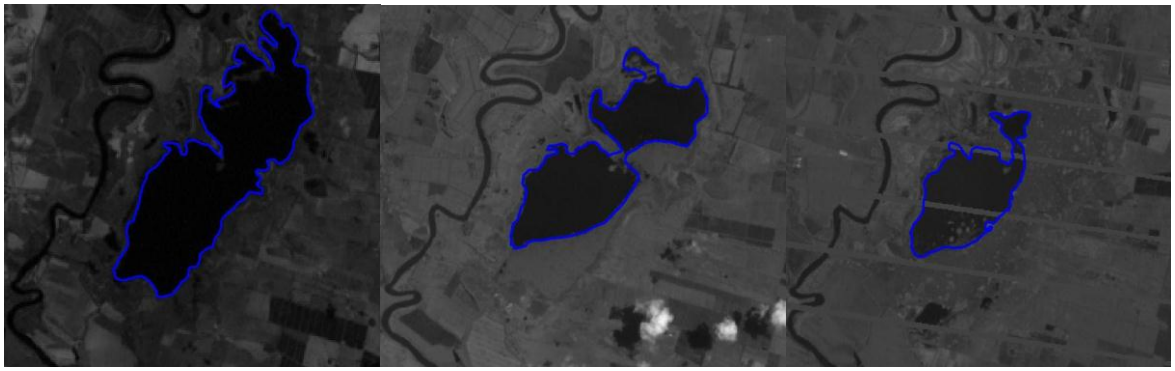
VARIABLE	**VALOR**
COORDENADAS	3° 52' N 76° 21' W
LARGO	3,964 Km
ANCHO	1,922 Km
PERIMETRO	14,64 Km
AREA DEL ESPEJO DE AGUA	3,797Km2 379,7Ha
ELEVACION	931,286 msnm
PRECIPITACION MEDIA ANUAL	1348.8 mm
TEMPERATURA MEDIA ANUAL	21 a 26
HUMEDAD REALTIVA	75%
ZONA DE VIDA	(bs-T)

Tabla 1 variables y valor de las mismas en referencia a la Laguna de Sonso

Por información secundaria se conoce que la laguna de Sonso tiene una extensión de 2045 ha, de las cuales 745 corresponden al área lagunar y las 1300 restantes al área de amortiguación (Kafury et al., 1987)7.

En este estudio se hará referencia específicamente al área que define el espejo de agua. La diferencia identificada al 2001 corresponde a 366 ha menos que al dato reportado para el espejo de agua en el año de 1987. El procesamiento de las imágenes de los años 89, 01, y 09 nos permiten ver los cambios espaciales ocurridos en la laguna de Sonso referente al espejo de agua. Esta, que es una tendencia, se podrá verificar con el análisis para el mismo mes en los diferentes años que se tienen imágenes disponibles.

[7] Kafury, O., L.F. Gómez & L. Libreros. 1987. Plan indicativo para la Reserva Natural Laguna de Sonso. Programa de Parques y Reservas, Corporación del Valle del Cauca CVC

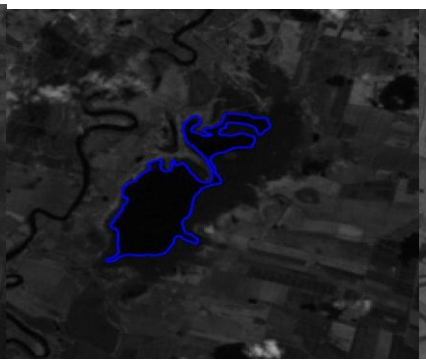
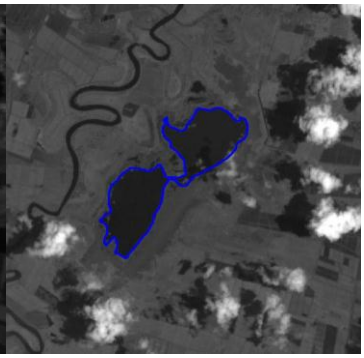


1989	2001	2009
21 de Sept. de 1989	18 de Abril de 2001	17 de Julio de 2009
PERIMETRO=	PERIMETRO=13.69 km	PERIMETRO=9.41 km
AREA=622.6 ha	AREA=379.7 ha	AREA=230.6 ha

Por el análisis de estas imágenes se puede afirmar que la reducción en el espejo de agua de la laguna de Sonso desde el año 1987 al 2009 es de 16,5% en el año 89, 49,03% en el año 2001 y 69,9% para el año 2009.

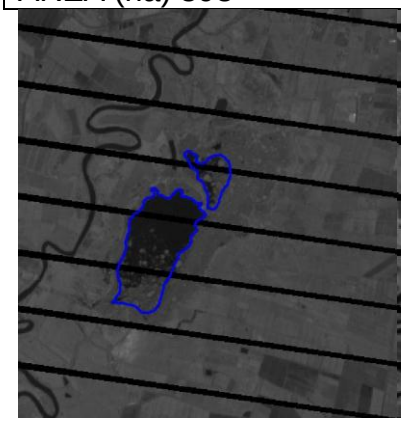
Para que la comparación y análisis de las imágenes tenga más consistencia se busca que el balance se haga por periodos de meses, agrupados según el estadio de invierno o verano en el mismo año y así aportar a los procesos de gestión ambiental y comprender los efectos de la variabilidad en el espejo de agua y de la productividad, asociándola con la mayor o menor cantidad de área cubierta por la vegetación acuática, y su relación con la disponibilidad de PO_4, NO_3, y O_2. Esta circunstancia afecta las condiciones fisicoquímicas del agua en la Laguna de Sonso, por esto se procura hacer una evaluación de las imágenes satelitales disponibles y determinar su proliferación y tendencia. A continuación se presentan algunas de las imágenes tomadas en el mes de septiembre desde el año 1986 hasta el 2008 donde se especifica el área del espejo de agua

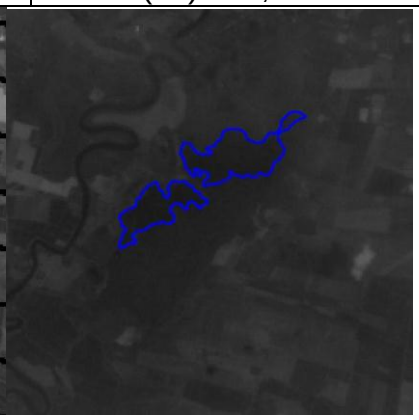
Fecha	***Perimetro (Km)***	***Area (Km2)***	***Area (Ha)***
September 8, 1986	13,97	3,988	398,8
September 21, 1989			622,6
September 6, 1997	15,39	2,694	269,4
September 25, 2001	11,97	2,896	289,6
September 4, 2005	10,11	2,4064	240,6
September 23, 2006	11,21	2,401	240,1
September 18, 2007	12,91	1,824	182,4
September 12, 2008	19,60	2,037	203,7
PROMEDIO	14,26		278,9

1986 1997 2001

Septiembre, 8. 1986	Septiembre, 6. 1997	Septiembre, 25. 2001
PERIMETRO (Km) 13,97	PERIMETRO (Km) 15,39	PERIMETRO (Km) 11,97
AREA (ha) 398	AREA (ha) 269,4	AREA (ha) 289,6

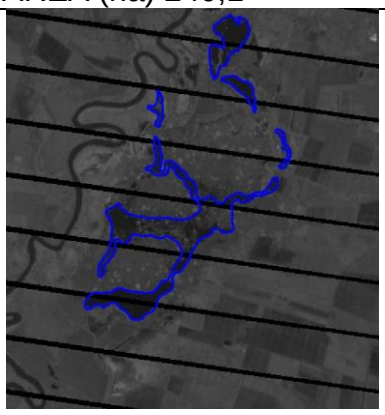




328,7

2005 2006 2007

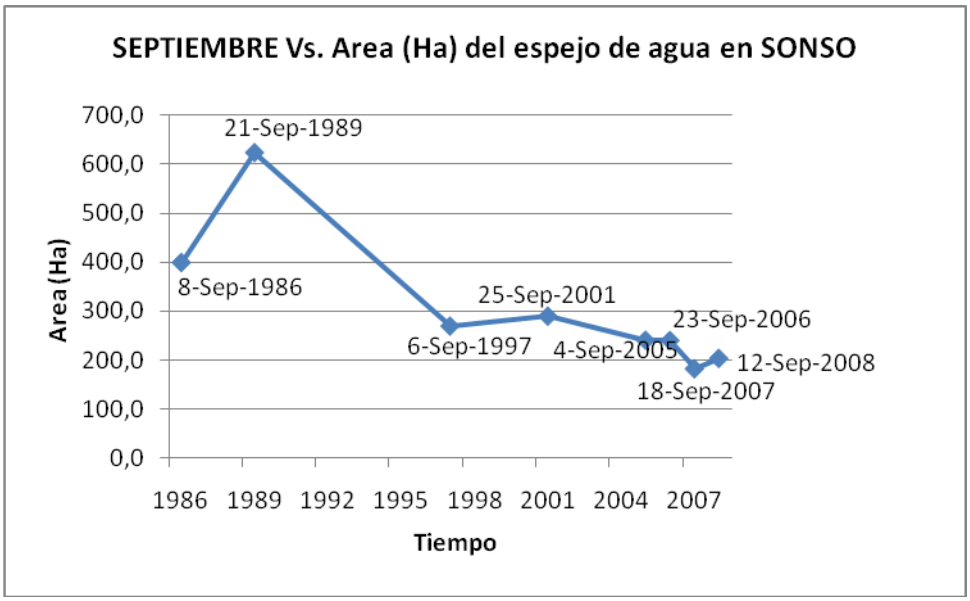
Septiembre, 4, 2005	Septiembre, 23. 2006	Septiembre, 18. 2007
PERIMETRO (Km) 10,11	PERIMETRO (Km) 11,21	PERIMETRO (Km) 12,91
AREA (ha) 240,6	AREA (ha) 240,1	AREA (ha) 182,4



2008

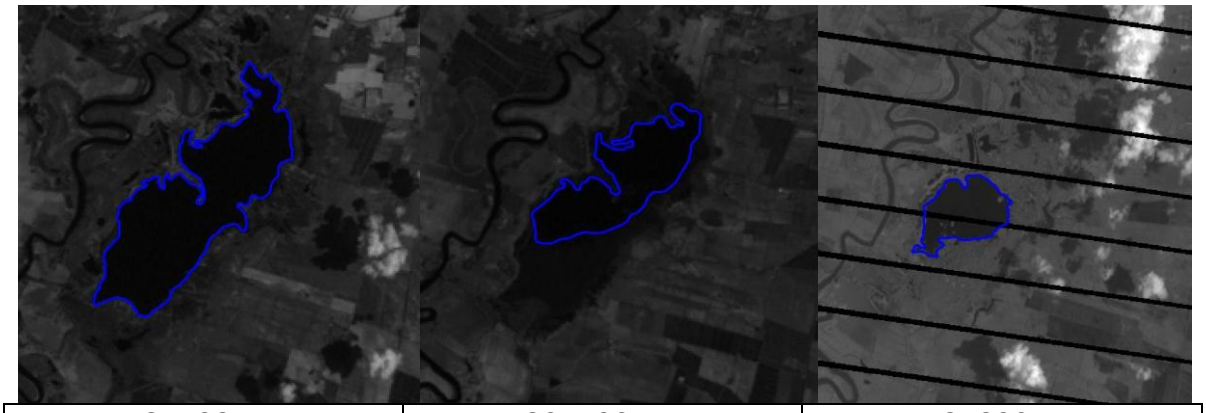
Septiembre, 12. 2008
PERIMETRO (Km) 19,60
AREA (ha) 203,7

Estas imágenes permiten ver la reducción continua que el espejo de agua a tenido pudiendo apreciar en el grafico adjunto la tendencia del proceso en la laguna de Sonso, los datos graficados aquí corresponden al mes de septiembre de los años, 86, 97, 01, 05, 06, 07, 08 esto facilita ver la variación temporal en función de la estación climática correspondiente

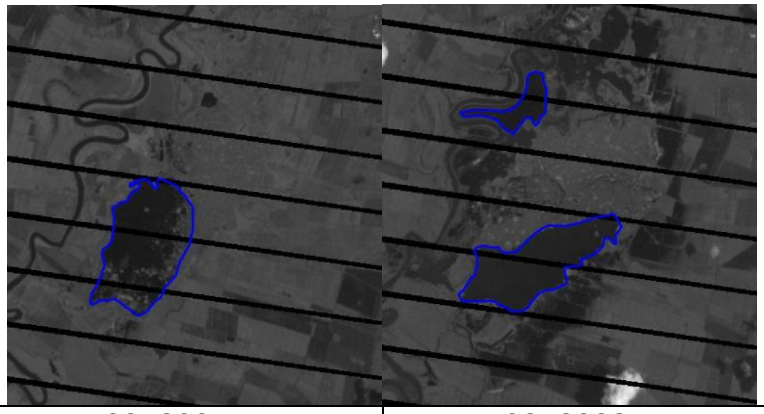


Para el mes de Marzo se presentan las imágenes de los años 85, 91, 05, 07 y 08 donde se aprecia la variabilidad del espejo de agua, como consecuencia de la ocupación de la vegetación acuática (buchón o Jacinto de agua) la cual llega a los dos tercios de la laguna y el proceso de colmatación avanzaba velozmente,

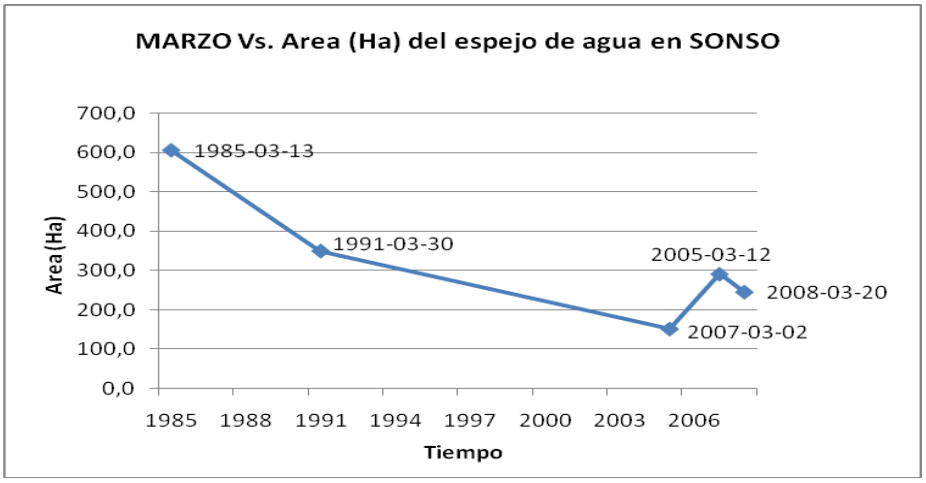
Fecha	***Perimetro (Km)***	***Area (Km2)***	***Area (Ha)***
Marzo 13 1985	18,19	6,06	606
Marzo 30 1991		3.50	350
Marzo 12 2005	6,26	1,518	151,8
Marzo 02 2007	7,79	2,91	291
Marzo 20 2008	8,24	2,455	245,5
PROMEDIO			328,7



Marzo, 13, 1985	Marzo, 30, 1991	Marzo, 12. 2005
PERIMETRO (Km) 18,19	PERIMETRO (Km) 3.50	PERIMETRO (Km) 6,26
AREA (ha) 606	AREA (ha) 350	AREA (ha) 151,8



Marzo, 02, 2007	Marzo, 08, 2008
PERIMETRO (Km) 7,79	PERIMETRO (Km) 8,24
AREA (ha) 291	AREA (ha) 245,5



Tanto para el mes de Septiembre como para Marzo lo que se observa es la disminución del espejo de agua de forma importante, condición que afecta las características fisicoquímicas de la Laguna de Sonso y la variabilidad en el espejo de agua se presenta desde un máximo de 600ha a un mínimo de 150ha. Dicha variabilidad en el espejo de agua se asocia directamente con la productividad en la laguna de las macrófitas acuáticas y su relación con la disponibilidad de nutrientes en el medio.

El ciclo de los nutrientes, es esencial para el sustento de los ecosistemas, DeAngelis (1992)[8], Costanza et al. (1997)[9], Chapin et al. (2000)[10], y puede ser definido como la transformación de estos desde una forma química a otra, y / o el flujo de los mismos entre los organismos, los hábitats o los ecosistemas, donde las bacterias y los hongos, son agentes importantes del ciclo de nutrientes Schlesinger (1997)[11], al igual que los aportes de nutrientes alóctonos tanto de origen natural como antropogénicos. Esta condición final se hace evidente en la laguna de Sonso, por sus efectos sobre la productividad del sistema lagunar. En la mayoría de los ecosistemas acuáticos, la atención se ha centrado en el ciclo del nitrógeno (N) y fósforo (P), porque son los nutrientes limitantes y los más probables para limitar la productividad primaria en un sistema natural.

Biogeoquimicamente en muchos humedales terrestres la producción primaria neta está relacionada con los aportes de nutrientes Brown (1981)[12] siendo mayor la productividad en los humedales que se secan estacionalmente, ya que durante estos periodos los suelos están expuestos al oxigeno y los nutrientes se reciclan con rapidez Schlesinger (1978)[13].' En la laguna de Sonso dominan los aportes de nutrientes procedentes de sus áreas circundantes y a menudo tienen una relación N/P alta, donde las concentraciones de N son mayores que las de P, esta característica plantea una diferencia con reportes bibliográficos como el de Downing y McCauley (1992)[14] quienes exponen que en lagos eutróficos la relación N/P es baja debido a los aportes de P por la escorrentía, condición que debe ser analizada por su relación con el volumen, tipo de suelo que circunda la laguna y con las actividades humanas que generan la alteración y eutrofización cultural de estos ecosistemas por adición de grandes cantidades de nutrientes Vallentyne,

---

[8] De Angelis, D. L. 1992. *Dynamics of Nutrient Cycling and Food Webs*. Chapman & Hall, London.270pp

[9] Constanza, R., Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. y van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260

[10] Chapin, F.S., Bloom, A.J., Field, C.B. y Waring, R.H. 1987. Plant responses to multiple environmental factors. *BioScience* 37: 49-57.

[11] Schlesinger, W.H. 1997. Biogeochemistry. Geotimes 42(2):44.

[12] Brown, S.1981. A comparison of the estructure, primary productivity, and transpiration of cypress ecosystem in Florida. Ecological Monographs 51: 403- 427

[13] Schlesinger, W.H. 1978. Community structure, dynamics and nutrient cycling in the Okefenokee cypress swamp forest. Ecological Monographs 48: 43- 65

[14] Downing, M.G. y E. McCauley.1992. The Nitrogen :phosphorus relationship in lakes. Limnology and Oceanography 37: 936- 945

(1974)[15], Goldman, (1988)[16] circunstancia que se presenta en la laguna de Sonso y que está relacionada con la proliferación de macrófitas acuáticas en el espejo lagunar y en su evolución desde el año 85 hasta el presente.

Teniendo en cuenta las secuencias de imágenes analizadas estas se acoplan con las épocas de los períodos secos, de enero a marzo y de junio a septiembre.

La precipitación media anual es 1348.8 mm, la temperatura media 21 oC a 26 oC y la humedad relativa 75%. Según el sistema de clasificación de Holdridge (1971)[17], esta zona de vida corresponde al Bosque Seco Tropical **(bs-T)** (Espinal, 1968)[18].

Los suelos son muy superficiales limitados por el nivel freático, con una saturación de Na >del 15%, son pobremente drenados y fuertemente alcalinos con una fertilidad muy baja, el material parental son aluviones finos y es un área que está sujeta a encharcamiento, puesto que se localiza en un plano de desborde en una planicie aluvial. IGAC-CVC (2004)[19] los suelos de la Laguna de Sonso tienen - como catión dominante el Na+ que produce la dispersión de las arcillas, lo que lleva a una destrucción de la estructura donde la hidrólisis de las arcillas sódicas conduce a la alcalinización del perfil, y esta provoca intensa alteración mineral.

---

[15] Vallentyne, J.R. 1974. The Algal Bowl Departament of Environment, Miscellaneous Special Publication 22,Ottawa , Canada.

[16] Goldman, C.R. 1988 Primary productivity, nutrients and transparency during the early onset of eutrophication in ultra-oligotrophic Lake Tahoe, California Nevada. Limnology and Oceanography 33: 1321-1333.

[17] Holdridge, L. R.; Grenke, W.; Hatheway; W.H.; Liang, T.; Tosi, J.A. 1971. «Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study». Pergamon Press, Oxford.

[18] Espinal, L.S. 1968. Visión ecológica del Departamento del Valle del Cauca. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

[19] IGAC-CVC 2004: Levantamiento de suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Valle del Cauca Tomo 1 IGAC-CVC Planchas 280I y 261III Bogota DC.

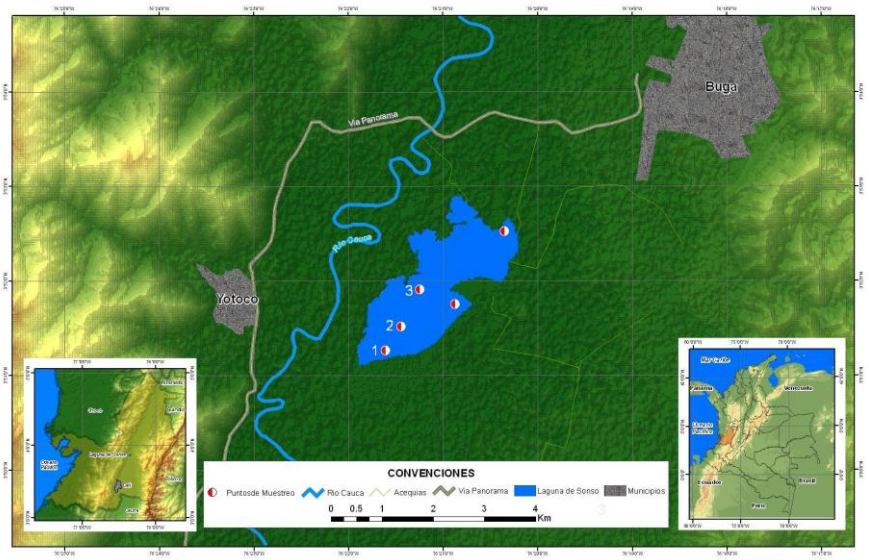


Figura 1 Localización de la laguna de Sonso

La Figura 1 muestra la localización de la laguna en referencia a la vía panorama, y el rio Cauca, se indican los puntos de muestreo y las poblaciones de Buga y Yotoco en el Valle del Cauca

MATERIALES Y METODOS DE TRABAJO

Se utilizo un sistema de medición multiparamétrico que permite realizar muestreos atendidos o desatendidos para mediciones continuas y remotas. Los sensores de la sonda permiten analizar: OD, pH, Conductividad, temperatura, ORP, salinidad, profundidad, turbiedad, amonio, nitratos, cloruros, conductancia específica, resistividad, y sólidos totales disueltos, de igual manera se dio uso a la sonda HACH y al Spectroquant NOVA 60 los parámetros analizados, sus rangos de medida y el porcentaje de error se presentan en la tabla 2

Las variables analizadas fueron: temperatura, conductividad especifica (µS/cm), conductividad (µS/cm), sólidos disueltos totales (mg/L), salinidad, oxigeno disuelto (%), oxigeno disuelto (mg/L), pH, potencial de oxido reducción (mV), amonio (mg/L), amoniaco (mg/L), cloruros (mg/L), nitratos (mg/L) y turbidez (NTU).

Parámetro	Equipo	Rango de Medida	Porcentaje de error
Temperatura	Sonda Multiparamétrica HACH	-10.0 a 110.0 ºc	+/- 0.3 ºc
Conductividad		0.01 a 200.0 uS/cm	+/- 0.5 de la lectura

TDS		0.0 a 50.0 mg/L de NaCl	+/- 0.5 de la lectura
Salinidad		0.0 a 42 ppt	+/- 0.1 ppt (‰)
Oxigeno Disuelto		0.1 a 20.0 mg/L (ppm)	+/- 0.1 mg/L de 0.1 a 8.0 mg/L +/- 0.2 mg/L de 8.0 mg/L en adelante
Oxigeno Disuelto		1 a 200 % de saturacion	1.0 %
pH		2.0 a 14.0 pH	-0.6 pH a pH 12.0 en 1 M NaOH
Nitratos (NO3-)	Spectroquant NOVA 60	0.2 a 20.0 mg/L	+/- 1.0 de la lectura
Fosfatos (PO4-)		0.01 a 5.00 mg/L	+/- 1.0 de la lectura
DQO		4.0 a 40 mg/L	+/- 1.0 de la lectura
POR	Sonda Multiparmetrica YSI 6920		
Cloruro (Cl-)		1.0 a 1000 mg/L	+/- 1.5 % de la lectura
Amonio (NH4+)		0.1 a 100 mg/L	+/- 1.0 de la lectura
Amoniaco (NH3)		0.1 a 100 mg/L	+/- 1.0 de la lectura
Turbidez		0,1 a 1000 NTU	+/- 0.3 %

Tabla 2: Parámetros medidos, equipos utilizados, rangos de medición y porcentaje de error

ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES FISICOQUIMICAS EN LA LAGUNA DE SONSO

A continuación se presentan los datos y el análisis estadístico de tres puntos de muestreo, analizados durante las salidas de campo realizadas entre marzo de 2007 y Septiembre de 2008, a la reserva natural de la Laguna de Sonso ubicada en el departamento del Valle del Cauca.

La georeferenciación de los puntos de muestreo es la siguiente:

Tabla 2: Coordenadas de las estaciones.

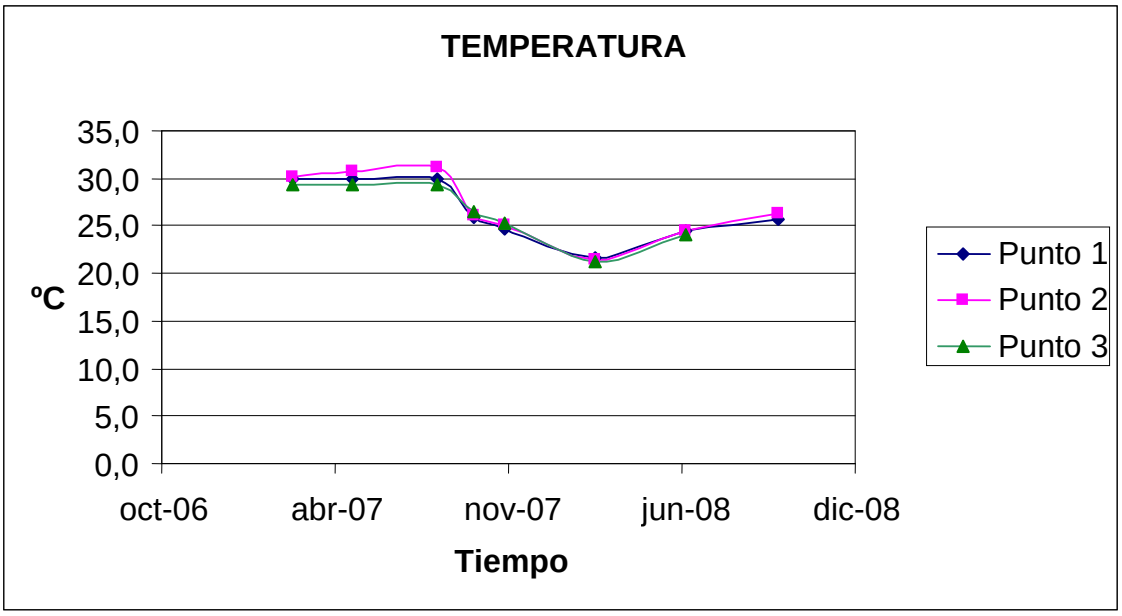
PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	
	N	**W**
Punto 1	3º 51’ 23.7’’	76º 21’ 44.2’’
Punto 2	3º 51’ 37.8’’	76º 21’ 34.8’’
Punto 3	3º 52’ 00.7’’	76º 21’ 21.7’’

Tabla 3: Fechas de los muestreos realizados.

FECHAS	PUNTOS MUESTREADOS
10 de Marzo de 2007	1, 2, 3
17 de Mayo de 2007	1, 2, 3
23 de Agosto de 2007	1, 2, 3
5 de Octubre de 2007	1, 2, 3
9 de Noviembre de 2007	1, 2, 3
22 de Febrero de 2008	1, 2, 3
5 de Junio de 2008	1, 2, 3 y Tributarios
19 de Septiembre de 2008	1, 2, 3 y Tributarios

TEMPERATURA

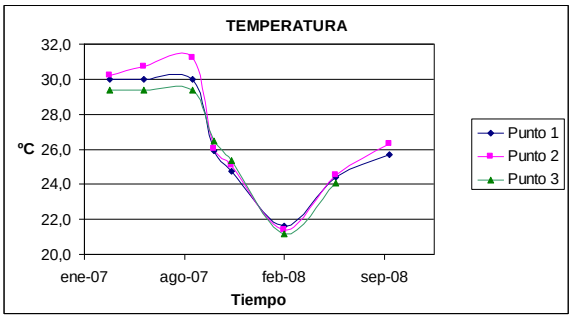
Gráfica 2: Temperatura.

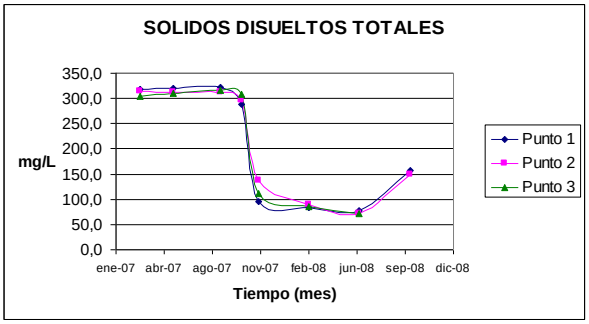


Los lagos y pantanos presentan considerables variaciones debidas a causas normales, como la estratificación estacional, la cantidad de lluvia caída, el desagüe y el viento. Los muestreos hechos en la laguna se realizaron en horas diurnas con presencia de buena radiación solar, la cual llega al espejo de agua trasmitiendo energía calórica a la masa liquida elevando su temperatura.
El incremento de la temperatura en el agua afecta la presencia del Oxigeno Disuelto disminuyendo su concentración restringiendo los procesos de degradación natural de materia orgánica realizada por agentes aeróbicos propios de ecosistemas acuáticos que ayudan a la autopurificación del afluente, en especial a temperaturas que superen los 20 grados Celsius.

Las temperaturas elevadas en la laguna favorecen la disolución de sustancias sólidas que se convierten en solutos y esto se refleja en los TDS o sólidos disuelto totales, la grafica de temperatura muestra un comportamiento muy similar al de la grafica de sólidos disueltos totales, pero en la temperatura el rango de variación de los datos es mas pequeño, ampliando la grafica se puede notar su semejanza ver grafica 3.

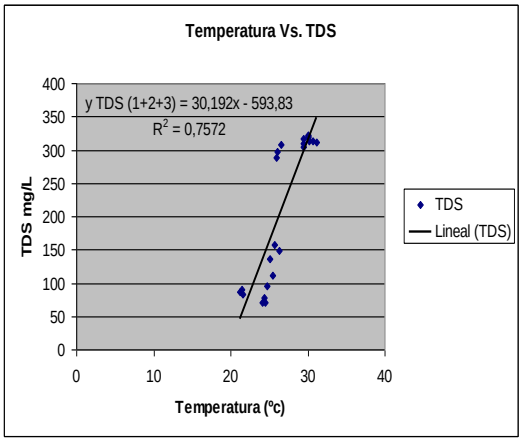
Gráfica 3: Ampliación de la grafica de temperatura contra TDS.





Esta correlación se hace más evidente cuando se grafica los TDS Vs Temperatura donde se puede apreciar la tendencia de la recta que presenta un R^2= 0,7572 donde la ecuación lineal está definida por:

Y TDS (1+2+3)=30,192x-593,83 R^2= 0,7572



Grafica 4 TDS Vs Temperatura

Al comparar las graficas anteriores, se observa que en los meses de mayor temperatura (Marzo a Agosto de 2007) las cantidades de sólidos disueltos totales son altas a diferencia de los meses en los que la temperatura y TDS descienden, en el mes de Febrero de 2008 las temperaturas registradas en la laguna son mínimas y corresponden con valores bajos de los TDS para el mes en mención.

La línea de color verde que representa el comportamiento de la temperatura para el Punto 3 no tiene valores reportados en el mes de septiembre, razón por la cual la línea está inconclusa y no aparece el tramo correspondiente a Junio-Septiembre de 2008, en la grafica anterior. No se determinaron parámetros fisicoquímicos en el mes de Septiembre para el Punto 3, razón por la cual el tramo correspondiente al periodo Junio-Septiembre de 2008 no aparece en ninguna gráfica.

Entre Marzo y Agosto de 2007 se observa una variación mínima de la temperatura con valores entre 29.4 y 31.2, en este periodo no se presentan precipitaciones que influyan de forma notable en el comportamiento de la temperatura.

Para los meses comprendidos entre Agosto de 2007 y Febrero de 2008 se aprecia una disminución paulatina de la temperatura en el cuerpo de agua, alcanzado valores que están entre los 21,2 y 21,6 grados Celsius. Lo anterior se debe principalmente al incremento de las precipitaciones en estos meses, siendo Febrero el mes que reporta los valores más bajos. La disminución de la temperatura mejora las condiciones del oxigeno disuelto en el agua.

En el último periodo, de Febrero a Septiembre de 2008, la temperatura asciende por encima de los 25 grados en el último mes, la poca presencia de lluvias permite que la laguna eleve su temperatura, incidiendo esto en su productividad.

Tabla 4: Estadística de Temperatura.

TEMPERATURA	Punto 1	Punto 2	Punto 3	
PROMEDIO	26,5	26,9	26,5	
MINIMO	21,6	21,4	21,2	
MAXIMO	30,0	31,2	29,4	

La temperatura del agua tiene influencia directa en otros factores de la calidad del agua tales como el oxígeno disuelto (OD), la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la supervivencia de algunas especies acuáticas. La cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura también. El agua más fría puede guardar más oxígeno en ella que el agua más caliente. (Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE), Stevens Institute of Technology. 2006)

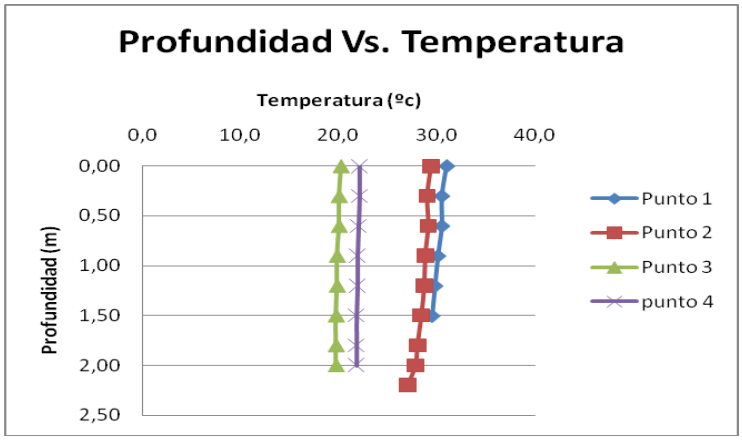
La Laguna de Sonso está localizada en una de las regiones del país con un importante aporte de radiación (4,5 - 5,0 kWh/m^2) IDEAM (2005)[20] la cual influye directamente en el intercambio calórico del agua de la laguna y dado que su profundidad en muchos sectores es mínima la energía generada por la radiación no se logra atenuar. En este proceso las capas superiores de la laguna se calientan por radiación y conducción lo que reduce su densidad y genera una estabilidad positiva ya que la profundidad existente no es un valor que genere diferenciaciones importantes, aspecto, que hace difícil la formación de termoclinas y el proceso de homogenización de la temperatura se propaga rápidamente en la poca mezcla vertical existente.

En esta circunstancia se puede afirmar que la Laguna de Sonso presenta condiciones polimicticas cálidas donde las variaciones de temperatura anual son pequeñas y el calentamiento diurno solo se ve interrumpido por el enfriamiento

[20] IDEAM 2005: Mapa de radiación solar para Colombia.

nocturno, conjugado en ocasiones con la acción del viento, el cual rompe fácilmente la débil mínima o nula estratificación que se pueda presentar.

En la Grafica 4 se puede observar las variaciones de la temperatura en relación a la profundidad en la laguna con perfiles realizados en agosto y diciembre de 07 y febrero y marzo del 08, estos fueron ejecutados entre las 13 y las 14 horas



Grafica 4. Variaciones de temperatura en relaciona la profundidad

Realizando la interpolación de la temperatura con los datos promedios de la tabla 4 para una distribución horizontal se puede apreciar el comportamiento de este parámetro en las aguas de superficie, en tal sentido para el estudio de la Laguna de Sonso se genero una grilla de datos con orientación horizontal y vertical sobre el espejo lagunar con la finalidad de cubrir el mayor área posible y con ellos dar inicio al proceso de análisis y predicción. Aquí se utilizo el método kriging del cual se pueden encontrar antecedentes en los trabajos de Sichel (1947; 1949)[21] y Krige (1951)[22].

[21] SCHIEL y KRIGE. Fenómenos de correlación espacial por medio de métodos estadísticos. Editorial Fulher y CIA, 1952

[22] Krige, Danie G. (1951). "A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand". J. of the Chem., Metal. and Mining Soc. of South Africa 52 (6): 119–139.

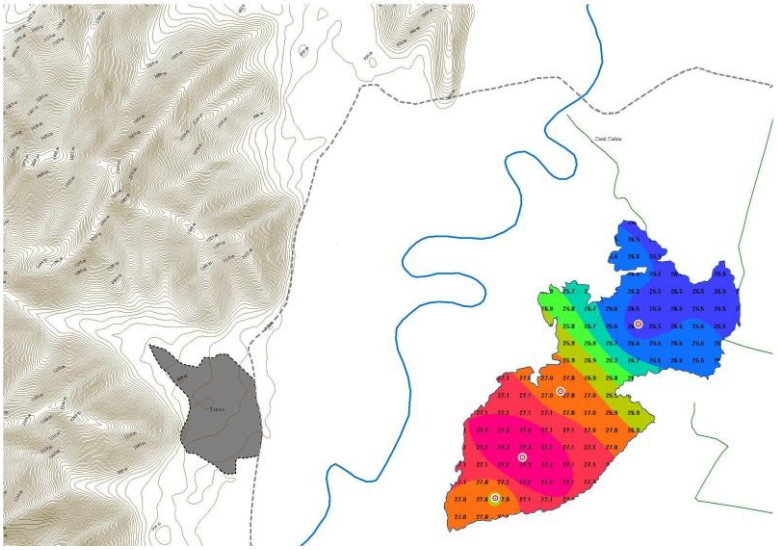


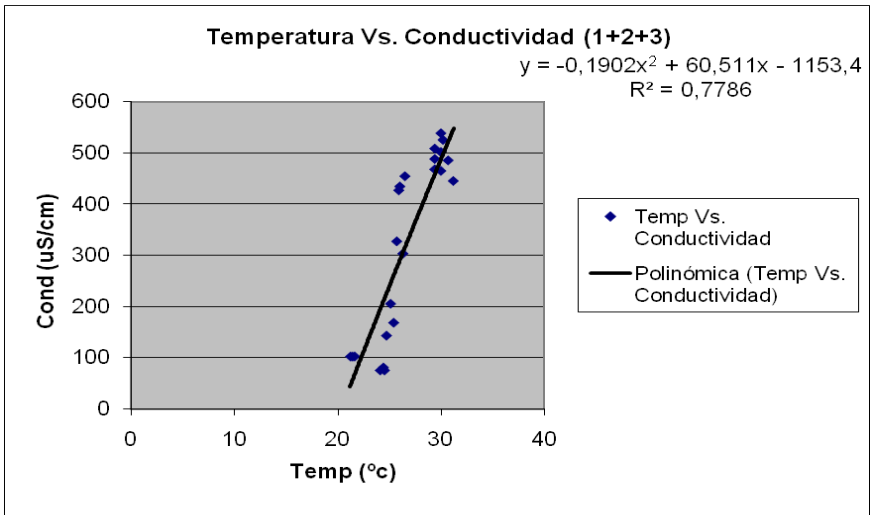
Figura 2 Iinterpolación de la temperatura

La figura 2 muestra el análisis y los valores de temperatura extrapolados siendo de 27°C hacia el sur de la laguna el valor máximo y el mínimo de 26,5°C en el norte.

Las relaciones que se han identificado de la temperatura con otras variables fisicoquímicas de la laguna de Sonso permiten inferir un nivel importante de correlación con la conductividad (µS cm).y los nitratos NO3 (mg/L), para la variable de conductividad se calculo un polinomio de segundo grado el cual presenta una **R^2= 0,7786** y la ecuación de la misma es**:**

$$y = -0{,}1902x^2 + 60{,}511x - 1153{,}4 \quad R^2 = 0{,}7786$$

La grafica 5 permite observar la distribución de los puntos en esta relación de **Temperatura Vs Conductividad**, y representa los datos integrados de las tres estaciones de muestreo durante todo el periodo de monitoreo

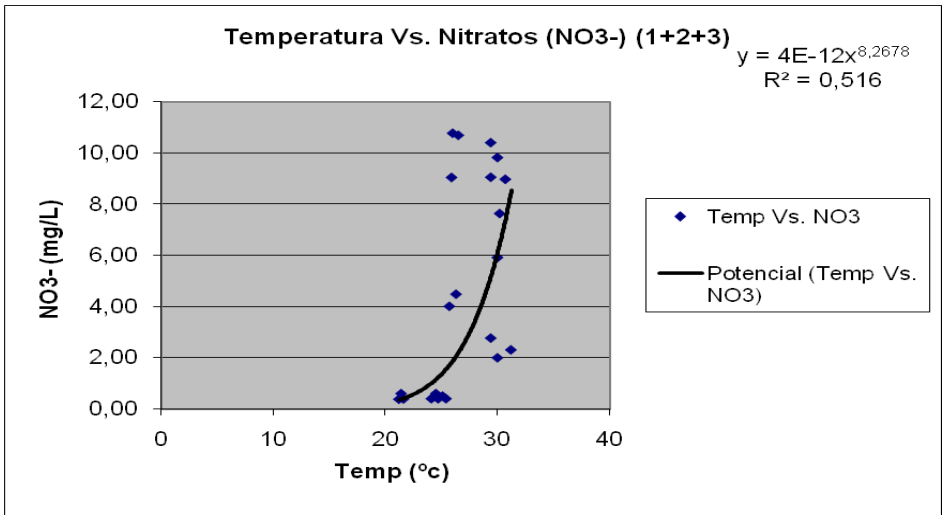


Grafica 5 Temperatura Vs Conductividad

En la relación a los **(NO3-)** la distribución de los puntos se acopla con una curva potencial presentando un **R^2 = 0,516** para una ecuación potencial del tipo

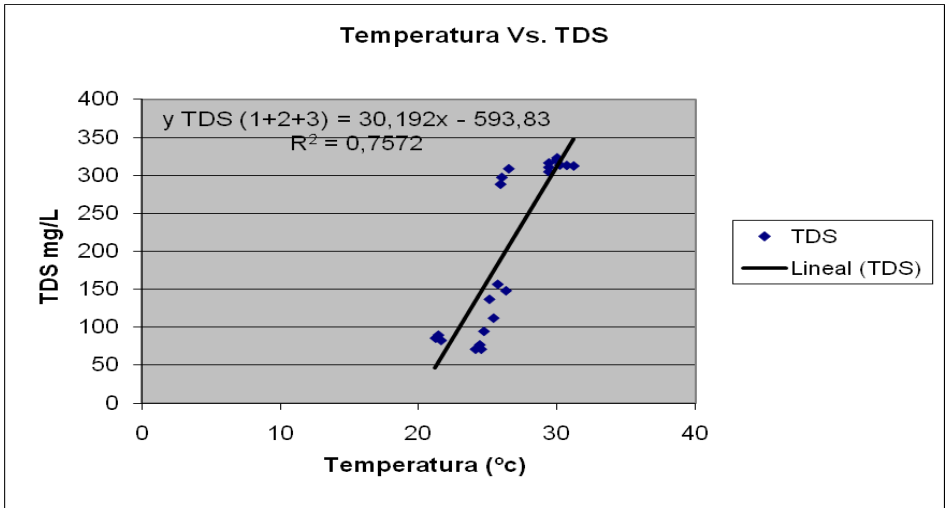
$$y = 4E\text{-}12x^{8,2678} \quad R^2 = 0,516$$

La grafica 6 permite permite observar la distribución de los puntos en esta relación de **Temperatura Vs (NO3-)** y representa los datos integrados de las tres estaciones de muestreo durante todo el periodo de monitoreo



Grafica 6 Temperatura Vs (NO3-)

La relación entre TDS y temperatura describe la cantidad total de sólidos disueltos en el agua que se identifican como sales disueltas en agua sobre las que actúa la temperatura, estos sólidos son iones disueltos que se relacionan con la conductividad sobre la cual actúa la temperatura del agua la cual la afecta de forma que su valor aumenta de un 2 a un 3 % por grado Celsius que se incrementa. Como se puede observar esta correlación mantiene la relación conductividad alta, temperatura alta, TDS altos, lo cual es visible al comparar los gráficos de Temperatura Vs Conductividad con Temperatura Vs TDS grafico 7



Grafica 7 Temperatura Vs TDS

Aquí la ecuación presenta un valor de R^2 equivalente a 0,76 el cual es un valor tan alto como el que define la correlación de Temperatura Vs Conductividad con un R^2 de 0,78. A continuación se presenta la ecuación para la correlación Temperatura vs TDS

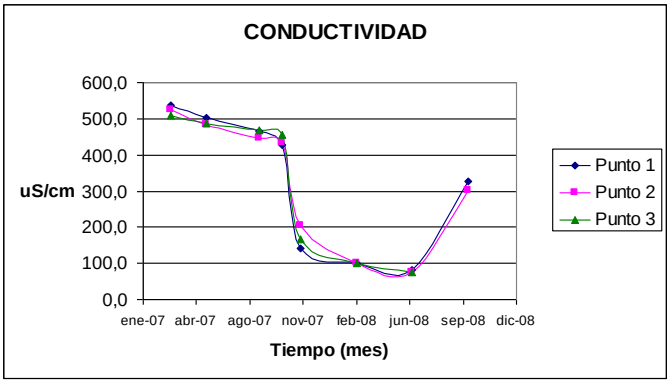
$$\mathbf{y\ TDS\ (1+2+3) = 30{,}192x - 593{,}83\ R^2 = 0{,}7572}$$

CONDUCTIVIDAD

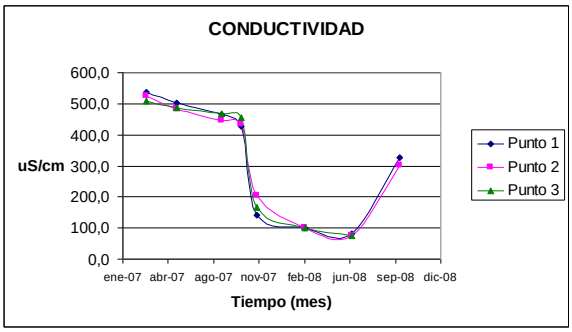
La conductividad evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua en la cuenca. Se expresa en microsiemens por centímetro (µS cm). En el neotrópico los valores de conductividad están relacionados con la naturaleza geoquímica del terreno y su

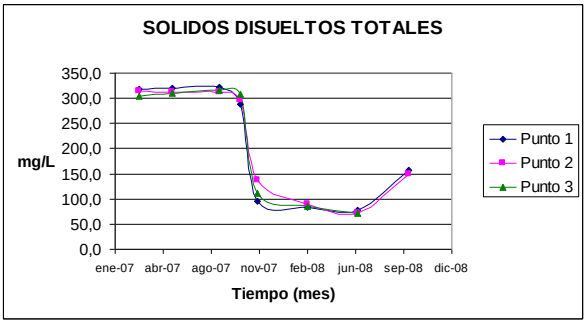
concentración varia en relación a las épocas de lluvia, sequia y su estado trófico. Roldan (1992)[23]

Gráfica 8: Conductividad.



Gráfica 9: Comparación entre conductividad y TDS





La conductividad tiene una relación directa con la presencia de sustancias que permiten el flujo de electrones en un medio acuoso. La presencia de metales finamente divididos y/o sales disueltas que por arrastre llegan al sistema, influyen en el comportamiento de las tendencias de la conductividad observadas para los tres puntos en los que se hizo seguimiento a las aguas de la laguna de Sonso.

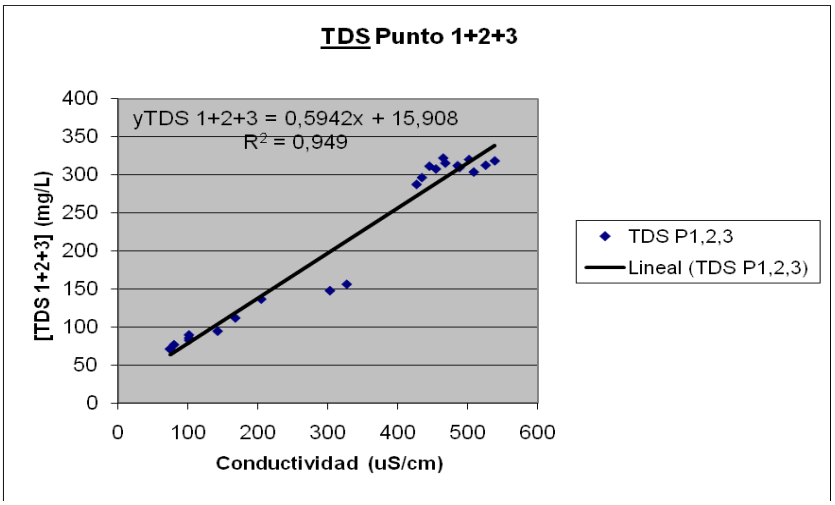
Se aprecia claramente al comparar la gráfica 8 (TDS) con la conductividad, que en los tiempos de mayor presencia de sólidos disueltos totales en el agua de la laguna la conductividad reporta valores elevados, en concreto para los meses de Marzo a Octubre de 2007; posteriormente la conductividad desciende notablemente hasta el mes de Junio de 2008 coincidiendo en su comportamiento con las líneas de tendencia de los TDS para los mismos meses. Los sólidos disueltos, como por ejemplo las sales del suelo, llegan a la masa de agua por

[23] Roldan Pérez Gabriel 1992: Fundamentos de limnologia tropical, Colección Ciencia y Tecnología Editorial Universidad de Antioquia,

dilución y arrastre. Para la laguna en los momentos en que las cantidades de TDS disminuyen, la conductividad se ve afectada reduciendo su valor, ocurriendo lo contrario en los meses que se incrementan los sólidos disueltos la conductividad también se eleva. Es deducible que existe una relación directa entre la Conductividad y los TDS en el agua de la laguna de sonso.

Esta relación entre conductividad y TDS que en la grafica 8 pareciera fundamentarse por la similitud de las curvas que describen el comportamiento temporal de estas variables, está demostrada con el valor de **R^2 = 0,949** de la ecuación lineal de la grafica 10, donde se relaciona Conductividad Vs TDS a partir de una ecuación lineal definida por los valores:

$$YTDS\ 1+2+3 = 0{,}5942x + 15{,}908 \quad R^2 = 0{,}949$$



Grafica 10 Conductividad Vs TDS

En muchas aguas naturales los rangos de la conductividad están entre 10 y 1000 (µS/cm) pudiendo algunos cuerpos de agua exceder este ultimo valor, especialmente en aguas con alta contaminación, o cuando se reciben aportes importantes de escorrentía superficial WQA (1996)[24], quizás este puede ser el caso de la laguna de Sonso donde se presentan pulsos de escorrentía superficial en épocas de lluvia, con importante arrastre de sedimentos y también desagües con aportes en aguas negras y lixiviados producto del arrastre y de la escorrentía subsuperficial de las ares de cultivo circundantes.

[24] Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Second Editions Edited by Deborah Chapman, Unesco, Unep, WHO, 1996

El TDS puede ser obtenido por la multiplicación de la conductancia por un factor el cual es comúnmente un valor entre 0.55 y 0.75. Este factor puede ser determinado para cada cuerpo de agua siempre que se mantenga aproximadamente constante la proporción iónica de la masa de agua WQA (1996)[25], para la laguna de Sonso este cálculo nos permitió identificar que este factor es de 0,70 con una DS de 0,14 y un intervalo superior de 0,80 y uno inferior de 0,61

La conductividad disminuye gradualmente entre Marzo y Octubre de 2007 con valores que oscilan entre los 538,3 y 426,7. En este periodo no hay variaciones fuertes pues no se presentan eventos extraordinarios.

Para la época entre Octubre de 2007 a Junio de 2008 la conductividad se reduce drásticamente alcanzando valores mínimos de 74,8 y 80,5. Lo anterior a causa del efecto de dilución que generan las lluvias en época de intensas precipitaciones, disminuyendo la cantidad de iones libres presentes en un mismo volumen de agua en comparación con el siguiente periodo.

En el último periodo observado en la grafica (Junio a Septiembre de 2008) se nota el incremento de la conductividad que asciende alrededor de los 300 uS/cm. En este periodo las lluvias se reducen y permiten que el caudal de la laguna concentre de nuevo los iones libres en el agua.

Relacionando la Conductividad con la Temperatura Grafico 11 se puede identificar una alta dependencia que se define por el valor de R^2 el cual es de 0,78 lo que nos muestra

$$y = 0{,}0154x + 21{,}68 \qquad R^2 = 0{,}7785$$

como variable independiente la conductividad asociada a la temperatura siendo una relacion directamente proporcional, dicho valor esta influenciado por las condiciones de almacenamiento de agua en Sonso y por la profundidad de la laguna que en promedio no supera los 2,30m. en la grafica adjunta se puede ver la relacion expuesta.

[25] Water Quality Assessments: ibidem (op. cit 6)

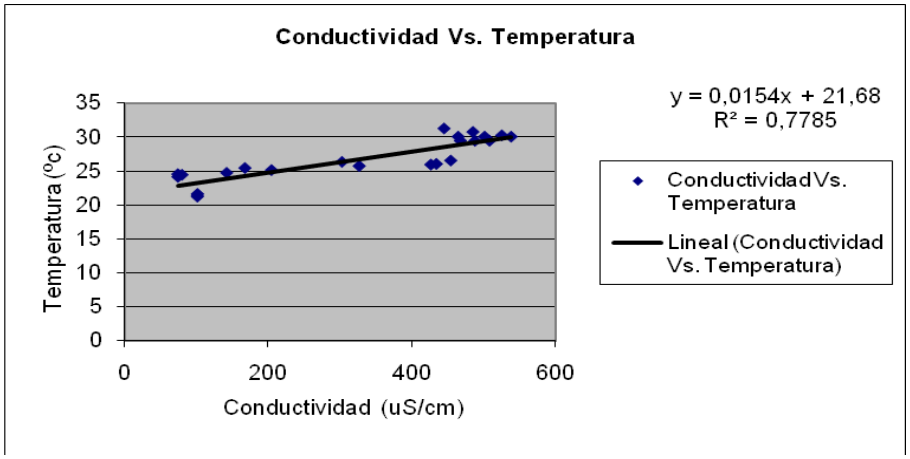


Grafico 11 Conductividad Vs Temperatura

Con relacion a la salinidad este valor está fuertemente influenciado por una saturación de Na >del 15% que presentan los suelos de la laguna de Sonso lo que se puede identificar con la ecuación lineal con R^2 de 0,97 valor en el que se representa la alta correlación de estas dos variables

$$y = 0{,}0004x + 0{,}0211 \quad R^2 = 0{,}9662$$

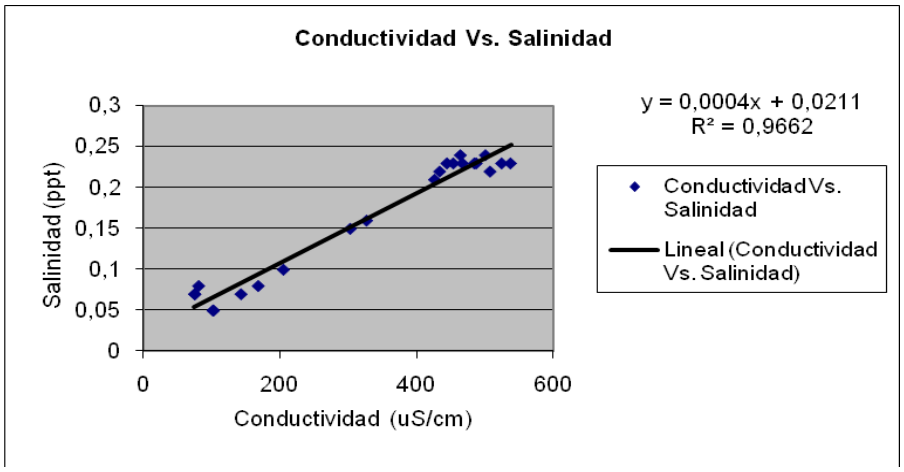


Grafico 12 Conductividad Vs Salinidad

El grafico 12 presenta la relacion conductividad vs salinidad debe mostrar tambien una alta correlacion con los aniones asociados a sales (NaCl) o a los iones Cl cloruros inorganicos, los cuales tanto en ecosistemas terrestres como en humedales apenas participan en reacciones bioquimicas[26], pero por su caracteristica ionica interviene en los valores de conductividad, lo cual se

[26] Schlesinger H. W. : Biogeochemistry Academic Press, 1997

demuestra en la grafica 13 adjunta con un valor de R^2 0,62 y que esta definida por la ecuacion

$$y = 0{,}0006x^2 - 0{,}2969x + 29{,}815 \quad R^2 = 0{,}623$$

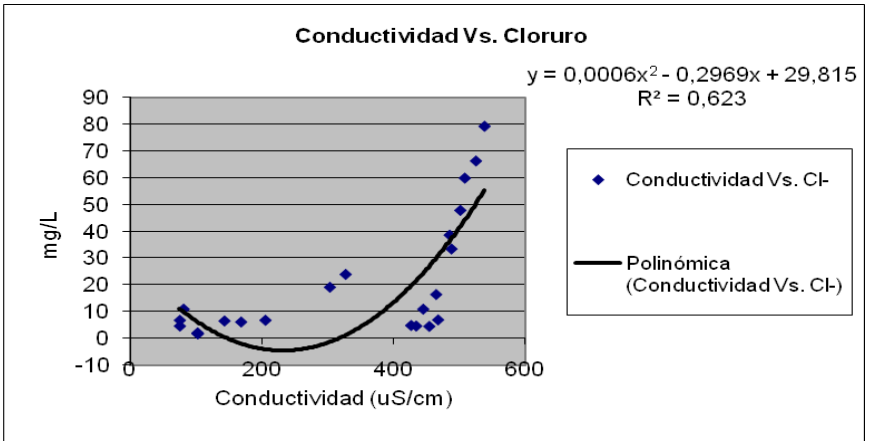


Grafico 13 Conductividad Vs Cloruros

Encontrar este ion en las aguas de Sonso nos plantea la necesidad de especificar su origen, condición que puede estar asociada inicialmente con procesos de depositación de aerosoles, efluentes residuales o procesos agrícolas, estas altas concentraciones en mg/l son típicas de áreas con suelos salinos y de zonas con tendencia a la aridez WQA (1966)[27], los valores de conductividad se incrementan directamente con el aumento en la concentración del ion.

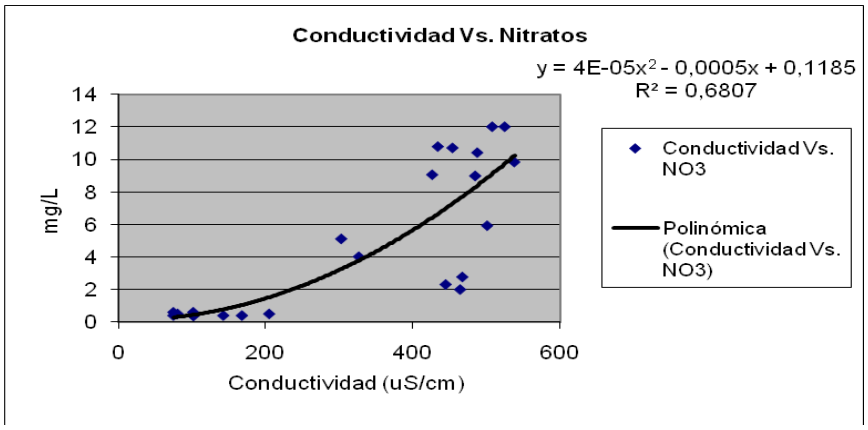


Grafico 14 Conductividad Vs Nitratos

Los valores de concentración de Nitratos en la laguna de Sonso son altos en relación a lo que normalmente se presenta en aguas de ecosistemas naturales, lo

[27] Water Quality Assessments: ibidem (op. cit 6)

cual esta asociado a ecosistemas donde los procesos agrícolas son intensivos y se hace uso de aportes de nutrientes para procesos de producción. Sonso está situada en una posición geográfica baja y tal condición hace que este ecosistema funcione como un sumidero eficiente de nutrientes Verry Timsons (1982)[28]. La relación de la conductividad vs Nitrato es apreciable en la ecuación adjunta

$$y = 4E\text{-}05x^2 - 0{,}0005x + 0{,}1185 \quad R^2 = 0{,}6807$$

Tabla 5: Estadística de Conductividad.

CONDUCTIVIDAD	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PROMEDIO	322,9	321,8	323,3
MINIMO	80,5	74,8	74,8
MAXIMO	538,3	525,3	508,3

El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos, aguas de ecosistemas de alta montaña con características oligotróficas presentan bajas conductividades, esto en razón de los pocos iones disueltos presentes y de la baja concentración de sólidos. En contraste ecosistemas acuáticos de tierras bajas, en las cuales se resumen las condiciones de uso y transformación de las áreas aledañas de estos ecosistemas, donde las actividades antrópicas y de transformación son importantes y ligadas a procesos agrícolas productivos, presentan por lo general características de eutrofización. Por reflejar las condiciones en que se encuentran los ecosistemas acuáticos y sus procesos de trasformación y apropiación de los sectores riparianos de los cuales dependen, se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos lo que refleja las perdidas en suelo y nutrientes por arrastre y escorrentía.

La conductividad (lo inverso a resistividad) es comúnmente usada para medir la cantidad de iones en el agua, un importante indicador de la calidad de agua.

Realizando la interpolación de la Conductividad Figura 3 con los datos promedios de la tabla 5 para una distribución horizontal se puede apreciar los valores de este parámetro en las aguas de superficie el cual está definido por valores de 358,2 al norte de la laguna y 365,7 al sur, siendo este el más alto valor de los datos promedios interpolados.

[28] Verry, E.S. y D.R. Timmons.1982. Waterborne nutrient flow through an upland peatland watershed in Minnesota. Ecology 63: 1456- 1467

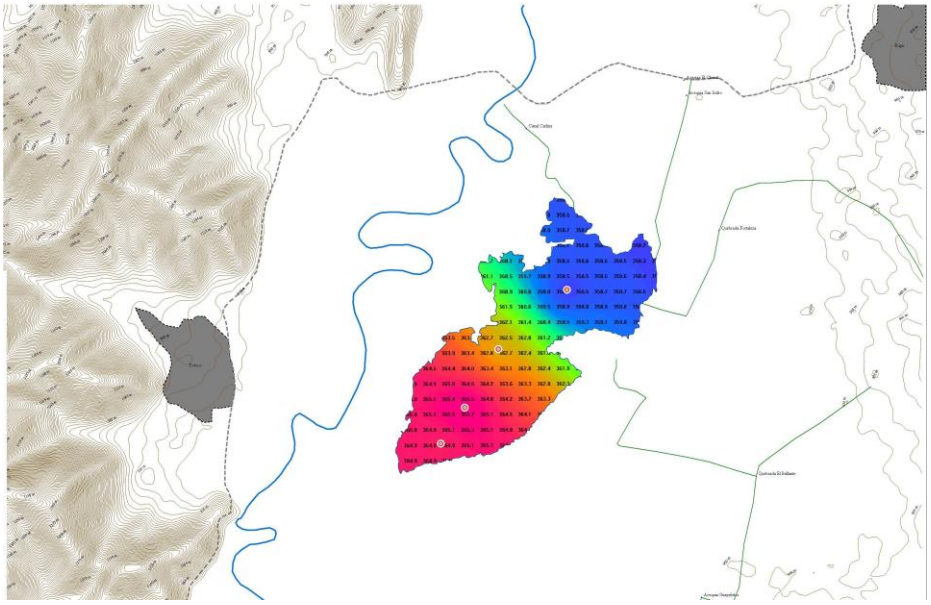
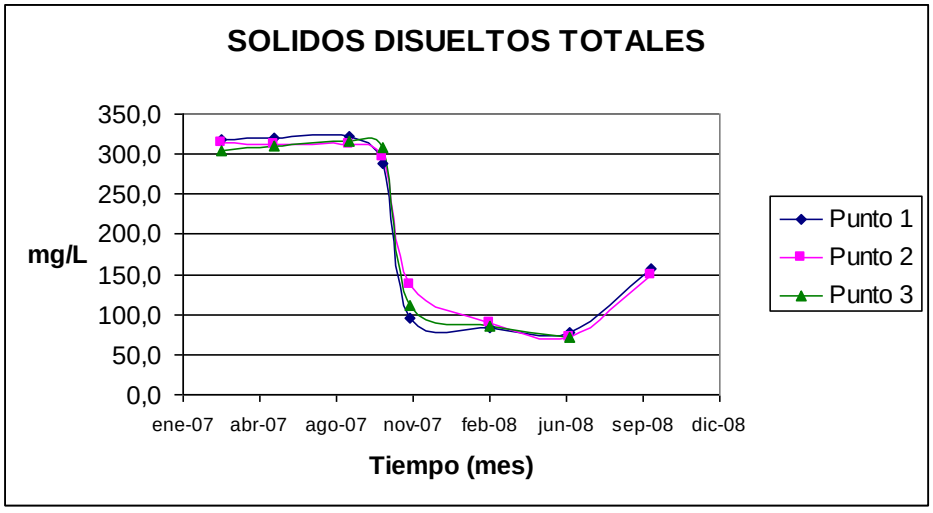


Figura 3 Interpolación de la conductividad

<u>SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES</u> (TDS)

Gráfica 15: Sólidos Disueltos totales.



El termino sólidos disueltos totales hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso.

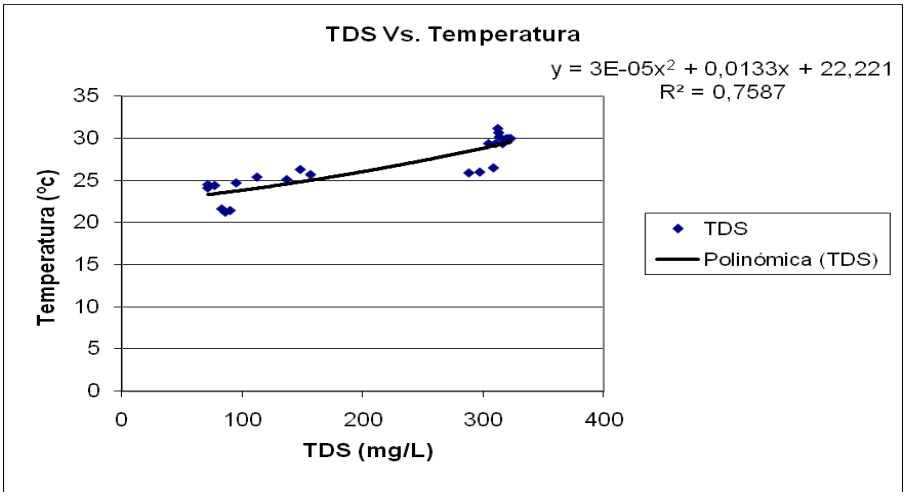
Los sólidos disueltos totales (TDS) suponen la combinación de sustancias tanto inorgánicas como orgánicas contenidas en el agua, y que están presentes en forma de iones de moléculas y agregados de moléculas, o de micro-gránulos solubles o en suspensión.

La ilustración que representa los comportamientos de los valores de TDS para el agua de la laguna permite apreciar la similitud con la grafica ampliada de temperatura, dejando notar la influencia de la temperatura en la solubilidad de las sustancias sólidas solubles en el agua de la laguna, cuando la temperatura aumenta favorece la dilución de los sólidos como se puede notar los meses de Marzo a Octubre de 2007.

La correlación entre TDS y temperatura es evidente en la Grafica 16 la cual está definida por una ecuación del tipo:

$$y = 3E\text{-}05x^2 + 0{,}0133x + 22{,}221 \quad R^2 = 0{,}7587$$

que presenta un R^2 de 0,7587

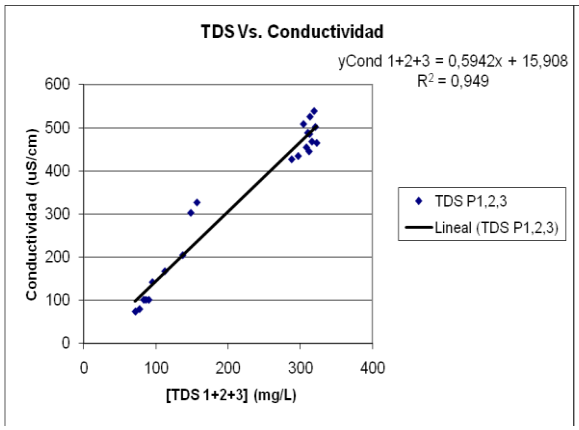


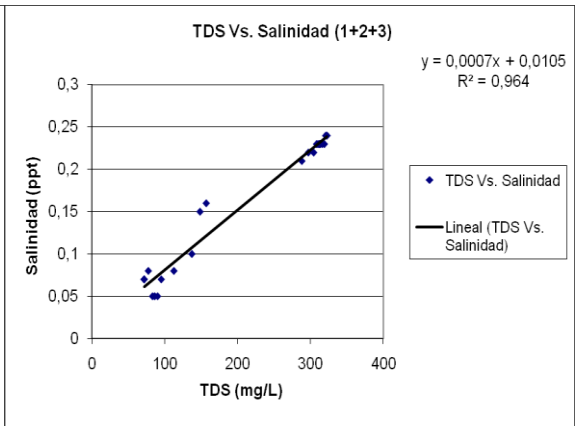
Grafica 16 TDS Vs Temperatura

Las sales que aporta el suelo al agua se consideran sólidos disueltos que influyen en la conductividad y salinidad del ecosistema acuático de la laguna, manteniendo una relación directa, al incrementarse los TDS se elevan la conductividad y salinidad del agua de la laguna, al reducir los TDS disminuyen. Relación que es verificable en las ecuaciones de las rectas correspondientes a TDS vs Conductividad Grafica 17 y TDS vs Salinidad Grafica 18 definidas por las ecuaciones:

TDS vs Conductividad $\mathbf{y = 0{,}5942x + 15{,}908 \quad R^2 = 0{,}949}$

TDS vs Salinidad $\mathbf{y = 0{,}0007x + 0{,}0105 \quad R^2 = 0{,}964}$





Grafica 17 TDS Vs Conductividad **Grafica 18 TDS Vs Salinidad**

La cantidad de sólidos disueltos en el agua de la laguna no varía significativamente entre Marzo y Octubre de 2007, para los meses comprendidos entre Octubre de 2007 y Junio de 2008 por la influencia de la precipitación los TDS presentes en el agua disminuyen viéndose afectada también la salinidad.

Los meses de Junio a Septiembre de 2008 se aprecia un incremento alcanzando valores de 148 a 156 mg/L. La disminución en las precipitaciones eleva la concentración de los sólidos disueltos totales en la laguna.

Tabla 6: Estadística de TDS.

TDS	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PROMEDIO	207,8	210,2	215,5
MINIMO	77,2	71,5	71,5
MAXIMO	322,7	313,3	316,0

La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 µm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. El promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Livingston, 1963)[29].

[29] Livingstone, (1963): Chemical composition of rivers and lakes. *U.S. Geol. Surv.* Professional Paper 400 G. 64

El término TDS describe la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Los TDS y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. La mayoría de los sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena, son iones disueltos. El cloruro de sodio por ejemplo se encuentra en el agua como Na^+ y Cl^-. El agua de alta pureza que en el caso ideal contiene solo H_2O sin sales o minerales y tiene una conductividad eléctrica muy baja. La temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica de forma que su valor aumenta de un 2 a un 3 % por grado Celsius.

De acuerdo con Rawson (1951)[30], Hooper (1951) y Hem (1985)[31] las concentraciones de (TDS) sólidos disueltos totales guardan una correlación positiva con la productividad en lagos. Al mismo tiempo afectan la penetración de luz en la columna de agua y la absorción selectiva de los diferentes rangos de onda que integran el espectro visible, pueden relacionarse con los cambios en el caudal y con el origen de las aguas que contribuyen a su definición Jhonson et al(1969)[32] que en este caso son del rio Cauca. En un sistema geoquímico como el de Sonso cabe esperar que las concentraciones sean mayores en momentos de bajo caudal ya que el agua provendría del drenaje del suelo, donde se estarían realizando las reacciones de meteorización y de intercambio iónico, en la medida que aumenta el caudal, las concentraciones disminuirán puesto que una proporción mayor del agua que llega a la laguna lo hace por precipitación, la escorrentía superficial y el drenaje de los poros grandes del suelo, existiendo poco o ningún equilibrio con las fases minerales del mismo. Este modelo geoquímico podría explicar el comportamiento de los iones mayoritarios que estén asociados en el sistema laguna rio, para el caso de (Ca, Mg, Na, Cl, SO_4 y HCO_3), aunque se pueden dar excepciones, Meyer et al., (1988)[33] ya que son fácilmente solubles y no son nutrientes limitantes para la biogeoquimica de la laguna.

Realizando la interpolación de TDS Figura 4 con los datos promedios de la tabla 6 para una distribución horizontal se puede apreciar los valores de este parámetro en las aguas de superficie el cual está definido por valores de 242,8 al norte de la laguna y 238,9 al centro, siendo este el más bajo valor de los datos promedios interpolados.

---

[30] Rawson, D.S., 1951 The total mineral content of lake waters. Ecology, 32:669–72

[31] Hem, J. D. (1985): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *3rd Ed. U.S. Surv. Wat. Supply* Paper 2254. Washington (USA) 263 p.

[32] Johnson, N.M., G.E. Linkens, F.H. Bormann, D.W. Fisher, y R.S. Pierce. 1969. A working model for the variation in strem water chemistry at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hamsshire. Water Resources Research 5: 1353-1336

[33] Meyer,J.L. W.H. McDowell, T.L. Bott, J.W. Elwood, C. Ishizaki, J.M. Melack, B.L. Peckarsky,B.J. Peterson, y R.A. Rublee.1988. Elemental Dynamics in strems. Journal of the North American Benthological Society 7:410-432.

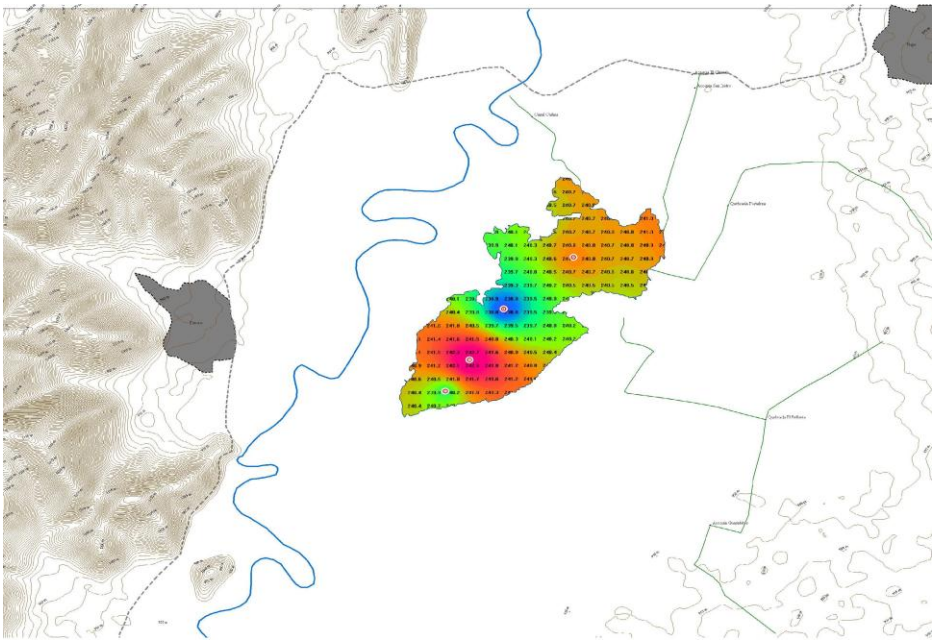
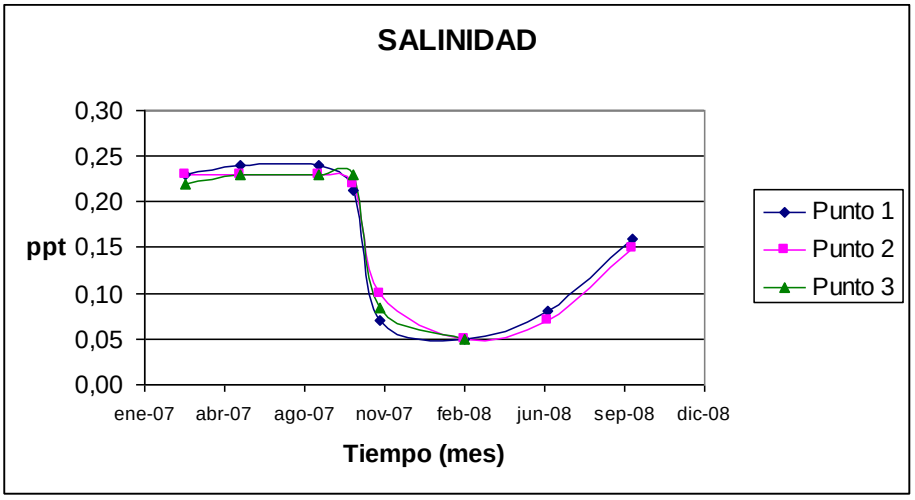


Figura 4 Interpolación de TDS

SALINIDAD

.

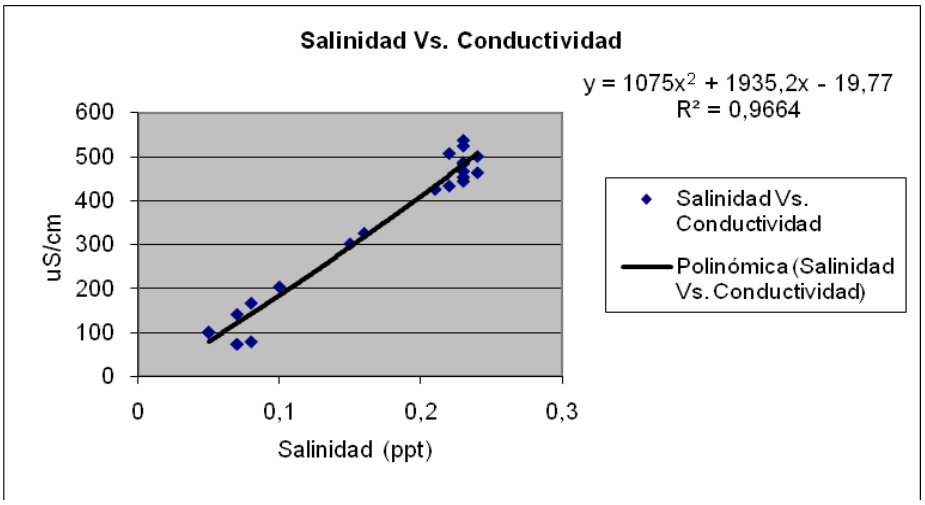


Gráfica 19: Salinidad

La salinidad es el contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua por la presencia de minerales solubles en el agua. El contenido salino de muchos lagos, ríos, o arroyos es tan pequeño, que a esas aguas se las denomina agua dulce. La mayoría de las fuentes de agua superficiales obtienen su salinidad de las sales que contienen los suelos por los cueles transita el caudal del cuerpo de agua. El agua de la laguna debe reportar valores que no sobrepasen del 3% de salinidad.

La salinidad de un medio acuoso define el tipo de especies que la habitan.
Los suelos en la laguna de Sonso presentan una saturación de Na >del 15%, son pobremente drenados y fuertemente alcalinos característica que afecta los valores de la salinidad en las aguas de la laguna

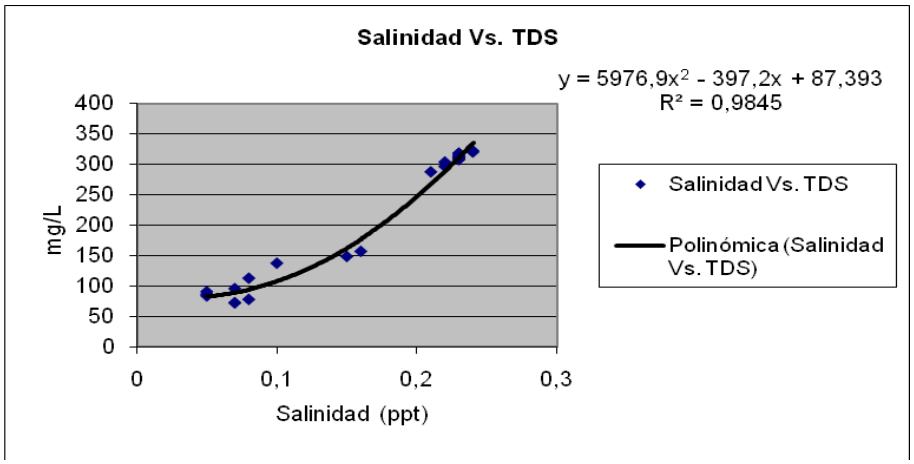
Al observar las graficas de TDS, Conductividad y Temperatura, se notan tendencias similares, porque existe una relación entre estos parámetros, teniendo en cuenta que la temperatura afecta directamente a los TDS e indirectamente la conductividad y salinidad del agua en la laguna. Al incrementarse o reducirse los TDS también se incrementa o reduce la conductividad en el agua.



Grafica 20 Salinidad Vs Conductividad

En la grafica 20 se plantea la interaccion entre salinidad y conductividad y se aprecia una relacion directa donde a mayor salinidad mayor conductividad con una ecuacion que presenta una R^2 de 0,9664 y que esta definida por la ecuacion

$$y = 1075x^2 + 1935{,}2x - 19{,}77 \quad R^2 = 0{,}9664$$



Grafica 21 Salinidad Vs TDS

$$y = 5976{,}9x^2 - 397{,}2x + 87{,}393 \quad R^2 = 0{,}9845$$

El efecto de las lluvias en épocas donde aumentan las precipitaciones se puede apreciar en la grafica de salinidad para los meses de Noviembre de 2007 a Junio de 2008, meses en los cuales la lluvia logra un efecto de dilución en las aguas de la laguna y por tanto resultan valores bajos para este parámetro.

Tabla 7: Estadística de Salinidad.

SALINIDAD	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PROMEDIO	0,16	0,16	0,16
MINIMO	0,05	0,05	0,05
MAXIMO	0,24	0,23	0,23

El contenido de sal en agua potable es, por definición, menor a 0,05%. Si no, el agua es señalada como salobre, o definida como *salina* si contiene de 3 a 5% de sal en volumen.

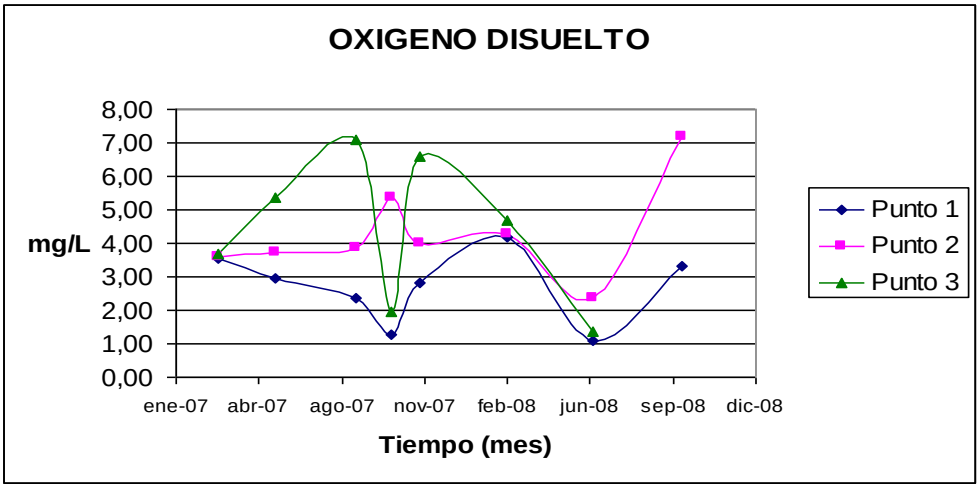
OXIGENO DISUELTO

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de

oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua de la laguna principalmente en sus tributarios. Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores también afectan los niveles de OD; por ejemplo, en un día soleado se producen altos niveles de OD en áreas donde hay muchas algas o plantas debido a la fotosíntesis. La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua.

Gráfica 22: Oxigeno Disuelto.



Esta grafica 22 muestra la gran variabilidad del Oxigeno disuelto en la laguna de Sonso, característica que nos indica la dependencia de esta variable a cambios en los caudales que le llegan por aportes del Rio Cauca, mostrando que a flujos importantes de agua que entra a la laguna la concentración de O_2 disuelto es alta llegando a tener máximos hasta de 7,2 y mínimos de 1,1 mg/l, cumple un papel importante en los valores de Oxigeno el área del espejo de agua que se encuentra cubierta por macrófitas, las cuales no favorecen el intercambio de oxigeno con la atmosfera.

Otra consideración importante en relación a la disponibilidad de oxigeno en la laguna es la interacción de las macrófitas acuáticos (*Eichhornia crassipes**)*** y la producción de oxígeno durante la fotosíntesis, es posible que en tal circunstancia el oxigeno producido se acumula en lagunas intercelulares de los tejidos de la planta, de esta manera, la tasa de difusión de oxígeno en el agua puede ser muy baja permitiendo que el oxígeno acumulado en la estructura pueda ser utilizado para los procesos respiratorios en ausencia de luz. Esta macrófita (*Eichhornia*

crassipes) presenta un crecimiento muy rápido pueden duplicar la biomasa en sólo 12 días, cubriendo toda la superficie disponible en zonas con poco flujo y profundidad lo cual impide la penetración de la luz y reduce la disponibilidad de oxígeno en profundidad

Estas condiciones dan una gran variabilidad a la concentración de oxigeno en la laguna y especialmente su dependencia a los pulsos hidrológicos provenientes de las crecientes del Rio Cauca, condición que finalmente define la concentración de oxigeno disuelto. Quizás estas condiciones no permiten establecer buenas correlaciones con otros parámetros fisicoquímicos en la laguna

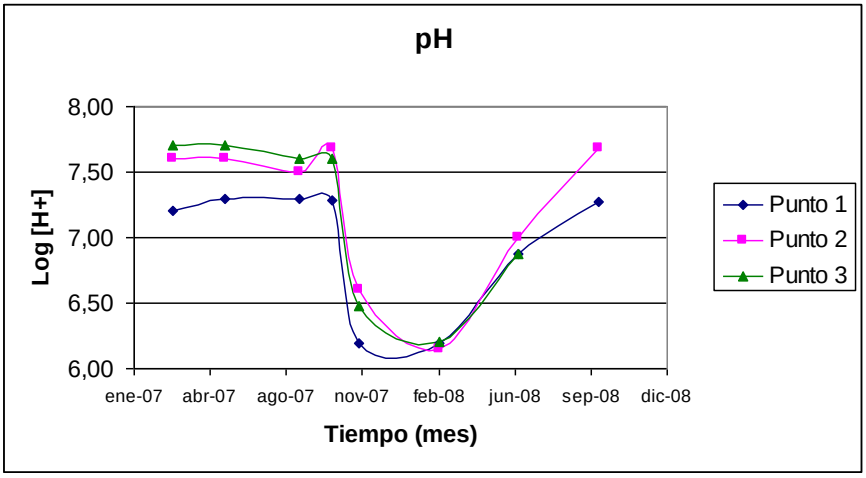
Tabla 8: Estadística de Oxigeno Disuelto

O. D.	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PROMEDIO	2,69	4,30	4,39
MINIMO	1,08	2,37	1,35
MAXIMO	4,18	7,18	7,08

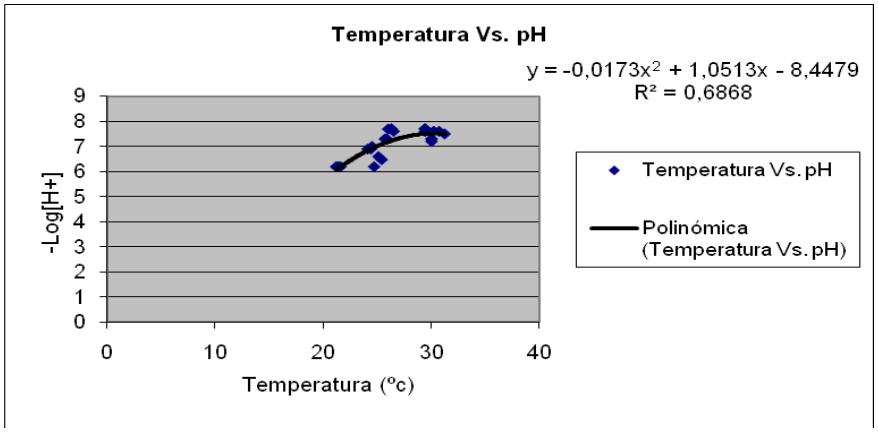
La cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura en la laguna, que presenta valores promedios entre 26,5 y 26,9. ºC condición que determina la disponibilidad de oxigeno, se puede afirmar que solo los puntos que pueden recibir el reflujo de entrada de agua desde el rio Cauca punto 2 y 3 del muestreo presentan valores relativamente aceptables, solo en los valores máximos, porque en los valores promedios el escenario del oxigeno en la laguna de Sonso es mínimo poco disponible y hace extremas las condiciones para la vida de la fauna acuática.

POTENCIAL HIDROGENION (pH)

Gráfica 23: Potencial Hidrogenión.

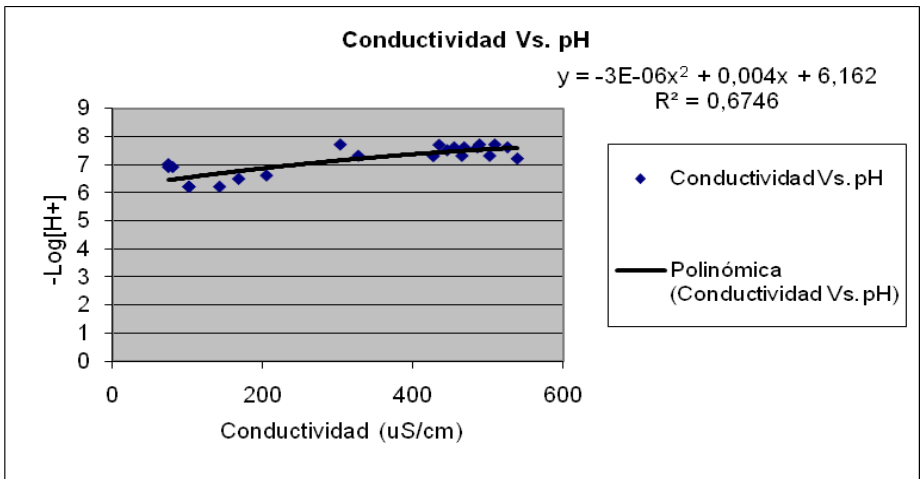


El pH muestra un comportamiento temporal similar a la conductividad, salinidad TDS y temperatura, esta característica nos indica su estrecha relación con los procesos de aporte en cuanto a material aloctono y agua proveniente de los sistemas terrestres circundantes y de las aguas del Rio Cauca así como de la escorrentía proveniente de los aportes por lluvia, esta condición muestra un descenso del pH para los meses de noviembre a junio que coincide con los parámetros ya analizados para el periodo en estudio. Al establecer relaciones de estos parámetros con el pH cabe esperar valores de R altos, circunstancia que se puede comprobar con la grafica 24 que relaciona temperatura pH donde la correlación da un R^2 de aproximadamente 07 y que está definida por la ecuación



Grafica 24 Temperatura Vs pH

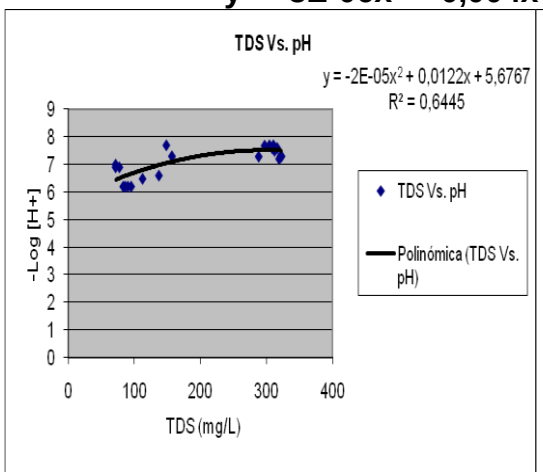
$y = -0{,}0173x^2 + 1{,}0513x - 8{,}4479$ $R^2 = 0{,}6868$



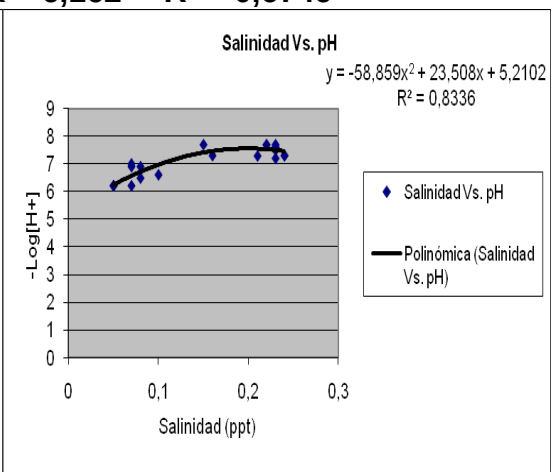
Grafica 25 Conductividad Vs pH

La Grafica 25 relaciona conductividad vs pH estableciendo que a valores entre 400 a 540 de conductividad los valores de pH se encuentran entre 7,30 a 7,70 con una ecuación de correlación con un R^2 0,68 y definida por la ecuación

$$y = -3E\text{-}06x^2 + 0{,}004x + 6{,}162 \qquad R^2 = 0{,}6746$$



Grafica 26 TDS Vs pH



Grafica 27 Salinidad Vs pH

Las Graficas 26 y 27 muestran respectivamente las relaciones del pH con los TDS y con la salinidad siendo esta última la más alta correlación identificada para el pH con un R2 de 083 definida esta curva por la ecuación.

$$y = -58{,}859x^2 + 23{,}508x + 5{,}2102 \qquad R^2 = 0{,}8336$$

Tabla 10: Estadística de pH.

pH	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PROMEDIO	6,95	7,23	7,16
MINIMO	6,19	6,15	6,20
MAXIMO	7,30	7,69	7,70

El pH no reveló ningún cambio significativo, presentando un valor medio casi neutro (6,95 a 7,23), con un valor máximo mensual multianual de 7.30 y un mínimo de 6.15, Las pocas variaciones del pH no perjudican la vida acuática, porque estos valores se encuentran dentro del rango de 6.5 a 8 donde se desarrolla la biota acuática.

El potencial hidrogenión es la unidad de medida de la acidez y de la basicidad del agua. En los ecosistemas acuáticos el pH está en función de la cantidad de C02 disuelto y constituye un indicador del metabolismo de las comunidades animales y vegetales, por lo que se refiere a su fotosíntesis y respiración.

Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO_2 disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO_2 formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato. Es posible que las condiciones químicas de los suelos en la Laguna de Sonso estén determinando los valores de pH para la laguna ya que estos presentan una saturación de Na >del 15%, son pobremente drenados y fuertemente alcalinos condición determinante.

POTENCIAL DE OXIDO REDUCCION (ORP)

Las mediciones Redox sirven para monitorear las reacciones químicas de los ecosistemas acuáticos. La variación en el número de electrones se denomina estado de oxidación o valencia, y determina diferencias en el comportamiento químico y físico de las especies de un mismo elemento.

Estas reacciones involucran al oxígeno, que es el agente oxidante más común en los sistemas naturales. En presencia de oxígeno, muchos elementos pueden oxidarse (perder electrones, ganar valencia), mientras que el oxígeno se reduce. Sin embargo, las reacciones de oxidación-reducción no siempre ocurren en presencia de oxígeno. Los ambientes oxicos raramente presentan potenciales redox inferiores a +600 mV, el potencial redox desciende progresivamente a medida que los suelos de los humedales se anegan y el potencial redox disminuye al tiempo que la respiración del carbono orgánico agota el O2 del suelo Callebaut

et al (1982)[34], Megonigal et al (1993)[35]. En suelos y sedimentos de humedales la difusión de oxigeno es muy lenta y el potencial redox desciende rápidamente con la profundidad Stolzy et al (1981)[36] y mientras el carbono orgánico sea abundante en los sedimentos del humedal se puede formar un fuerte gradiente de potencial redox en tan solo 2mm de profundidad.

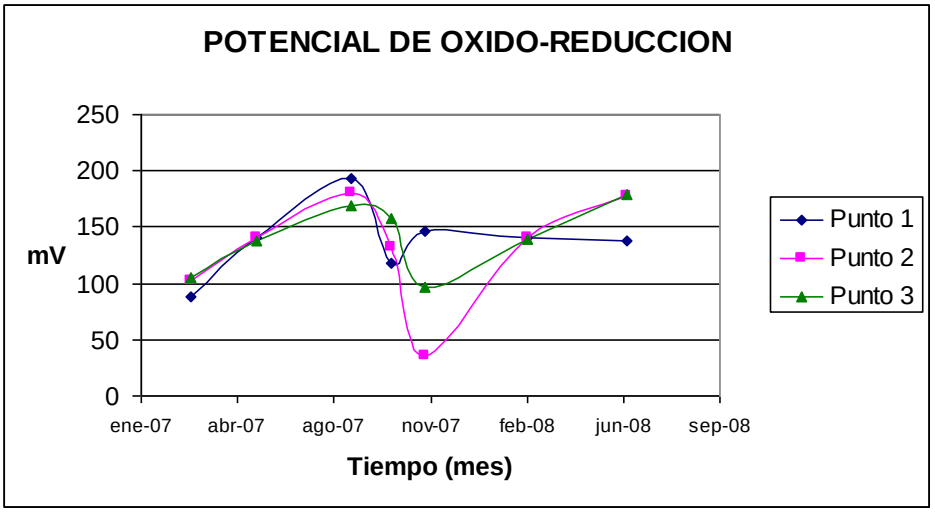
La variabilidad espacial y temporal del potencial redox en los humedales es muy elevada, comprende prácticamente todo el rango de variación del potencial redox registrado, para la laguna de Sonso este presenta valores entre 129.7 a 140,6 mV. En la medida que los potenciales redox sean menores o bajos como los aquí planteados se genera una secuencia de reacciones donde se da la reducción del NO_3 a N_2, del Mn^{4+} a Mn^{2+} de Fe^{3+} a Fe^{2+}, de SO_4^{2-} a H_2S y de CO_2 a CH_4, Ponnamperuma,(1972)[37], Achtnich et al (1995)[38], Peters y Conrad (1996)[39], Stum y Morgan,(1981)[40]

En estas condiciones la biogeoquimica de la laguna de Sonso nos permite afirmar que una vez la respiración aerobia agota el oxigeno el cual es ya muy bajo, se deben presentar reacciones de desnitrificacion ya que normalmente estas reacciones se dan cuando el potencial redox baja a +747mV a un pH 7,0 agotado el nitrato se da inicio a la reducción del Mn^{4+} lo que se presenta con potenciales redox por debajo de +526mV, ya por debajo de este valor la práctica totalidad de las reacciones redox son realizadas por anaerobios estrictos, pudiendo inferirse que esta es la condición en la laguna de Sonso con potenciales redox de 129,7 a 140,6 mV.

En la grafica 28 se presenta el comportamiento temporo espacial del ORP donde los picos extremos altos están asociados a los mínimos de caudal y los extremos bajos a los pulsos de entrada de agua desde el rio Cauca, esta grafica muestra la dependencia de los periodos de precipitación y de sequia como influyen el comportamiento del ORP, en noviembre es apreciable el efecto de la dilución por aportes de agua tanto de escorrentía superficial como de pulsos de caudal y en Julio agosto y septiembre las mayores concentraciones.

---

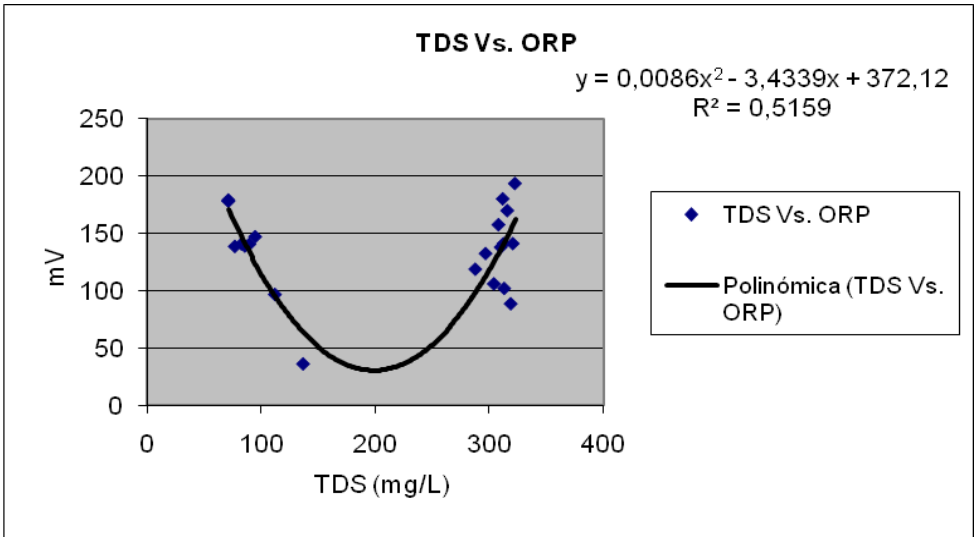
[34] Callebaut,F., D.Gabriels, W.Winjauw, y M. De Boodt. 1982. Redox potential oxygen diffusion rate, and soil gas composition in relation to water table level in two soils. Soil Science 134: 149-156.
[35] Megonigal,J.P., W.H. Patrick, y S.P.Faulkner.1993. Wetland identification in seasonally flooded forest soil: Soil morphology and redox dynamics. Soils Science Society of American Journal 57:140-149
[36] Stolzy, L.H., D.D.Focht, y H. Fluhler.1981. Indicators of soil aeration status. Flora 171:236-265.
[37] Ponnamperuma, F.N. 1972. The Chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy 24: 29-96
[38] Achtnich,C.,F. Bak, y Conrad.1995. Competition for electron donors among nitrate reducer, ferric iron reducer, sulfate reducer, and methanogens in anoxic paddy soil. Biology and fertility of Soils 19:65-72
[39] Peters, V. y R. Conrad. 1996. Sequential reduction processes and initiation of CH4 production upon flooding of oxic upland soils. Soil Biology and Biochemistry 28: 371-382.
[40] Stumm, W. y J.J. Morgan.1981. Aquatic Chemistry 2nd ed. Wiley, New York.



Gráfica 28: Potencial Oxido-Redox.

En estas condiciones la grafica 29 es quizá la única que presenta en concordancia al ORP un valor de correlación importante con un R de 0,52 aproximadamente y con un ajuste polinomico donde la ecuación está definida por

$$y = 0{,}0086x^2 - 3{,}4339x + 372{,}12 \quad R^2 = 0{,}5159$$



Grafica 29: TDS Vs ORP

Tabla 11: Estadística de ORP.

ORP	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PROMEDIO	138,0	129,7	140,6
MINIMO	88,2	35,6	96,3
MAXIMO	193,3	179,9	178,9

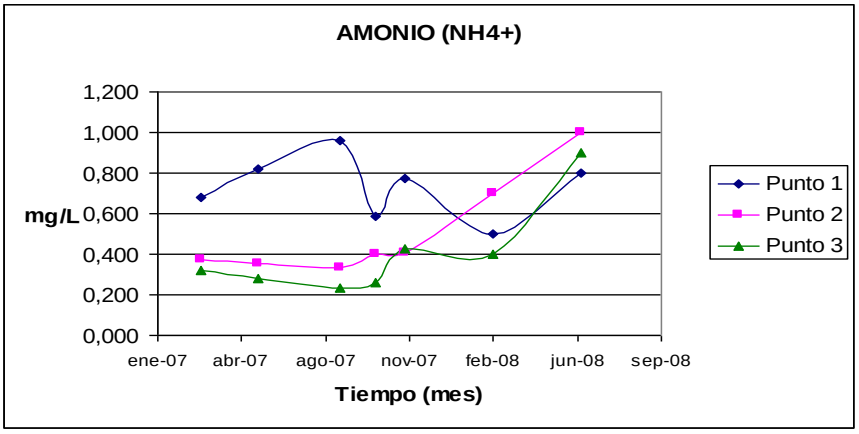
El POR de una solución acuosa es sensible a las variaciones de pH y tiende a elevarse con el aumento de iones hidrogeno y a disminuir con el incremento de iones hidroxilo. Para nuestro caso el POR tiene un valor promedio de 129.7 a 140,6 mV.

Se puede notar, que el comportamiento del ORP en la laguna es muy similar para los tres puntos en los meses de Marzo a Octubre de 2007, luego la nube de puntos se dispersa en el mes de Noviembre de 2007 periodo en que las precipitaciones crean el efecto de dilución de concentraciones en el agua de la laguna, y posteriormente de febrero a Junio de 2008 las líneas de tendencia de los puntos 2 y 3 se comportan de forma similar mientras que la del punto 1 sigue descendiendo paulatinamente.

AMONIO y AMONIACO

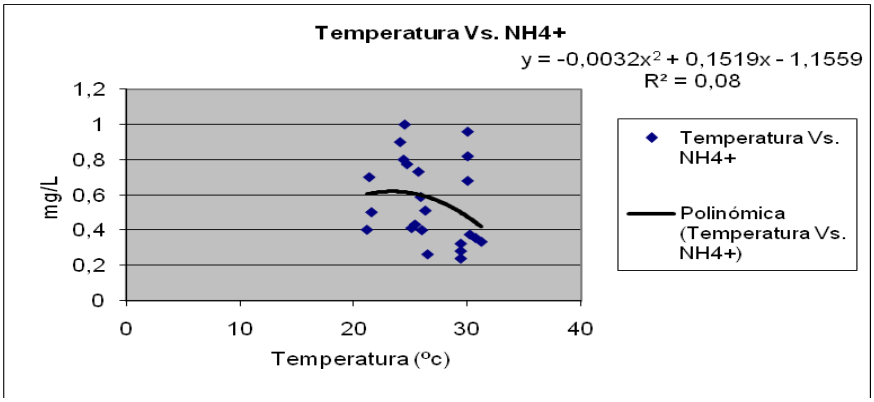
Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta de diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. La presencia y cantidades de amonio en aguas naturales es un indicador de contaminación con fertilizantes y heces. El comportamiento espacio temporal para los puntos 2 y 3 son muy homogéneos y presentan un incremento de noviembre a junio periodo donde se presentaron más precipitaciones durante el 2008 el punto 1 quizá por su localización hacia el sur de la laguna, presenta una mayor acumulación de materia orgánica donde se acumula por condiciones hidrodinámicas y los procesos de degradación pueden ser la explicación para los valores más altos de amonio en este punto.

.

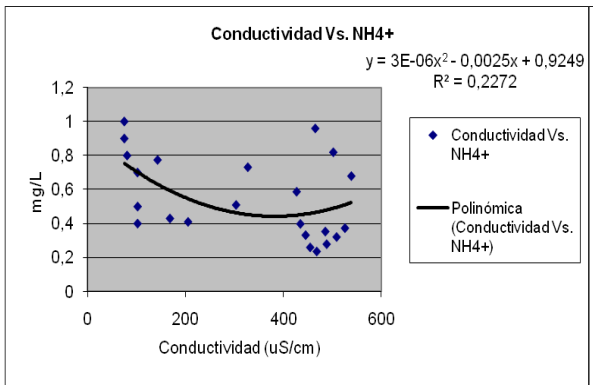


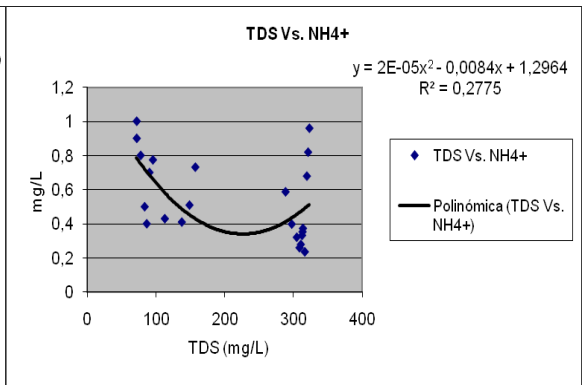
Gráfica 30: Amonio

En el análisis del amonio se encontró muy baja correlación con la temperatura como se puede ver en la grafica 31 que los relaciona con un R muy bajo de 0,08



Grafica 31: Temperatura Vs NH4+





Grafica 32: Conductividad Vs NH4+ **Grafica 33: TDS Vs NH4+**

En la correlación del NH4+ con la conductividad grafica 32 y con los TDS grafica 33 presentan un mayor nivel de relacionamiento lo cual está definido por las ecuaciones:

$$y = 3E\text{-}06x^2 - 0{,}0025x + 0{,}9249 \quad R^2 = 0{,}2272$$ Conductividad Vs NH4+ y

$$y = 2E\text{-}05x^2 - 0{,}0084x + 1{,}2964 \quad R^2 = 0{,}2775$$ TDS Vs NH4+

Aunque sus valores son bajos, si dejan entrever el fuerte relacionamiento que existe entre TDS y conductividad que ya ha sido discutido en acápites anteriores y sus valores de correlación con el amonio son similares, posiblemente la cantidad de material particulado y de arrastre que llega a la laguna está reflejando esta situación.

Tabla 12: Estadística de Amonio

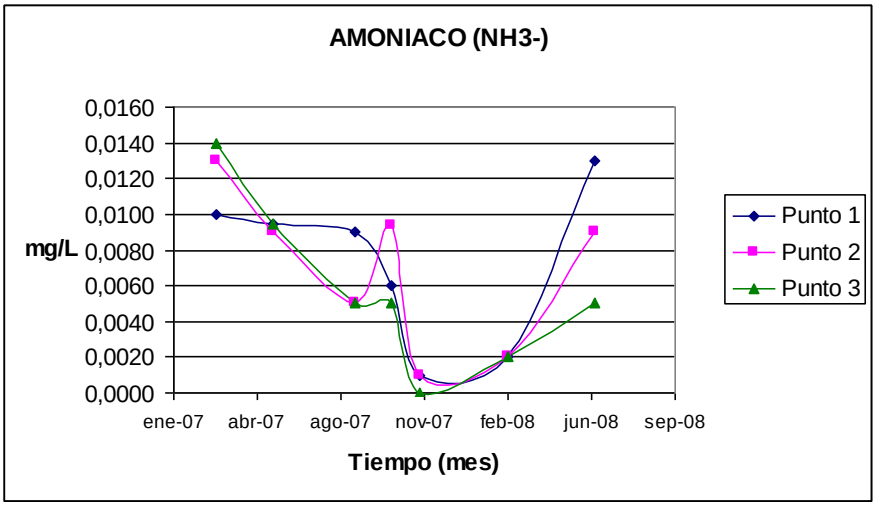
AMONIO	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PROMEDIO	0,731	0,509	0,404
MINIMO	0,500	0,332	0,236
MAXIMO	0,959	1,000	0,900

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal (amonio y amoniaco) son muy bajas menores de 0.99 mg/L; siendo el amoniaco prácticamente cero y su promedio se encuentra por debajo del valor permisible que es 0.1 mg/L (MAVDT). Dado estos valores se puede afirmar que hay procesos de degradación de materia orgánica.

La materia orgánica de la laguna de Sonso proviene de las plantas, animales muertos y excretas que llegan al cuerpo de agua para luego comenzar su proceso de descomposición con ayuda de bacterias y otros microorganismos que al

degradar la materia orgánica producen cantidades pequeñas de amoniaco, contribuyendo de esta forma con el ciclo del nitrógeno en el ecosistema. Las bajas concentraciones de amoniaco en la laguna de Sonso favorece el accionar de las bacterias Nitrosomonas y Nitrobacter ya que su metabolismo no se ve afectado por las bajas concentraciones de amoniaco y así se induce el procesos de nitrificación en el sistema

En el Grafico 33 se puede observar la alta dependencia de los flujos y caudales que llegan a Sonso donde se observa las diluciones que se dan en los meses de noviembre a febrero para el amoniaco NH3-



Gráfica 33: Amoniaco.

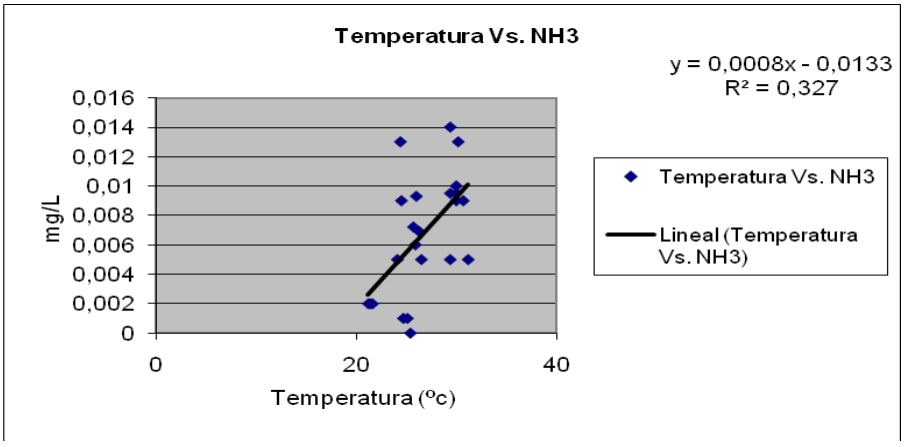
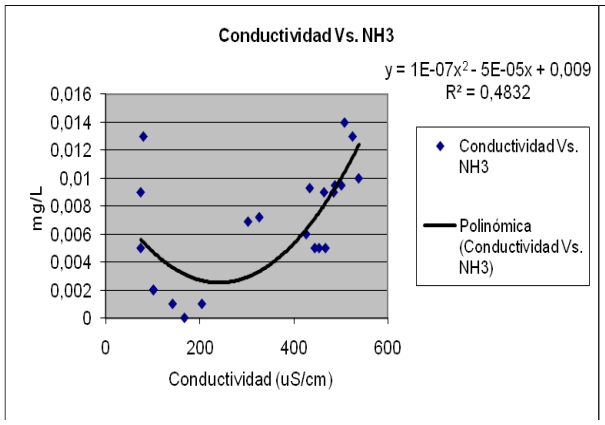


Grafico 34: Temperatura Vs NH3-

La relación entre Temperatura y NH3- no es claramente evidente aunque presenta un R de 0,33 aproximadamente, posiblemente esta relación indique la conversión

de compuestos nitrogenados orgánicos en amoníaco, como producto de la transformación de desechos tales como urea (orina) y ácido úrico (excreta de las aves), sustancias que son degradadas para liberar como amoníaco el nitrógeno en el ambiente acuático, quedando disponible para los procesos de nitrificación y asimilación. El nitrógeno presente en el agua es el resultado de la descomposición de materiales orgánicos y se encuentra en forma de compuestos orgánicos complejos, que son degradados a compuestos simples por microorganismos - bacterias y hongos - que se encuentran en la interface sedimentos agua en la laguna de Sonso. Estos microorganismos usan las proteínas y los aminoácidos para producir sus propias proteínas y liberan el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3) o ion amonio (NH_4^+) cumpliendo en este proceso un papel importante la temperatura del agua y de los sedimentos en este ecosistema.



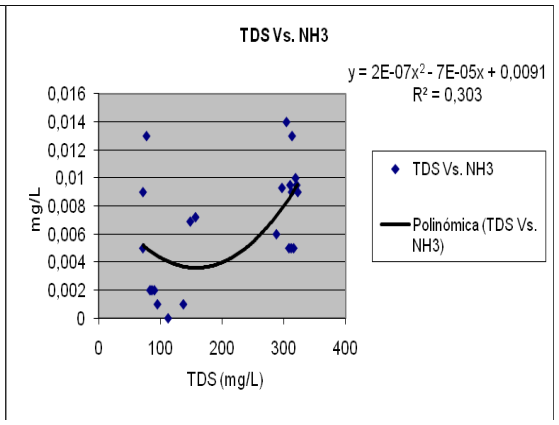


Grafico 35: Conductividad Vs NH3- **Grafico 36: TDS Vs NH3-**

En la correlación del Amoniaco NH3- con la conductividad grafica 35 y los TDS grafica 36 nos permite identificar un mayor nivel de acople en las ecuaciones que definen su interacción ya que sus valores de R son más altos y estos nos pueden estar indicando que los valores y las concentraciones para el Amoniaco están definidas por los aportes de TDS lo cual a su vez define parte de su expresión química en la conductividad.

$$y = 1E\text{-}07x^2 - 5E\text{-}05x + 0{,}009 \quad R^2 = 0{,}4832 \text{ Conductividad Vs NH3-}$$

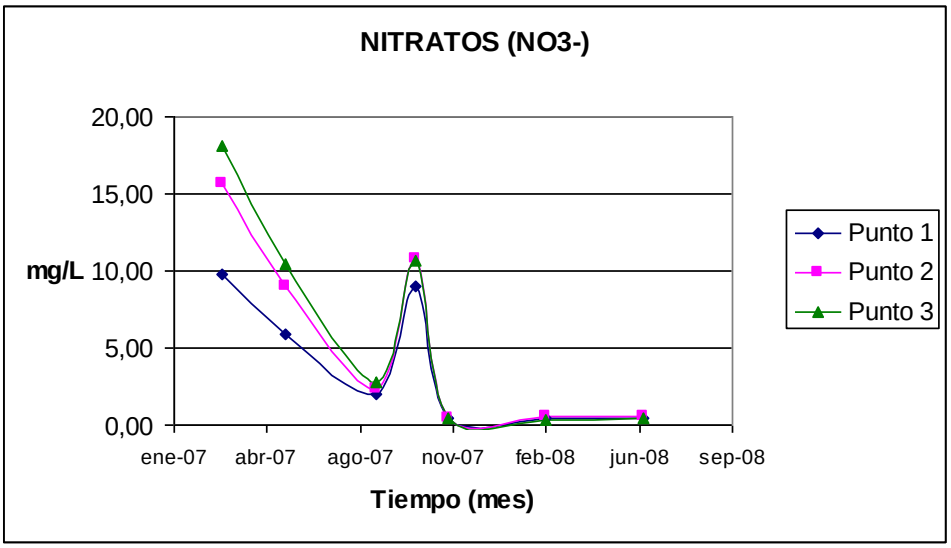
$$y = 2E\text{-}07x^2 - 7E\text{-}05x + 0{,}0091 \quad R^2 = 0{,}303 \text{ TDS Vs NH3-}$$

Es de esperarse que cuanto más alcalina es el agua mayor será la liberación de amoníaco, a partir de las sales de amonio, y el procesos de la nitrificación se desarrolla en la laguna

Tabla 13: Estadística de Amoniaco.

AMONIACO	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PROMEDIO	0,0072	0,0069	0,0058
MINIMO	0,0010	0,0010	0,0000
MAXIMO	0,0130	0,0130	0,0140

NITRATOS:



Gráfica 37: Nitratos.

La laguna de Sonso se encuentra ubicada en una región que explota al máximo los recursos agrícolas para el cultivo de la caña de azúcar. Los nitratos que se encuentran en el agua de la laguna provienen de los fertilizantes y abonos que utiliza esta industria en sus plantaciones habitualmente es el factor mayoritario en el arrastre, ya que a su elevada movilidad en el suelo, se une el ser la última especie química producida en el ciclo de mineralización del nitrógeno, lo que conduce a pérdidas entre 2*109 y 3.7*109 Kg. N/año Stevenson, (1986.)[41].

Las aguas naturales suelen contener menos de 3 ppm de NO_3-, no obstante se han observado en ocasiones valores altos, teniendo en cuenta que 45 mg/l es el límite máximo permitido por el U.S. Public Health Service Drinking Water Standards. Este incremento de la presencia de nitrato en las aguas naturales de Sonso se torna en un impacto cuando éste nutriente se incorpora a la cadena

[41] Stevenson, F.J. (1986). The nitrogen cycle in soil: Global and ecological aspects. en: *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.* New York. John Wiley & Sons, Inc. pp. 106-154

trófica humana, ya que puede originar metahemoglobinemia (aumento del nivel de metahemoglobina, en perjuicio del nivel de hemoglobina) que en casos agudos, y especialmente en lactantes, puede producir la muerte Zaporozec, (1983)[42]; Oertli, (1980)[43]; Rozman y Montserrat, (1989)[44]. El otro impacto sobre las aguas superficiales por ser un aporte masivo de nitrógeno es su eutrofización entendido el fenómeno como el crecimiento desmesurado de algas y plantas acuáticas, que consumen gran cantidad de O2, a costa de otros seres vivos que perecen por esta razón) que puede ser origen de infecciones, así como de mal sabor y olor Newbould, (1989)[45].; Keeney, (1982)[46].

Para que se tengan Nitratos en las aguas de Sonso es necesario que se realice la nitrificación proceso químico que requiere la presencia del oxígeno. Por consiguiente, la nitrificación en sistemas naturales puede suceder en ambientes ricos de oxígeno, como las aguas que circulan de escorrentía o que fluyen como las provenientes del rio Cauca sobre los perfiles superficiales del suelo y sedimentos.

El proceso de nitrificación tiene importantes consecuencias para la Laguna de Sonso, aquí los iones de amonio por su carga positiva se adosan a partículas y materias orgánicas del suelo con carga negativa. La carga positiva previene que el nitrógeno del amonio sea lixiviado del suelo por las lluvias. En estas condiciones el ión de nitrato con carga negativa no se mantiene en las partículas del suelo y puede ser barrido del perfil, aspecto que está sucediendo en la laguna de Sonso por los procesos naturales de escorrentía superficial y subsuperficial a consecuencia del incremento y aporte de nutrientes para la agricultura que recibe el área circundante a la laguna. Esto lleva a un enriquecimiento de nitrato en las aguas de avenamiento a la Laguna con sus consecuencias ya evidentes.

Las graficas 38 Conductividad Vs NO3- y 39 TDS Vs NO3- nos muestran la alta correlación del NO3- con la Conductividad y TDS indicando esto la dependencia e influencia que genera el área de avenamiento circundante de la Laguna de Sonso en la concentración de compuestos nitrogenados que aporten a los procesos del ciclo del nitrógeno. Se platea que la cantidad de nitrógeno arrastrado de los

---

[42] Zaporozec, A. (1983). Nitrate concentrations under irrigated agriculture. *Environ. Geol*., *5*: 35-38.

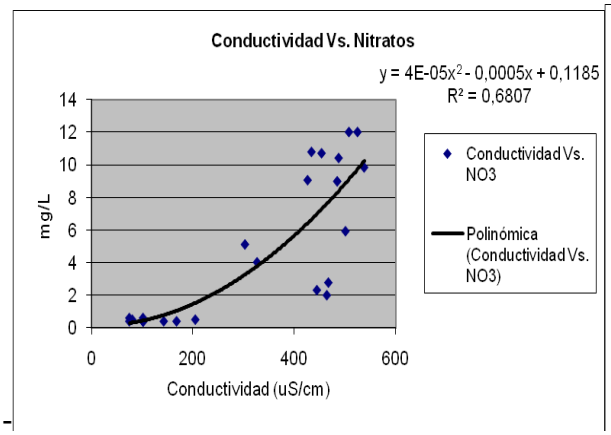
[43] Oertli, J.J. (1980). Controled-release fertilizers. *Fertilizer Research*, *1*: 103-123

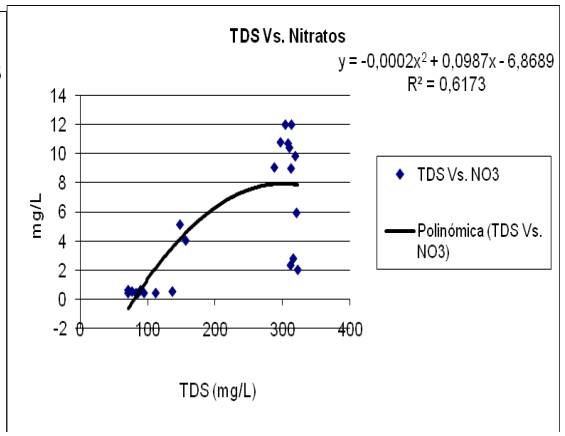
[44] Rozman, C.; Montserrat, E. (1988). Hematología. en: P. Farreras Valentí *et al. MedicinaInterna.* 11a ed., Barcelona, Ed. Doyma. vol. II. pp. 1459-1625

[45] Newbould, P. (1989). The use of nitrogen fertiliser in agriculture where do we go practically and ecologically?. *Plant and Soil*, *115*: 297-311

[46] Keeney, D.R. (1982). Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. en: F.J. Stevenson, ed. *Nitrogen in agricultural soils.* Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. pp. 605-649

campos agrícolas es más grande que el de campos de pastura, Neill et al (1995)[47] y cuando se expresa como un porcentaje del nitrógeno añadido en fertilizantes el nitrógeno lixiviado en suelos agrícolas varia entre 28% a 85%, Holscher et al (1997)[48], Kuhene (1993)[49], Poss y Saragoni (1992)[50]





Grafica 38 Conductividad Vs NO3- **Grafica 39: TDS Vs NO3-**

$y = 4E\text{-}05x^2 - 0{,}0005x + 0{,}1185$ $R^2 = 0{,}6807$ Conductividad Vs NO3-

$y = -0{,}0002x^2 + 0{,}0987x - 6{,}8689$ $R^2 = 0{,}6173$ TDS Vs NO3-

Tabla 15: Estadística de Nitratos.

NITRATOS	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PROMEDIO	4,01	5,63	6,16
MINIMO	0,39	0,50	0,38
MAXIMO	9,83	15,64	18,06

La gráfica de nitratos presenta un pico en el mes de Octubre de 2007, esto puede ser ocasionado por el uso de fertilizantes o abonos que contienen nitrógeno en diferentes especies y luego por acción de las lluvias, fenómenos climatológicos o arrastre llegan a los ríos que finalmente abastecen la laguna.

---

[47] Neil1 C, Piccolo MC, Steudler PA, Melillo JM, Feigl BJ & Cerri CC (1995) Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western Brazilian Amazon basin. Soil Biol. Biochem. 27: 1167-1 175

[48] Holscher D, Moller RF, Denich M & Folster H (1997) Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. Nutrient Cycling in Agroecosystems 47: 49-57

[49] Kiihne RF (1993) Wasser- und Nahrstoffhauhalt in Mais-Maniok-Anbausgstemen mit und ohne Integration von Alleekultuven ("Alley cropping") in Siid-Benin. Honen Heimer Bodenkundliche Hefte 13: 1-244

[50] Poss R & Sargoni H (1992) Leaching nitrate, calcium and magnesium under maize cultivation on anoxisol in Togo. Fert. Res. 33: 123-133

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sonso ha sufrido alteraciones generadas por el desarrollo de infraestructura siendo la más importante la construcción de la carretera Buga – Buenaventura, lo cual condujo al taponamiento del Caño Carlina escindiéndose así el flujo natural de agua entre el Río Cauca y la Laguna de Sonso no siendo suficiente el flujo actual generado artificialmente mediante la construcción del caño Nuevo.

Los servicios que ofrece este humedal se pueden resumir en tres grandes categorías: suministro de agua para diferentes usos, suministro de biomasa y suministro de beneficios no extractivos como la recreación y el transporte al igual que la conservación, este ecosistema constituyen un referente cultural.

Las actividades humanas han sido un elemento integral del funcionamiento ecológico de los humedales Vallecaucanos, por lo cual su gestión debe estar orientada a mantener los procesos ecológicos esenciales y los hábitats así como la relación entre las comunidades y el ambiente natural.

Tanto para el mes de Septiembre de los años, 86, 97, 01, 05, 06, 07, 08 como para Marzo de los años 85, 91, 05, 07 y 08 lo que se observa es la disminución del espejo de agua de forma importante, condición que afecta las características fisicoquímicas de la Laguna de Sonso.

La variabilidad en el espejo de agua se presenta desde un máximo de 600ha a un mínimo de 150ha. Dicha variabilidad en el espejo de agua se asocia directamente con la productividad en la laguna de las macrófitas acuáticas y su relación con la disponibilidad de nutrientes en el medio.

En la laguna de Sonso dominan los aportes de nutrientes procedentes de sus áreas circundantes y a menudo tienen una relación N/P alta, donde las concentraciones de N son mayores que las de P.

La concentración de Nitratos en la laguna de Sonso es de 5,6 mg/l siendo estos valores altos en relación a lo que normalmente se presenta en aguas de ecosistemas naturales, lo cual está asociado a ecosistemas donde los procesos agrícolas son intensivos

Sonso presenta condiciones polimicticas cálidas donde las variaciones de temperatura anual son pequeñas y el calentamiento diurno solo se ve interrumpido por el enfriamiento nocturno, conjugado en ocasiones con la acción del viento, el cual rompe fácilmente la débil mínima o nula estratificación que se pueda presentar.

En un sistema geoquímico como el de Sonso cabe esperar que las concentraciones sean mayores en momentos de bajo caudal ya que el agua provendría del drenaje del suelo, donde se estarían realizando las reacciones de meteorización y de intercambio iónico, en la medida que aumenta el caudal, las concentraciones disminuirán puesto que una proporción mayor del agua que llega a la laguna lo hace por precipitación, la escorrentía superficial y el drenaje de los poros grandes del suelo, existiendo poco o ningún equilibrio con las fases minerales del mismo. Este modelo geoquímico podría explicar el comportamiento de los iones mayoritarios que estén asociados en el sistema laguna rio, para el caso de (Ca, Mg, Na, Cl, SO_4 y HCO_3).

El TDS puede ser obtenido por la multiplicación de la conductancia por un factor el cual es comúnmente un valor entre 0.55 y 0.75. para la laguna de Sonso este cálculo nos permitió identificar que este factor es de 0,70 con una DS de 0,14 y un intervalo superior de 0,80 y uno inferior de 0,61

El valor de TDS para la laguna de Sonso es en promedio de 211,2 mg/l

Los suelos en la laguna de Sonso presentan una saturación de Na >del 15%, son pobremente drenados y fuertemente alcalinos característica que afecta los valores de la salinidad en las aguas de la laguna.

El valor de la conductividad para la Laguna de Sonso es en promedio de 322,6 uS/cm

La laguna de Sonso presenta potenciales redox de 129,7 a 140,6 mV.

La concentración de O_2 disuelto en la Laguna de Sonso puede tener máximos hasta de 7,2 y mínimos de 1,1 mg/l,

El pH, presentando un valor medio casi neutro (6,95 a 7,23), con un valor máximo mensual multianual de 7.30 y un mínimo de 6.15 unidades de pH

BIBLIOGRAFIA

Achtnich,C.,F. Bak, y Conrad.1995. Competition for electron donors among nitrate reducer, ferric iron reducer, sulfate reducer, and methanogens in anoxic paddy soil. Biology and fertility of Soils 19:65-72

Barbier, Edward B. 1993. "Valuing Tropical Wetland Benefits: Economic Methodologies and Applications. " ***Geographical Journal,*** Part 1, 59 (Mar.):22-32.

Bird Life International (2009) Important Bird Area factsheet: Reserva Natural Laguna de Sonso, Colombia. Downloaded from the Data Zone at http://www.birdlife.org on 21/9/2009

Brown, S.1981. A comparison of the estructure, primary productivity, and transpiration of cypress ecosystem in Florida. Ecological Monographs 51: 403- 427

Callebaut,F., D.Gabriels, W.Winjauw, y M. De Boodt. 1982. Redox potential oxygen diffusion rate, and soil gas composition in relation to water table level in two soils. Soil Science 134: 149-156.

Constanza, R., Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. y van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260

Chapin, F.S., Bloom, A.J., Field, C.B. y Waring, R.H. 1987. Plant responses to multiple environmental factors. *BioScience* 37: 49-57.

De Angelis, D. L. 1992. *Dynamics of Nutrient Cycling and Food Webs*. Chapman & Hall, London.270pp

Downing, M.G. y E. McCauley.1992. The Nitrogen :phosphorus relationship in lakes. Limnology and Oceanography 37: 936- 945

Espinal, L.S. 1968. Visión ecológica del Departamento del Valle del Cauca. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Goldman, C.R. 1988 Primary productivity, nutrients and transparency during the early onset of eutrophication in ultra-oligotrophic Lake Tahoe, California Nevada. Limnology and Oceanography 33: 1321-1333.

Hem, J. D. (1985): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *3rd Ed. U.S. Surv. Wat. Supply* Paper 2254. Washington (USA) 263 p.

Holdridge, L. R.; Grenke, W.; Hatheway; W.H.; Liang, T.; Tosi, J.A. 1971. «Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study». Pergamon Press, Oxford

Holscher D, Moller RF, Denich M & Folster H (1997) Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. Nutrient Cycling in Agroecosystems 47: 49-57

Johnson, N.M., G.E. Linkens, F.H. Bormann, D.W. Fisher, y R.S. Pierce. 1969. A working model for the variation in strem water chemistry at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hamsshire. Water Resources Research 5: 1353-1336

Kafury, O., L.F. Gómez & L. Libreros. 1987. Plan indicativo para la Reserva Natural Laguna de Sonso. Programa de Parques y Reservas, Corporación del Valle del Cauca CVC

Keeney, D.R. (1982). Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. en: F.J. Stevenson, ed. *Nitrogen in agricultural soils.* Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. pp. 605-649

Kiihne RF (1993) Wasser- und Nahrstoffhauhalt in Mais-Maniok-Anbausgstemen mit und ohne Integration von Alleekultuven ("Alley cropping") in Siid-Benin. Honen Heimer Bodenkundliche Hefte 13: 1-244

Krige, Danie G. (1951). "A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand". J. of the Chem., Metal. and Mining Soc. of South Africa 52 (6): 119–139.

Livingstone, (1963): Chemical composition of rivers and lakes. *U.S. Geol. Surv.* Professional Paper 400 G. 64

Meyer,J.L. W.H. McDowell, T.L. Bott, J.W. Elwood, C. Ishizaki, J.M. Melack, B.L. Peckarsky,B.J. Peterson, y R.A. Rublee.1988. Elemental Dynamics in strems. Journal of the North American Benthological Society 7:410-432.

Megonigal,J.P., W.H. Patrick, y S.P.Faulkner.1993. Wetland identification in seasonally flooded forest soil: Soil morphology and redox dynamics. Soils Science Society of American Journal 57:140-149

Newbould, P. (1989). The use of nitrogen fertiliser in agriculture where do we go practically and ecologically?. *Plant and Soil*, *115*: 297-311

Neil1 C, Piccolo MC, Steudler PA, Melillo JM, Feigl BJ & Cerri CC (1995) Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western Brazilian Amazon basin. Soil Biol. Biochem. 27: 1167-1 175

Oertli, J.J. (1980). Controled-release fertilizers. *Fertilizer Research*, *1*: 103-123

Peters, V. y R. Conrad. 1996. Sequential reduction processes and initiation of CH4 production upon flooding of oxic upland soils. Soil Biology and Biochemistry 28: 371-382.

Ponnamperuma, F.N. 1972. The Chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy 24: 29-96

Poss R & Sargoni H (1992) Leaching nitrate, calcium and magnesium under maize cultivation on anoxisol in Togo. Fert. Res. 33: 123-133

Ramírez, G. Viña. *Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis.* Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano-BP Exploration Company (Colombia) Ltda. 1998. pp. 131.

Rawson, D.S., 1951 The total mineral content of lake waters. Ecology, 32:669–72

Roldan Pérez Gabriel 1992: Fundamentos de limnologia tropical, Colección Ciencia y Tecnología Editorial Universidad de Antioquia

Rozman, C.; Montserrat, E. (1988). Hematología. en: P. Farreras Valentí *et al. MedicinaInterna.* 11a ed., Barcelona, Ed. Doyma. vol. II. pp. 1459-1625

S. Asprilla, J. J. Ramírez, G. Roldán. "Caracterización limnológica de la ciénaga de Jotaudó (Chocó-Colombia)". *Revista actualidades Biológicas.* Vol. 20. 1998. pp. 87-107.

Stolzy, L.H., D.D.Focht, y H. Fluhler.1981. Indicators of soil aeration status. Flora 171:236-265.

Stumm, W. y J.J. Morgan.1981. Aquatic Chemistry 2nd ed. Wiley, New York.

Schlesinger, W.H. 1997. Biogeochemistry. Geotimes 42(2):44.

Schlesinger W H: Biogeochemistry Academic Press, 1997

Schlesinger, W.H. 1978. Community structure, dynamics and nutrient cycling in the Okefenokee cypress swamp forest. Ecological Monographs 48: 43- 65

SCHIEL y KRIGE. Fenómenos de correlación espacial por medio de métodos estadísticos. Editorial Fulher y CIA, 1952

Tropical Rainfall Measuring Mission (*TRMM*) es una conjunción de exploración espacial entre la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA) diseñada para monitorear y estudiar precipitaciones tropicales y subtropicales, entre 35º N y 35º S

Vallentyne, J.R. 1974. The Algal Bowl Departament of Environment, Miscellaneous Special Publication 22,Ottawa , Canada.

Verry, E.S. y D.R. Timmons.1982. Waterborne nutrient flow through an upland peatland watershed in Minnesota. Ecology 63: 1456- 1467

IGAC-CVC 2004: Levantamiento de suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Valle del Cauca Tomo 1 IGAC-CVC Planchas 280I y 261III Bogotá DC.

Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Second Editions Edited by Deborah Chapman, Unesco, Unep, WHO, 1996

Zaporozec, A. (1983). Nitrate concentrations under irrigated agriculture. *Environ. Geol*., *5*: 35-38.