

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua  
(UNAN-Managua)**



**Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua  
(CIRA/UNAN)**

Trabajo de Tesis  
Para optar al grado de  
Master en Ciencias del Agua

**POTENCIAL HIDROLÓGICO Y CALIDAD DE LAS AGUAS  
SUPERFICIALES EN LA SUBCUENCA DEL RIO OCHOMOGO**



Elaborado por: Lic. Yader Santiago Caballero Arbizú  
Tutor MSc. Evelyn Hooker Offer  
Asesores: Msc. Enoc Castillo Hernández  
Ing. Ramón Dávila López

Managua, Marzo, 2007

Patrocinado por la *Red Centroamericana para el Manejo de los Recursos Hídricos*  
(Red CARA)

## **DEDICATORIA**

A DIOS todopoderoso por darme la vida, salud, sabiduría e inteligencia para concluir este período de estudio.

A mi abuelita Josefa Mayorga Vda de Caballero (q,ep,d), por el Amor, Aprecio y Cariño mientras estaba conmigo para realizar mis estudios.

A mi padre Sixto Malcos Caballero Mayorga por el apoyo incondicional y su esfuerzo que me brindó en mis estudios para superarme y tener éxitos en la vida.

A mis tíos Gloria Francisca, Karla Modesta Caballero Mayorga y Rómulo Julián Canales Gómez por el apoyo brindado durante todos mis estudios.

A mis hermanas Ruth Deyanira, Yackeline de Trinidad Caballero Arbizú y Carolina Marisol Caballero por el apoyo en todas las etapas de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Red Centroamericana de Manejo De Recursos Hídricos (Red CARA), por haberme dado la oportunidad de ingresar al Programa de la Maestría en Ciencias del Agua.

Al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN) por permitirme ingresar al Programa de Maestría y a la UNAN-Managua por el apoyo económico brindado.

Al Maestro Salvador Montenegro Guillén y a la Doctora Katherine Vammen que con su paciencia y tolerancia me permitieron culminar mi proyecto de investigación.

A mi tutora M.Sc Evelyn Hooker por la ayuda incondicional y haber transmitido sus conocimientos y experiencias para ejecutar esta investigación.

A la Coordinación de la Maestría por el apoyo en todas las etapas del Programa de la Maestría en Ciencias del agua.

Al Msc. Enoc Castillo por el apoyo brindado para elaborar el documento final de la investigación.

Al Ing. Ramón Dávila por la asesoría brindada para elaborar la investigación.

A los técnicos de la sección de Hidrología de INETER por el apoyo incondicional para terminar este estudio.

A mis compañeros de clases y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron a la realización del estudio.

## INDICE GENERAL

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Índice General	III
Índice de Cuadros	VI
Índice de Figuras	VII
Índice de Mapas	IX
Índice de Anexos	X
Abreviaciones	XI
Resumen	XIII

<b>ÍNDICE</b>	<b>PAGINA NO.</b>
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	<b>i</b>
1.1 Descripción del área de estudio.....	3
1.1.1 Características físicas de la subcuenca Ochomogo .....	5
1.1.2 Características morfológicas de la subcuenca.....	6
1.1.3 Geología .....	6
1.1.4 Suelos.....	11
1.1.5 Hidrología .....	17
1.2 ANTECEDENTES.....	20
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	22
1.5 OBJETIVOS.....	23
1.5.1 Objetivo General.....	23
1.5.2 Objetivos Específicos .....	23
<b>II MARCO TEORICO</b> .....	<b>24</b>
2.1 BALANCE HÍDRICO .....	24
2.1.1 Generalidades .....	24
2.1.2 Componentes del balance hídrico superficial .....	27
2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS .....	32
2.2.1 Generalidades .....	32
2.2.2 Iones disueltos.....	32
2.2.4 Características físicas.....	41
2.3 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS .....	44
2.3.1 Generalidades .....	44
2.3.2 Fuentes y tipos de contaminación de las aguas superficiales .....	44
2.4 CALIDAD DE AGUA E INDICADORES DE CALIDAD.....	53
2.4.1 Generalidades .....	53
2.4.2 Indicadores Físicos.....	53
2.4.3 Indicadores Químicos.....	54
2.4.4 Indicadores Biológicos.....	56
<b>III DISEÑO METODOLOGICO</b> .....	<b>60</b>

3.1	TIPO DE ESTUDIO.....	60
3.2	RECOLECCION DE INFORMACIÓN .....	60
3.2.1	Selección de los puntos de muestreo .....	60
3.3	TRABAJO DE CAMPO .....	63
3.3.1	Encuestas.....	63
3.3.2	Aforos.....	63
3.3.3	Muestreo .....	63
3.4	METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO .....	64
3.5	METODOLÓGICAS DE LA RECOLECCION DE MUESTRAS .....	67
3.5.1	Análisis físico – químico .....	67
3.5.2	Análisis microbiológicos.....	67
3.5.3	Análisis de Macroinvertebrados Bénticos. ....	67
3.5.4	Análisis de plaguicidas .....	68
3.5.5	Análisis de Materia Orgánica .....	68
3.5.6	Análisis de Granulometría .....	68
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	71
4.1	GEOLOGIA.....	71
4.2	SUELOS .....	73
4.2.1	Tipos de suelos en la subcuenca del Río Ochomogo.....	73
4.2.2	Uso actual del suelo.....	74
4.3	CAUDAL DE LOS RÍOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO OCHOMOGO .....	77
4.4	EVALUACIÓN DE LOS TÉRMINOS DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL .....	79
4.4.1	Precipitación .....	79
4.4.2	Evapotranspiración Real (ETR) .....	80
4.4.3	Escorrentía superficial .....	81
4.4.4	Infiltración .....	82
4.4.5	Valoración del resultado del balance .....	83
4.4.6	Aplicación de los recursos hídricos.....	84
4.4.7	Manejo de los recursos de agua superficiales y subterráneos .....	84
4.4.8	Demanda - Oferta .....	85
4.4.9	Proyección para el 2009 .....	86
4.5	COMPOSICIÓN HIDROQUÍMICA DEL AGUA .....	86
4.5.1	CALIDAD HIDROQUÍMICA DEL AGUA .....	86
4.5.2	CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO .....	90
4.5.3	CARACTERIZACION QUÍMICA .....	93
4.6	CALIDAD DEL AGUA .....	98
4.6.1	INDICADORES FÍSICOS .....	98
4.6.2	INDICADORES QUÍMICOS.....	104
4.6.3	INDICADORES BIOLÓGICOS .....	108
4.7	CONTAMINACIÓN ORGÁNICA.....	123
4.7.1	Plaguicidas Organoclorados en agua .....	123
4.7.2	Plaguicidas Organoclorados en Sedimentos .....	126
4.8	FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES .....	129
V	CONCLUSIONES .....	131
VI	RECOMENDACIONES .....	133

VII BIBLIOGRAFIA..... 134

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Principales enfermedades transmitidas por microorganismos en el agua	48
Cuadro 2	Indicadores físicos y sus efectos provocados por la contaminación del agua	51
Cuadro 3	Indicadores químicos y sus efectos provocados por la contaminación del agua.	52
Cuadro 4	Propiedades físicas y químicas del agua utilizados como Indicadores de calidad del agua	52
Cuadro 5	Niveles permisibles en el agua de los indicadores bacteriológicos.	55
Cuadro 6	Descripción de los sitios de muestreo y aforos	59
Cuadro 7	Métodos utilizados en el análisis físico del agua	66
Cuadro 8	Métodos utilizados en el análisis químico del agua	67
Cuadro 9	Uso actual de los suelos en la subcuenca del Río Ochomogo	71
Cuadro 10	Caudal medidos en el Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca y lluviosa	74
Cuadro 11	Balance hídrico de la subcuenca del Río Ochomogo	79
Cuadro 12	Clasificación del agua superficial de la subcuenca del Río Ochomogo usando el índice RAS en la estación seca	89
Cuadro 13	Clasificación del agua superficial de la subcuenca del Río Ochomogo usando el índice RAS en la estación lluviosa	89
Cuadro 14	Índice de Diversidad de Shannon y Wiener ( H' ) y de Equidad	116
Cuadro 15	Residuos de plaguicidas en el Río Ochomogo y principales tributarios en la época seca	120
Cuadro 16	Residuos de plaguicidas en el Río Ochomogo y principales tributarios en la época de lluvias	122

Cuadro 17	Plaguicidas Organoclorados en los sedimentos del Río Ochomogo y principales tributarios en la época seca	123
Cuadro 18	Plaguicidas Organoclorados en sedimentos en el Río Ochomogo y principales tributarios en la época de lluvias	125



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama de Piper tipo hidroquímico(HCO <sub>3</sub> – Ca) en la época de verano	86
Figura 2.	Diagrama de Piper tipo hidroquímico (HCO <sub>3</sub> – Ca) en la época de invierno	86
Figura 3	Normas de Riverside para evaluar la calidad del agua (U.S Soil Salinity Laboratory)	88
Figura 4	Relación de la Dureza Total y la Alcalinidad Total en la estación seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo	92
Figura 5	Comportamiento del Hierro Total en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo	94
Figura 6	Valores de pH en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo	96
Figura 7	Concentraciones de oxígeno disuelto en la estación en los sitios de muestreo en la subcuenca del Río Ochomogo	97
Figura 8	Concentraciones encontradas de Turbidez y Sólidos Suspensos en la subcuenca del río Ochomogo	99
Figura 9	Variaciones de la Conductividad y Sólidos Disueltos en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo	100
Figura 10	Variación de las concentraciones de Nitratos, Amonio y Nitrógeno total en la estación seca y lluviosa en los sitios estudiados en la subcuenca del Río Ochomogo	102
Figura 11	Variación de las concentraciones Fósforo Total (FT), Fósforo Total Disuelto (FTD) y Fósforo Reactivo Disuelto (FRD) en los puntos estudiados en los dos períodos de muestreo	104
Figura 12	Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> detectados en la época de verano	106
Figura 13.	Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> detectados en la estación lluviosa	107

Figura 14	Número de estreptococos fecales en la estación seca y lluviosa en la subcuenca del río Ochomogo	109
Figura 15	Densidad total de la comunidad de macrozoobentos en los sitios estudiados del Río Ochomogo.	110
Figura. 16	Composición comunitaria y abundancia relativa del bentos en la época seca en los sitios estudiados del Río Ochomogo.	111
Figura. 17	Composición comunitaria y abundancia relativa del bentos en la época lluviosa en los sitios estudiados del Río Ochomogo.	112
Figura 18	Riqueza de especies de macrozoobentos encontrados en los puntos y períodos muestreados en los sitios estudiados del Río Ochomogo.	114
Figura 19	Composición porcentual de las diferentes fracciones del sedimento, las líneas continuas señalan la Materia Orgánica (MO) y las barras indican el caudal registrado durante las épocas seca y lluviosa	119
Figura 20	Fuentes de contaminación detectadas en la subcuenca del Río Ochomogo.	126

## INDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación de la Subcuenca del Río Ochomogo	4
Mapa 2. Tipos de suelos de la subcuenca del Río Ochomogo	13
Mapa 3. Uso potencial de los suelos de la subcuenca del Río Ochomogo	15
Mapa 4. Ríos de la subcuenca del Río Ochomogo	17
Mapa 5. Ubicación de sitios de muestreo y aforos de la subcuenca del Río Ochomogo	58
Mapa 6. Régimen de precipitación de la subcuenca del Río Ochomogo	63
Mapa 7. Geología de la subcuenca del Río Ochomogo	69
Mapa 8. Uso actual de los suelos de la subcuenca del Río Ochomogo	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Tabla 1. Comportamiento de la precipitación de la estación ubicada en Nandaimé.
- Tabla 2. Comportamiento de la evapotranspiración de la estación ubicada en Nandaimé.
- Tabla 3. Comportamiento de la precipitación de la estación ubicada en Santa Teresa.
- Tabla 4. Comportamiento de la evapotranspiración de la estación ubicada en Santa Teresa.
- Tabla 5. Resultados de los parámetros del Balance hídrico.
- Tabla 6. Resultados de los parámetros del Balance hídrico.
- Tabla 7. Resultados físico-químico del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca.
- Tabla 8. Resultados físico-químico del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época lluviosa.
- Tabla 9. Resultados microbiológicos del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca y lluviosa.
- Tabla 10a. Resultados de la comunidad de macroinvertebrados del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca.
- Tabla 10b. Resultados de la comunidad de macroinvertebrados del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca.
- Tabla 11. Resultados de la comunidad de macroinvertebrados del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época lluviosa.
- Tabla 12. Resultados de Granulometría en la subcuenca del Río Ochomogo.

## ABREVIACIONES

CAPRE	Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.
CEE	Comunidad Económica Europea
CENAGRO	Censo Nacional Agropecuario.
CDA	Curvas Dobles Acumuladas
DMSP	Dispositivo de Membranas Semipermeables
CCME	Canadian Council of ministers of the environment
ET	Evapotranspiración
ETP	Evapotranspiración Potencial
ETR	Evapotranspiración Real
FT	Fósforo Total
FRD	Fósforo Reactivo Disuelto
FTD	Fósforo Total Disuelto
INCAP	Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INETER	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales
INTA	Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuario.
Kom	Coeficiente de partición de la materia orgánica
Kd	Coeficiente de partición
Km	Kilómetros
km <sup>2</sup>	Kilómetros cuadrados
MAGFOR	Ministerio de Agricultura y Ganadería y Forestal

mg.l <sup>-1</sup>	Miligramos por litro
mm	Milímetros
mmca	Millones de Metros Cúbicos Anuales
MO	Materia Orgánica
m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	metros cúbicos por segundos
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PROCUENCA SAN JUAN	Proyecto de la cuenca del Río San Juan
RAS	Relación de Absorción de Sodio
STD	Sólidos Totales Disueltos
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
U.S Soil Salinity Laboratory	Laboratorio de Salinidad de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
µg <sup>-1</sup>	Microgramos por litro
WHO	World Health Organization

## RESUMEN

La subcuenca del Río Ochomogo es una de las más importantes del país por su extensión, potencial hidrológico y por el tipo de suelos. Tiene una extensión de 271.3 Km<sup>2</sup>, pertenece a la cuenca del río San Juan, geográficamente se encuentran en los departamentos de Rivas, Granada y Carazo. La agricultura es la principal actividad económica la cual tiene gran dependencia del suministro de las aguas superficiales y subterráneas de la subcuenca.

Esta investigación se llevó a cabo para determinar la disponibilidad del agua superficial y los factores que inciden en la calidad del agua en la subcuenca del Río Ochomogo. Se utilizó la metodología del balance hídrico, para conocer el potencial hidrológico de agua superficial mediante la evaluación de la precipitación, evaporación y escorrentía superficial para un período de 14 años (1990-2004).

En este estudio se determinó el tipo hidroquímico de las aguas superficiales y se utilizaron indicadores físicos-químicos, microbiológicos y biológicos para determinar la calidad del agua superficial del Río Ochomogo y sus principales tributarios. También se identificaron las posibles fuentes de contaminación en la subcuenca de las aguas superficiales que de modo directo o indirectamente provocan alteración de su calidad en relación con los usos posteriores.

El potencial hidrológico de agua superficial en la subcuenca del Río Ochomogo es de 42,62 millones de metros cúbicos anuales (mmca); según los datos de los aforos el Río Ochomogo y sus principales tributarios tiene 5,11 mmca de agua superficial disponible. De las tres Microcuencas estudiadas, Las Mercedes es la que más contribuye al caudal del Río Ochomogo con 0,397 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

También en este estudio se determinó el tipo hidroquímico de las aguas del Río Ochomogo y sus principales tributarios las cuales son bicarbonatadas calcicas (HCO<sub>3</sub>-Ca). Desde el punto vista físico - químico las aguas no presentan

problemas de calidad de agua a excepción del hierro que se encuentra por encima de los límites establecidos por las Normas Canadienses (CCME).

Para determinar la calidad microbiológica se utilizaron algunos indicadores como los coliformes totales, coliformes fecales, *escherichia coli* y estreptococos. La presencia de estos indicadores en las aguas del Río Ochomogo indican contaminación bacteriológica del agua por las diferentes actividades en la subcuenca. Los coliformes totales y termotolerantes superan los valores límites establecidos por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA), por la Comunidad Económica Europea (CEE) y de las Normas Canadienses (EQGs). Las concentraciones encontradas de *E. coli* en todos los sitios de muestreo exceden los criterios de calidad de agua lo que evidencian una contaminación de origen fecal, mientras que la presencia de Estreptococos fecal en las aguas confirman una contaminación reciente de origen animal. Según estos indicadores las áreas más contaminadas desde el punto de vista bacteriológico son El Medina (S3), el sitio Antes de la Presa y la desembocadura al Lago de Nicaragua (S7).

Se determinó la composición y densidad de las comunidades de macroinvertebrados en el Río Ochomogo y sus principales tributarios para conocer el efecto de la contaminación orgánica sobre el patrón de distribución de las poblaciones del bentos. Se evidenció que las principales perturbaciones que tienen lugar sobre la fauna de Macroinvertebrados están determinadas por el uso de agroquímicos en los cultivos agrícolas de la subcuenca. Un total de 35 géneros de Macrozoobentos fueron identificados durante las dos campañas de muestreo donde la diversidad estuvo compuesta principalmente por la familia Chironomidae con 20 géneros que corresponden al 57 % del total de especies, seguido de la Familia Ceratopogonidae y Elmidae con 3 géneros cada uno (8.5 %). Los géneros más diversos de la Familia chironomidae en el verano fueron: *Cladotanytarsus sp*, *Nilotanypus sp*, *Shaeteria sp*, *Procladius sp* y *Polypedilum sp*. y el género *Cryptochironomus sp* en el invierno mientras que en la Familia Ceratopogonidae los géneros más diversos fueron *Probezzia sp* en el verano y *Bezia sp* en el



invierno. En el período de lluvia la densidad promedio fue de 18492 ind.m<sup>-2</sup>, sobresaliendo Las Mercedes (S4) con 6334 Ind.m<sup>-2</sup> (Cladotanytarsus) y el sitio antes de la Presa (S6) con 2160 ind.m<sup>-2</sup> en la época seca (S6) con 588 Ind.m<sup>-2</sup>. El mayor número de especies se encontró en los Gómez (S1) con 13 y 11 géneros en la época seca y lluviosa respectivamente. Se utilizó el índice de Shannon y Weaver para evaluar la diversidad de las especies, registrándose la mayor diversidad de macroinvertebrados en los Gómez (S1) en ambas épocas de muestreo, mientras en Las Mercedes (S4) y la desembocadura al Lago (S7) se observaron las diversidades más bajas.

Se evaluó la presencia de compuestos orgánicos persistentes (COPs) en agua y sedimentos, los plaguicidas identificados fueron pp-DDT, pp-DDE, pp-DDD, Dieldrín, Endrín, Lindano y alfa-BHC. Destaca la presencia de pp-DDT y sus metabolitos en Las Mercedes, en el sitio Antes de la Presa y en la desembocadura al Lago de Nicaragua. Así mismo se identificaron las posibles fuentes de contaminación de la subcuenca del Río Ochomogo, las cuales provienen de actividades tales como la agricultura, ganadería, domesticas y fecalismo al aire libre.

Palabras claves: Balance hídrico, potencial hidrológico, calidad de agua, macroinvertebrados.

## **I. INTRODUCCION**

Nicaragua dispone de una variedad de recursos hídricos como los lagos, lagunas y numerosos ríos, pero a pesar de esa abundancia, existen áreas de escasez hídrica debido a la distribución irregular y estacional de las lluvias. En general estos recursos hídricos se encuentran sometidos a un proceso de degradación progresiva que arriesga la disponibilidad futura de agua para usos vitales de la población. Algunos recursos hídricos se encuentran en zonas de mayor densidad poblacional y donde se realiza la mayor actividad agrícola e industrial del país.

La cuenca más grande de Centroamérica es la cuenca de los Grandes Lagos o Cuenca del Río San Juan, (Nicaragua, cuenca No 69) formada por los Lagos Managua (Xolotlán) y Nicaragua (Cocibolca) y el Río San Juan, con una extensión de 41.454 Km<sup>2</sup>. En la cuenca No. 69 se encuentra la subcuenca del Río Ochomogo la cual tiene una extensión de 271.3 km<sup>2</sup>, cuyo drenaje principal desemboca en el Lago Cocibolca, ubicada dentro de una zona predominantemente agrícola – ganadera de gran importancia económica para el país. La agricultura hace uso tanto de las aguas superficiales como subterráneas para la irrigación de los cultivos. Se utiliza el tramo bajo del río para irrigar los cultivos en el tramo comprendido entre el puente Ochomogo y la desembocadura al Lago. Los agricultores del sector de Las Mercedes utilizan las aguas de los ríos El Dorado, el Congo, Las Mercedes que conforman la microcuenca del mismo nombre. Algunos productores construyen pequeñas presas en la parte alta del Río Ochomogo lo que ha generado conflicto entre los usuarios de la parte baja por disminución del flujo de agua.

Los agroquímicos utilizados desde los años 1950 como fertilizantes y para el control de plagas, han afectado los suelos y la calidad del agua de las principales fuentes de agua en la subcuenca, la contaminación del agua con agentes químicos la hacen no apta para los diferentes usos de la comunidad. El uso de los

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

ríos de la subcuenca como receptores de desechos sólidos y líquidos aumentan los problemas de salud pública ya que la presencia de contaminantes fecales aumenta el riesgo de la presencia de bacterias transmisoras de enfermedades de origen hídrico.

La agricultura es la principal actividad económica en la subcuenca del Río Ochomogo, la cual ha causado mayor explotación tanto de las aguas superficiales como subterráneas. Las aguas del Río Ochomogo y sus principales tributarios están siendo utilizadas por los agricultores para irrigación de los cultivos, además la población de la subcuenca es altamente dependiente de los recursos superficiales para los diferentes usos (agrícola, recreación, doméstico).

La explotación de los recursos hídricos ha generado disminución de los caudales de algunos quebradas y ríos, específicamente en la microcuenca Las Mercedes y el tramo bajo del río. Esta situación ha generado problemas de escasez de agua en algunos sectores de la cuenca en especial, en aquellas comunidades que dependen del río para sus actividades domésticas.

La región tiene un alto potencial agrícola basado específicamente en el tipo de suelo y en la disponibilidad del recurso. A pesar de esto, no se aprovecha en su totalidad por que no se dispone de estudios recientes sobre la cantidad de agua disponible y la demanda actual de los diferentes usuarios, y sobre los posibles efectos de la actividad agrícola en la década de los ochenta y a inicio de los noventa sobre el medio ambiente acuático.

En esta investigación se describe el potencial hidrológico de las aguas superficiales de la subcuenca del Río Ochomogo, el carácter hidroquímico, las fuentes y el grado de contaminación, así como las propiedades físicas, químicas y sanitarias del agua. También se evalúa la calidad del agua desde el punto de vista biológico utilizando a los organismos del bentos como indicadores de la calidad.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **1.1 Descripción del área de estudio**

La subcuenca del Río Ochomogo pertenece a la cuenca de los grandes Lagos Nicaragüenses, (cuenca No. 69) que es una de las más importantes del país por su extensión y potencial hidrológico. La subcuenca tiene una extensión de 271.3 Km<sup>2</sup>, geográficamente pertenece a los departamentos de Rivas, Granada y Carazo. En ella se localizan municipios importantes como Nandaime (Granada) y Santa Teresa (Carazo). Mapa 1.

La subcuenca del Río Ochomogo según las cifras oficiales del Censo Agropecuario (CENAGRO, 2001), tiene una población total para el área de estudio de 62,149 habitantes; de ellos 25,939 en área urbana y 36,210 en el área rural. Según INEC (1995), el municipio de Nandaime contaba en esa fecha con una población compuesta por 37,714 habitantes y el municipio de Santa Teresa, con una población de 17.555 habitantes. Para el 2004 en el municipio de Nandaime se cuenta con una población de 41,247 habitantes con una densidad poblacional aproximada de 95 hab/km<sup>2</sup>, mientras el municipio de Santa Teresa tiene una población de 20,902 habitantes con una densidad poblacional aproximada de 94 hab/km<sup>2</sup>. La Subcuenca del Río Ochomogo está compuesta por 84 comunidades distribuidas entre el sector rural y en el sector urbano (Fuente: Alcaldía, 2004).

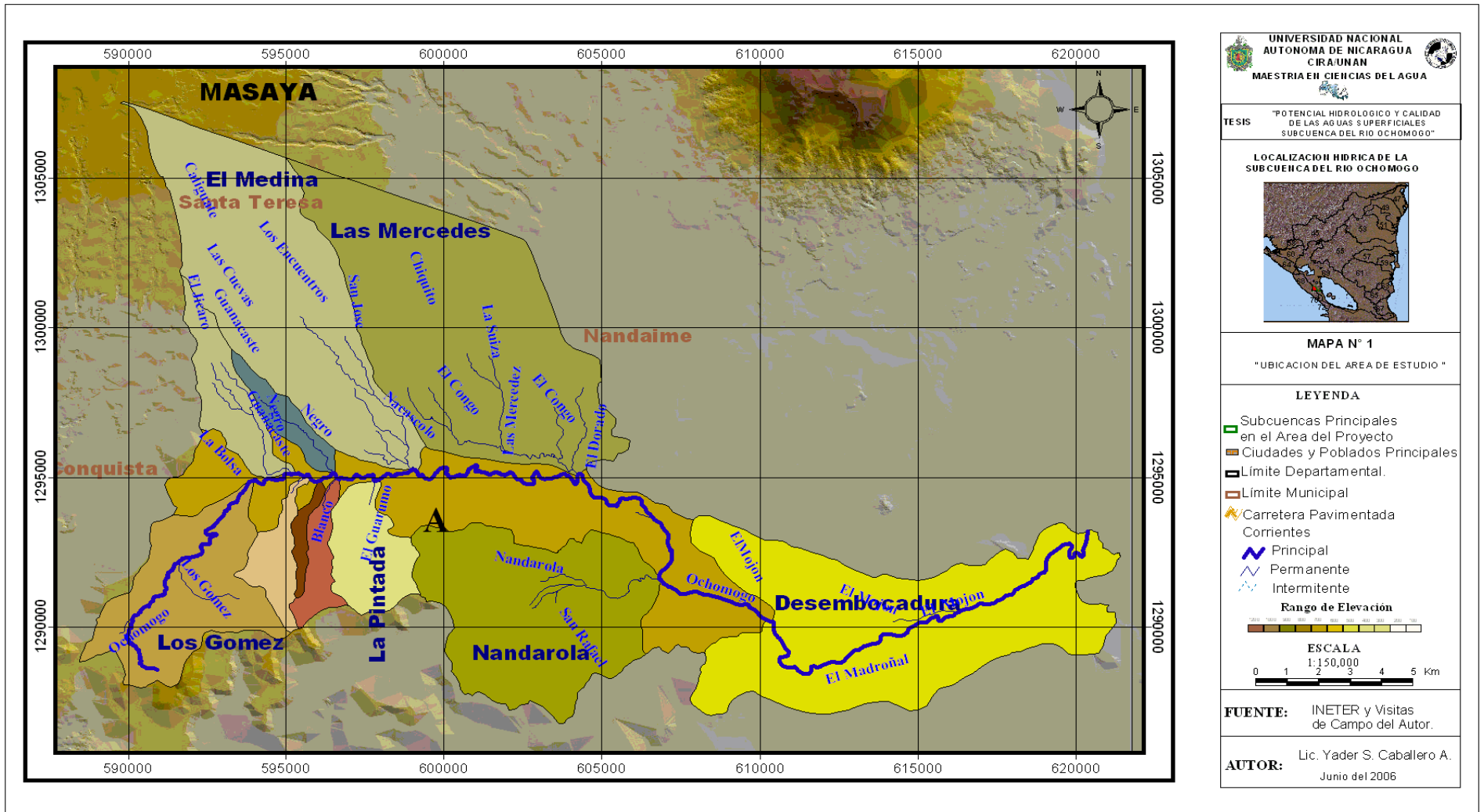
La principal actividad económica en la región es la agricultura (MAG-FOR, 2002), actividad que practican alrededor de 2,000 productores; De éstos, alrededor de 1,000 reciben asistencia técnica por parte del Instituto de Tecnología Agropecuaria (Fuente: INTA, 2004). Además un sector de éstos se encuentra organizados en 15 cooperativas agrícolas y ganaderas.

Las actividades de comercio y servicios, ocupan el segundo lugar en importancia económica generando la mayor cantidad de puestos de trabajo en el área urbana de Nandaime y Santa Teresa (Mataderos, Talleres y Aserríos).

***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Los Municipios de Nandaime y Santa Teresa cuentan con algunas infraestructuras de servicios básicos como agua potable, energía eléctrica, iluminación pública, recolección de basura, letrinas y teléfonos.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**



Mapa 1. Ubicación de la Subcuenca del Río Ochomogo.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

En el área se cuenta con aproximadamente 5,678 viviendas, de las cuales el 39.58 % se encuentran en el área urbana y un 60.42 % en el área rural, con un promedio de 5 a 6 habitantes por vivienda. En el área rural predominan las casas con piso de tierra y paredes de madera y en el área urbana, las de paredes de mampostería, ladrillo y techo de teja de barro.

### **1.1.1 Características físicas de la subcuenca Ochomogo**

De acuerdo a la clasificación de Koppen (1928) modificado, el clima del área de estudio se conoce como de Sabana Tropical (Aw), caracterizándose por presentar una marcada época seca entre Noviembre y Abril con precipitaciones moderadas y una marcada época lluviosa entre Mayo a Octubre, con una temperatura promedio 27.8 °C (INETER, 2004).

La frecuencia media anual de la dirección del viento es del este. En la época lluviosa, se observa que además de los vientos del este, también ocurren vientos del suroeste, en Mayo y Junio. En el período de Septiembre a Octubre se registran las mínimas frecuencias porcentuales con dirección este.

Se distinguen dos épocas bien marcadas una seca y una lluviosa. La época lluviosa comprende los meses de Mayo a Octubre en ella se acumula el 91.1% de la precipitación equivalente a 1385 mm. En la época seca de (Noviembre - Abril), se acumula el 8.9 % del total anual equivalente a 116.1 mm. Durante los meses de Julio y Agosto, disminuye la precipitación en el período conocido como canícula; el mes más lluvioso es Octubre, en el cual se registra un acumulado promedio mensual de 320.7 mm.

La temperatura media de la subcuenca del Río Ochomogo es de 26.8 °C las más elevadas se registran en los meses de Abril y Mayo, con valores que varían entre 28.3 °C, hasta 30.3 °C en el sector colindante con el Lago de Nicaragua. Las temperaturas medias más bajas ocurren entre Octubre y Enero y varían entre 26.1 °C y 26.2 °C.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

La evaporación media de la subcuenca del Río Ochomogo es de 206.33 mm. Las evaporaciones más elevadas se registran en los meses de Marzo y Abril, mientras que las evaporaciones medias más bajas ocurren entre Septiembre y Octubre.

En el área de estudio la evapotranspiración promedio anual es de 1798 mm, registrando los mayores valores mensuales entre Marzo y Mayo y los menores en los meses de Noviembre y Diciembre, debido al descenso de la temperatura media mensual.

La humedad relativa media de la subcuenca del Río Ochomogo es de 78 % y la más elevada se registra entre Junio a Octubre, siendo más baja entre Noviembre a Mayo.

### **1.1.2 Características morfológicas de la subcuenca**

Las características fisiográficas de la subcuenca del Río Ochomogo influyen directamente en su escurrimiento y constituyen además una base indispensable en la generación de datos hidrológicos de la cuenca. El área tiene una elevación media con dirección norte – sur desde más de 120 m.s.n.m en la parte norte y a más de 70 m.s.n.m en su salida sur. El área de drenaje es de 282.8 km<sup>2</sup> y la extensión de la red de drenaje es de 10 km, linealmente desde su punto más alto hasta su desembocadura. La red de drenaje del área de estudio es dendrítica atendiendo al tipo de roca por donde circulan, la barrera rocosa circunda el valle conjuntamente con varias afloraciones aisladas dentro del mismo. El único río de importancia es el Ochomogo, que sirve de límite departamental con el Departamento de Rivas, se distinguen algunos tributarios importantes como: La Pintada, Medina, La Calera, Las Mercedes, El Dorado y Nandarola.

### **1.1.3 Geología**

La subcuenca del Río Ochomogo es de 271.3 km<sup>2</sup> la cual se ubica entre la Fosa Meso Americana (150 km mar adentro en el Océano Pacífico), que marca la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, y la Costa del Pacífico hasta su transición hacia la porción central del país.



## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **1.1.3.1 Morfología**

El área de la subcuenca del Río Ochomogo presenta tres unidades morfológicas bien diferenciadas, a saber de norte a sur-este:

1. La porción suroeste de la Meseta de los Pueblos, con elevaciones en la divisoria de aguas de 200 m.s.n.m en el área del municipio de Santa Teresa con un área de 120 km<sup>2</sup>.
2. Las Serranías del Pacífico de relieve irregular y escarpado con elevaciones entre los 100 y 250 m.s.n.m abarca un área de 70 km<sup>2</sup> en el sentido longitudinal al litoral del Pacífico.
3. La franja entre la Meseta de Carazo y las Serranías del Pacífico hasta el Lago de Nicaragua, con elevaciones menores a los 100 m.s.n.m, abarcan un área aproximada de 90 km<sup>2</sup>.
4. La geología de la cuenca refleja una complejidad estratigráfica y estructural controlada por los esfuerzos de la subducción, características impresas en las rocas y la evolución tectónica del área.

### **1.1.3.2 Contexto Regional**

El Río Ochomogo atraviesa desde el nacimiento, las serranías del Pacífico, hasta la desembocadura en el lago de Nicaragua, dos diferentes terrenos geológicos propios de la parte oeste central de Nicaragua, a saber: el terreno del Pacífico de rocas marinas sedimentarias del Terciario (hasta 90 millones de años atrás) y el terreno de la Depresión de Nicaragua de rocas volcánicas Cuaternarias.

### **1.1.3.3 Litoestratigrafía de las unidades de las rocas**

Las unidades de rocas presentes en el área son las formaciones sedimentarias Rivas y Brito compuestas de materiales marinos del Cretácico Tardío al Terciario respectivamente, la Formación Las Sierras de materiales volcánicos Cuaternarios (Plio-Pleistoceno), sedimentos residuales, coluviales y aluviales del Cuaternario,

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

los que se dan especialmente en los cauces y partes bajas de la cuenca y en los sedimentos fluvio lacustres a la orilla del Lago de Nicaragua, finalmente sobrepuestas se encuentran coladas lávicas y piroclastos máficos a félsicos del Holoceno del frente volcánico o cadena volcánica actual.

De más antiguas a recientes regionalmente ocurren las siguientes formaciones:

Formación Rivas: del Cretácico Tardío al Terciario (90 – 70 millones de años atrás) representa las unidades de rocas más antiguas del área. Los sedimentos de esta formación forman una faja de 63 km de largo y hasta 13 km de ancho, que se extiende paralelamente a la Costa del Pacífico. Esta representa una secuencia potente de más de 2000 metros de pizarras, limolitas y areniscas tobáceas intercalados con horizontes de conglomerados.

En la parte inferior de la formación, entre los sedimentos carbonatados-terrígenos ocurren rocas volcánicas, principalmente lavas y tobas andesíticas, aglomerados, brechas andesíticas y lentes conglomerádicos.

Formación Brito: Del Terciario Medio (Eoceno 58 a 36 millones de años atrás), es la de mayor extensión, abarca toda la porción sur y centro sur de la cuenca del Río Ochomogo, se trata principalmente de areniscas, tobas y en menor proporción calizas. El Río nace en el cerro La Pitilla, caracterizado geológicamente por un intrusivo félsico micro diorítico intensamente fracturado. En la parte superior de la sección dominan tobas macizas y brechas volcánicas, en la parte inferior de la Formación Brito se observan coladas de lavas andesita–basálticas. El espesor medio de la formación es de 2400 m, en lo general la formación presenta una buena porosidad, a excepción de las zonas de intenso fracturamiento con permeabilidad secundaria.

Formación Las Sierras: del Plio-Pleistoceno (más de 1 millón a 25,000 años atrás), abarca el 40% del área de la subcuenca en el noreste se constituye de tobas aglomeráticas basálticas en un ambiente de agua somera dentro del terreno de La

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Depresión de Nicaragua. Estos materiales volcánicos de 200 a 600 m de potencia provinieron de extintos centros volcánicos previos a la cadena volcánica actual.

La parte superior de la formación comprende además piroclásticos gruesos en parte meteorizados y con cierta compactación de lapilli, pómez, tobas cenizas blancas y tobas aglomeráticas. La formación presenta una alta permeabilidad primaria y secundaria producto del intenso fracturamiento. La subcuenca esta rellena por materiales aluviales, coloidales y fluviales (Areniscas, lutitas, areniscas calcáreas, capas delgadas de calizas, margas, depósitos de tobas y aglomerados, piroclastos en parte meteorizados y con cierta compactación de lapilli, pómez, tobas líticas blancas y tobas aglomeráticas). Los depósitos residuales, coluviales y aluviales del Cuaternario al Reciente varían en espesores por los 50 m, de acuerdo al Proyecto de Desarrollo de Agricultura Bajo Riego Nandaime-Rivas (Tahal Consulting, 1977).

#### **1.1.3.4 Tectónica**

El ambiente tectónico del área está dado por esfuerzos provenientes del proceso de subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, esto se refleja en tres dominios geológicos que controlan y moldean el curso del río Ochomogo:

1. Dominio de compresión en el ambiente del terreno del Pacífico de Rocas Marinas Sedimentarias.
2. Dominio de extensión en el ambiente del terreno de La Depresión de Nicaragua de rocas volcánicas Cuaternarias.
3. Dominio de compresión en una parte del terreno de La Depresión de Nicaragua producto de la segmentación de la actual cadena volcánica del Cuaternario temprano al presente formando el alto estructural de La Meseta de Los Pueblos, donde aflora casi de forma exclusiva la Cuaternaria Formación Las Sierras.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **1.1.3.5 Terrenos geológicos en el curso del Río Ochomogo**

Los terrenos geológicos en los 45 km de recorrido del Río Ochomogo, desde su inicio en el cerro La Pitilla, Municipio de Santa Teresa, Carazo hasta el Lago de Nicaragua frente a la isla Zapatera en el municipio de Nandaime, Granada, son: El terreno del Pacífico, está dominado por la cresta de las Serranías del Pacífico, se corresponde al eje de un anticlinal de dirección NW, producto de los esfuerzos de compresión de la placa en subducción del Terciario Medio al Presente.

En el terreno de La Depresión de Nicaragua, lo más conspicuo es una parte de la cadena volcánica Cuaternaria representada por el volcán Mombacho, el volcán Isla Zapatera y otras estructuras menores como Las Lomas del Brujo. Esta secuencia de estructuras volcánicas jóvenes de flujos de lavas, tuvo como resultado la formación de una barrera natural de la cuenca por su lado noreste.

La Meseta de los Pueblos, cuyo basamento lo conforman unidades de rocas de la Formación Las Sierras, es una estructura levantada del terreno de La Depresión de Nicaragua, cuyo piedemonte se extiende hasta el valle de Nandaime. La actual conformación de la subcuenca del Río Ochomogo posiblemente está relacionado a las estribaciones SE de este alto estructural.

### **1.1.3.6 Patrón estructural**

La existencia de dos tipos de fallamientos controlan o perturban el drenaje del río Ochomogo y sus afluentes.

1. El fallamiento NE, de naturaleza de fallas normales que reflejan la dirección NE de la subducción, este sirve de canal o cauce natural en el trecho de 7 km entre el cerro La Pitilla.
2. El fallamiento NW, de naturaleza de fallas de deslizamiento horizontal que reflejan la dirección NW del contacto entre las placas, las fallas de este tipo controlan el patrón de drenaje subparalelo en el dominio de La Meseta

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

de Los Pueblos, además dislocan el curso principal del Río Ochomogo y sus afluentes, dando una forma sinuosa.

El área de estudio está situada en las proximidades de algunas de las estructuras geológicas más sobresalientes de Nicaragua. Ocupa parte de la Depresión Nicaragua, cerca de su falla oriental principal. Sus bordes están representados por estructuras levantadas, en partes falladas y en parte inclinada hacia el valle.

La estructura geológica más antigua es el anticlinorio de Rivas, de edad Cretácico Tardío - Terciaria. Esta estructura es un remanente de un relieve geológico más antiguo, anterior a la creación de la depresión Nicaragüense. Una segunda estructura levantada es la cordillera volcánica cuaternaria joven formada por el volcán Mombacho y la isla Zapatera, perteneciente a la prolongación sur de la cordillera de los Maribios.

Esta línea de volcanes, combinada con flujos de lavas, tuvo como resultado la formación de una barrera natural en el lado noreste del área estudiada.

Una tercera estructura que bordea el área es la Meseta de los Pueblos. Esta meseta elevada, que se extiende al este – noroeste hasta el valle de Nandaime, se levanta casi horizontalmente, sepultando al anticlinal de Rivas. La subcuenca del Río Ochomogo posiblemente está relacionado al borde sudeste de esta estructura, truncada por el sistema de fallamiento, principalmente de la Depresión de Nicaragua, una estructura tectónica de Graben.

### **1.1.4 Suelos**

#### **1.1.4.1 Tipos de suelos en la subcuenca del Río Ochomogo**

En la subcuenca del Río Ochomogo se encuentran 5 tipos de suelos, variando las características de estos de un lugar a otro: Entisoles, Inceptisoles, Vertisoles, Molisoles y Alfisoles (Mapa 2).

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Entisoles: Son suelos de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos, la mayoría no poseen horizontes, con drenaje interno excesivo, moderadamente bueno, pobre a muy pobre, profundos a muy superficiales, en relieve de plano a muy escarpado. Con rangos de pendiente que varían de 0.5 % hasta 75 % y más. La fertilidad del suelo es de alta a baja, en algunos suelos las inundaciones son frecuente y prolongadas durante la estación lluviosa. La textura de estos suelos varia de arenosos a arcillosos, con colores que varían desde oscuros y pardos (Peña, 2005).

Inceptisoles: Los Inceptisoles son suelos profundos a superficiales, el drenaje interno del suelo es de imperfecto a bien drenados, con inundaciones ocasionales y prolongadas en algunas áreas. Se presentan en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad de estos suelos es de muy baja a alta. Son desarrollados de sedimentos aluviales, fluviales; coluviales, de cenizas volcánicas; de Rocas básicas y ácidas. De textura arena franca hasta arcillosa, franco arcilloso arenoso con coloraciones de pardo a pardo rojizo y pardo grisáceo (Peña, 2005).

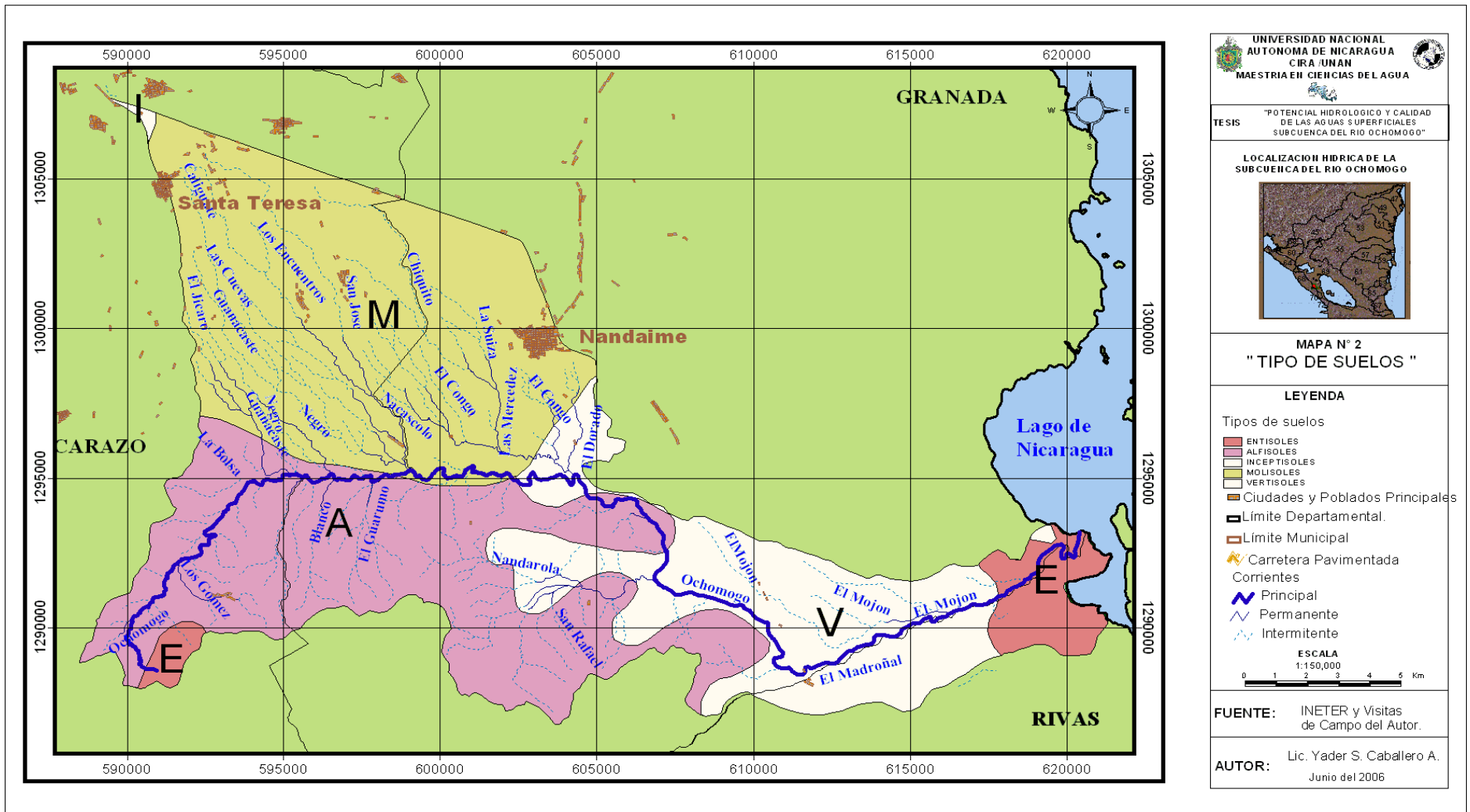
Vertisoles: Son suelos muy arcillosos que durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas, estas se expanden en la estación lluviosa, tienen formación de micro relieve en la superficie, son de muy profundos a moderadamente profundos, el drenaje interno es de imperfecto a pobremente drenado, de fertilidad alta a baja. Desarrollados de tobas y de sedimentos aluviales y coluviales, con pendientes en 0 y 8 % y precipitaciones que van de 800 a 2300 mm (Peña, 2005). Estos suelos son ricos en arcilla con colores que varían de negro a gris oscuro.

Molisoles: Son suelos con un drenaje interno natural de muy pobre a bien drenado, de textura franco arenosos a franco arcilloso y arcillosos, con colores que varían de grisáceo a pardo rojizo, gris y pardo oscuro, de muy superficiales a muy profundos, en relieve de plano a muy escarpado, fertilidad de baja a alta; desarrollados de depósitos aluviales y lávicos sedimentados; de origen volcánico; rocas básicas y ácidas; metamórficas; sedimentarias y piroclásticas (Peña, 2005).

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Alfisoles: Presentan un drenaje interno del suelo pobre, moderadamente drenados, a bien drenados, de muy profundos a pocos profundo. En relieve de plano a muy escarpados, con una fertilidad de baja a media. Desarrollados de rocas ácidas; básicas, metamórficas; materiales indiferenciados y estratos sedimentarios de lutitas (Peña, 2005). La textura de estos suelos es de arcillosos a franco arcilloso y franco arenoso, tienen horizonte superficiales de colores claros u oscuros, con colores que varían de pardo grisáceo muy oscuro a pardo rojizo y pardo amarillento.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**



Mapa 2. Tipos de suelos de la subcuenca del Río Ochomogo.



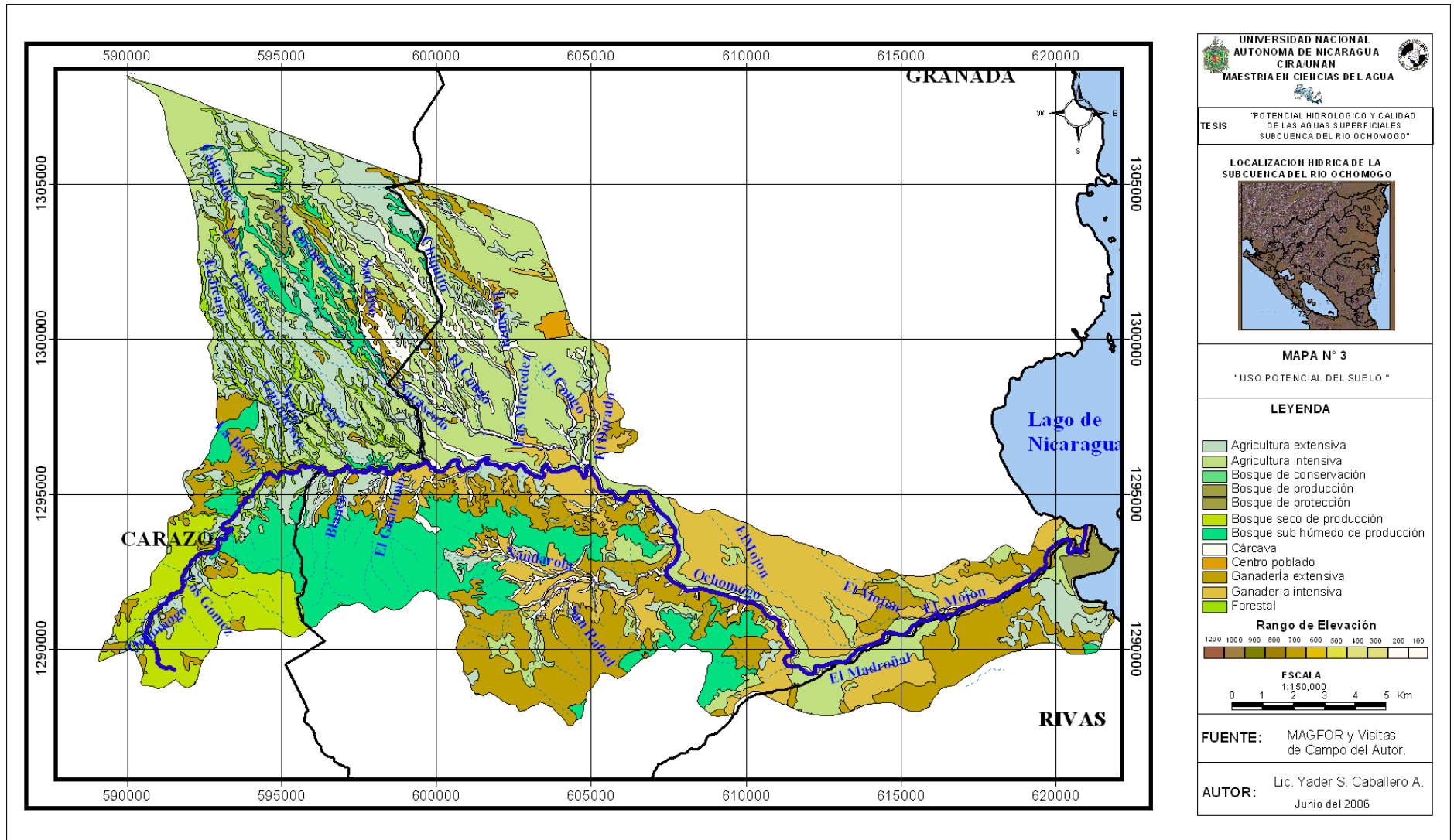
## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **1.1.4.2 Uso potencial del suelo**

De acuerdo al estudio realizado por el Proyecto Sur Oeste de Nicaragua IDR-GTZ (2003), en la subcuenca del Río Ochomogo gran parte del suelo es apropiado para la agricultura con manejo silvopastoril y para la ganadería intensiva con manejo agroforestal; otra parte puede ser utilizada para la agricultura y ganadería extensiva (Mapa 3). La mayoría de los suelos presenta condiciones óptimas para bosques de producción, conservación y protección, lo que ayudaría a mantener la calidad del suelo.

Los suelos más aptos para la actividad agrícola se encuentran en la microcuenca Las Mercedes y en la parte baja de la subcuenca, desde el sitio Antes de la Presa, hasta la desembocadura al Lago de Nicaragua. Los suelos de la microcuenca Las Mercedes son considerados como uno de los más productivos de la región centroamericana por sus condiciones climáticas y edáficas. Estos suelos son profundos, bien drenados, lentamente permeables, de color pardo oscuro a pardo rojizo oscuro, derivados en gran parte de aluviales lavados de las tierras altas cubiertas de ceniza. Tienen una humedad disponible moderada y una zona radicular profunda. El contenido de materia orgánica es moderadamente alto en el horizonte superficial y en la parte del subsuelo. Presentan alta saturación de bases y tienen generalmente niveles medios de potasio asimilable y niveles bajos de fósforos decrecientes en el perfil (Proyecto Sur Oeste de Nicaragua IDR-GTZ, 2003). Pueden ser utilizados principalmente para pastos, plátano, arroz, algodón, maíz, sorgo y caña de azúcar.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**



Mapa 3. Uso potencial de los suelos de la subcuenca del Río Ochomogo.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

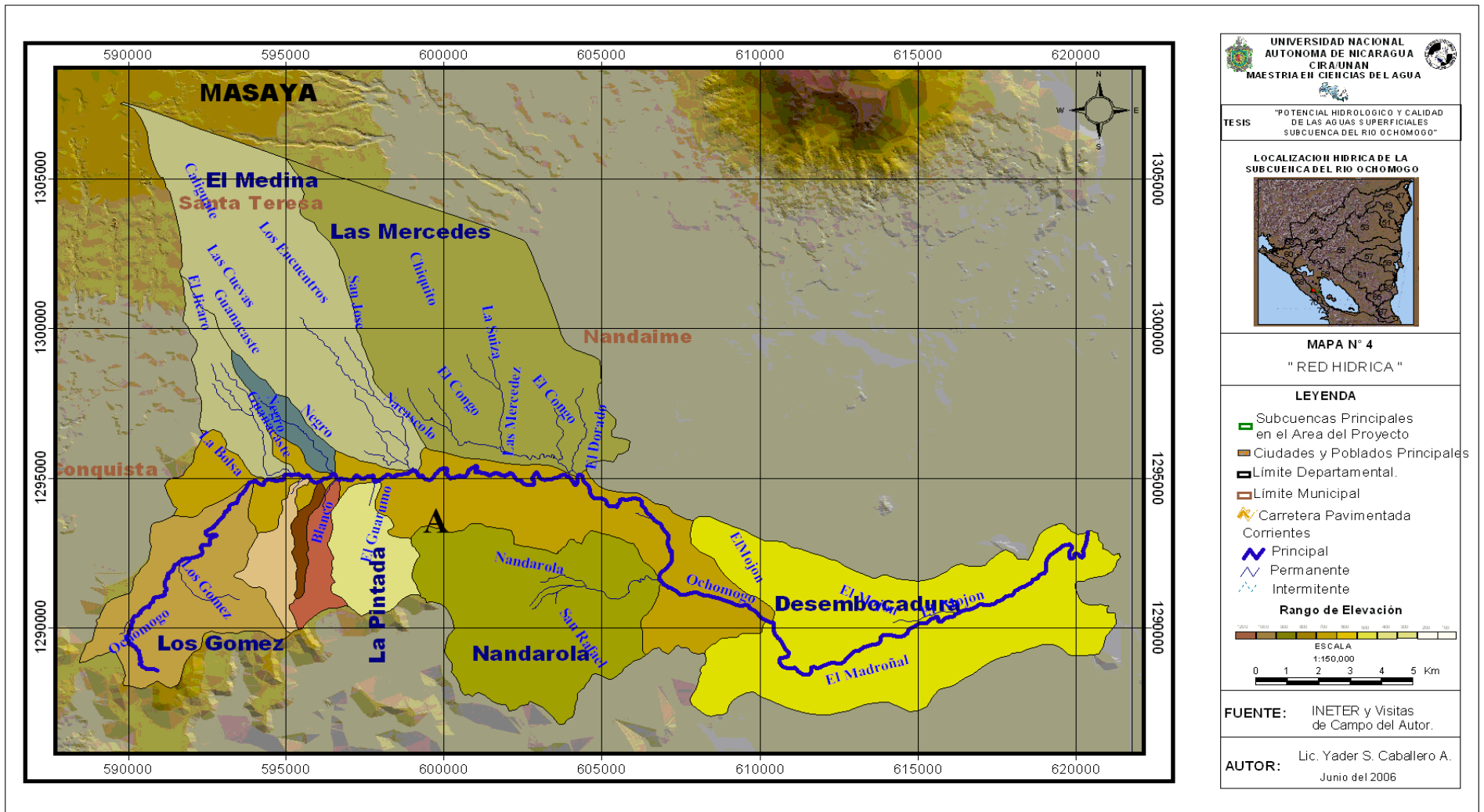
Los suelos de El Medina y la parte correspondiente a Los Gómez, la Pintada y ciertos tramos alrededor del río desde la parte alta hasta la desembocadura al Lago, pueden ser utilizados para el desarrollo de la actividad ganadera extensiva e intensiva. También pueden ser utilizados para pastos, maíz y sorgo y cultivos de subsistencia como pipían, ayote, frijoles.

### **1.1.5 Hidrología**

El Río Ochomogo es el principal curso de agua en esta subcuenca, tiene una longitud de 43 km desde su nacimiento en el Cerro La Pitilla (Municipio de Santa Teresa), hasta su desembocadura frente a la Isla Zapatera en el Lago de Nicaragua. El lecho del Río es profundo, ancho y no causa problemas de inundación durante la época lluviosa cuando se presentan crecidas significativas con aumentos en la velocidad de las corrientes, por el contrario el flujo es lento durante la época seca.

Los principales ríos que drenan al Río Ochomogo son los ríos: Los Gómez, La Pintada, el Medina, las Mercedes, el Dorado y el Nandarola, cada uno con numerosos tributarios (Mapa 4).

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**



Mapa 4. Río Ochomogo y sus principales ríos tributarios.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

El sistema hidrológico de la subcuenca del Río Ochomogo está referenciado por cinco microcuencas y el curso principal del Río Ochomogo:

- A.** Microcuenca del río Los Gómez con un área de drenaje de 21.5 km<sup>2</sup>, ubicada en la parte alta, con una dirección noreste, drena a la parte central de la subcuenca con bastante sinuosidad y afloramiento en su curso, lecho profundo y entre sus tributarios principales se destacan el río Los Gómez.
- B.** Microcuenca La Pintada con un área de 29.4 km<sup>2</sup> con una dirección sureste y Noreste con respecto al Río Ochomogo presenta sinuosidad y afloramiento en su curso, lecho profundo y entre sus ríos son: Barrio Nuevo, La Bolsa, El Guanacaste, El Negro y La pintada.
- C.** Microcuenca El Medina con un área de 45.5 km<sup>2</sup> con una dirección sureste, respecto al Río Ochomogo, recibe aportes por medio de sus tributarios del sector norte de la subcuenca presenta sinuosidad en su trayecto y sus principales afluentes lo constituyen los siguientes ríos: El Nacascolo, La Calera, El Escondido, Las Cuevas y El Medina.
- D.** Microcuenca Las Mercedes con un área de 56.8 km<sup>2</sup> Ubicada en la parte central con una dirección sureste, cambiando a este-sureste con respecto al Río Ochomogo, presenta sinuosidad en su trayecto y entre sus principales afluentes están: El Chiquito, La Suiza, El Aguacate, El Congo, El Dorado y Las Mercedes.
- E.** Microcuenca del Nandarola con un área de 35.3 km<sup>2</sup>, ubicada en la parte sur presenta de la subcuenca con una dirección hacia el este con respecto al Río Ochomogo presenta bastante sinuosidad y entre sus principales afluentes están: Quebrada de Lacho, San Rafael, El Cebadillo y el Nandarola.
- F.** Curso principal del Río Ochomogo con un área de 82.8 km<sup>2</sup>, con afloramiento en la parte alta, sinuosidad desde la parte alta hasta la desembocadura al Lago de Nicaragua.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **1.2 ANTECEDENTES**

Desde los años cincuenta la agricultura ha sido la actividad económica más importante en la subcuenca del Río Ochomogo, especialmente en la parte media que corresponde al municipio de Nandaime. El cultivo de mayor importancia fue la caña de azúcar, seguido en orden de importancia por el algodón, arroz y granos básicos (maíz y frijol). La mayor parte de la caña de azúcar se cultivó bajo riego utilizando las aguas de 16 pozos perforados y con las aguas superficiales de cuatro pequeñas presas y cuatro bombas ubicadas a las orillas del Río Ochomogo (Tahal consulting, 1977).

A partir de los años ochenta y parte de los noventa se incrementó sustancialmente el área de cultivo de la caña de azúcar como producto de la ampliación de la capacidad de procesamiento del Ingenio Javier Guerra (Microcuenca Las Mercedes). Esto representó una reducción considerable del área forestal en la subcuenca y un aumento en la demanda de agua para riego.

La reducción de la cobertura vegetal para dar paso a las áreas de cultivo significó una pérdida de las zonas de recarga de los acuíferos y cursos de agua superficiales de la subcuenca, con la consecuente reducción de los suministros de agua necesarios para las actividades agrícolas, la deforestación también contribuyó a la erosión y degradación de los suelos. Otra problemática asociada al desarrollo agrícola ha sido el uso de agroquímicos en las labores agrícolas, los cuales por escorrentía superficial durante la época lluviosa son transportados e incorporados en los cuerpos de agua superficiales de la subcuenca, situación que ha deteriorado la calidad de estos recursos. Salvatierra (2000), reportó valores relativamente altos de pp-DDT ( $7.97 \text{ ng.g}^{-1}$ ), pp-DDE ( $6.77 \text{ ng.g}^{-1}$ ), Lindano ( $0.79 \text{ ng.g}^{-1}$ ) durante la estación seca en el sitio de muestreo ubicado en el Ingenio Javier Guerra. En otros sitios de muestreo de su estudio encontró residuos de los plaguicidas organoclorados Heptacloro y Dieldrín.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

La situación cambió al final de los años noventa, disminuyó la actividad agrícola en la microcuenca Las Mercedes con el cierre del Ingenio Javier Guerra. Actualmente estas tierras son usadas para el cultivo del plátano y la siembra de pasto para el ganado. En Los Gómez, la Pintada, El Medina y la microcuenca Nandarola se lleva a cabo una agricultura de subsistencia. En las zonas colindantes con el Lago de Nicaragua, cerca de la desembocadura, se cultiva arroz, caña de azúcar y plátano.

La problemática ambiental descrita en los párrafos anteriores aún persiste, aunque agravada por una aparente reducción en el caudal del Río Ochomogo lo que ha generado conflictos entre los diferentes usuarios. Los productores tienen instalados 16 bombas en el tramo comprendido entre la presa ubicada a 100 m aguas arriba del puente que cruza la carretera Panamericana hasta la desembocadura al Lago los cuales extraen 8 MMCA, extracción de agua que afecta a los productores ubicados en la desembocadura del río quienes no reciben suficiente suministro de agua para los cultivos.

### **1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Existe una reducción de caudal y escasez de agua en la subcuenca del Río Ochomogo, generado por la intensa actividad agrícola desarrollada en el pasado y actualmente en la región; esta situación ha provocado mayor tensión entre los usuarios por la competencia por el recurso. Los plaguicidas y fertilizantes empleados en los cultivos han contaminado los suelos y el agua.

Las actividades domésticas urbanas y rurales de la población influyen sobre el Río Ochomogo y sus tributarios, porque las utilizan para baño, recreación, lavado de ropa y para aguar el ganado. La ausencia de alcantarillado sanitario o de fosas sépticas y la práctica general de un fecalismo al aire libre, es otra de las causas del deterioro de la calidad del agua, por la contaminación de los recursos hídricos con heces fecales, lo que constituye un riesgo y un problema de salud pública para la población de la subcuenca del Río Ochomogo.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Los suelos de la subcuenca del Río Ochomogo son considerados uno de los más productivos de la región centroamericana, por presentar buena permeabilidad, textura, drenaje y estabilidad estructural apropiada para obtener un mejor rendimiento en los cultivos agrícolas. Sin embargo, por falta de técnicas para el uso y manejo de los suelos, agua y vegetación en épocas anteriores, ha generado serios problemas ambientales y sociales. Los problemas más relevantes han sido la pérdida de biodiversidad, la deforestación, la alteración de las características físicas y químicas de los suelos y agua, y los brotes de enfermedades de origen hídricas que ponen en riesgo la posibilidad de obtener un desarrollo sostenible en la región.

Los estudios de (Tahal Consulting, 1977), estimaron una disponibilidad de agua para un período de 50 años. Las condiciones climatológicas y edáficas han cambiado en los últimos 20 años y no se dispone en la actualidad de estudios recientes sobre la disponibilidad del agua en la subcuenca del Río Ochomogo, también se desconoce el origen y los efectos de los contaminantes orgánicos e inorgánicos sobre las fuentes de agua y los organismos acuáticos. Este estudio está orientado a generar información sobre la cantidad y calidad de las aguas superficiales de la subcuenca del Río Ochomogo y contribuir a suplir el vacío de información existente, que podría ser de utilidad al gobierno, alcaldías y a aquellos ONG`s interesados en fomentar el desarrollo agrícola de la zona.

El presente estudio tendrá beneficiarios directos e indirectos:

Serán beneficiarios directos los pobladores que hacen uso del recurso agua, mediante el uso adecuado del agua, con el objetivo de proteger el recurso agua para tener mejor disponibilidad y calidad. Las alcaldías municipales, Instituciones privadas, Industrias, Organismos Gubernamentales y no gubernamentales (ONG), contarán con información actualizada sobre la explotación y consumo de agua para facilitar la conservación y protección del recurso agua.



## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **1.5 OBJETIVOS**

#### **1.5.1 Objetivo General**

Conocer la disponibilidad del agua superficial y los factores que inciden en la calidad del agua en la subcuenca del Río Ochomogo.

#### **1.5.2 Objetivos Específicos**

1. Utilizar la técnica del balance hídrico para estimar el potencial hidrológico en el área de estudio.
2. Determinar el tipo hidroquímico de las aguas superficiales del Río Ochomogo y sus principales tributarios.
3. Determinar la calidad del agua del Río Ochomogo y sus tributarios mediante la utilización de algunos indicadores químicos y biológicos.
4. Determinar la cantidad de Plaguicidas Organoclorados en agua y sedimentos para conocer el grado de deterioro por sustancias tóxicas de la subcuenca.
5. Identificar las fuentes y tipos de contaminación en la subcuenca del Río Ochomogo.

## **II MARCO TEORICO**

### **2.1 BALANCE HÍDRICO**

#### **2.1.1 Generalidades**

El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de continuidad. Esta establece que para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada (UNESCO, 1982).

Las técnicas para evaluar el balance hídrico constituyen uno de los medios para resolver problemas hídricos prácticos y teóricos. A través de ellas es posible realizar una evaluación cuantitativa espacial y temporal de los recursos hídricos. El estudio de la estructura del balance hídrico es fundamental para formular políticas para un mejor uso, control y distribución del recurso agua en el tiempo y el espacio. Los datos del balance hídrico permiten establecer comparaciones entre diferentes recursos en un sistema, en diferentes períodos de tiempo y establecer el grado de influencia de las variaciones del régimen hidrológico. Finalmente el conocimiento del balance hídrico permite una evaluación indirecta de cualquier componente desconocido dentro de él, por diferencia entre los componentes conocidos; por ejemplo, la evaporación puede calcularse por diferencia entre la precipitación y el caudal.

El balance hídrico realiza una estimación del contenido del agua disponible de una región considerando el tipo de suelo, la precipitación, la demanda potencial de agua de la atmósfera y la transpiración de la vegetación. Para esto es necesario conocer los procesos que sigue el agua en el suelo y las características fisiográficas, edafológicas y biológicas del lugar, tener un buen registro de

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

información y en particular, información actualizada de la red de estaciones y de los números de años de sus registros.

Entre los componentes que es necesario conocer figuran como los más importantes:

La precipitación, las pérdidas (evaporación, evapotranspiración y sublimación), la escorrentía (superficial, sub-superficial y subterránea), el almacenamiento (en los ríos, lagos, embalses, campos de nieve, glaciares), la infiltración y uso del agua para el hombre (UNESCO, 1982). Además existen otros parámetros que son necesarios para estimar los anteriores, como por ejemplo: temperatura, humedad, insolación, radiación solar y el viento.

El balance hídrico se calcula con la siguiente ecuación:

$$P + Q_{si} + Q_{ui} - E - ET - Q_{so} - Q_{uo} - \Delta s - n = 0$$

Donde:

P = Precipitación

$Q_{si}$  = Entrada de agua superficial a la cuenca

$Q_{ui}$  = Entrada de agua subterránea a la cuenca

E = Evaporación

ET = Evapotranspiración

$Q_{so}$  = Salida de agua superficial

$Q_{uo}$  = Salida de agua subterránea

$\Delta s$  = Variación del Almacenamiento de agua en la cuenca

n = Término residual de discrepancia.

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Las componentes del balance hídrico, están sujetas a errores de medida y la ecuación deberá cumplir por tanto con un término residual de diferencia (n).

Según Solkolov y Chapman (1981), la ecuación del balance hídrico podrá simplificarse o hacerse más compleja, dependiendo de los datos disponibles, del objeto de cálculo, del tipo de masa de agua (cuenca de un río, lago o embalse) de las dimensiones de la masa de agua, de las características hidrográficas e hidrológicas, de la duración del balance y de la fase del régimen hidrológico (crecida, baja crecida) para el cual se calcula.

En el caso de los ríos, las entradas de agua superficial ( $Q_{si}$ ) y subterránea ( $Q_{uo}$ ) a la cuenca, son pequeños comparados con otros términos y por lo tanto se desprecian en la ecuación.

Los estudios realizados por varios años en el istmo centroamericano por Solkolov y Chapman (1981), han demostrado que las regulaciones y escorrentías subterráneas son despreciables con respecto a los otros términos de la ecuación y por tanto, se incluye la escorrentía superficial en la ecuación.

Las unidades de la ecuación pueden ser expresadas en altura media de agua sobre la cuenca o cuerpo de agua (mm), como volumen de agua ( $hm^3$ ) o en forma de flujo ( $m^3/s$ ).

Se recomienda utilizar la ecuación simplificada en áreas extensas y período de tiempo prolongado:

$$P - ETR - E_s = \Delta v$$

Donde  $\Delta v$  es el cálculo de la disponibilidad del agua en la subcuenca.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **2.1.2 Componentes del balance hídrico superficial**

#### **2.1.2.1 Precipitación**

La precipitación es la única fuente de humedad que tiene el suelo, por eso es muy importante que su medición y cálculo sea lo más preciso posible para asegurar la exactitud del balance hídrico. Esta información se obtiene a partir de los registros de los pluviómetros, pluviógrafos o totalizadores instalados en una cuenca o zona de estudio. Si no se cuenta con el número requerido de aparatos, se puede usar los datos de precipitación de zonas próximas o de recubrimiento a fin de obtener un valor más exacto de la precipitación. Para calcular balances hídricos medios es recomendable utilizar datos de precipitación de alrededor de unos 25 a 50 años (Solokolov y Chapman, 1981). Si no se dispone de un registro sistemático de los datos de precipitación se puede estimar los datos faltantes estableciendo relaciones gráficas con los datos obtenidos de estaciones vecinas o usar métodos de correlación.

##### **➤ Corrección de los datos de precipitación**

Los aparatos para medir la precipitación en la red de estaciones meteorológicas, no miden toda la precipitación, debido principalmente a los efectos del viento. Las correcciones por efectos de los vientos son estimadas en un 10-15 % para la lluvia. Además cierta cantidad de precipitación, retenida en el aparato, se pierde por evaporación durante el tiempo transcurrido entre el comienzo de la precipitación y la medición, y por humedecimiento del aparato colector en cada nueva caída especialmente en el caso de llovizna. Las pérdidas por humedecimiento del aparato colector son de 0.2 mm por cada medición de lluvia, mientras que las pérdidas por evaporación tienen un valor del 6 % de la precipitación total durante el verano (Solokolov y Chapman, 1981).

La consistencia de los registros pluviométricos y los ajustes estadísticos, se realiza mediante la evaluación espacial de la precipitación verificando que el período de la

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

estadística pluviométrica que se va a utilizar sea consistente y que la instalación de la estación no haya sufrido variaciones de ningún tipo.

Los datos de precipitación se analizan y verifican antes de ser usados por el método de las curvas doble acumuladas o de doble acumulación. Este método debe ser aplicado en toda región que presenta precipitación homogénea, es decir que tenga un régimen pluviométrico semejante. Si hay insuficientes aparatos, se pueden usar datos de precipitación de zonas próximas.

Para la ampliación y relleno de estadísticas pluviométricas se estiman los valores anuales de las precipitaciones en aquellas estaciones que tengan incompleta su estadística, se recomienda el método de correlación lineal entre las precipitaciones anuales de la estación en estudio y las de una estación pluviométrica cercana que cuente con una estadística consistente y bien observada.

Para el cálculo de la precipitación media sobre una zona se utilizan los métodos del Promedio Aritmético, de Thiesen, de las Isoyetas y del Radar. Se calcula como media aritmética de los datos evaluables de todas las estaciones para las cuencas de los ríos con una distribución relativamente uniforme de la red de estaciones y pequeñas variaciones de precipitación sobre la zona. Cuando la red de estaciones no esta uniformemente distribuida sobre la zona, la precipitación se calcula con los datos de estaciones meteorológicas a las que se asigna un peso medio.

Otro método para determinar la precipitación sobre una zona es el trazado de mapas de isoyetas. A partir de los valores corregidos de precipitación de cada estación se dibujan las isoyetas, teniendo en cuenta la orografía, la dirección del viento y orientación de vertientes y el gradiente pluviométrico en regiones montañosas.

### **2.1.2.2 Evapotranspiración**

La evaporación es el proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y directamente o a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

de vapor (Custodio & Llamas, 2001). La transpiración es el proceso físico – biológico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso a través del metabolismo de las plantas y pasa a la atmósfera. También se incluye el agua perdida por las plantas en forma líquida (goteo o exudación) y el agua que la planta incorpora a su estructura en el período de crecimiento.

En el aspecto físico, la transpiración está influida por los mismos factores que afectan a la evaporación (radiación solar, horas del sol, viento, presión atmosférica), a su vez, ciertos factores meteorológicos como la iluminación, temperatura y humedad del aire, condicionan la apertura de los estomas y por tanto, también influyen de este modo en el fenómeno. Otro factor que influye es la humedad del suelo porque si el contenido de agua en el suelo es igual o menor que el punto de marchitez permanente (Grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la de retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla), las fuerzas de succión no son suficientes para mantener el proceso y la planta muere (Custodio & Llamas, 2001). En el aspecto biológico influye en la transpiración, la edad, desarrollo, tipo de follaje y profundidad radicular de la especie vegetal. Todos los factores que influyen en la evaporación y en la transpiración influyen también en la evapotranspiración (Custodio & Llamas, 2001).

La evapotranspiración (ET) es la suma de la cantidad de agua que pasa a la atmósfera por los procesos de evaporación del agua interceptada por el suelo y la transpiración de las plantas.

La evapotranspiración potencial (ETP) es la cantidad de agua que si estuviera disponible, sería evapotranspirada desde una superficie dada. La evapotranspiración real (ETR), es la cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto por transpiración de la vegetación como por evaporación del suelo. Su magnitud depende del agua realmente disponible, es decir la que el suelo ha logrado retener para el consumo de la vegetación. También podemos definir la

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

ETR como la cantidad de agua que realmente pasa a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración. Su valor máximo será la ETP (UNESCO, 1982).

La evaporación se estima experimentalmente, aún cuando ésta también puede estimarse empíricamente. La evapotranspiración, excepto en casos puntuales y aislados, se estima generalmente a través de fórmulas empíricas. El error que se comete en la estimación de la evaporación en forma experimental (a través de los evaporímetros) es del orden del 15 %. La evaporación se puede estimar utilizando formulas empíricas basadas en los factores meteorológicos que intervienen en el proceso, como por ejemplo, temperatura del aire, humedad del aire, radiación solar, horas del sol, viento, presión atmosférica y otros. Los métodos más utilizados son los de Penma (combinación del balance energía y la ecuación de transporte aerodinámico) y de Avellán (método que permite estimar los valores de evaporación media anual en un lugar cualquiera en términos de los respectivos valores de precipitación media anual y altitud).

En el caso de la evapotranspiración es más difícil cuantificar la precisión de su estimación, ya que interviene en ella, además del error de la fórmula misma y de los parámetros meteorológicos que se utilicen, la cubierta vegetal de la cuenca. Existen numerosos métodos para estimar este componente, todo ellos toman en cuenta los antecedentes meteorológicos y edafológicos.

#### **2.1.2.3 Escorrentía**

La escorrentía es el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (UNESCO, 1982). Solamente se produce cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración del suelo. Se llama escorrentía directa a la que pasa después de haber llovido y escorrentía superficial aquella que alcanza el punto considerado, habiendo circulado siempre sobre la superficie del terreno.

La escorrentía es afectada por los siguientes factores meteorológicos: Forma, tipo, duración e intensidad de la lluvia, la dirección y velocidad de la tormenta y los



## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

factores fisiográficos tales como, superficie, forma, elevación, pendiente de la cuenca, tipo, uso del suelo y cobertura vegetal.

Las estadísticas fluviométricas obtenidas a partir de mediciones, están expuestas a errores producidos en las diferentes etapas de la medición de los caudales diarios, mensuales y anuales. De todos los parámetros que intervienen en el balance hídrico, la escorrentía superficial es la que puede obtenerse con mayor precisión. Antes de utilizar una estadística fluviométrica es necesario analizar su consistencia para verificar que durante el registro ha sido bien observada la estación hidrométrica, bien calculada estadísticamente y que el régimen de la cuenca controlada no ha sido modificado durante todo ese período. El método que generalmente se utiliza es el de las curvas doble acumuladas (CDA).

### **2.1.2.4 Infiltración**

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo a través de los estratos del suelo hasta llegar al nivel hidrostático (Custodio & Llamas, 2001). Esta agua repone primero el déficit de humedad del suelo y todo el exceso restante continua moviéndose hacia abajo y se convierte en agua subterránea. La tasa máxima a la que un suelo de cualquier condición es capaz de dejar pasar el agua se llama capacidad de infiltración (f).

La infiltración tiene dos características muy importantes: Una de ellas es la capacidad de infiltración o tasa de infiltración, que es la capacidad máxima con que el suelo en una condición dada puede absorber agua y la segunda característica es la velocidad de infiltración, la que se conoce como la velocidad media con que el agua atraviesa el suelo.

La tasa de infiltración es afectada por el tipo de suelo, contenido de humedad del suelo, contenido de materia orgánica, cobertura vegetal y época del año. Algunos factores influyen más en la intensidad de la infiltración al retardar la entrada de agua y entre estos tenemos, las características del fluido (agua) que se infiltra, las condiciones de la superficie, tal como la compactación natural que dificulta la penetración del agua y por tanto reduce la capacidad de infiltración.

## **2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS**

### **2.2.1 Generalidades**

Las aguas superficiales comprenden un complejo sistema de ríos, lagos, lagunas, humedales, mares y otros cuerpos de agua, que pueden contener diversas clases de sólidos en suspensión en distintas proporciones. La composición física y química de las aguas superficiales se debe a la presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles que se encuentran en estado iónico en el agua y que pueden ser de origen natural o antropogénico. Sus características físicas y químicas dependen de varios factores, siendo los tres principales: el ambiente climático, el ambiente geológico y la acción del hombre o contaminación (Custodio & Llamas, 2001).

Entre los principales constituyentes de las aguas superficiales están los iones fundamentales que se encuentran en concentraciones mayores como los cationes, calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y los aniones sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). Es frecuente que los aniones nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y el catión potasio ( $\text{K}^+$ ) se consideren dentro del grupo de los iones fundamentales, aunque su concentración es pequeña; algunas veces también se incluye el ión ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Algunos elementos como el boro (B), sílice (Si) y fluor ( $\text{F}^-$ ) se encuentran en concentraciones bajas. Entre los gases disueltos deben considerarse como fundamentales el oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

### **2.2.2 Iones disueltos**

#### **2.2.2.1 Magnesio**

El magnesio es un metal alcalinotérreo y posee un solo estado de oxidación  $\text{Mg}^{2+}$ , se origina de la meteorización de rocas, particularmente de minerales de silicato de magnesio y dolomitas. Es un elemento común en las aguas naturales, donde las concentraciones de Magnesio oscilan entre 1 y 100 ppm (Custodio & Llamas,

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

2001), siendo su concentración muy superior a la del resto de los alcalinotérreos, la cual depende de los terrenos que atraviesa el agua, como las rocas ígneas y las sedimentarias, incluyendo carbonatos como la magnesita, la hidromagnesita y la dolomita. El magnesio tiene propiedades similares a las del ión calcio debido a su contribución a la dureza del agua; sin embargo, el comportamiento geoquímico es sustancialmente diferente al comportamiento del calcio porque es más soluble y algo más difícil de precipitar. Es esencial para la nutrición animal y vegetal en los cuerpos de aguas naturales.

### **2.2.2.2 Sodio**

Es el más abundante del grupo de los metales alcalinos, se encuentra en gran número de minerales, siendo el principal de ellos la sal de roca (Cloruro de sodio). Está presente en el agua debido a la alta solubilidad de sus sales y a la abundancia de depósitos minerales (OPS, 1987); generalmente se encuentra en asociación con los cloruros, indicando su origen común. La mayoría del sodio encontrado en los ríos proviene de la meteorización de las rocas de NaCl. Una fracción importante del sodio en las aguas superficiales es de origen antropogénico, aportado por las escorrentías de las aguas residuales domésticas y de los fertilizantes. Alrededor del 28 % del sodio en los ríos a nivel mundial es de origen antropogénico (Allan, 1995). La solubilidad del ión sodio es muy elevada y difícil de precipitar. Las concentraciones de sodio en fuentes naturales se encuentran entre 1 y 150 ppm (Custodio & Llamas, 2001).

### **2.2.2.3 Potasio**

Es el menos abundante de los principales cationes en las aguas de los ríos y es el elemento menos variable. Aproximadamente el 90 % se origina de la meteorización del material silicio, en los feldespatos no alterados, en las partículas de mica, en la illita o en minerales arcillosos. La solubilidad del ión potasio es muy elevada y difícil de precipitar, es afectado por el cambio de bases y es absorbido de forma muy poco reversible por las arcillas en formación, para formar parte de su estructura, circunstancias que lo diferencian del sodio. Las concentraciones del

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

ión potasio varían de 0.1 a 10 ppm en agua dulce y solo muy raramente se puede tener salmueras de hasta 100,000 ppm (Custodio & Llamas, 2001).

### **2.2.2.4 Cloruros**

El ión cloruro se halla distribuido ampliamente en la naturaleza, por lo general en la forma de sales de sodio (NaCl), de potasio (KCl) y de sales de calcio (CaCl<sub>2</sub>). Esencialmente, tiene el mismo origen que el sodio, por la meteorización de las rocas, aunque las entradas de sales de polución e intrusión marina son importantes en ciertas localidades puntuales. El contenido de cloro en las aguas es extremadamente variable y se debe principalmente a la naturaleza de los terrenos que atraviesa que son ricos en cloruros (Rodier, 1981). La presencia de cloruros en las aguas naturales puede atribuirse a la disolución de depósitos de sal, a la contaminación que resulta de regar sal en las carreteras para controlar el hielo y la nieve en los países templados, descargas de efluentes de las industrias químicas, explotación de pozos petrolíferos, descargas de aguas servidas, drenaje de irrigaciones, contaminación por infiltraciones de vaciadores desechos. El ión cloruro generalmente esta presente en aguas naturales superficiales en concentraciones bajas (OPS, 1987), excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas.

Todas las aguas contienen cloruros y su presencia en cantidades elevadas puede ser indicativo de contaminación ya que la materia orgánica de origen animal siempre tienen considerables cantidades de estas sales. Un cuerpo de agua con concentraciones altas de amoníaco, nitrato y nitrito caracteriza una contaminación orgánica y por lo tanto los cloruros tienen ese origen. Si estas sustancias se encuentran en concentraciones bajas, la presencia de los cloruros se debe a que el agua atraviesa terrenos ricos en cloruros. Los cloruros son inocuos de por sí, pero en cantidades altas dan sabor desagradable. Se encuentran en concentraciones entre 10 y 250 ppm en agua dulces (Custodio & Llamas, 2001).

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **2.2.2.5 Calcio**

Es el más abundante catión en los ríos, se origina casi por completo de la meteorización de las rocas sedimentarias carbonatadas. La concentración de calcio conjuntamente con la de magnesio es utilizada para caracterizar las aguas duras y blandas. Es un metal alcalino-térreo, es el principal constituyente de muchas rocas minerales comunes y tiene un solo estado de oxidación  $\text{Ca}^{2+}$ . Su comportamiento en los sistemas naturales acuosos está gobernado por la disponibilidad de los sólidos más solubles que contienen calcio y por el equilibrio que involucra las especies de bióxido de carbono o por la disponibilidad de azufre en la forma de sulfatos. La presencia de calcio proviene del paso del agua a través de depósitos de caliza, dolomita, yeso y pizarras yesíferas. Las concentraciones de calcio varían de 10 y 250 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a 600 ppm en aguas selenitosas (Custodio & Llamas, 2001).

### **2.2.2.6 Sulfatos**

Los sulfatos llegan al medio acuático por una variedad de fuentes, especialmente por medio de la meteorización de rocas sedimentarias y por la polución (fertilizantes, desechos de una multiplicidad de industrias y actividades mineras). El bióxido de azufre atmosférico ( $\text{SO}_2$ ), que se forma por la combustión de los derivados del petróleo puede contribuir al contenido de sulfatos del agua superficial. El sulfato disuelto se considera como un soluto permanente del agua, la mayoría son solubles en agua, con excepción de los sulfatos de plomo, bario y estroncio. Existe una correlación inversa entre los sulfatos y los bicarbonatos, especialmente en las aguas con baja alcalinidad (Allan, 1995).

La concentración de sulfatos en la mayoría de las aguas dulces es muy baja, aunque son comunes los niveles entre 20 y 50  $\text{mg.l}^{-1}$  en la zona oriental de los E.U.A, Canadá y la mayor parte de Europa (OPS, 1987). Las concentraciones del Sulfato en agua dulce varían entre 2 y 150 ppm (Custodio & Llamas, 2001).

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochohomo***

### **2.2.2.7 Iones Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )<sup>1</sup> y Carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ )<sup>2</sup>**

El bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) se deriva también de la meteorización de carbonatos minerales, sin embargo, la fuente principal de la mayoría del bicarbonato es el  $\text{CO}_2$  disuelto en suelos y agua subterránea, el cual es producido por la descomposición bacteriana de la materia orgánica. El bicarbonato es un anión de mucha relevancia.

Los iones bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) le confieren las propiedades alcalinas al agua debido a la capacidad de consumo de ácido al crear una solución tampón. No son oxidables ni reducibles en aguas naturales. Pueden precipitar con mucha facilidad como  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . El ión bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) varía entre 50 y 350 ppm en aguas dulces llegando a veces hasta 800 ppm. El agua de mar tiene alrededor de 100 ppm. El ión carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) está en concentraciones mucho menores que el ( $\text{HCO}_3^-$ ) y si el pH es  $< 8.3$  no se encuentran en solución. En aguas alcalinas con pH  $> 8.3$  puede haber cantidades importantes de carbonatos, hasta 50 ppm en algunas aguas naturales. El agua de mar tiene menos de 1 ppm (Custodio & Llamas, 2001). Concentraciones altas de iones bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) tienden a elevar la alcalinidad y esto es indicativo de aguas fértiles.

### **2.2.2.8 Alcalinidad Total**

La alcalinidad es la capacidad de los solutos contenidos en un agua natural de reaccionar con un ácido y neutralizarlo, le confiere propiedades buffer es decir dificulta los cambios de pH. La alcalinidad depende esencialmente de las concentraciones de bicarbonato, carbonatos e hidróxidos, se expresa como ppm de  $\text{CaCO}_3$  o meq.l-1 (Ramírez y Viña, 1998). Las aguas dulces o las aguas de ríos pueden variar ampliamente en acidez y alcalinidad ya sea por causas naturales como por causa antrópicas. Valores extremos de pH es decir, menor que 5 y mayor que 9 son dañinos para la mayoría de los organismos, así que la capacidad

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

de buffer del agua es crítico para el mantenimiento de la vida en los sistemas acuáticos.

### **2.2.2.9 Dureza Total**

Se determina por los cationes que forman compuestos insolubles con el jabón, así que es una suma de la cantidad de sales de calcio y magnesio presentes en el agua. La dureza es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio evaluada como carbonato de calcio, sin embargo el comportamiento geoquímico es sustancialmente diferente al comportamiento del calcio (Ramírez y Viña, 1998). En el agua dulce, los principales iones que originan dureza son el calcio y el magnesio; también contribuyen los iones estroncio, hierro, bario y manganeso.

La dureza del agua proviene de los terrenos que atraviesa, de las rocas sedimentarias, de las percolaciones y de las escorrentías; en algunos casos se debe a los vertidos de las industrias químicas inorgánicas y la industria minera. El agua dura normalmente se origina en áreas donde la capa superior del suelo es gruesa y existen formaciones calcáreas. Por lo general el agua subterránea es más dura que el agua superficial. Las aguas dulces presentan concentraciones entre 10 y 300 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$  pudiendo llegar a 1.000 y excepcionalmente a 2.000 o más. El agua de mar tiene 1,500 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$  (Custodio & Llamas, 2001).

### **2.2.2.10 Sílice Disuelto**

El Sílice es uno de los elementos químicos más abundante de la corteza terrestre (25.5 % en peso). Las aguas fuertemente básicas pueden tener cantidades importantes de Sílice iónica, pero son muy raras en la naturaleza. La mayoría del Sílice esta como  $\text{SiO}_4\text{H}_4$  en forma disuelta, coloidal y solo una pequeña parte esta ionizada ( $\text{SiO}_4\text{H}_3^-$ ), a pH propias de las aguas naturales. El Sílice iónico contribuye en alguna medida a la alcalinidad del agua, aunque el  $\text{CO}_2$  juega un papel importante al evitar que el pH incremente, limitando así la solubilidad de la Sílice.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

La mayoría de las aguas naturales presentan concentraciones entre 1 y 140 ppm en SiO<sub>2</sub> pudiendo llegar hasta 100 ppm en especial las aguas bicarbonatadas sódicas (Custodio & Llamas, 2001).

### **2.2.2.11 Hierro Total**

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. En el agua se presenta principalmente en los estados bivalente y trivalente (ferroso y férrico), en estado mineral (sales ferrosas = Fe<sup>2+</sup> y sales férricas = FeCl<sub>3</sub> o hidróxido = Fe(OH)<sub>3</sub>) y en estado orgánico (coloides); en las aguas de superficie se presenta en estado férrico (Fe III). La presencia del hierro en las aguas naturales puede ser consecuencia de la disolución de rocas y minerales, del drenaje ácido de las minas, de lixiviaciones en rellenos, de sistemas de alcantarillados o industrias que elaboran hierro (Rodier, 1981; OPS, 1987). El hierro se encuentra en solución en forma de sales minerales, solo en aguas con pH neutros o ácidos y desprovistos de oxígeno. Las concentraciones del hierro varían entre 0 y 10 ppm, siendo menos de 0.50 ppm en aguas aireadas. Con pH entre 5 y 8 rara vez llega a 50 ppm, en aguas muy ácidas puede llegar a 100 ppm (Custodio & Llamas, 2001).

### **2.2.2.12 Boro**

El boro juega un papel importante en la fisiología de los vegetales, no existe más que excepcionalmente en las aguas de distribución, es más frecuente encontrarlo en aguas residuales. Cantidades del orden del miligramo por litro no representan inconvenientes, pero concentraciones por encima de ella, debe considerarse con circunspección, dada la afinidad considerable del boro para el sistema nervioso. El boro puede afectar prácticamente a todos los cultivos, la tolerancia es dependiente de la planta. Generalmente las concentraciones menores de 1 mg.l<sup>-1</sup> pueden afectar sólo a los cultivos sensibles como: Aguacate, cebolla, toronja, limonero, naranjo entre otros, provocando quemaduras en las hojas o clorosis. Las concentraciones entre 1 y 2 mg.l<sup>-1</sup> afectan además a cultivos como frijoles,



## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

ajonjolí, ajo, trigo y maní. Debido a la acción del boro sobre las plantas, el agua de irrigación no deberá contener mas de un  $1 \text{ mg.l}^{-1}$  (Rodier, 1981).

El análisis químico del boro se utiliza para determinar la calidad del agua de riego, la tolerancia de los cultivos y establecer la calidad para el uso en fertirrigación.

### **2.2.3 Gases Disueltos**

Las aguas naturales contienen pequeñas y variadas concentraciones de gases disueltos. Entre lo gases más abundantes están los provenientes de la disolución de los gases atmosféricos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$ ), los producidos por la actividad de los seres vivos ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ) y los originados por la descomposición aeróbica o anaeróbica de los mismos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{N}_2$ ) (Orozco et al. 2005).

#### **2.2.3.1 Oxígeno disuelto**

Es un gas que se encuentra libre en la naturaleza o combinado formando compuestos químicos con otros elementos. El oxígeno disuelto en los ecosistemas acuáticos es un parámetro importante y esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos con respiración aerobia. Las propiedades de solubilidad del oxígeno así como su distribución, son necesarias para comprender la distribución, el comportamiento y el crecimiento fisiológico de los organismos acuáticos (Wetzel, 1981).

La solubilidad del oxígeno disuelto en el agua está influenciada por la salinidad, la presión barométrica (altitud) y la temperatura y adicionalmente de otros factores como: reoxigenación atmosférica, fotosíntesis, respiración vegetal y animal y demanda béntica y bioquímica de oxígeno en el agua (Ramírez y Viña, 1998).

En ríos pequeños, turbulentos y sometidos a poco o ningún tipo de contaminación, el oxígeno se mantiene cerca del punto de saturación y aunque aumente la demanda, el intercambio atmosférico es capaz de mantener la concentración cerca del nivel de saturación. Las concentraciones de oxígeno pueden variar diaria y estacionalmente, en respuesta a los cambios en temperatura (Allan, 1995), pero

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

el nivel de saturación permanecerá cerca de 100 %. En las aguas naturales superficiales no contaminadas, el oxígeno disuelto va a encontrarse en concentraciones que van a depender fundamentalmente de la temperatura y de la turbulencia del agua.

### **2.2.3.2 Nitrógeno**

El nitrógeno se presenta en formas reducidas orgánicas y amoniacales en las aguas naturales, también puede existir en forma de nitrógeno nitroso y nítrico independientemente del nitrógeno gaseoso (forma neutra). En las aguas superficiales se encuentra en forma de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) como son el  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y el  $\text{NO}_2^-$ , las principales formas del nitrógeno orgánico disuelto (NOD) disponibles en los ecosistemas acuáticos son la urea, el ácido úrico y aminoácidos.

El nitrógeno encontrado en las aguas superficiales proviene de residuos orgánicos, vertidos urbanos (desechos de origen humano o animal), industriales (cerveceras, mataderos y azucares), así como del lavado de los suelos enriquecidos con abonos nitrogenados que por escorrentía superficial llegan a los cuerpos de agua y de la difusión desde la atmósfera. Además es importante señalar que el aporte atmosférico llega de los óxidos nitrosos como resultado de la polución industrial.

Las bacterias juegan un rol central en el ciclo del nitrógeno, algunos transforman los compuestos para obtener nitrógeno para la síntesis de elementos estructurales (proteínas); mientras que para otras bacterias es la forma de obtener energía. La fijación de  $\text{N}_2$  y la asimilación de Nitrógeno disuelto se encuentran en la primera categoría, mientras que la nitrificación y desnitrificación son reacciones por medio de las cuales las bacterias obtienen energía usando amonio o nitrato como el agente oxidante.

## **2.2.4 Características físicas**

### **2.2.4.1 pH**

El pH es una expresión de la intensidad de las condiciones ácidas o básicas de un líquido; matemáticamente es el logaritmo base 10 del recíproco de la concentración iónica de hidrógeno en moles por litro de disolución y puede variar entre 0 y 14, donde 0 es el más ácido y 7 es neutro. Las aguas naturales usualmente tienen un pH entre 6,5 y 8,5 unidades.

El pH de las aguas naturales se debe a la naturaleza de los terrenos que atraviesa variando habitualmente entre 7.2 y 7.6 unidades de pH. Las aguas muy calcáreas tienen un pH elevado, las que provienen de terrenos pobres en calizas o silicatos tienen un pH próximo a 7 y algunas veces un poco inferior hasta 6 unidades de pH. Las aguas de ciertas regiones volcánicas pueden estar acidificadas por el azufre proveniente de los gases de las erupciones volcánicas. La reacción iónica de las aguas estancadas (pantanos, estanques y embalses) está influenciada por la vegetación y la naturaleza química de los fondos, con desplazamiento del equilibrio carbónico. El valor del pH compatible con la vida de los peces está comprendido entre 5 y 9. Sin embargo, para la mayoría de las especies acuáticas, la zona de pH favorable se sitúa entre 6 y 7.2. No obstante este valor debe separarse del de los otros parámetros (Temperatura, oxígeno disuelto y salinidad) (Rodier, 1981).

A través de los valores del pH podemos conocer si se están produciendo alteraciones en el agua por fenómenos externos, ya que el agua en su estado natural presenta valores alrededor de 7 unidades de pH. Valores de pH mayores al punto de equilibrio indican un incremento en el grado de alcalinidad y una disminución de los valores, indican incremento de la acidez en el agua.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **2.2.4.2 Turbidez**

La turbiedad es la propiedad que tiene el agua de desviar la luz de su recorrido en línea recta, como resultado del choque de los rayos de luz que viajan en línea recta con las partículas suspendidas.

La turbiedad en el agua es causada por la presencia de materia suspendida como la arcilla, la arena, la materia orgánica finamente dividida, las algas microscópicas y otros organismo microscópicos. Su principal causa la constituyen los procesos erosivos y extractivos y su efecto sobre los ecosistemas acuáticos se manifiesta en la reducción de la penetración de luz y con ello, el impedimento de la fotosíntesis, provocando que el oxígeno no se libere, el cual es necesario para los organismos aeróbicos (Ramírez y Viña, 1998).

### **2.2.4.3 Sólidos**

Los sólidos totales constituyen la materia suspendida (No filtrable) o disuelta (Filtrable) presentes en las aguas naturales y de desechos. Los sólidos totales disueltos (STD) es la materia disuelta en el agua y comprenden las sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. Los STD en el agua pueden deberse a fuentes naturales, descargas de efluentes de aguas servidas, descargas de desechos industriales y escurrimientos urbanos. Los sólidos suspensos son la materia suspendida presentes en las aguas naturales. Nos indican la presencia de sustancias solubles e insolubles expresada en  $\text{mg.l}^{-1}$  presentes en el agua.

Los sólidos suspendidos corresponden a arcillas, limos, materia orgánica finamente dividida o incluso plancton y otros microorganismos (Ramírez y Viña, 1998).

#### **2.2.4.4 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica o conductividad específica es una medida de la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica, esta propiedad esta relacionada y depende de la concentración de iones, valencias y temperatura de medición y se expresa en  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . En las aguas superficiales las modificaciones importantes de la conductividad pueden variar rápidamente en el curso del día. Un agua natural ya sea de río, lago, embalse, manantial o un pozo pueden tener una conductividad entre 50 y 500  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

#### **2.2.4.5 Carbono Orgánico Disuelto**

El carbono orgánico disuelto (COD) ha sido reconocido como un parámetro crítico de los ecosistemas acuáticos, ya que influencia una gran variedad de procesos físicos, químicos y biológicos. El COD interactúa con los nutrientes y metales influenciando sus concentraciones y disponibilidades. El COD esta principalmente compuesto por ácidos húmicos, por lo que afecta el pH y en algunas aguas ácidas actúa como buffer. Cambios pequeños en la concentración de COD pueden significar cambios considerables para el metabolismo de los ecosistemas y para el reciclaje del carbono. La producción primaria y la respiración son las mayores vías metabólicas por las cuales la materia orgánica es producida y destruida. Casi todo el carbono orgánico de las aguas naturales se encuentra en forma de carbono orgánico disuelto y es de origen terrestre. Los ecosistemas acuáticos reciben carbono orgánico de múltiples fuentes potenciales: autóctonos y alóctonos, que a la vez desestabilizan la respiración de la producción primaria. La producción primaria por el fitoplancton, macrófitas y algas bénticas dentro del sistema, forma la base autóctona de la cadena alimenticia y las entradas terrestres de carbono orgánico disuelto y particulado, representan las bases potenciales de la parte alóctona para la cadena alimenticia.

## **2.3 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS**

### **2.3.1 Generalidades**

La contaminación del agua es la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y aguas residuales las cuales alteran su calidad y la hacen no apta para los diferentes usos. Se puede originar por eventos naturales o por actividades antropogénicas y puede ocurrir por fuentes no puntuales y puntuales. La principal fuente no puntual es la agricultura mientras que las puntuales son las aguas negras y los desechos industriales (Albert, 1997). Los contaminantes pueden entrar al agua a través de la liberación no -intencional como es el caso durante el desarrollo de las actividades humanas (Operaciones en la minería, hundimientos de barcos, etc) y por la disposición de desechos (efluentes industriales, aguas negras, entre otros).

Las aguas superficiales son más vulnerables a la contaminación que las aguas subterráneas porque se usan como destino final de residuos domésticos, aguas residuales industriales tratadas y no tratadas, siendo también receptoras de los desechos de la agricultura y la ganadería.

### **2.3.2 Fuentes y tipos de contaminación de las aguas superficiales**

Las fuentes de contaminación de las aguas superficiales pueden ser naturales y antropogénicas. Normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, mientras que las antropogénicas en cambio se concentran en zonas concretas y es mucho más peligrosa que la natural.

Algunas fuentes de contaminación naturales en el agua son por ejemplo el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la tierra y en los océanos el cual contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana, otro ejemplo son las emanaciones volcánicas que contienen gases de nitrógeno y azufre que al ponerse en contacto con el agua la contaminan. En la

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

actualidad la contaminación más importante, sin duda es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso del agua, una gran generación de residuos muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transportes fluviales y marítimos que en mucha ocasión son causa de contaminación de las aguas. Las fuentes antropogénicas de la contaminación son más importantes como causas de problemas de salud pública, su naturaleza y el tipo de contaminantes que emiten son variados (Albert, 1997). Por la actividad que las origina se pueden clasificar en:

### **2.3.2.1 Contaminación doméstica y urbana**

Es una contaminación esencialmente orgánica y biológica, formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales a la que debe sumarse una contaminación cada vez más intensa por productos químicos de uso domésticos, tales como los detergentes en sus diversas versiones (Custodio & Llamas, 2001). Estas aguas son responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales que en algunos llegan a no ser aptas para consumo humano, ya que disminuyen el contenido de oxígeno, aumentan los sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas.

### **2.3.2.2 Contaminación industrial**

Esta contaminación se origina al descargar las industrias las aguas residuales sin tratar a los cuerpos de aguas. Esta contaminación es variada como las industrias que las origina y son especialmente insalubres y nocivas (Custodio & Llamas, 2001). Las características de las aguas residuales industriales difieren bastante dependiendo del tipo de actividad que desarrolle la industria y el impacto que causan depende no sólo de sus características comunes, sino también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas.

### **2.3.2.3 Contaminación por actividades Agrícolas**

Son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales, estos contaminantes incluyen a los plaguicidas, los fertilizantes y los sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo. La agricultura, es una de las pocas actividades donde se descargan deliberadamente en el medio ambiente productos químicos para acabar con algunas formas de vida, es al mismo tiempo causa y víctima de la contaminación de los recursos hídricos. Es causa por la descarga de contaminantes y sedimentos en las aguas superficiales y subterráneas y es víctima por el uso de aguas residuales, aguas superficiales y subterráneas que contaminan a su vez los cultivos y transmiten enfermedades a los consumidores y trabajadores agrícolas.

#### **2.3.2.3.1 Plaguicidas**

Los plaguicidas son sustancias o mezcla de sustancias utilizados en la agricultura para prevenir, destruir o controlar una plaga cualquiera, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de animales (Albert, 1997), son los compuestos que más daño ejercen sobre el medio ambiente a pesar de los múltiples beneficios que se obtienen de su uso en las labores agrícolas. Son moléculas sencillas o extremadamente complejas, su composición física y química determinan la actividad y el grado de toxicidad en los organismos expuestos a ellos. Las propiedades más importantes de los plaguicidas se describen a continuación:

**Solubilidad:** Es una de las propiedades más importantes de estos compuestos y poseen un amplio rango de solubilidad en el agua. Los plaguicidas pueden ser solubles y liposolubles. Los plaguicidas muy solubles en agua se adsorben con baja afinidad a los suelos y por lo tanto, son fácilmente transportados del lugar de la aplicación por una fuerte lluvia o por escorrentía hasta los cuerpos de agua superficial o subterránea. En el caso de los plaguicidas liposolubles, estos son solubles en la mayoría de los disolventes orgánicos porque posee una estructura química (cíclica), son resistentes a la hidrólisis, tienden a ligarse a la materia orgánica y a los sedimentos, en general, poseen baja presión de vapor, una alta



## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

estabilidad química y una notable resistencia al ataque de los microorganismos. Son lipofílicos, es decir, que tienden a acumularse en el tejido graso de los organismos vivos.

**Persistencia:** Se define como el tiempo necesario para que pierda el 95 % de su actividad ambiental (Orozco et al. 2004) y está relacionada con el tiempo de permanencia o residencia de un plaguicida en un compartimiento particular la cual depende de una serie de factores entre los que se encuentran:

**Naturaleza del plaguicida:** Las propiedades físicas y químicas de los plaguicidas son el resultado de su estructura molecular y del tipo de átomos que las integran. Estas propiedades físicas y químicas determinan su índice de absorción, el cual influye en la solubilidad o afinidad por el suelo.

**Contenido de humedad del suelo:** La humedad se refiere a la presencia de agua en el suelo, incide en diversos procesos que afectan el transporte de los plaguicidas. Cuando la humedad es muy pequeña los compuestos se cristalizan y la adsorción es reducida, por el contrario al aumentar la humedad esta se incrementa, puesto que la mayoría de los plaguicidas son adsorbidos en fase líquida. La humedad es un factor importante en la degradación de los plaguicidas ya que la actividad microbiana es óptima en suelos con un 60 % de agua. Si el suelo se satura de agua, las condiciones se tornan anaeróbicas, y esto dificulta la degradación de muchos plaguicidas. No obstante algunos plaguicidas como el DDT se degradan mucho mejor bajo condiciones anaeróbicas.

**Naturaleza del suelo:** Los suelos arcillosos afectan el transporte de los plaguicidas dada la alta capacidad de adsorción de estos. La adsorción depende del radio y de la carga de los iones a absorber (es mayor en los iones trivalentes, que en los divalentes y los monovalentes). En iones de igual carga, la adsorción es influenciada por la capacidad de intercambio iónico, que es dependiente del pH. Por otro lado, la materia orgánica del suelo es una fuente de energía para los microorganismos, ya que son los responsables parciales de la degradación de los

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

plaguicidas, por lo que concentraciones altas de materia orgánica aumenta su bioactividad bacteriana y consecuentemente, la degradación de los plaguicidas.

**pH:** El pH tiene influencia en la absorción de plaguicidas del suelo depende de la naturaleza de los compuestos y del tipo de enlaces involucrados en el proceso. La adsorción es más alta en suelos ácidos, el plaguicida puede convertirse de un anión cargado negativamente sobre las moléculas no cargadas o planas en cationes cargados positivamente y así incrementar su adsorción, lo cual origina que en suelos en extremo ácidos sean ocupados los sitios de intercambio por cationes hidrogenados, y por lo tanto, la adsorción sea baja debido a la falta de sitios negativos por ocupar. Por otro lado la variación del pH influye en la población y tipo de microorganismos activos con su consiguiente influencia en la degradación de los plaguicidas.

**Temperatura del suelo:** La adsorción de plaguicidas es un proceso exotérmico, pues cuando los enlaces H o iónicos son formados, el calor se libera. Así, cuando la temperatura se incrementa, el calor interno puede romper los enlaces y causar la desadsorción de moléculas de plaguicidas, por lo tanto, a altas temperaturas se encuentran más moléculas de plaguicidas disueltas en el suelo.

**Movilidad:** Es otra propiedad importante porque una vez en el suelo el pesticida tiene diferentes alternativas según el tipo de suelo y los componentes químicos de los plaguicidas. Por ejemplo, los organofosforados y los carbamatos son muy afines con las arcillas, mientras que los organoclorados no son solubles en el agua, lo que reduce su movilidad. La movilidad de los plaguicidas está determinada con base en el coeficiente de partición entre la fase sólida (suelo) y líquida (agua) o con base en el coeficiente de partición entre la materia orgánica ( $K_{om}$ ) y el agua ( $K_{oc}$ ). El valor del coeficiente de partición ( $K_d$ ) depende de la cantidad de materia orgánica en el suelo, mientras que el  $K_{om}$  es independiente del mismo (Castillo et al. 1995).

Al llegar al suelo, muchos plaguicidas se disipan rápidamente provocando cambios en las características químicas del suelo. Los plaguicidas son absorbidos por las

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

raíces de las plantas, sufren una degradación química, bioquímica o biológica, pueden desplazarse por escorrentía con el agua, contaminar fuentes de agua, infiltrarse hacia aguas subterráneas, o acumularse en el suelo en forma persistente sin cambiar.

**Degradación:** Es un proceso de mineralización y es la conversión del plaguicida en compuestos más simples, como H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> por reacciones químicas y fotoquímicas, por ejemplo hidrólisis y fotólisis. Además de las reacciones químicas y fotoquímicas, hay dos mecanismos biológicos que degradan los plaguicidas.

- 1) Procesos microbiológicos que se desarrollan en los suelos y en el agua.
- 2) Metabolismo de los plaguicidas ingeridos por organismos como parte de su suministro alimentario.

Si bien ambos procesos son beneficiosos en el sentido de que se reduce la toxicidad de los plaguicidas, los procesos metabólicos causan ciertamente efectos negativos, por ejemplo, en los peces. La energía utilizada para metabolizar los plaguicidas y otras sustancias xenobióticas (productos químicos externos) no puede utilizarse para otras funciones corporales, lo que puede limitar gravemente el crecimiento y reproducción del organismo.

Los plaguicidas organoclorados poseen una estructura cíclica y un número variable de átomos de cloro, son poco solubles en agua, estables a la luz solar, a la humedad, al aire y al calor. Son altamente tóxicos, persisten en el ambiente (vida media 30 años) y su elevada solubilidad en las grasas, al ser ingeridos pueden acumularse en el tejido adiposo, lo que produce su acumulación en la cadena trófica (Orozco et al. 2005).

#### **2.3.2.3.2 Fertilizantes**

Son la fuente principal de contaminación con nitratos y fosfatos y estos tienen una influencia negativa en la vida acuática (Albert, 1997). Los principales problemas de contaminación de los fertilizantes se centran en el nitrógeno y su acumulación en

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Los nitratos son, en general muy poco retenidos en los suelos y lixivian hacia lugares más bajos, produciendo la contaminación de los acuíferos o contaminan por escorrentía las aguas superficiales. El fósforo es otro de los elementos que forman parte de los fertilizantes. Suele ser retenido en forma de compuestos insolubles de  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Al}^{3+}$  en suelos ácidos y  $\text{Ca}^{2+}$  en suelos alcalinos (Orozco et al. 2005).

El exceso de nutrientes provoca un crecimiento exagerado de algas y otras plantas acuáticas que al morir se depositan en los fondos de los lagos y ríos aumentando la carga de la materia orgánica y disminuyendo los niveles de oxígeno ya que este es consumido por los microorganismos durante la descomposición.

### **2.3.2.4 Contaminación por ganadería comercial y de granjas avícolas.**

Los residuos de animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. La contaminación por la ganadería es esencialmente orgánica y biológica, muy similar a la contaminación por actividades domésticas, pero con frecuencia más concentrada e intensa, en especial en granjas intensivas. Bajo este aspecto las granjas porcinas son un grave problema; en cambio la contaminación por granjas avícolas es proporcionalmente menos intensa (Custodio & Llamas, 2001). Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías.

#### **2.3.2.4.1 Agentes patógenos**

Los agentes patógenos son bacterias, virus, protozoarios y parásitos que llegan a los cursos de agua a través de las descargas de aguas residuales sin tratar o con tratamiento deficiente, drenaje de lluvias y las escorrentías que fluyen por los corrales de ganado. También la práctica de la defecación al aire libre en las zonas rurales, constituye una fuente de contaminación de las aguas superficiales. La contaminación de tipo bacteriológico es debida fundamentalmente a los desechos

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

humanos y animales de sangre caliente, ya que los agentes patógenos se encuentran en las heces, orina y fluidos corporales y son origen de muchas enfermedades hídricas (Orozco et al. 2004), las cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Principales enfermedades transmitidas por microorganismos en el agua.

Agente	Enfermedad
Vibrio cholerae	Cólera
Escherichia coli	Gastroenteritis
Salmonella spp	Salmonellosis
Campylobacter spp	Gastroenteritis
Shigella spp	Shigellosis
Protozoarios	Enfermedad
Giardia lamblia	Giardiasis
Cryptosporidium parvum	Cryptosporidiosis
Entamoeba histolytica	Amebiasis o disentería
Trichuris trichura	Tricuriasis
Ascaris lumbricoides	Ascariasis

Fuente: Madigan et al. (2000)

### **2.3.2.5 Efectos de la contaminación del agua**

Los metales pesados, plaguicidas y compuestos químicos que contaminan el agua, producen efectos más notorios e importantes de la contaminación del agua relacionados con la salud humana, estos efectos son diferentes en cada individuo dependiendo de la concentración del contaminante y del tipo de organismo presente en el agua, los cuales pueden provocar intoxicaciones, enfermedades infecciosas y crónicas e incluso la muerte.

La concentración de nitratos en agua potable, más alta que la Norma Canadiense (45.00 mg.l<sup>-1</sup>) puede provocar una enfermedad infantil que es mortal conocida como metahemoglobinemia. El nitrato ingerido en el agua o alimentos es reducido a nitritos por acción bacteriana, el nitrito se une a la molécula de hemoglobina formando la metahemoglobina que es incapaz de transportar el oxígeno de la sangre, provocando una serie de síntomas por intoxicación, que pueden llevar a la muerte por asfixia (Rodier, 1981).

En lo que a plaguicidas se refiere, las formas de afectación de los plaguicidas al hombre son variables, actúan disolviendo la membrana lipídica que rodea las fibras nerviosas interfiriendo en el transporte de iones por ellas; modifican la acción de enzimas metabólicas importantes, como es el caso de la acetilcolinesterasa, por lo tanto interfieren en el funcionamiento del sistema nervioso central.

La toxicidad y magnitud de los efectos de los plaguicidas dependen de la dosis, la vía de ingreso al organismo y el tiempo de exposición. Los efectos agudos (vómitos, diarrea, aborto, cefalea, somnolencia, alteraciones compartimentales, convulsiones, coma y muerte) están asociados a accidentes donde una única dosis alta es suficiente para provocar los efectos que se manifiestan tempranamente. Los efectos crónicos (cánceres, leucemia, necrosis de hígado, malformaciones congénitas, neuropatías periféricas, a veces solo malestar general, cefaleas persistentes y dolores vagos), se deben a exposiciones repetidas y los síntomas o signos aparecen luego de un período largo de exposición al pesticida. Dado que su biotransformación es muy lenta, los pesticidas provocan efectos acumulativos en las personas expuestas.

## **2.4 CALIDAD DE AGUA E INDICADORES DE CALIDAD**

### **2.4.1 Generalidades**

La calidad del agua está relacionada al uso que se destina y a la concentración de sustancias extrañas que contenga. La calidad del agua queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contiene o el conjunto de todos ellos (Custodio & Llamas, 2001). Una manera práctica de evaluar la calidad del agua es utilizar esas propiedades para inferir sobre la condición de un determinado cuerpo de agua.

Los Indicadores de calidad del agua pueden ser medidas, números, hechos, opiniones o percepciones que señalen condiciones o situaciones específicas del grado de alteración de los ecosistemas acuáticos. Los indicadores más utilizados para evaluar la calidad del agua son los físicos, químicos y biológicos.

### **2.4.2 Indicadores Físicos**

Estos se utilizan para evaluar más que todo las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

Se consideran buenos indicadores físicos de la calidad del agua, entre ellos, el pH, la turbidez, la conductividad, los sólidos suspensos y el oxígeno disuelto (Cuadro 2).

## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Cuadro 2. Indicadores físicos y sus efectos provocados por la contaminación del agua.

Parámetro	Efecto
pH	pH ácidos indican contaminación por vertidos mineros o industriales.
Turbidez	Indica erosión y la presencia de materia suspendida.
Conductividad	Indica la presencia de iones disueltos.
Sólidos Suspensos	Indican contaminación por descargas de aguas residuales, domesticas e industriales y erosión.
Oxígeno Disuelto	Niveles bajos de oxígeno disuelto indica contaminación por materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.

Fuente: (OMS, 1984 & Rodier, 1981)

### **2.4.3 Indicadores Químicos**

Se basan exclusivamente en analizar las condiciones químicas, los cuales son de gran precisión y testigos de las condiciones instantáneas de las aguas. Los parámetros químicos indicadores de calidad del agua más importantes son: nitrógeno total, nitratos, nitritos, amonio, fósforo total y los cloruros los cuales se describen en el siguiente cuadro.



**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Cuadro 3. Indicadores químicos y sus efectos provocados por la contaminación del agua.

Parámetro	Efecto
Nitrógeno Total	Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización.
Nitratos	Indican contaminación agrícola y actividad bacteriológica.
Nitritos	Indican detergentes y fertilizantes.
Amonio	Indican contaminación con fertilizantes y heces fecales.
Fósforo Total	Su exceso en el agua provoca eutrofización.
Cloruros	Indican salinidad y actividad bacteriológica

Fuente: (OMS, 1984 & Rodier, 1981)

En el siguiente cuadro se presentan los límites permisibles para aguas naturales:

Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas del agua utilizadas como indicadores de calidad del agua.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor máximo admisible
pH	Unid de pH	6.5	8.5
Turbidez	UNT	1	5
Conductividad	$\mu\text{s.cm}^{-1}$	400	NR
Oxígeno disuelto	$\text{mg.l}^{-1}$	8	NR
Cloruros	$\text{mg.l}^{-1}$	25	250
Nitratos	$\text{mg.l}^{-1}$	25	50
Nitritos	$\text{mg.l}^{-1}$	NR	0.10
Amonio	$\text{mg.l}^{-1}$	0.05	0.5
Fósforo	$\text{mg.l}^{-1}$	0.40	5.00

Fuente: OMS (1987), NR: No Recomendado

#### **2.4.4 Indicadores Biológicos**

Existe una amplia gama de indicadores biológicos entre los representantes del reino vegetal, animal y monera. Este estudio se orientará más al grupo de bacterias indicadoras de calidad sanitaria del agua y a los macroinvertebrados bénticos.

##### **2.4.4.1 Bacterias**

Las bacterias indicadoras son aquellos que tienen un comportamiento similar a los organismos patógenos (concentración) y reacción frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección.

Según McJunkin (1986), una bacteria indicadora de contaminación fecal debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas y su resistencia a los factores ambientales debe ser igual u superior al de los patógenos de origen fecal.
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Entre las bacterias utilizadas como indicadores están las bacterias del grupo coliforme, estas forman parte de la flora intestinal del tracto digestivo del hombre y los animales de sangre caliente y de ahí que su presencia en el agua indica contaminación de origen fecal y el riesgo de aparición de gérmenes patógenos.

### **2.4.4.1.1 Bacterias Coliformes**

Son un grupo de bacterias en forma de bastón, gram-negativos, anaeróbicas facultativas, capaz de desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes (tensioactivos) que tengan propiedades similares inhibitorias del crecimiento y fermentan la lactosa produciendo ácido y gas a 35 °C ó 37 °C en un período de 48 horas. En su mayor parte se encuentran en el tracto digestivo del intestino del hombre y de otros animales de sangre caliente. Entre ellos se encuentran los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebssiella*, *Yersinia* y *Serratia* (OMS, 1984).

### **2.4.4.1.2 Coliformes Termotolerantes y *Escherichia coli***

Son bacterias coliformes con la salvedad que son termoresistentes, es decir que crecen a una temperatura entre 44 y 45 °C (CAPRE, 1993). Comprende el género *Escherichia* y en menor grado los géneros *Klebssiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*.

***Escherichia coli*** fermenta la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44-45 °C con producción de gas y que también producen indol a partir del triptófano a 37 °C (CAPRE, 1993). Es la bacteria más representativa en el grupo de los Coliformes Termotolerantes, debido a que su origen es específicamente fecal, están siempre presente en grandes cantidades en las heces de humanos, de los animales y de los pájaros, rara vez se encuentra en el agua o el suelo que no hayan sufrido algún tipo de contaminación fecal (OMS, 1987).

La presencia de Coliformes Termotolerantes y ***Escherichia coli*** es considerada como un indicador específico de contaminación fecal y de la posible presencia de patógenos entéricos.

## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

### **2.4.4.1.3 Estreptococos fecales**

Los estreptococos fecales son bacterias gram-positivas, anaeróbicas y aeróbicas facultativas, conocidas como bacterias del ácido láctico (entéricas) que viven en el intestino de los animales de sangre caliente y del hombre. *Streptococcus faecalis* es representante de este grupo, debido a que abunda en el intestino grueso del hombre. No se multiplican en el medio ambiente, solo en raras ocasiones, son más persistentes en ambientes acuáticos y son importantes en situaciones donde se sabe que hay contaminación fecal y no se detectan coliformes, como ocurre cuando las descargas son intermitentes o más antiguas, de modo que mueren los coliformes fecales y ***E. coli***, y permanecen los estreptococos.

La presencia de este grupo de bacterias en el agua indica la presencia de contaminación fecal reciente. Conjuntamente con los Coliformes Termotolerantes y ***Escherichia coli*** son indicadores más utilizados para determinar la calidad sanitaria del agua (OMS, 1987). Los niveles permisibles en el agua de las bacterias utilizadas como indicadores de calidad del agua para recreación se describen en el cuadro 5.

Cuadro 5. Niveles permisibles en el agua de los indicadores bacteriológicos

Parámetro	Unidad	V R (Recreación)
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1000 C T NMP/100 ml
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200 C Term NMP/100 ml
<b><i>Escherichia coli</i></b>	NMP/100 ml	100 <b><i>E. coli</i></b> NMP/100 ml

Fuente: (EQGs, 2003; EPA, 1994; OMS, 1987)

### **2.4.4.2 Macrozoobentos**

Los macroinvertebrados bentónicos ú organismos que viven en o sobre el lecho del río, constituyen uno de los componentes bióticos más importantes en un ecosistema, por su rol en la cadena alimenticia y red trófica. La distribución, abundancia y diversidad de los organismos bénticos está determinada por las

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochoмого***

condiciones físicas y químicas del medio acuático donde se desarrollan; algunas especies tienen rango de tolerancia estrechos o amplios para algunos parámetros ambientales, este conocimiento es el que permite su utilización como indicador de la calidad de agua de un cuerpo de agua.

Cuando las condiciones del medio acuático son favorables, la comunidad de macroinvertebrados está conformada por una variedad de especies, es decir que la diversidad es alta; cuando las condiciones ambientales varían ya sea por contaminación o eutrofización, la diversidad se reduce y dominan una o dos especies con una densidad alta.

De acuerdo a Toro et al. (2003), los macroinvertebrados son utilizados como indicadores de la calidad del agua en estudios de monitoreo ambiental por los siguientes criterios:

Porque se encuentran en todos los sistemas acuáticos favoreciendo los estudios comparativos.

Por su tamaño relativamente grande, pues son visibles a simple vista.

Por su alto grado de fidelidad al sustrato o soporte sobre el cual viven.

Por la escasa aptitud de los infaunantes bénticos para efectuar migraciones rápidas.

La mayoría de los organismos bénticos son artrópodos de ciclo de vida anual, lo que garantiza que las alteraciones del medio natural se observen sobre estas comunidades con mayor intensidad que sobre el resto de las comunidades acuáticas.

Las técnicas de muestreo de estos organismos son sencillas y no requieren equipos costosos.

### **III DISEÑO METODOLOGICO**

#### **3.1 TIPO DE ESTUDIO**

Estudio de tipo descriptivo y de corte transversal, donde el universo de estudio corresponde a la subcuenca del Río Ochomogo de 271.3 km<sup>2</sup>, localizado en los municipios de Nandaime, Santa Teresa, Belén y Potosí, en el período comprendido entre Febrero y Octubre del 2004.

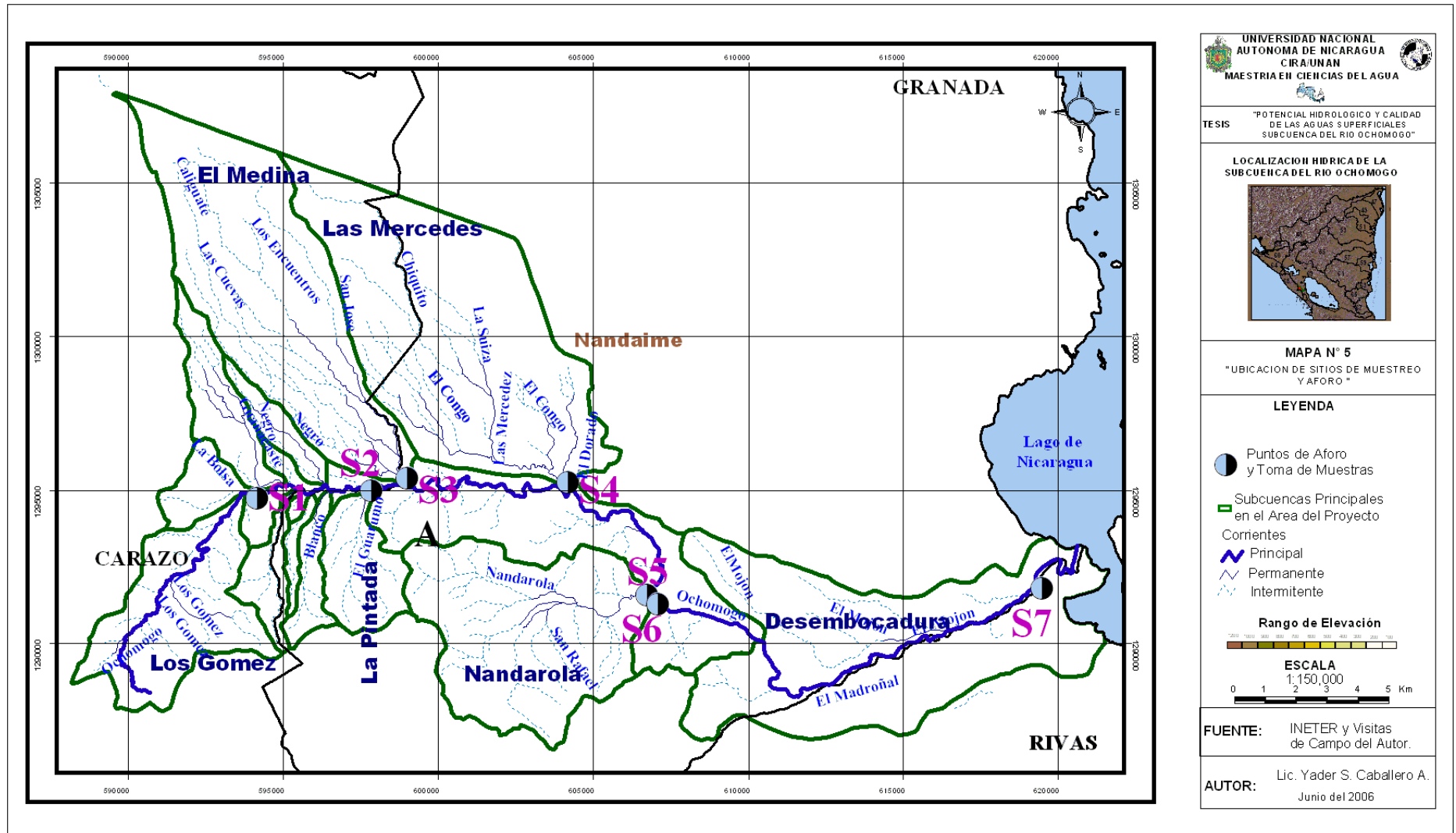
#### **3.2 RECOLECCION DE INFORMACIÓN**

- a) Información primaria y secundaria fue utilizada para el estudio, también se realizaron giras de campo para reconocimiento del área de estudio que permitió la ubicación de los sitios de muestreo, de los aforos e instalación de minipiezómetros. La recolección de información en instituciones como el MAGFOR, INETER, MARENA permitió la obtención de datos climatológicos, geológicos, hidrológicos y uso del suelo en la subcuenca.
- b) Se usó la estadística descriptiva para el análisis de la información, la que se limitó al cálculo de porcentajes, medias y promedios parciales.

##### **3.2.1 Selección de los puntos de muestreo**

Los sitios para la recolección muestras de agua para los análisis físicos, químicos y biológicos se seleccionaron de acuerdo a los criterios de: influencia directa de los pobladores sobre el recurso y los usos del agua en el área (consumo humano, riego, actividades domésticas y recreación). Para escoger los sitios de aforo se utilizó dos criterios: Cauce del río bien definido e impermeabilidad del lecho (no existencia de caudales subterráneos). El mapa No. 5 permite visualizar con mayor facilidad la ubicación de los sitios de aforo y muestreo, los cuales se describen en el Cuadro 6.

Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo



Mapa No. 5. Ubicación de sitios de muestreo y aforos de la subcuenca del Río Ochomogo.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Cuadro 6. Descripción de los Sitios de Muestreo y Aforo.

Sitios de Muestreo	Ubicación
S1 Los Gómez	Coordenadas: 1294716 N; 594404 E Localizado en la parte alta de la Subcuenca sobre el curso principal del Río Ochomogo, recibe las aguas del río Los Gómez y de algunas quebradas intermitentes.
S2 La Pintada	Coordenadas: 1294956 N; 598018 E Se ubica en el curso principal del Río Ochomogo, 20 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada La Pintada, en este sitio convergen los ríos y quebradas ubicados al este y oeste del cauce del río Ochomogo.
S3 El Medina	Coordenadas: 1295366 N; 599176 E Ubicado en el río Medina, 10 m antes de la confluencia con el Río Ochomogo, recibe las aguas de los ríos y quebradas de la microcuenca Medina.
S4 Las Mercedes	Coordenada: 1295238 N; 604274 E Se sitúa 10 m antes con la confluencia del río Dorado con el Río Ochomogo, recepciona las aguas de los ríos de la microcuenca Las Mercedes.
S5 Nandarola	Coordenadas: 1291641N; 606773 E Situado 100 m antes de la confluencia del río Nandarola con el Río Ochomogo, recibe las aguas de los ríos y quebradas de la microcuenca Nandarola.
S6 Antes de la Presa	Coordenadas: 1291393 N; 607136 E Se localiza sobre el curso del Río Ochomogo, 5 km antes de la presa, recibe las aguas de los ríos de la subcuenca.
S7 Desembocadura al Lago	Coordenadas: 1291860N; 619306 E Ubicado en la baja del Río Ochomogo, 1 km antes de la Desembocadura al Lago Cocibolca.



### **3.3 TRABAJO DE CAMPO**

Este tipo de trabajo estuvo comprendido en aplicación de encuestas, aforos y muestreo en la época seca y lluviosa para el análisis de parámetros biológicos, físico-químicos y plaguicidas, los que se describen a continuación:

#### **3.3.1 Encuestas**

A partir de ellas se obtuvo información sobre los tipos de cultivos y plaguicidas usados en la zona, inventario de fincas y las fuentes de agua para el consumo.

#### **3.3.2 Aforos**

Se realizaron tres mediciones de caudal en la época seca y tres en la época lluviosa, en los sitios seleccionados de los ríos El Medina (S3), Las Mercedes (S4), Nandarola (S5) y 4 puntos sobre el curso del río Ochomogo (Los Gómez (S1), La Pintada (S2), Antes de la Presa (S6) y La desembocadura al Lago de Nicaragua (S7)). Los aforos se realizaron midiendo el ancho del río, la profundidad del cauce y determinando la velocidad de la corriente con un molinete. En cada sitio de muestreo se realizó 10 mediciones de caudal en tramo medido.

#### **3.3.3 Muestreo**

Se realizaron dos muestreos uno en la época seca y otro en la época lluviosa, las muestras se recolectaron entre las 08h00 y 16h40 en los dos periodos de muestreo. Las muestras de agua fueron tomadas en contra de la corriente, en el centro del cauce del río y a 50 cm de profundidad.

Se recolectaron 7 muestras de agua para los análisis: Físico químico completo más amonio, boro, microbiológico completo y plaguicidas organoclorados. Se recolectaron 7 muestras de sedimentos para análisis del bentos (Comunidad de macroinvertebrados), materia orgánica y granulometría. También se tomaron 5 muestras de sedimentos para análisis de plaguicidas organoclorados. El análisis de Granulometría solamente se realizó en la época seca .

### **3.4 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO**

Para calcular el balance hídrico se subdividió el área de estudio en 7 sitios de afloramientos de tal forma que hubiera una correspondencia con la delimitación del área de la subcuenca.

Una vez hecha la delimitación del área de la subcuenca se calculó el balance hídrico a partir de los datos hidrometeorológicos (Anexo, Tabla 1,2,3,4 y 5) de la subcuenca del Río Ochomogo generados por las estaciones meteorológicas ubicadas en Nandaime y Santa Teresa.

Para el cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca se seleccionó la información de las estaciones meteorológicas de Nandaime y Santa Teresa para el periodo 1990 – 2004 (Anexo, Tablas 1 y 3), distribuida en bandas de 1600 mm y 1500 mm (Mapa 6).

La Evapotranspiración Potencial (ETP) se calculó utilizando el método desarrollado por Hargreaves (1977), el cual utiliza valores de temperatura y radiación (Anexo, Tabla 1).

Para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR) se utilizó un periodo 13 años estableciendo la siguiente hipótesis:

- a) Si la precipitación mensual  $P_p$  es superior a ETP, entonces:

$$ETR = ETP$$

$$\Delta H = P_p - ETR$$

- b) Si la precipitación  $P_p$  es inferior a ETP, la evapotranspiración real, es la suma de  $P_p$  y de toda la reserva de agua del suelo, suponiendo:

Si la reserva de humedad del suelo es grande, entonces:

$$ETR = ETP$$

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

y las reservas del suelo se deducen en:

$$H = ETP - P_p$$

Si la reserva de humedad del suelo es insuficiente para satisfacer la ETP, entonces la ETR será menor a este e igual a  $P_p$ , es más humedad disponible ( $\Delta H$ ), o sea:

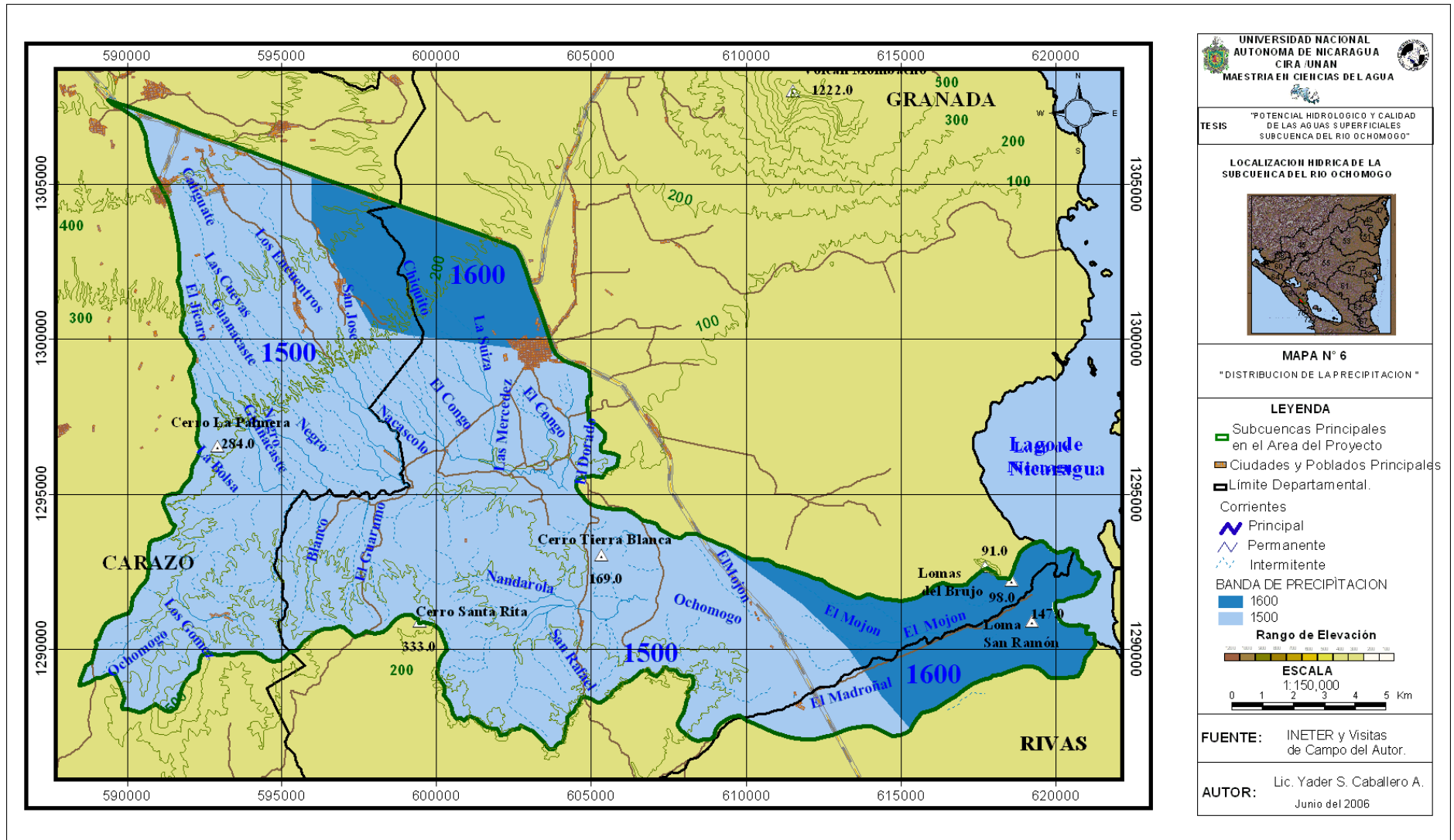
$$ETR = P_p + \Delta H$$

La suma de las ETR será la evapotranspiración real.

Para el análisis de esorrentía se tomaron los datos de la estación hidrométrica de Nandaime y Santa Teresa para el periodo de 1900 a 1988 (Anexo, Tablas 1 y 3).

Se instalaron 5 minipiezómetros en el Río Ochomogo para determinar si el río es efluente o afluente en los siguientes sitios: El Medina, Las mercedes, Antes de la Presa, 1 km antes de la Desembocadura al Lago y en la Desembocadura al Lago de Nicaragua, de acuerdo a la superficie topográfica, tipo de suelos y geología del lugar.

# Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo



Mapa 6. Régimen de precipitación de la subcuenca del Río Ochomogo

## **3.5 METODOLÓGICAS DE LA RECOLECCION DE MUESTRAS**

### **3.5.1 Análisis físico – químico**

Las muestras para los análisis físico – químicos fueron captadas, preservadas, transportadas y analizadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales y Aguas Naturales del CIRA / UNAN, que obedecen a los procedimientos descritos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition. Los parámetros analizados y los límites de detección analíticos se detallan en los Cuadros 6 y 7.

### **3.5.2 Análisis microbiológicos**

Las muestras para análisis de Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli y Estreptococos, fueron tomadas en recipientes de plástico, de 1 litro y de material no tóxico (polipropileno), cubiertos con papel de aluminio. Las muestras fueron transportadas al laboratorio en un termo con hielo, para posteriormente ser analizadas de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología del CIRA / UNAN, que obedecen a los Métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition.

### **3.5.3 Análisis de Macroinvertebrados Bénticos.**

Las muestras de sedimentos para el análisis de macroinvertebrados fueron extraídas con una draga Van Veen de 305 cm<sup>2</sup> del área de captura. Se colectaron tres submuestras en cada sitio de muestreo, colocando cada una en bolsas plásticas de 25 libras, preservándolas con formalina al 4 %. Cada submuestra fue analizada de forma individual siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología del CIRA / UNAN, que obedecen a los procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **3.5.4 Análisis de plaguicidas**

Las muestras para plaguicidas en agua fueron colectadas en botellas de vidrio de 5 litros, estériles y forradas con papel de aluminio, se preservaron con 70 ml de Hexano y transportadas al laboratorio en un termo con hielo. Las muestras para el análisis de plaguicidas en sedimentos fueron captadas con una draga Van Veen y depositadas en bandejas de metal previamente cubiertas con papel de aluminio, homogenizando con una espátula metálica, después se transfirieron alícuotas en frascos de vidrio, esterilizados, cubiertos con papel de aluminio.

Las muestras de agua y sedimentos fueron analizadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Cromatografía Líquida en el CIRA – UNAN, que obedecen a los Métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition.

### **3.5.5 Análisis de Materia Orgánica**

Los sedimentos para el análisis de materia orgánica total fueron recolectadas con una draga Van Veen, depositadas en papel de aluminio y transferidas a bolsas plásticas las cuales fueron transportadas sin preservar al Laboratorio del CIRA – UNAN. Para el análisis de materia orgánica total se emplea el método de materia oxidable mediante el ácido crómico con  $H_2SO_4$  y valor de dilución (Walkley – Black) y fueron analizados según los Procedimientos Operativos Normalizados del laboratorio de Radioquímica Ambiental del CIRA/UNAN.

### **3.5.6 Análisis de Granulometría**

Las muestras para granulometría fueron tomadas con una draga Van Veen y depositadas en bandejas de metal previamente cubiertas con papel de aluminio y se transfirieron a bolsas plásticas para posteriormente ser analizadas de acuerdo a lo establecido en los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Radioquímica Ambiental del CIRA / UNAN. El análisis se realizó por el Método de la Pipeta de Kohn y la clasificación de acuerdo a la Norma Austriaca 1-1083-88.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Cuadro 7. Métodos utilizados en los análisis físicos del agua

Parametro	RD	Nombre del método	N de RSM*
pH	0.10 a 14.00 Unds de pH	Potenciométrico	4500-H.B
Conductividad	0.01 a 200000 uS.cm <sup>-1</sup>	Método Laboratorio	2510.B <sup>1</sup>
Turbidez	0.00 a 999 UNT	Nefelométrico	2130.B <sup>1</sup>
Color	5,0 a 70,0 mg.l <sup>-1</sup>	Visual Comparación	2120.B <sup>1</sup>
Sólidos totales	Hasta 20.000 mg.l <sup>-1</sup>	Gravimétrico	2540.B <sup>1</sup>
Sólidos totales disueltos	Hasta 20.000 mg.l <sup>-1</sup>	Gravimétrico	2540.C <sup>1</sup>
Sólidos suspensos	Hasta 20.000 mg.l <sup>-1</sup>	Gravimétrico	2540.D <sup>1</sup>

RD: Rango de detección

\*Número de referencia del Standard Methods (APHA, 1995)

<sup>1</sup>American Public Health Association (APHA). (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th. Ed. Washington: APHA.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Cuadro 8. Método utilizados en los análisis químicos del agua

Parámetro	LD	Nombre del método	N de RSM*
Alcalinidad (Como CaCO <sub>3</sub> )	0.62 mg.l <sup>-1</sup>	Titrición	2320.B <sup>1</sup>
Dureza (Como CaCO <sub>3</sub> )	0.125 mg.l <sup>-1</sup>	Titrimétrico	2340.C <sup>1</sup>
Calcio (Como CaCO <sub>3</sub> )	0.08 mg.l <sup>-1</sup>	Titrimétrico	3500-Ca.D <sup>1</sup>
Magnesio (Como CaCO <sub>3</sub> )	0.2 mg.l <sup>-1</sup>	Gravimétrico	3500-Mg.E <sup>1</sup>
Sodio	0.18 mg.l <sup>-1</sup>	FELI	3500 Na.D <sup>1</sup>
Potasio	0.1 mg.l <sup>-1</sup>	FELI	3500-K.D <sup>1</sup>
Cloruros	0.25 mg.l <sup>-1</sup>	Cromatografía Iónica	4110.B <sup>1</sup>
Nitratos	0.05 mg.l <sup>-1</sup>	Cromatografía Iónica	4110.B <sup>1</sup>
Nitritos	0.003 mg.l <sup>-1</sup>	Colorimétrico	4500-NO <sub>2</sub> .B <sup>1</sup>
Nitrógeno	0.005 mg.l <sup>-1</sup>	Segunda derivada <sup>2</sup>	
Amonio	0.005 mg.l <sup>-1</sup>	Azul de Indofenol <sup>3</sup>	
Fósforo Reactivo disuelto	0.005 mg.l <sup>-1</sup>	Acido Ascórbico	4500-P.E <sup>1</sup>
Fósforo Total disuelto	0.005 mg.l <sup>-1</sup>	Acido Ascórbico	4500-P.B.E <sup>1</sup>
Fósforo Total	0.005 mg.l <sup>-1</sup>	Acido Ascórbico	4500-P.B.E <sup>1</sup>
Sílice disuelta	0.2 mg.l <sup>-1</sup>	Molibdosilicato	4500-Si.D <sup>1</sup>
Hierro	0.04 mg.l <sup>-1</sup>	Fenantrolina	3500-Fe.D <sup>1</sup>
Fluor	0.03 mg.l <sup>-1</sup>	Spands	4500-F.D <sup>1</sup>
Sulfato	0.25 mg.l <sup>-1</sup>	Turbidimétrico	4110.B <sup>1</sup>
Boro	0.02 mg.l <sup>-1</sup>	Curcumina	4500-B.B <sup>1</sup>
Oxígeno disuelto	0.2 a 25.0 mg.l <sup>-1</sup>	Azida de Sodio	4500-O.C <sup>1</sup>
Carbono orgánico disuelto	0.129 mg.l <sup>-1</sup>	UV a 254 nm <sup>4</sup>	

LD: Límite de detección

FELI: Fotométrico de Emisión de Llamas

<sup>1</sup>American Public Health Association (APHA). (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th. Ed. Washington: APHA.

<sup>2</sup>Crumtom, W.G., T.M Isenhardt & P.D. Mitchell. (1992). Nitrate an organic N analysis with secondary-derivate spectroscopy. Limnology & Oceanography 37:907-913.

<sup>3</sup>Rodier, J. (1981). Análisis de las aguas naturales, residuales y agua de mar. España: Ediciones Omega.

<sup>4</sup>Anton Brandstetter, Roland S. Sletten, Axel Mentler and Walter Wenzel (June 1996). Estimating dissolved organic carbon in natural water by uv absorbance (254 nm).

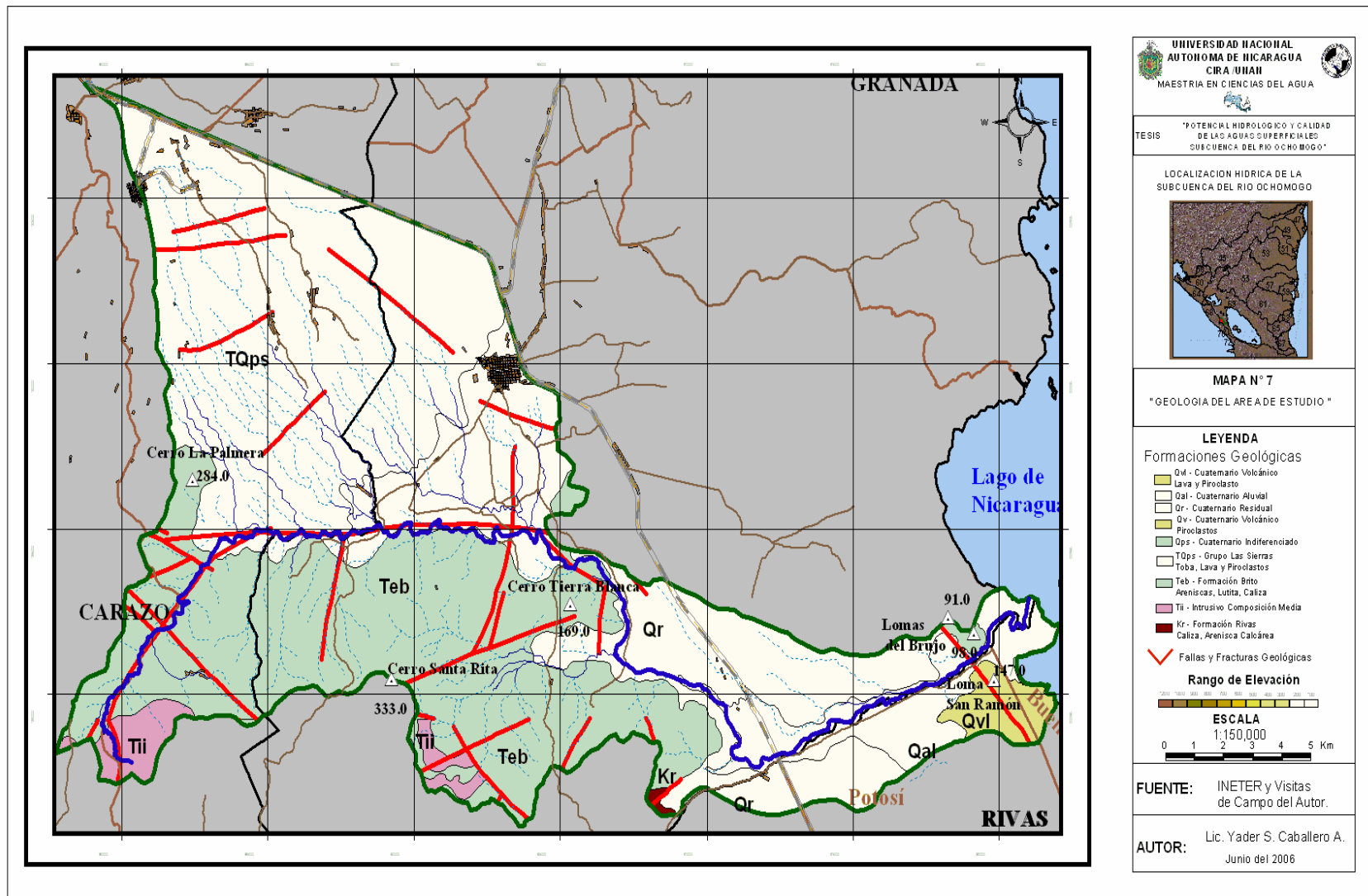


## **IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 GEOLOGIA**

En la litología de la subcuenca del Río Ochomogo las unidades de rocas predominantes en el área son la formación Brito con 93.3 km<sup>2</sup> compuestas de areniscas, lutitas y calizas en la microcuenca de Los Gómez, parte oeste de La Pintada y La microcuenca Nandarola, seguida de la formación Las Sierras con 91.3 km<sup>2</sup> compuesta de toba, lava y piroclastos en la microcuenca Medina y la parte norte de la microcuenca Las Mercedes. El Cuaternario residual con un área de 62.2 km<sup>2</sup> aproximadamente se encuentra en la parte sur de la microcuenca Las Mercedes y la parte baja de la subcuenca. Otras formaciones presentes en el área de estudio son los cuaternarios aluviales 18.1 km<sup>2</sup> los cuales predominan en el curso del Río Ochomogo aproximadamente desde 5 Km antes de la Presa hasta la desembocadura, Los cuaternarios volcanicos con 5.2 km<sup>2</sup> ubicados en la parte sur de la desembocadura del Río Ochomogo frente a las costa del Lago de Nicaragua, el intrusivo de composición media con 0.8 km<sup>2</sup> al sur de las microcuencas de los Gómez y Nandarola y la formación Rivas con un área de 0.4 km<sup>2</sup> compuesta de caliza y areniscas calcáreas al sur de la microcuenca Nandarola (Mapa 7).

Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo



Mapa 7. Geología de la subcuenca del Río Ochomogo.

## **4.2 SUELOS**

La clasificación y descripción de los suelos de la subcuenca del Río Ochomogo se realizó con la información del levantamiento de los suelos de la región del Pacífico de Nicaragua, realizado por Catastro e Inventarios de Recursos de Nicaragua en 1971 e INETER 1985, cuyo sistema adoptado son los publicados por el Servicio de Conservación de los Estados Unidos de Norteamérica.

De acuerdo a esta clasificación, en la subcuenca del Río Ochomogo se encuentran 5 tipos de suelos: Entisoles, Inceptisoles, Vertisoles, Molisoles y Alfisoles.

### **4.2.1 Tipos de suelos en la subcuenca del Río Ochomogo**

Los suelos molisoles abarcan un área de 106.3 km<sup>2</sup> se encuentran en la microcuenca El Medina y parte de Las Mercedes, son los mejores suelos agrícolas por sus características climáticas y edafológicas. Por otro lado en la microcuenca Los Gómez, parte oeste del Río Ochomogo en La Pintada, parte sur del río mismo y en la microcuenca Nandarola predominan los suelos alfisoles en un área de 91.2 km<sup>2</sup>. Los suelos vertisoles con un área de 61.1 km<sup>2</sup> se encuentran en la parte baja correspondiente a la desembocadura al Lago y parte de la microcuenca Nandarola. Los suelos entisoles abarcan un área de 12.2 km<sup>2</sup> localizados en la propia desembocadura del Lago de Nicaragua y en la parte sur correspondiente a los Gómez. Los suelos inceptisoles se encuentran en un área de 0.5 km<sup>2</sup> en la parte norte de la microcuenca El Medina.

## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

### **4.2.2 Uso actual del suelo**

El uso actual de los suelos en la subcuenca del Río Ochomogo se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Uso actual de los suelos en la subcuenca del Río Ochomogo.

Clase	Descripción	Área km <sup>2</sup>
Va	Vegetación arbustiva	62.0
Blc	Bosque latifoliado cerrado	16.9
Bla	Bosque latifoliado abierto	7.3
Agri	Cultivos anuales	26.3
Urb	Centro Poblado	1.7
Vh	Vegetación herbácea	0.9
Ca	Caña de azúcar	0.6
Cf	Café con sombra	0.2
Pm	Pasto manejado	36.3
Ah	Área humanizada	3.1
Ag	Agua	0.2
Pa	Pasto con árboles	14.2
Tac	Tacotal	37.6
Pm	Pasto con malezas	64.0
Total		271.3

Fuente: INETER, (2005).

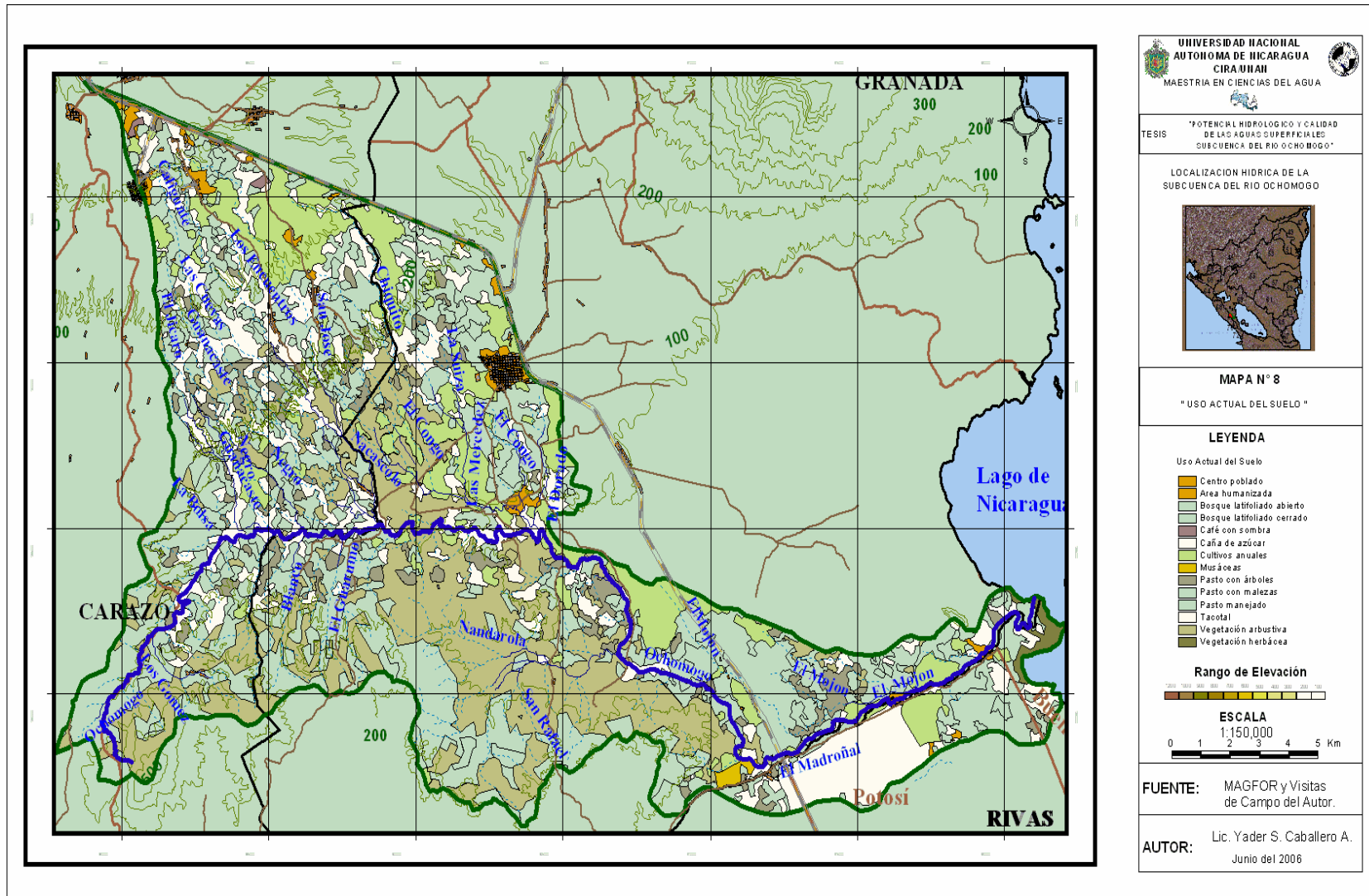
Hay grandes extensiones cubiertas con bosques naturales y pasto para el ganado (201.6 Km<sup>2</sup>). En el sector correspondiente al Río Medina, La Pintada, Los Gómez y Nandarola hay un bajo nivel de actividad agrícola, actualmente una pequeña parte de los suelos es utilizada para producción de granos básicos (cultivos curcubitáceos, maíz, trigo).

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Los suelos en la microcuenca Las Mercedes y los ubicados cerca de la desembocadura al Lago de Nicaragua son utilizados actualmente para la agricultura y la ganadería, especialmente en el cultivo de plátano, arroz y la caña de azúcar. Otra parte del suelo es utilizado para el ganado en forma de pasto con árboles, con malezas y pasto mejorado (Mapa 8).

Las encuestas realizadas a la población y los datos del INTA (2004), con relación al uso actual de los suelos indican que en la subcuenca del Río Ochomogo, el 55 % de los suelos se utiliza para la agricultura, el 4% en barbecho forestal, el 12% con bosque, el 17% con pastos, el 11% con vegetación herbácea y arbustiva y el 1% con zona urbana.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**



Mapa 8. Uso actual de los suelos de la subcuenca del Río Ochomogo.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

**4.3 CAUDAL DE LOS RÍOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO OCHOMOGO**

En el cuadro 10 se presenta el caudal del Río Ochomogo y sus principales tributarios, se observa un comportamiento hidrológico descendente en la época seca debido a la disminución de los aportes de los caudales subterráneos al río y por la ausencia de las precipitaciones característica propia de la época seca.

Cuadro 10. Caudales medidos en el Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca y lluviosa.

Ptos de Aforos	Q(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) Feb-04	Q(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) Mar-04	Q(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) Abr-04	Prom E.S	Q(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) Agos-04	Q(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) Sept-04	Q(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) Oct-04	Prom E.LI	Prom Total
Los Gómez	0.013	0.012	0.007	0.010	0.028	0.058	0.100	0.079	0.044
La Pintada	0.145	0.095	0.136	0.125	0.175	0.220	0.330	0.241	0.183
El Medina	0.233	0.238	0.233	0.234	0.289	0.356	0.106	0.250	0.242
Mercedes	0.284	0.285	0.255	0.274	0.542	0.555	0.466	0.521	0.397
Nandarola	0.003	0.002	*	0.0025	0.020	0.023	0.058	0.0033	0.017
A. Presa	0.870	0.708	0.692	0.756	1.221	1.229	1.777	1.385	0.57
Desem	0.151	0.055	0.025	0.077	0.256	0.433	1.570	0.756	0.416

\* No se realizó el aforo por ausencia de caudal.

Los ríos de toda la subcuenca son la principal fuente de agua para el abastecimiento de la población e irrigación de los cultivos, los ríos más utilizados se encuentran en la microcuenca Las Mercedes y en la parte baja correspondiente a la desembocadura al Lago de Nicaragua. Como se puede observar en el Cuadro 9, existe un descenso considerable del caudal promedio del Río Ochomogo en la

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

época seca, en el tramo comprendido entre el sitio de muestreo Antes de la Presa de 0.756 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> hasta la desembocadura al Lago de Nicaragua 0.077 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, caudal utilizado para el riego de los cultivos de plátanos y arroz durante la época seca, registrándose entre estos dos sitios una diferencia de 0.679 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, lo que corresponde a una reducción de un 90 % del caudal del río. Un descenso considerable del caudal promedio para la época seca del 0.629 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, se observa también entre estos mismos sitios anteriormente señalados en el Cuadro 10.

Según una denuncia presentada por la población que vive en la parte baja de la subcuenca a la Procuraduría Ambiental en el 2004, evidencia la existencia de un conflicto de intereses entre los productores y la población. En una extensión de 7 km se encuentran instaladas 20 bombas que extraen aproximadamente 8 MMCA de agua; esta sobreexplotación ha disminuido el caudal y ha provocado problemas entre los diferentes usuarios de este recurso.

Los aforos realizados en este estudio indican que la microcuenca Las Mercedes es la que mayor aporta al caudal promedio total del Río Ochomogo con 0.397 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. El caudal promedio en el río Medina medido en su confluencia con el Río Ochomogo fue de 0.242 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (7.62 MMCA); el estudio de Tahal consulting (1977), presenta un caudal muy superior de 11.04 MMCA, sin embargo se debe considerar que la mediciones se realizaron de manera diferente. El dato de Tahal Consulting (1977), corresponde a la sumatoria de los caudales de los ríos El Medina, La Calera y Nacascolo. En el estudio realizado por PROCUENCA SAN JUAN (2004), en la desembocadura al Lago de Nicaragua, se registró un caudal de 0.103 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en la época seca y de 2.199 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para la época lluviosa en el año 2000; mientras que el estudio actual estima que el Río Ochomogo aporta anualmente un volumen promedio total de escorrentía superficial de 0.416 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, tal como se presenta en el Cuadro 9.

Las lecturas de los piezómetros demuestran que el río es alimentado por el acuífero y se comporta como un efluente con respecto al acuífero.



#### **4.4 EVALUACIÓN DE LOS TÉRMINOS DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL**

El cálculo del balance hídrico se realizó con los datos de 14 años (1990-2004), con antecedentes de precipitación, evapotranspiración y escorrentía (Anexo, Tablas 1,2,3,4,5 y 6) y utilizando estadísticas observadas y ampliadas.

##### **Precipitación**

En la subcuenca hay dos bandas de precipitación (Mapa 6), una de 1600 mm y otra de 1500 mm. Según el mapa 6, en los sectores de Los Gómez, en La Pintada, la microcuenca Nandarola y en la desembocadura al Lago, se obtiene la mayor precipitación de la zona con un valor de 1,660 mm, La precipitación disminuye en la microcuenca El Medina y en un sector de Las Mercedes, registrándose el valor más bajo al norte de la microcuenca El Medina (1500 mm).

La máxima pluviométrica con media superior a los 1,600 mm se alcanzan en un área de 55,3 km<sup>2</sup> con 89 mmca sobre la parte norte de la microcuenca Las Mercedes y la desembocadura al Lago, por el contrario en la zona de Los Gómez, La Pintada, la microcuenca El Medina, parte de Las Mercedes, Nandarola y parte de la zona baja correspondiente a la desembocadura al Lago de Nicaragua alcanzan una precipitación media de 1,500 mm en un área de 227.3 km<sup>2</sup> que corresponden a 341 mmca.

La precipitación media del período 1990-2004 en el sector sureste del Municipio de Nandaime es de 1458 mm con mayor acumulado en el mes de Octubre con un promedio de 277 mm, mientras en la parte correspondiente al Municipio de Santa Teresa la precipitación es de 2132 mm con un mayor acumulado en el mes de Octubre con un promedio de 418 mm (Anexo, Tablas 2 y 4). En el mes Febrero se registran las precipitaciones más bajas con un valor promedio de 2 mm, podría decirse que este mes es el más crítico para la agricultura y la agroindustria en la subcuenca del Río Ochomogo.

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Los registros de precipitación marcan claramente las épocas dominantes del año, seca y lluviosa que ocurren de Mayo a Octubre y de Noviembre a Abril respectivamente.

Así mismo en el área de estudio, la precipitación de los años 91, 92, 94, 97, 00 y 01 ha sido catalogada como años secos, respecto al valor promedio de la precipitación del sector, contrario a los años 93, 96, 98, 02, 03 y 04 que han sido caracterizados como años húmedos (Anexo, Tablas 1 y 3).

#### **Evapotranspiración Real (ETR)**

La evapotranspiración se calcula a partir de los registros de temperatura de las estaciones ubicadas en Nandaime correspondiente al período de 1990-2004 (Anexo, Tablas 1 y 3). La evapotranspiración real (ETR) se obtiene de los valores de evapotranspiración potencial (ETP).

En la subcuenca del Río Ochomogo la ETR es más alta de Mayo a Diciembre, no así de Enero a Abril donde se observan los valores más bajos. El máximo valor se presenta en el mes de Octubre y el mínimo en Abril. La ETR promedio en la subcuenca del Río Ochomogo es de 731.42 mm (Anexo, Tabla 5).

Según Peña (2005), existe una diferencia bien marcada de la ETR con respecto a los tipos de suelos en la subcuenca. Así puede decirse que los suelos Molisoles tienen una ETR de 822.30 mm específicamente en la microcuenca El Medina y parte de Las Mercedes. En la microcuenca Nandarola y la zona norte de la desembocadura al Lago la ETR disminuye hasta 711.65 mm por la reducción de la vegetación en el área (Anexos, Tabla 5).

En los sectores correspondiente a Los Gómez, La Pintada, La microcuenca Nandarola y al norte en El Medina la ETR es de 699.45 mm. Lo contrario ocurre en la parte sur de la desembocadura al Lago y de los Gómez donde se obtiene el menor valor con 674.24 mm posiblemente porque estos suelos están cubiertos con poca vegetación debido a que son utilizados para la agricultura y pastos para el ganado creando condiciones no óptimas para que se produzca la transpiración.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **Escorrentía superficial**

Los datos utilizados para determinar la escorrentía superficial de la subcuenca del Río Ochomogo corresponden a los años 1990 – 2004 (Anexo, Tabla 6). Por no existir una estación hidrométrica en la subcuenca, no se cuenta con registros de datos de caudal, por lo que los valores de la escorrentía superficial se estimaron en base a los tipos de suelos (Anexo, Tabla 6).

Los ríos que pertenecen a la microcuenca Las Mercedes son los tributarios que más aportan al caudal del Río Ochomogo durante las dos épocas de muestreo como se ilustra en el Cuadro 9, el caudal es mucho mayor en la época lluviosa cuando ocurren las máximas precipitaciones.

La cantidad de agua que fluye en la subcuenca varía entre 358.39 mm a 535.13 mm, las diferencias observadas entre sitios están directamente relacionadas a la topografía del lugar, tipos de suelo y la vegetación. Las microcuencas El Medina y Las Mercedes tienen una superficie de 110.5 km<sup>2</sup>, con una escorrentía superficial con 535.13 mm. Al norte de la microcuenca Medina, en Los Gómez, La Pintada y la microcuenca Nandarola la escorrentía superficial es de 444.88 mm. Esta escorrentía superficial se debe al tipo de suelos de la zona los cuales son alfisoles e inceptisoles. Según Sánchez (1981), los suelos alfisoles e inceptisoles tienen pobre drenaje, basados en esta observación esta podría ser la causa de la baja escorrentía superficial en los sitios mencionados anteriormente, además estos suelos están cubiertos de poca vegetación (Anexo, Tabla 6). En la desembocadura al Lago el escurrimiento superficial es de 456.31 mm.

Las áreas con mayor escorrentía superficial, son ocupadas por materiales que poseen una permeabilidad de moderada a baja. Sin embargo en las áreas, con elevada permeabilidad, la generación de flujo de agua en superficie tiene poca relevancia.

En el sitio Antes de la Presa se obtuvo el mayor caudal en ambas épocas de muestreo, en este sitio el río recibe contribuciones de las zonas altas y central de

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

la subcuenca y de los tributarios más importantes. Se encontró que el caudal promedio en el sitio Antes de la Presa fue de 11.92 mmca durante el verano. El aporte del Río Ochomogo al Lago Cocibolca es de  $0.077 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (1.21 mmca) durante la época seca, mientras que en la época lluviosa el aporte es de  $0.756 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (11.92 mmca), con un promedio anual de 13.13 mmca, siendo menor en la época seca por disminución del caudal de estiaje al río. La reducción de caudal durante los meses de la época seca guarda relación con las características propias de algunos tributarios como ser intermitentes, son de corto recorrido y sus lechos son impermeables porque se encuentran sobre afloramiento (Cuadro 10).

#### **Infiltración**

Según Peña (2005), la mayor infiltración se presenta en la microcuenca El Medina y Las Mercedes por la pendiente y el tipo de suelo ya que estos son suelos Molisoles y la textura de estos suelos y del subsuelo, son francos arenosos a francos arcillosos y arcillosos. En los otros sitios de la subcuenca la infiltración es menor y no varió con respecto a los lugares donde se realizaron las pruebas, porque la textura de los suelos es de arcillosos a francos arcillosos y francos arenosos. La infiltración en la subcuenca del Río Ochomogo es de 138.30 mm (Cuadro 10). En el Cuadro 11 se presentan los valores de los parámetros utilizados para calcular el balance hídrico y la disponibilidad de agua superficial en la subcuenca del Río Ochomogo.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Cuadro 11. Balance hídrico de la subcuenca del Río Ochomogo.

Suelos	Área	P (mm)	ETR (mm)	ESC (mm)	I (mm)	Disponibilidad
Molisoles	110.5	1456	822.30	535.13	252.00	
Vertisoles	62.5	1456	711.65	456.36	110.00	
Alfisoles	95.3	1456	699.45	444.88	106.00	
Entisoles	13.6	1456	674.24	386.80	98.50	
Inceptisoles	0.5	1456	749.44	358.39	125.00	
Total mm	282.4	1456	731.42	436.31	138.30	149.97 mm
Total MMCA	282.4	411.17	206.55	123.21	39.05	42.36 MMCA

La disponibilidad espacial en la subcuenca del Río Ochomogo calculada según la siguiente ecuación  $P - ETR - Es - I = \Delta V$  es de:

$$1456 - 731.41 - 436.31 - 138.30 = 149.98 \text{ mm} = 42.62 \text{ MMCA.}$$

Donde:

P = Precipitación

ETR = Evapotranspiración

ES = Escorrentía Superficial

I = Infiltración

$\Delta V$  = Disponibilidad

**Valoración del resultado del balance**

La disponibilidad de agua en la subcuenca del Río Ochomogo es de 42.62 MMCA de aguas superficiales. Peña (2005) en su estudio sobre el acuífero de Nandaime encontró que la disponibilidad de agua subterránea es de 35.00 MMCA.

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Según la información de Tahal Consulting (1977), la esorrentía base del Río Ochomogo registrados en la estación fluviométrica La Enrramada entre 1976 y 1977 fue de un valor promedio de 71.9 MMCA. De acuerdo a los resultados de este estudio la esorrentía de la subcuenca del Río Ochomogo es de 123.21 MMCA. Sin embargo es necesario aclarar que el estudio de Tahal Consulting (1977), no se realizó en toda la subcuenca del Río Ochomogo si no que solamente en la parte correspondiente a Nandaime, la microcuenca Las Mercedes y El Medina.

Se considera que existe en el área de estudio auge de desarrollo agrícola y son convenientes las condiciones de explotación extensivas, por lo que se debe hacer uso racional y distribución de las aguas superficiales en toda la subcuenca considerando la disponibilidad hídrica superficial calculada a través del balance.

#### **4.4.6 Aplicación de los recursos hídricos**

Los recursos hídricos superficiales en la subcuenca del Río Ochomogo podrían ser más utilizados para los diferentes cultivos agrícolas en la microcuenca Las Mercedes y en la Desembocadura al lago. En esta microcuenca se puede desarrollar la agricultura extensiva en los cultivos de arroz, plátano y caña de azúcar utilizando las aguas superficiales bajo riego.

#### **4.4.7 Manejo de los recursos de agua superficiales y subterráneos**

En la subcuenca del Río Ochomogo no existe una estrategia integral sobre el manejo de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. La alcaldía e instituciones no gubernamentales deberían de trabajar en acciones inmediatas para un mejor aprovechamiento por parte de los grandes y pequeños productores, por lo que es necesaria la incorporación de los recursos hídricos en la política de protección ambiental de los organismos que actualmente trabajan en el área de estudio.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **4.4.8 Demanda - Oferta**

La mayor demanda de agua en la subcuenca del Río Ochomogo es para uso agrícola y se presenta en la microcuenca Las Mercedes y la zona desembocadura al Lago de Nicaragua (cultivos de plátano, caña de azúcar y arroz). La disponibilidad de agua superficial en la subcuenca es de  $0.416 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  que equivale a 13.11 MMCA.

La mayor explotación de las aguas superficiales en la subcuenca se lleva a cabo en un trecho de más o menos 8 km que abarca desde el sitio Antes de la Presa hasta la desembocadura al Lago en donde se extraen unos 8.00 MMCA para riego. Según el estudio realizado por Peña (2005) se extraen del acuífero de Nandaime un total de 21 MMCA para riego de los diferentes cultivos de la zona, siendo la microcuenca Las Mercedes la zona donde se explotan más las aguas subterráneas.

La oferta y demanda de agua tanto superficial como subterránea se muestra a continuación:

#### **OFERTA AGUA SUPERFICIAL - DEMANDA**

$$13.11 \text{ MMCA} - 8.00 \text{ MMCA} = 5.11 \text{ MMCA}$$

#### **OFERTA AGUA SUBTERRANEA – DEMANDA (Peña, 2005)**

$$35 \text{ MMCA} - 21 \text{ MMCA} = 14 \text{ MMCA}$$

El excedente o el potencial de agua superficial y subterránea de 5.11 MMCA y 14 MMCA respectivamente. Las aguas subterráneas son más utilizadas que las superficiales a pesar de la existencia de una mayor oferta de las primeras. El estudio realizado por Peña (2005), se basó en los datos de 124 pozos perforados y 169 excavados.

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

### **4.4.9 Proyección para el 2009**

La proyección de la demanda de agua para riego en la subcuenca se basó en el volumen de agua que se extraen actualmente para riego, que es 8 MMCA de aguas superficiales. Se estimó el crecimiento de la producción agrícola de un 15 % y por regla de tres simple se obtuvo la demanda para el 2009 que corresponde a 9.2 MMCA.

La escasez de agua no afectará de la misma manera a toda la subcuenca, porque en la microcuenca Las Mercedes se explotarán más las aguas subterráneas (Peña, 2005) y en la parte correspondiente a la desembocadura al Lago, en La Pintada y en la microcuenca El Medina se extraerá más agua superficial por el aumento de la producción agrícola.

## **4.5 COMPOSICIÓN HIDROQUÍMICA DEL AGUA**

### **4.5.1 CALIDAD HIDROQUÍMICA DEL AGUA**

#### **4.5.1.1 Aniones y Cationes**

Las concentraciones de Sodio, Magnesio, Potasio y Cloruros, se mantienen constante en la época seca en los sitios muestreados, porque estos iones conservan sus características químicas; sin embargo en la desembocadura al Lago (S7) y el río Nandarola (S5), se registran variaciones significativas posiblemente por la disolución y meteorización de los materiales litológicos al entrar en contacto con el agua.

El sodio presenta las concentraciones más altas en ambas épocas de muestreo con respecto a los otros iones mencionados (Anexo, Tablas 7b y 8b), porque es el más abundante de los elementos alcalinos hallándose distribuido ampliamente en la naturaleza y también por la alta solubilidad de sus sales y abundancia de depósitos minerales ricos en sodio (OPS, 1987).



### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

El ión potasio es absorbido por las arcillas en formación por ser parte de su estructura, de ahí que las aguas naturales poseen menos potasio que sodio (González, 2004), por lo que el sodio se encuentra en mayor concentración que el potasio en todos los sitios muestreados en ambas épocas del año (Anexo, Tablas 7b y 8b). Los sitios ubicados en el río Nandarola (S5) y en la desembocadura al Lago (S7) presentan las concentraciones más altas de sodio. Por lo general, las concentraciones más altas de sodio se encuentran en las tierras bajas de los ríos, porque el aporte de cada río tributario contribuye a elevar la concentración de sodio en la desembocadura al Lago (S7).

Las concentraciones de sodio en todos los puntos y en las dos fechas están por debajo del valor recomendado por las Normas Canadiense EQGs (Environmental Quality Guidelines) para consumo humano, ( $\leq 200 \text{ mg.l}^{-1}$ ).

En cuanto a las concentraciones de calcio varían en todos los puntos muestreados, registrándose los valores más altos en Los Gómez (S1) con  $78.92 \text{ mg.l}^{-1}$  en la época seca y el río Nandarola (S5) con  $89.36 \text{ mg.l}^{-1}$  en la época lluviosa (Anexo, Tablas 7b y 8b). Este comportamiento pareciera estar relacionado con las particularidades del tipo de rocas presentes en el área donde el calcio es el principal constituyente de muchas rocas minerales comunes, además el calcio es el elemento más abundante en los ríos. Esta situación provoca que el calcio en las aguas se encuentre en concentraciones altas en los sitios muestreados de la subcuenca. Además el calcio y el carbono inorgánico son dinámicos y sus concentraciones están muy influenciadas por el metabolismo microbiano (Wetzel, 1981).

Los resultados de sulfatos son similares en todos los puntos muestreados en la época seca, registrándose el valor más alto en la desembocadura al Lago (S7) con  $10.35 \text{ mg.l}^{-1}$  y en la microcuenca Nandarola (S5) con  $11.83 \text{ mg.l}^{-1}$ , mientras en la época lluviosa se registro el valor más alto en Los Gómez (S1) y la microcuenca Nandarola (S5) (Anexo, Tablas 7b y 8b). Lo contrario sucede en la época seca y lluviosa con el bicarbonato. Las altas concentraciones de bicarbonato en Los Gómez (S1) de  $366.49 \text{ mg.l}^{-1}$  en la época seca podrían estar relacionadas con el

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

pH del agua (8.31 unidades de pH). A pH entre 6 y 10 precipitan los bicarbonatos y es por eso que son la forma de carbono predominante en el agua. El pH regula la fracción de carbono presente en el ecosistema acuático (Ramírez y Viña, 1998), además el pH es inversamente proporcional a los carbonatos ya que a medida que este es más ácido aumentan los iones  $\text{HCO}_3$  y disminuyen a medida que el pH es más básico. En la época seca en la microcuenca Nandarola (S5) se obtiene el valor más alto de Bicarbonato con  $568.62 \text{ mg.l}^{-1}$  (Anexo, Tablas 7b y 8b).

Los valores de carbonatos durante la época seca son más altos en comparación con los registrados la lluviosa. En la época lluviosa los resultados en los 7 puntos muestreados están por debajo del límite de detección ( $< 2.00 \text{ mg.l}^{-1}$ ). En la época de lluvia los resultados de  $\text{CO}_3$  están por debajo del límite de detección ( $< 2.00 \text{ mg.l}^{-1}$ ), debido a que el pH es menor de 8.30 unidades y estos no precipitan.

En la época seca los resultados de carbonatos están influenciados por el pH, posiblemente, este se vuelve más alcalino aumentando las concentraciones de  $\text{CO}_3$  porque a pH mayores de 8.3 descienden los bicarbonatos y precipitan los carbonatos aumentando su concentración (Ramírez y Viña, 1998).

Las concentraciones de cloruros varían en ambas épocas de muestreo en todos los puntos muestreados presentando valores más altos los puntos ubicados en el curso del Río Ochomogo correspondiente a La desembocadura al Lago (S7) con  $52.65 \text{ mg.l}^{-1}$  en la época seca y Los Gómez (S1) con  $12.57 \text{ mg.l}^{-1}$  para la época lluviosa (Anexo, Tablas 7b y 8b). Mientras la microcuenca Nandarola (S5) presenta el valor mas alto en la época seca y lluviosa con  $49.53 \text{ mg.l}^{-1}$  y  $26.88 \text{ mg.l}^{-1}$  respectivamente. Para todos los puntos de muestreo en este estudio, estas variaciones están relacionadas a la litología de la subcuenca ya que las aguas del río circulan sobre diferente material geológico.

### **4.5.1.2 Tipo hidroquímico del agua**

De acuerdo al Diagrama de Piper se determinó que el tipo hidroquímico del agua es bicarbonatada cálcica, no se observaron diferencias significativas entre las dos épocas del año; el predominio de las aguas bicarbonatadas cálcicas es debido a

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

las características topográficas y litológicas propias de la subcuenca del Río Ochomogo. Por lo general, estas aguas son aptas para todo uso. En las Fig. 1 y 2 se ilustran el tipo hidroquímico del agua en la subcuenca del Río Ochomogo para la época seca y la época lluviosa.

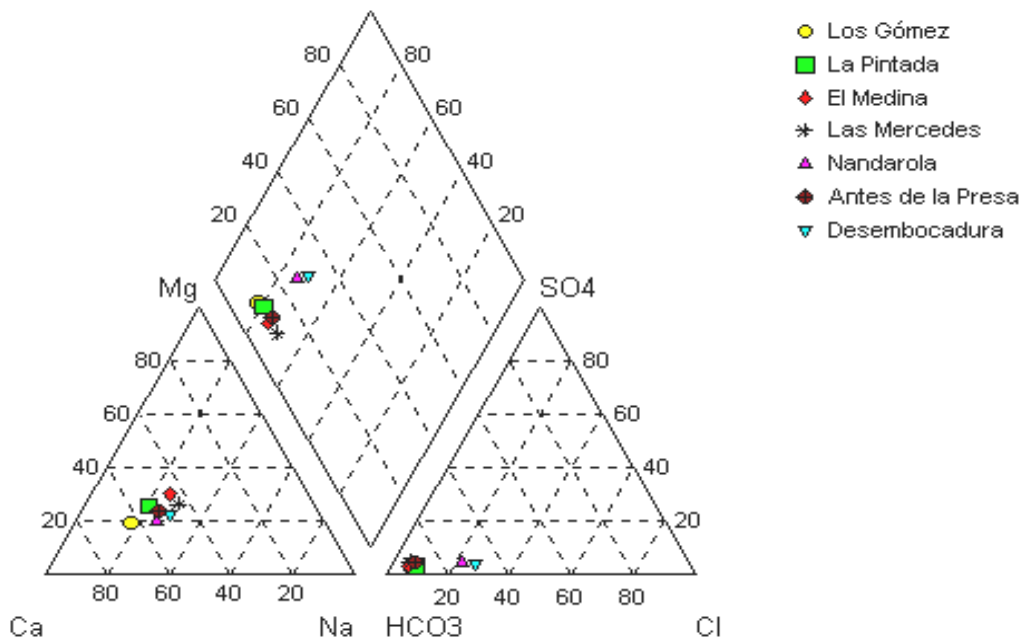
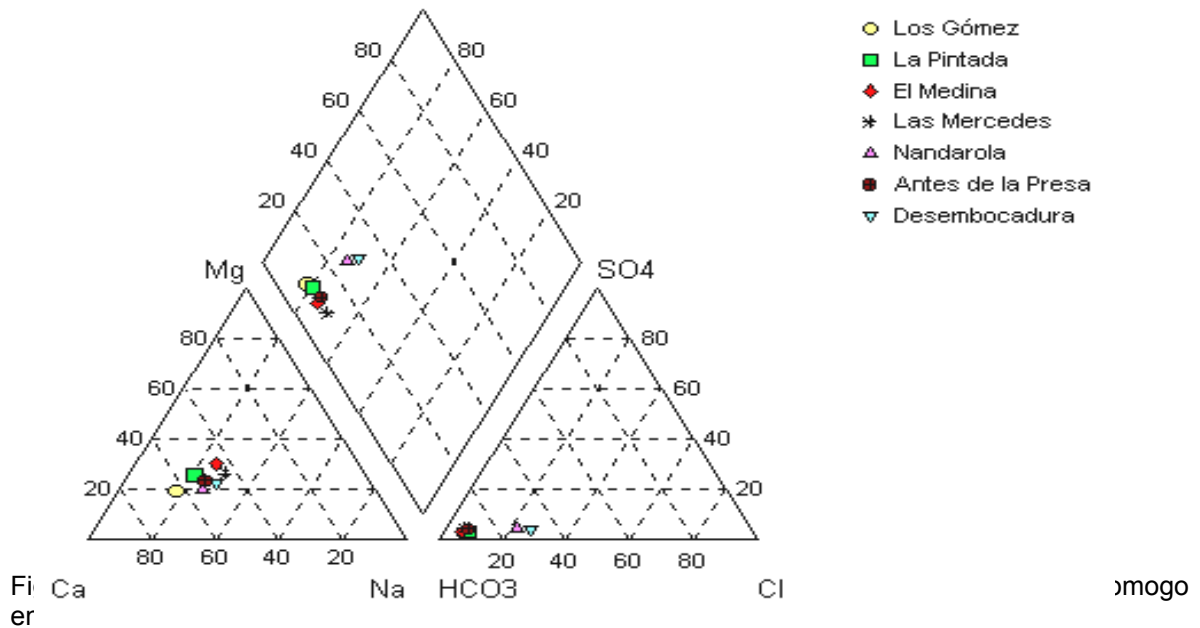


Figura 2. Diagrama de Piper tipo hidroquímico (HCO<sub>3</sub> – Ca) en la subcuenca del Río Ochomogo en la época lluviosa.

#### **4.5.2 CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO**

La clasificación del agua para el riego de cultivos se fundamenta en dos criterios desarrollados por el Laboratorio de Salinidad de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA. De acuerdo con estos criterios, la calidad del agua para el riego de cultivos puede expresarse en función de dos variables:

Una variable que pondera la salinidad del agua mediante la medición de su conductividad eléctrica, debido a que dicha propiedad afecta adversamente y en diferentes grados, a los diversos tipos de cultivos. La segunda variable que se tiene en cuenta, es una relación que se conoce genéricamente como el RAS, (Relación de Absorción de Sodio) y que mide básicamente la proporción de sodio a calcio y magnesio que contiene la muestra (Fig. 3).

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

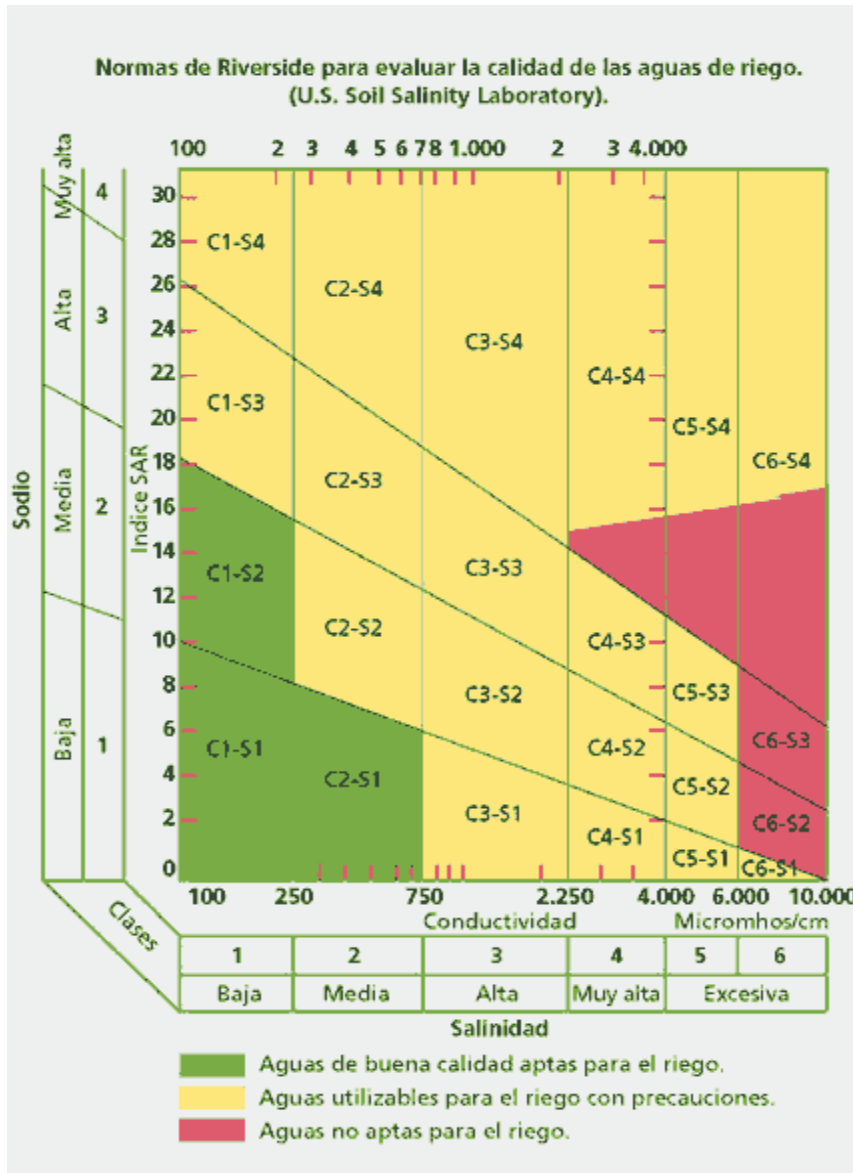


Figura 3. Normas de Riverside para evaluar la calidad del agua de riego.(U.S Soil Salinity Laboratory), 1973.

La importancia de medir el RAS radica en que el ión sodio tiene por característica, una fuerte tendencia a desestabilizar las arcillas, taponando con ello los poros del suelo, y coadyudando a los fenómenos de anorexia en las plantas. Adicionalmente, el sodio y el cloruro acumulado en el perfil del suelo, ocasionan problemas de tipo osmótico en los tejidos vegetales. Matemáticamente, el RAS se expresa mediante la siguiente relación:

$$RAS = \frac{[Na^+]}{\{ [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] / 2 \}^{1/2}}$$

### **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

En donde las concentraciones de sodio, calcio y magnesio, se expresan en términos de mili equivalentes por litro.

La calidad del agua superficial para uso agrícola de la subcuenca del Río Ochomogo, se realizó mediante la aplicación del índice RAS, el cual se calcula interpolando dicho índice con los valores de conductividad eléctrica del agua y el valor RAS. La clase de agua encontrada en el área de estudio en la época seca y lluviosa se resumen en los cuadros 12 y 13.

Cuadro 12. Clasificación del agua superficial de la subcuenca del Río Ochomogo usando el índice RAS en la época seca.

Sitios de muestreo	RAS (mg.l <sup>-1</sup> )	Conductividad (μS.cm <sup>-1</sup> )	Clasificación
Los Gómez (S1)	0.706	555	C2S1
La Pintada (S2)	0.674	374	C2S1
El Medina (S1)	0.765	323	C2S1
Mercedes (S4)	0.994	348	C2S1
Nandarola (S5)	1.084	580	C2S1
A. Presa (S6)	0.83	373	C2S1
Desemb Lago (S7)	1.353	642	C2S1

Cuadro 13. Clasificación del agua superficial de la subcuenca del Río Ochomogo usando el índice RAS en la época lluviosa.

Sitios de muestreo	RAS (mg.l <sup>-1</sup> )	Conductividad (μS.cm <sup>-1</sup> )	Clasificación
Los Gómez (S1)	0.646	446	C2S1
La Pintada (S2)	0.454	378	C2S1
El Medina (S3)	0.738	296	C2S1
Mercedes (S4)	1.081	326	C2S1
Nandarola (S5)	0.620	476	C2S1
A. Presa (S6)	0.829	349	C2S1
Desemb Lago (S7)	1.429	252	C2S1

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Los resultados obtenidos en la época seca y lluviosa indican que en todos los sitios muestreados predominan las aguas de tipo C2-S1. A continuación se describen las características de las aguas de tipo C2 y S1.

C2: Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.

S1: Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

### **4.5.3 CARACTERIZACION QUÍMICA**

#### **4.5.3.1 Dureza Total y alcalinidad**

La Dureza Total del agua en los sitios ubicados en el curso del Río Ochomogo (Los Gómez (S1), La Pintada (S2), Antes de la Presa (S6) y La Desembocadura al Lago (S7)) varía entre 153 y 256 mg.l<sup>-1</sup> durante la época seca y desde 103.68 a 215.12 mg.l<sup>-1</sup> en la lluviosa, mientras en los ríos tributarios El Medina (S3), Las Mercedes (S4) y Nandarola (S5) tienen un rango de 129 a 238 mg.l<sup>-1</sup> en la época seca y 112.50 a 423.55 mg.l<sup>-1</sup> en la época lluviosa respectivamente (Anexo, Tablas 7b y 8b). En las dos épocas de muestreo se registraron los valores más altos en Los Gómez (S1) con 256.58 y 215.12 mg.l<sup>-1</sup>; en la desembocadura al lago (S7) fue de 248.62 y 103.68 mg.l<sup>-1</sup> y en el río Nandarola (S5) 238.68 y 423.55 mg.l<sup>-1</sup> (Fig. 4). Según la clasificación de Wetzel (1981), las aguas de los sitios sobre el curso del Río Ochomogo conocidos como La Pintada (S2) y Antes de la Presa (S6) y en los tributarios El Medina (S3) y Las Mercedes (S4) son aguas duras, ya que los valores de dureza total son > 120 mg.l<sup>-1</sup> mientras que en los otros sitios del curso del Río Ochomogo que pertenecen a Los Gómez (S1), la desembocadura al Lago (S7) y el tributario Nandarola (S5) son aguas extremadamente duras con valores de dureza superiores a 220 mg.l<sup>-1</sup>.

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

En la época lluviosa la situación cambia, en todos los sitios muestreados las aguas son duras, con excepción del río Nandarola (S5) que presenta una dureza de 423.55 mg.l<sup>-1</sup>. La dureza de las aguas naturales depende principalmente de la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio prevaleciendo en la mayoría de los casos la dureza del calcio sobre el magnesio (Custodio & Llamas 2001). El aumento en las concentraciones de Calcio y Magnesio durante la época lluviosa duplica la dureza total en el río Nandarola (S5) a 423.55 mg.l<sup>-1</sup> y en la época seca con 238.68 mg.l<sup>-1</sup>, mientras que la reducción de estos dos cationes en la desembocadura al Lago (S7) en la época lluviosa, posiblemente reduce alrededor de un 50 % la dureza registrada en dicho sitio en la lluviosa a 103.68 mg.l<sup>-1</sup>, pues en la seca fue de 248.62 mg.l<sup>-1</sup> (Anexo, Tablas 7b y 8b).

Los valores de Alcalinidad Total son bastante similares en ambas épocas de muestreo (Fig. 4), sin embargo en el río Nandarola (S5) en la época seca es de 266.7 mg.l<sup>-1</sup> y aumentan a 466.00 mg.l<sup>-1</sup> en la época lluviosa, posiblemente porque las concentraciones de calcio y magnesio aumentaron en un 27.4 % y un 215% (de 89.36 y 48.76 mg.l<sup>-1</sup>) respectivamente (Anexo, tablas 7b y 8b).

Los valores obtenidos en la desembocadura al Lago (S7) disminuyen (de 300.3 mg.l<sup>-1</sup> en la época seca a 120.65 mg.l<sup>-1</sup> en época lluviosa) porque ocurre la situación inversa, las concentraciones de calcio y magnesio son menores en la lluviosa (31.86 mg.l<sup>-1</sup> y 5.89 mg.l<sup>-1</sup> respectivamente), con respecto a los obtenidos en la época seca, (calcio 68.56 mg.l<sup>-1</sup> y magnesio de 18.85 mg.l<sup>-1</sup>).

La alcalinidad depende esencialmente de las concentraciones de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos (Ramírez y Viña 1998). El aumento de la alcalinidad total de 466.00 mg.l<sup>-1</sup> en la época lluviosa es debido a las altas concentraciones de bicarbonatos (568.62 mg.l<sup>-1</sup>) en el río Nandarola (S5), mientras en la desembocadura al Lago (S7) sucede lo contrario, los valores de alcalinidad total disminuyen a 120.65 mg.l<sup>-1</sup>, así como también disminuyen los bicarbonatos a 147.23 mg.l<sup>-1</sup>, en la época lluviosa.



## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

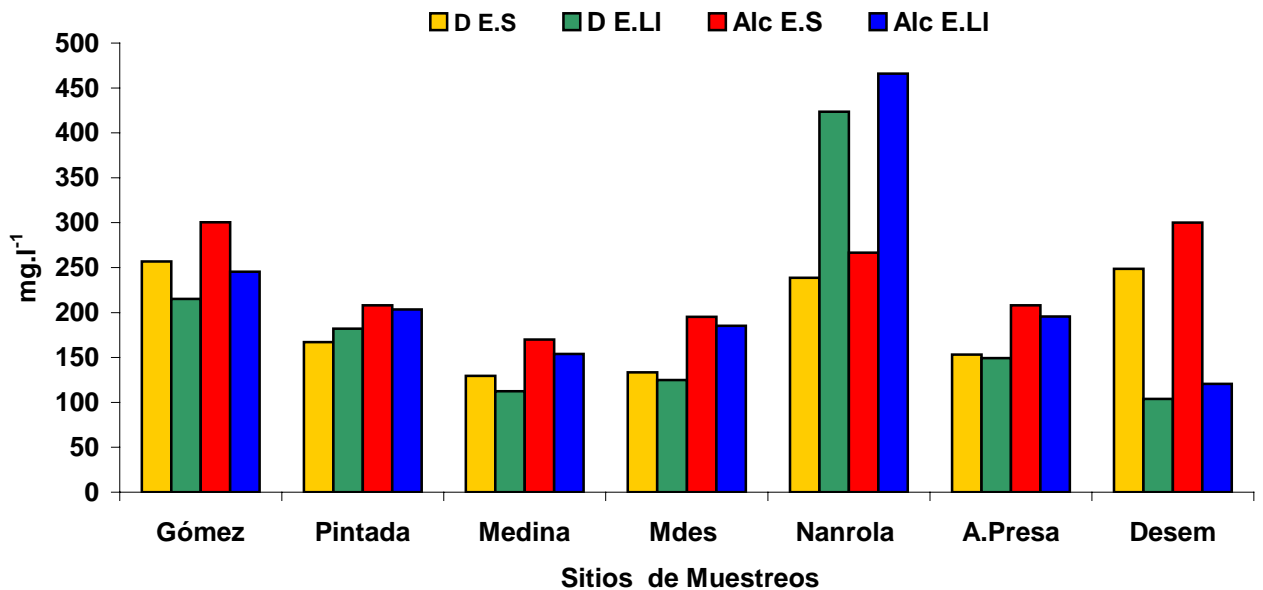


Figura 4. Relación de Dureza Total y la Alcalinidad Total en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo.

Los valores de alcalinidad total medidos en la época seca en los 4 sitios del río Ochomogo (Gómez (S1), Pintada (S2), Antes de la Presa (S6) y Desembocadura al Lago (S7)) tienen un rango de variación relativamente alto, desde 207.9 a 330.35  $\text{mg.l}^{-1}$ . En los ríos tributarios Medina (S3), Mercedes (S4) y Nandarola (S5) se registraron valores entre 170.1, 195.3 y 266.7  $\text{mg.l}^{-1}$  en la época seca. Los resultados de alcalinidad total obtenidos en la época lluviosa son mayores probablemente porque hay un mayor contacto de las rocas con el agua, provocando mayor disolución de los carbonatos y bicarbonatos que son características de la litología del área de estudio.

En las aguas naturales la dureza total corresponde a la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, evaluada como carbonato de calcio (Ramírez y Viña, 1998), esto podría explicar porque los resultados de alcalinidad y dureza son similares en todos los sitios muestreados en ambas épocas de muestreo.

#### **4.5.3.2 Sílice Disuelto**

Los resultados de Sílice disuelto en la época seca en los 4 sitios del río (Gómez (S1), Pintada (S2), Antes de la Presa (S6) y Desembocadura al Lago (S7) de Nicaragua, registraron valores entre 78.72 y 88.32 mg.l<sup>-1</sup>; en Los Gómez (S1) se midió la concentración más alta, mientras en los tributarios (Medina (S3), Mercedes (S4) y Nandarola (S5) se observó una dispersión de valores entre 86.31 mg.l<sup>-1</sup>, 88.32 mg.l<sup>-1</sup> y 61.52 mg.l<sup>-1</sup>. La mayor concentración de sílice disuelto se obtuvo en Las Mercedes (S4), 88.32 mg.l<sup>-1</sup>, debido a la disolución de las rocas ricas en silicato de aluminio en forma de partículas y como ácidos silícicos o iones silicatos (Anexo, Tabla 7c).

En la época de lluvias la concentración de sílice disuelto es menor en todos los sitios estudiados, variando desde 42.05 a 82.65 mg.l<sup>-1</sup>, habiéndose encontrado el mayor valor en Las Mercedes (S4) con 82.65 mg.l<sup>-1</sup>. Se estima que este decremento de sílice disuelto puede deberse al incremento del pH, el cual limita la solubilidad del sílice en el agua, disminuyéndose así la cantidad de sílice disuelta en el agua (Anexo, Tabla 8c).

#### **4.5.3.3 Hierro Total:**

Los valores de hierro en la estación lluviosa son relativamente altos, desde 4.15 a 19.64 mg.l<sup>-1</sup>; en la desembocadura al Lago (S7) se detectó la concentración más alta, mientras que en los ríos tributarios se registraron valores entre 3.92 y 9.57 mg.l<sup>-1</sup> con la concentración más alta en el río Medina (S3) (Anexo, Tabla 8c).

Las concentraciones de hierro total fueron más altas en la época lluviosa que en la seca (Fig. 5), ya que en la época seca el mayor valor encontrado de 3.48 mg.l<sup>-1</sup>, fue en la Desembocadura al Lago (S7) de Nicaragua (Tabla 8c). Esto podría ser por disolución de las rocas compuestas por feldespatos ricas en hierro (Custodio & Llamas, 2001) y que son características de la geología de la zona de estudio, los cuales son transportadas por las escorrentías hacia el río y sus tributarios. La

## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

erosión de los suelos en el área de estudio tiende a aumentar la concentración de hierro total en el agua durante la época lluviosa porque se encuentran adheridas a las partículas de suelo, además el hierro precipita cuando el agua se oxigena, formando el  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y provoca un color rojizo que se observa comúnmente en los ríos (González, 2004).

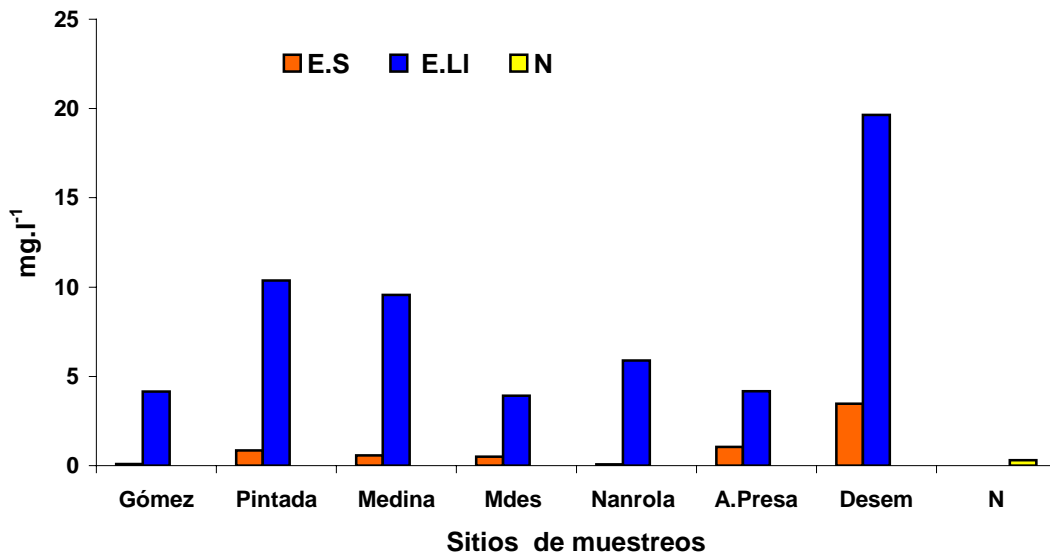


Figura 5. Comportamiento del Hierro Total en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo.  
N=Norma Canadiense.

Las concentraciones de hierro en los 7 sitios estudiados en la época lluviosa están por encima del valor máximo admisible por las Normas Canadienses (EQGs) para consumo humano ( $\leq 0.3 \text{ mg.l}^{-1}$ ), para protección del ambiente ( $0.3 \text{ mg.l}^{-1}$ ) y por encima de las Normas para irrigación ( $5 \text{ mg.l}^{-1}$ ). En la Desembocadura al Lago (S7), el valor de hierro total en este estudio fue de  $19.64 \text{ mg.l}^{-1}$  muy superior a los obtenidos por el estudio de PROCUENCA SAN JUAN (2004), el cual reportó valores bajos entre  $0.73 \text{ mg.l}^{-1}$  y  $0.072 \text{ mg.l}^{-1}$  durante la época lluviosa en el mismo sitio de muestreo.

### **4.5.3.4 Boro**

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

En general, en la época de lluvia las concentraciones de boro ( $0.19$  a  $0.32 \text{ mg.l}^{-1}$ ) son mayores que los obtenidos en la época seca ( $0.07$  a  $0.47 \text{ mg.l}^{-1}$ ) en todos los sitios muestreados, la excepción fue en la Desembocadura al Lago (S7) en donde se registró el valor más alto en la época seca de  $0.47 \text{ mg.l}^{-1}$ . En la época de lluvias la concentración más alta de boro se registró en Los Gómez (S1), con  $0.32 \text{ mg.l}^{-1}$ , Desembocadura al Lago (S7) de Nicaragua con  $0.31 \text{ mg.l}^{-1}$  y en Nandarola (S5) con  $0.30 \text{ mg.l}^{-1}$  (Anexo, Tablas 7c y 8c).

Las concentraciones de boro registrados durante los dos muestreos están por debajo del valor Guía de las Normas Canadiense EQGs para la irrigación ( $0.5 - 6 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Esto significa que el agua no presenta toxicidad para los cultivos desde el punto de vista del boro.

### **4.6 CALIDAD DEL AGUA**

#### **4.6.1 INDICADORES FÍSICOS**

##### **4.6.1.1 pH**

Los valores de pH en los 4 sitios sobre el curso del Río Ochomogo varían entre  $7.98$  y  $8.53$  unidades durante la época seca, el sitio antes de la Presa (S6) es el más alcalino con un pH de  $8.53$  unidades. En los ríos tributarios el pH varió de  $8.18$  a  $8.40$  unidades, registrándose en el río Nandarola (S5) el valor más alto de  $8.40$  Unidades (Fig. 6). En la época lluviosa el pH varió de  $7.96$  a  $8.31$  unidades, siendo un poco más elevados en Los Gómez (S1) con  $8.31$  unidades y La Pintada (S5) con  $8.20$  Unidades y más bajos en la Desembocadura al Lago de Nicaragua (S7), con  $7.96$  Unidades. Estos valores de pH en ambas épocas de muestreo se encuentran dentro del rango considerado normal para las aguas naturales ( $6.5$  y  $8.5$  unidades de pH), indicando que sus propiedades son excelentes para consumo humano, riego y recreación desde el punto de vista de este parámetro. En la época lluviosa, se obtienen un pH ligeramente más alcalino con respecto a la seca en Los Gómez (S1) y en La Pintada (S2). (Anexo, Tablas 7a y 8a).

## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Durante la época seca el pH en el río Nandarola (S5), en el sitio Antes de la Presa (S6) y en el sitio de la desembocadura al Lago de Nicaragua (S7) son más alcalinos con respecto a los valores obtenidos en la época lluviosa. El pH más alcalino, posiblemente se debe a la composición de los terrenos que atraviesa el agua los cuales son ricos en carbonatos.

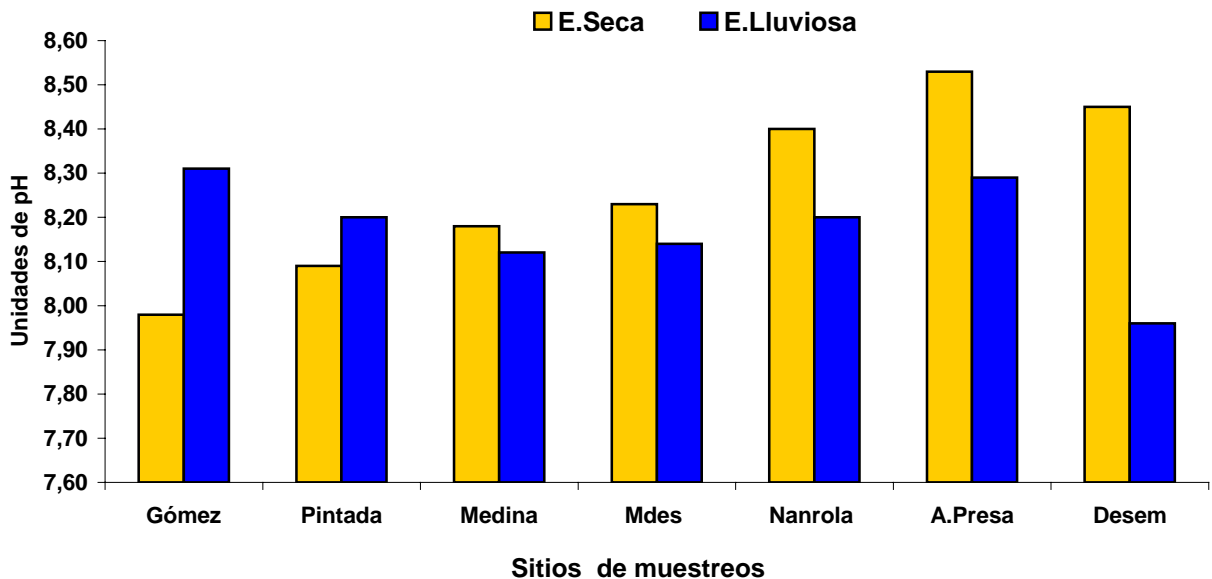


Figura 6. Valores de pH en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo.

Los valores de pH obtenidos en ambas épocas indican que las aguas de la subcuenca del Río Ochomogo son ligeramente alcalinas y son aptas para la recreación según las Normas Canadienses EQGs que establecen un pH entre 5.0 y 9.0 unidades de pH y para protección del ambiente un pH entre 6.5 y 9.0 unidades de pH, para aguas dulces.

### **4.6.1.2 Oxígeno disuelto**

En general se observan valores más altos de oxígeno disuelto en la época seca en comparación con los registrados en la lluviosa; aunque durante ese mismo muestreo se registró la concentración más baja de todo el estudio en el sitio de Los Gómez (S1) con  $5.4 \text{ mg.l}^{-1}$  (67.75 %) (Anexo, Tablas 7a y 8a). Las concentraciones de oxígeno indican la alta disponibilidad del gas, ya que en los

### **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

sitios sobre el río variaron entre 5.4 mg.l<sup>-1</sup> y 10.74 mg.l<sup>-1</sup> y entre 7.68 mg.l<sup>-1</sup> y 9.47 mg.l<sup>-1</sup> en los tributarios, durante la época seca. La situación cambia en la época lluviosa, la concentración de oxígeno aumenta en Los Gómez (S1) y la Pintada (S2) a 8.62 mg.l<sup>-1</sup> y disminuye a 8.41 mg.l<sup>-1</sup> en el sitio Antes de la Presa (S6), a 7.38 mg.l<sup>-1</sup> en la desembocadura al Lago (S7) y en Nandarola (S5) donde se presenta el valor más bajo de la época de lluvias con 7.18 mg.l<sup>-1</sup> (Fig. 7).

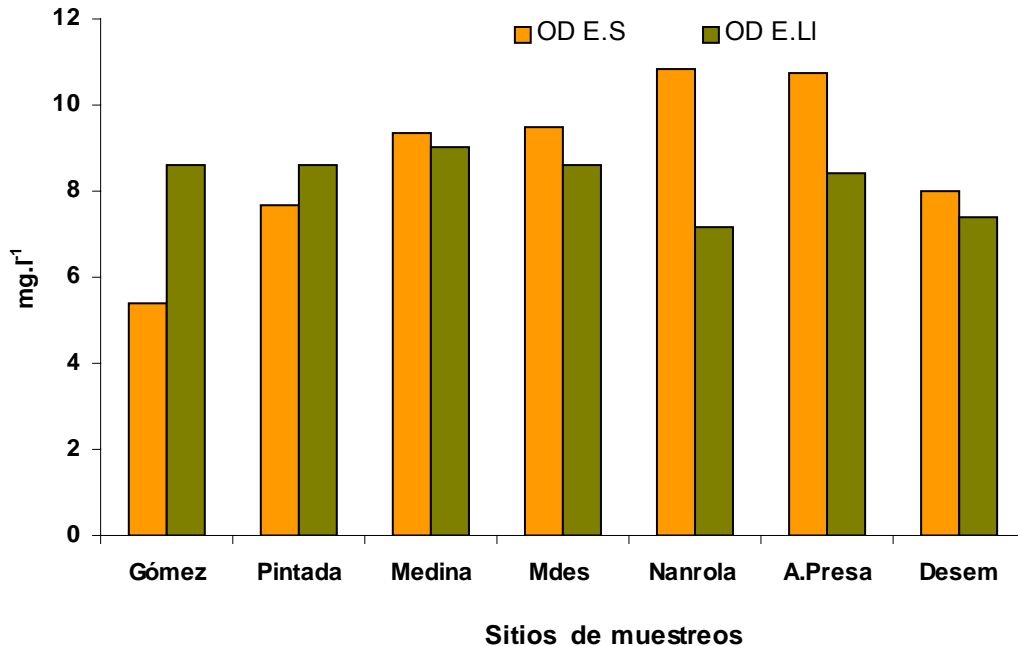


Figura 7. Concentraciones de Oxígeno disuelto en los sitios de muestreo en la subcuenca del Río Ochomogo en la época seca y lluviosa.

El contenido de oxígeno de las aguas naturales varía con la temperatura, la salinidad, la turbulencia, la actividad fotosintética y la presión atmosférica (Ramírez y Viña, 1998). Las variaciones en las concentraciones de oxígeno en este estudio, podría relacionarse con los procesos biológicos, por ejemplo, la reducción de O<sub>2</sub> en el sitio Antes de la Presa (S6) 8.41 mg.l<sup>-1</sup> y el río Nandarola (S5) 7.18 mg.l<sup>-1</sup> durante la época lluviosa podría asociarse con un mayor consumo de oxígeno disuelto O<sub>2</sub> por los microorganismos. La reducción del oxígeno disuelto también se debe al consumo de este para oxidar la materia orgánica presente en el agua debido a que en algunos sitios muestreado la materia orgánica aumentó de 0.91 a 1.46 % durante la época lluviosa. (Anexo, Tabla 12). En ninguno de los

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

sitios estudiados se encontró concentración de oxígeno por debajo de  $4.0 \text{ mg.l}^{-1}$  que es el nivel que afecta adversamente el funcionamiento y supervivencia de las comunidades acuáticas (Solabarieta y Weibezahn, 1980; Margalef, 1983); desde el punto de vista de esta variable las condiciones del río aun no son estresantes. Según Ramírez y Viña (1998), las concentraciones de oxígeno disuelto son alto en las nacientes de los ríos y conforme atraviesa la parte media hasta su desembocadura esta tiende a reducirse considerablemente. Basado en esta observación la situación de Los Gómez (S1) que corresponde a la parte alta de la subcuenca del río Ochomogo merece especial atención, porque en ella se registró una concentración relativamente baja de oxígeno disuelto ( $5.4 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Los análisis de oxígeno disuelto de este estudio se realizaron en diferentes sitios de muestreo que los realizados por Salvatierra (2000) y los resultados obtenidos son menores que los reportados por Salvatierra (2000) en las aguas del Río Ochomogo.

#### **4.6.1.3 Turbidez y Sólidos Suspensos**

Los valores de turbidez en los 4 sitios del Río Ochomogo (Los Gómez (S1), La Pintada (S2), Antes de la Presa (S6) y la Desembocadura al Lago (S7)) en la época lluviosa tienen un intervalo desde 79.60 a 642 UNT, mientras que en los ríos tributarios (El Medina (S3), Las Mercedes (S3) y Nandarola (S5)) que ilustran el comportamiento de las tres microcuencas se registraron valores entre 68.30 y 169.48 UNT. La turbidez es menor en la época seca para todos los sitios de muestreos con datos obtenidos de 2.69 a 65.9 UNT registrándose en la desembocadura al Lago de Nicaragua (S7) el valor más alto aquí presentado (Anexo, 7a y 8a).

Los sólidos suspensos en la época lluviosa presentan valores de  $2.4$  a  $30 \text{ mg.l}^{-1}$  y en la desembocadura al Lago (S7) se registra los valores más altos, coincidiendo estos de igual manera con los valores de sólidos suspensos (Fig. 8).

## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

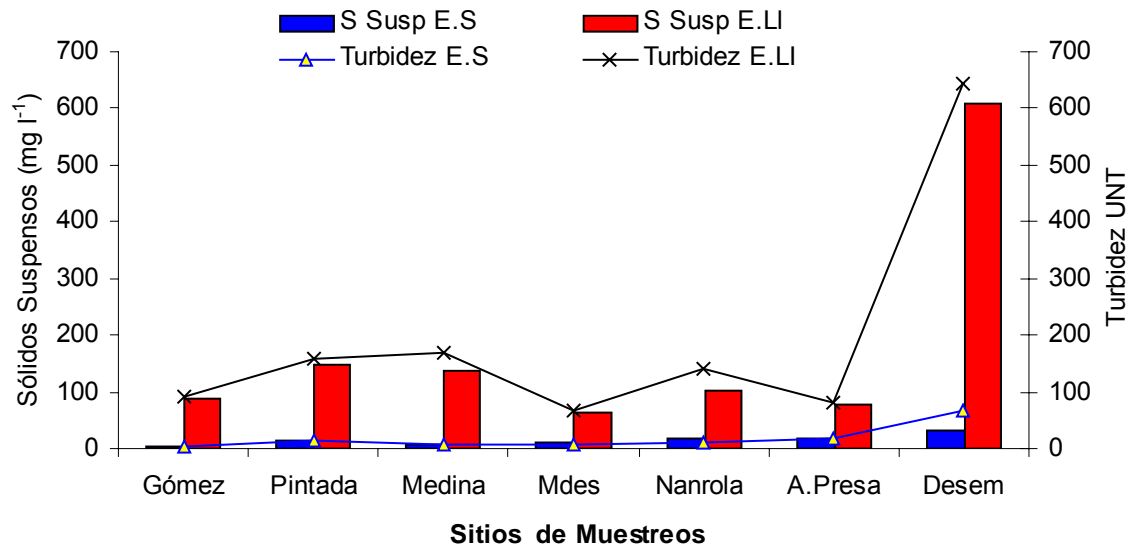


Figura 8. Concentraciones encontradas de Turbidez y Sólidos Suspensos en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo.

El tipo y la cantidad de materia suspendida controla la turbidez de los ecosistemas acuáticos y en especial de los sistemas lóticos por las características propias de los ríos (Allan, 1995). La concentración de materia suspendida es altamente dependiente de fenómenos climatológicos, como la lluvia ya que durante estos eventos aumenta el transporte de partículas de suelo por escorrentía hacia el suelo. Si se excluye a la desembocadura al Lago (S7) de este análisis, ya que los deltas de los ríos son por lo general fangosos, turbios y con alto contenido de materia orgánica, se observa que el mayor aporte de material suspenso al cauce del Río Ochomogo viene de La Pintada (S2) y de las microcuencas el Medina (S3) y Nandarola (S5). La turbidez registrada en todos los sitios muestreados se debe principalmente a la cantidad de sólidos en suspensión, producto del arrastre de materia viva y muerta de los asentamientos en los alrededores de los ríos El Medina (S3), La Pintada (S2) y Nandarola (S5).

### 4.6.1.4 Conductividad y Sólidos disueltos

La conductividad del agua es alta en los 4 sitios sobre el Río Ochomogo, varía entre 373 y 642  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  en la época seca; registrándose los valores más altos en



### Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

la desembocadura al Lago (S7) y en los Gómez (S1). En los ríos tributarios la conductividad presenta un rango de 323 a 580  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  el mayor valor se observa en Nandarola (S5) (Anexo, Tablas 8a y 9a). En cuanto a los sólidos disueltos los valores registrados son muy similares a los de la conductividad (Fig. 9).

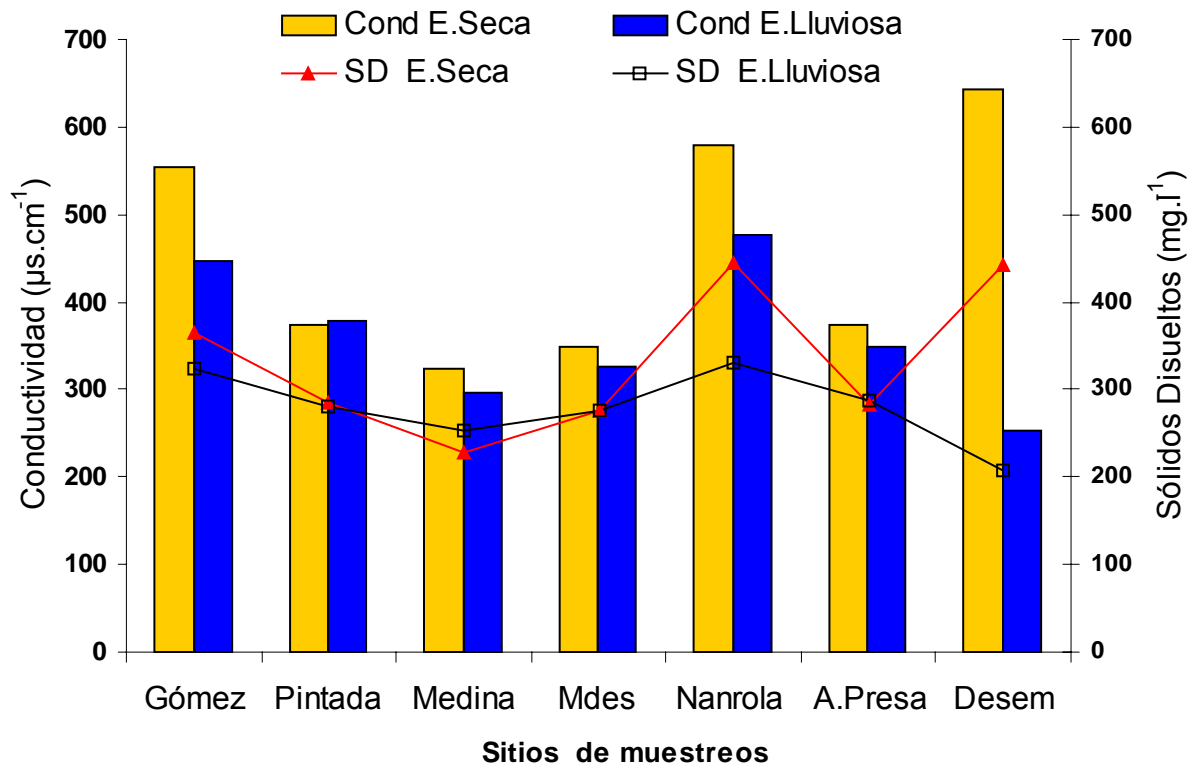


Figura 9. Variaciones de la Conductividad y sólidos disueltos en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo.

La conductividad esta relacionada con la concentración total de sólidos disueltos y los iones mayores (Custodio & Llamas, 2001), y es muy sensible a la variación de los sólidos disueltos especialmente las sales minerales (Ramírez y Viña 1998). Los valores de conductividad y sólidos disueltos (Fig. 9) observados en la época seca se asocian con el contenido de compuestos iónicos como el calcio, magnesio y bicarbonatos en el agua y que no es más que el resultado del tipo de formación geológica y rocas predominantes en el área. Los descensos en conductividad y sólidos disueltos durante la época lluviosa se deben al fenómeno de dilución provocado por las aguas de precipitación y por el descenso de los valores de la

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

alcalinidad y la dureza. Según Ramírez y Viña (1998), los sólidos disueltos guardan una estrecha relación con la conductividad, la alcalinidad y la dureza y esto podría ser la explicación de los valores encontrados.

Los intervalos de conductividad de las aguas superficiales varían de 10 a 1000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , pero pueden exceder 1000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , especialmente en aguas contaminadas que reciben gran cantidad de escorrentías (Custodio & Llamas, 2001).

### **4.6.2 INDICADORES QUIMICOS**

#### **4.6.2.1 Nitrógeno**

Los nitratos, amonio y nitrógeno total presentaron poca diferencia entre muestreos, sin embargo entre los puntos se observa marcadas diferencias. Las Mercedes (S4) y la Desembocadura al Lago (S7) fueron los dos sitios con mayor cantidad de nitrógeno total, en la época seca y lluviosa respectivamente (Anexo, Tablas 7c y 8c).

La principal fuente de nitrógeno en la subcuenca del Río Ochomogo es la agricultura, en la microcuenca Las Mercedes, la utilización de riego conjuntamente con la aplicación de plaguicidas y fertilizantes durante la época seca provocan el aumento de los compuestos nitrógenados que llegan al río por escorrentía superficial. Sin embargo en la época lluviosa la mayor cantidad de nitrógeno se detectó en la desembocadura al Lago (S7) debido a que es transportado por las escorrentías desde las áreas de cultivos de la parte alta y central de la subcuenca (Fig. 10). Según Rodier (1981), el nitrógeno se mueve con facilidad y puede ser lavado del suelo llegando a los ríos a través de las escorrentías.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

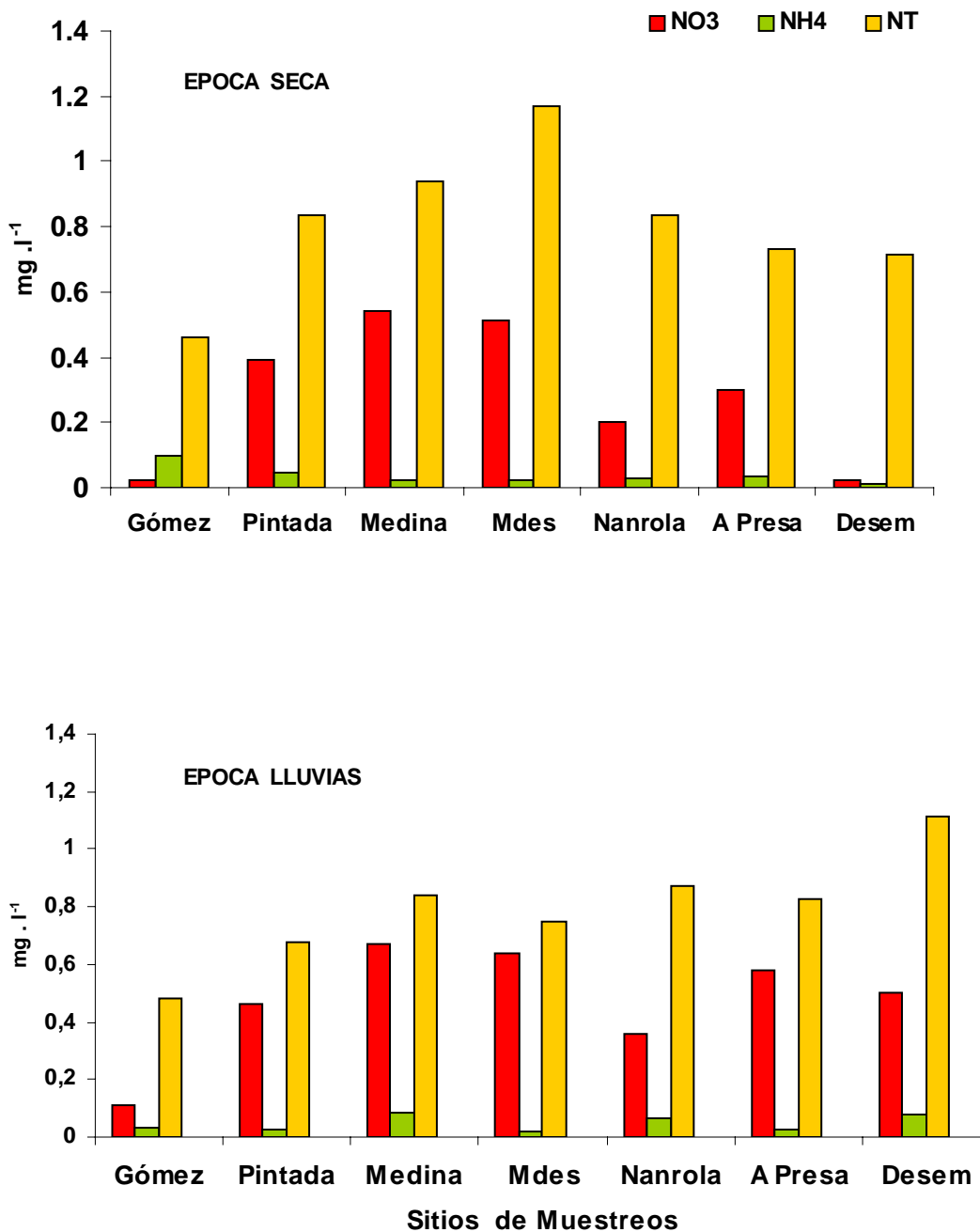


Figura 10. Variación de las concentraciones de Nitrato (NO<sub>3</sub>), Amonio (NH<sub>4</sub>) y Nitrógeno Total (NT) en los sitios estudiados en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo.

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Las concentraciones más altas de nitratos se registraron en El Medina (S3) y Las Mercedes (S4) durante la época seca y lluviosa (Anexo Tablas 8c y 9c). Estas concentraciones se asocian a las concentraciones de nitrógeno total encontradas en este estudio ya que el nitrato es el producto final de la oxidación de materia orgánica nitrogenada. Las concentraciones de nitratos en los 7 sitios estudiados en ambas épocas de muestreo están por debajo del valor máximo admisible por las Normas Canadienses (EQGs) para consumo humano ( $\leq 45 \text{ mg.l}^{-1}$ ).

En el sitio de Los Gómez (S1) y la Desembocadura al Lago (S7) se obtuvieron los valores más bajos de nitratos posiblemente porque ocurre un proceso de desnitrificación en el cual los nitratos se reducen a amonio (Fig. 10).

Las concentraciones de nitritos encontradas en ambas épocas de muestreo son relativamente bajas, lo cual es característico de las aguas superficiales debido a que estos no se encuentran en las aguas cuando los procesos de oxidación y reducción son completos (Rodier, 1981). Las concentraciones de nitritos son tan pequeñas que no se incluyeron en el grafico (Anexo, Tablas 8c y 9c).

Los valores de amonio fueron bajos durante este estudio en todos los sitios muestreados, a excepción de Los Gómez (S1) en donde se registró un valor de  $0.99 \text{ mg.l}^{-1}$ . Es posible que estos bajos niveles se deban al proceso de nitrificación en el cual el amonio es oxidado a nitritos. Lasheras et al. (1997), encontró valores similares en el estudio realizado en el río Aragón, debido a un principio de contaminación fecal.

En cualquier cuerpo de agua, la proporción de las diferentes formas de nitrógeno esta determinada por las formas introducidas y el balance entre asimilación, nitrificación, desnitrificación y fijación de nitrógeno. Según la clasificación trófica basado en el nivel de nitrógeno total (Wetzel, 2000), las aguas del Río Ochomogo y sus principales tributarios son Oligo-Mesotroficas, estas aguas tienen concentraciones entre  $700$  y  $1500 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ .

## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

### 4.6.2.2 Fósforo

Las concentraciones de fósforo total, disuelto y reactivo disuelto, son más altos en la época lluviosa con respecto a los obtenidos en la época seca (Anexo, Tablas 7c y 8c) especialmente en el Río Medina (S3) y en la desembocadura al Lago (S7) de Nicaragua (Fig 11).

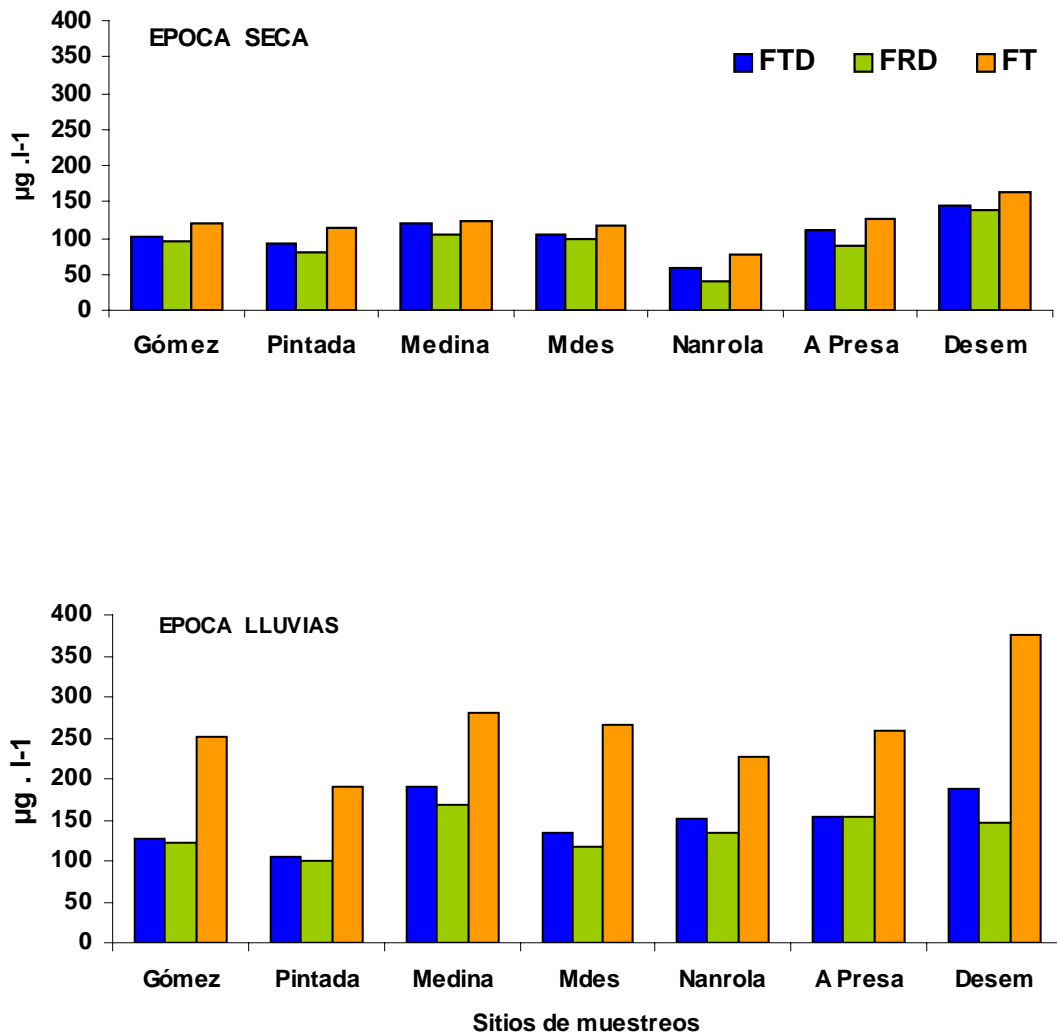


Figura 11. Variación de las concentraciones de Fósforo Total (FT), Fósforo Total Disuelto (FTD) y Fósforo Reactivo Disuelto (FRD) en los sitios estudiados en la época seca y lluviosa.

Los valores altos de fósforo total en la desembocadura del Río Ochomogo en el invierno se debe a que las escorrentías llevan partículas del suelo las cuales

## ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

tienen fosfatos adheridas a el, siendo liberado al agua bajo condiciones reducidas, es decir en ausencia de oxígeno. Esta condición es muy común en el delta de los ríos donde la actividad microbiana es alta.

Otras fuentes de fósforo en esta subcuenca provienen de procesos de mineralización de rocas, de cenizas provenientes de los incendios forestales y de residuos domésticos que contienen detergentes ricos en fosfatos.

Según la clasificación trófica basado en el nivel de fósforo total (Wetzel, 2000), las aguas del Río Ochomogo y sus principales tributarios son Meso-Eutróficas, estas aguas tienen concentraciones por encima de  $75 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

Los indicadores físicos y químicos empleados en la evaluación de la calidad indican que las aguas de la subcuenca del Río Ochomogo no presentan alteraciones severas en sus propiedades, aunque es evidente que los niveles de nitrógeno total y fósforo total representan un aviso temprano sobre la posibilidad de eutrofización del ecosistema

### **4.6.3 INDICADORES BIOLÓGICOS**

#### **4.6.3.1 Indicadores bacteriológicos**

Se observaron diferencias marcadas de los parámetros bacteriológicos entre una época del año y la otra (Anexo, Tabla 9). En la época seca los Coliformes Totales no exceden los  $5,00\text{E}+02$  NMP/100 ml, y una proporción relativamente baja de las bacterias Coliformes encontradas en los sitios de muestreo son de origen fecal (Fig. 12). Los Coliformes Totales superan los valores límites establecidos por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA), por la Comunidad Económica Europea (CEE) y de las Normas Canadienses (EQGs) que establecen que las aguas utilizadas para baño no deben exceder los 1000 Coliformes Totales/100 ml.

## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

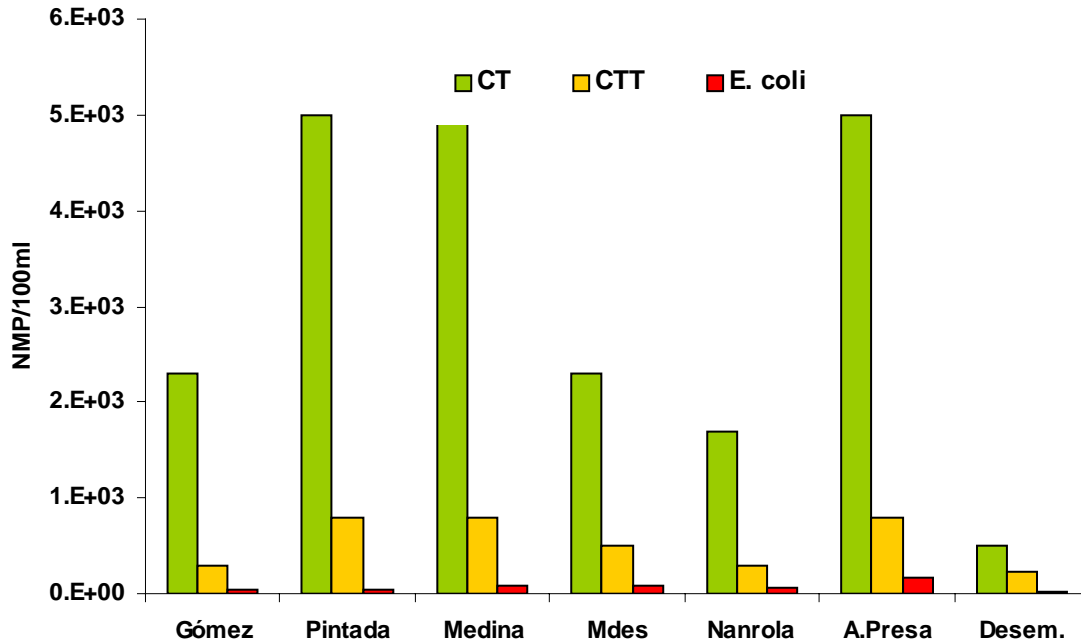


Figura 12. Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y *E. coli* de la época seca en la subcuenca del Río Ochomogo.

Aunque los Coliformes Totales no sean los mejores indicadores de contaminación fecal (McJunkin, 1986), ya que este grupo incluye bacterias del grupo fecal y no fecal, si proporciona una idea de la cantidad de bacterias presentes y de la posible actividad bacteriana en el ecosistema. Claramente los resultados reflejan que existe un incremento de 50 a 100 veces en el número de microorganismos en la época lluviosa. El máximo valor de Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes en el período de lluvias fue de  $2.40E+05$  NMP/100 ml en el río Medina (S3), esto significa que todos los Coliformes Totales detectados en este río son Termotolerantes (Fig. 13). La microcuenca del río Medina tiene un área de  $45.5 \text{ Km}^2$  y la población utiliza el agua del río para usos domésticos y de recreación (Baño).

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

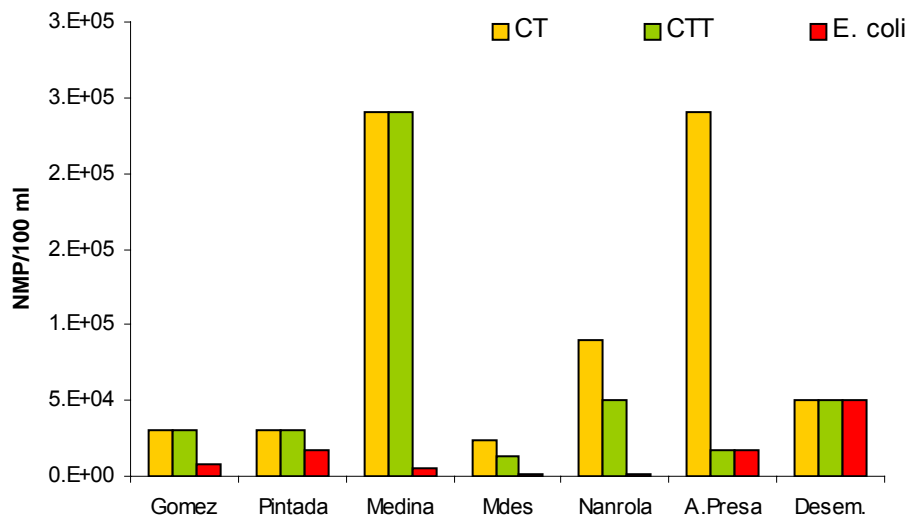


Figura 13. Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y *E. coli* de la época lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo.

Los Coliformes Termotolerantes se encuentran en los intestinos de los humanos y otros animales de sangre caliente, su presencia en los sitios muestreados guarda estrecha relación con el tipo de actividad económica que se desarrolla en la subcuenca del Río Ochomogo y con el tipo de facilidades sanitarias de que dispone la población. El aumento en el número de los Coliformes Termotolerantes durante la época lluviosa se asocia con el aumento en la escorrentía superficial que arrastra el material orgánico hacia el cauce de los ríos.

Las Normas de la EPA y la CEE establecen que las aguas utilizadas para baño, no deben exceder los 2,00E+02 Coliformes Termotolerantes en 100 ml. La Organización Mundial de la salud establece que aguas utilizadas con fines de irrigación no deben contener más de 1,00E+03 Coliformes Termotolerantes.

Los valores de *E. coli* (Anexo, Tabla 9), también incrementaron durante la época lluviosa y las localidades más afectadas son Nandarola (S5), La Pintada (S2), Antes de la Presa (S6) y en la Desembocadura al Lago (S7), sitio en el cual se registró el máximo valor (5,00E+05 NMP/100ml). Es importante mencionar que en la desembocadura al Lago de Nicaragua (S7), La Pintada (S2) y el sitio ubicado Antes de La Presa (S6) las bacterias Coliformes son de origen fecal. Como ya se



### **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

mencionó anteriormente, los altos valores de *E. coli* en la época lluviosa guarda relación con las escorrentías superficial que arrastra los desechos de las actividades ganaderas, granjas porcinas y avícolas hacia los cursos de agua. La presencia de *E. coli* en las aguas de los ríos muestreados evidencian de una manera más contundente la contaminación de origen fecal. Según Horan (2003) los Coliformes Termotolerantes y particularmente *E. coli* es el mejor indicador de contaminación fecal.

Los niveles de contaminación por *E. coli* en todos los sitios de muestreo exceden los criterios de calidad de agua. Los máximos permisibles las Normas Canadienses EQGs para irrigación es de 100 de *E. coli* NMP/100 ml. Sin embargo en la época seca solamente el sitio Antes de la Presa esta por encima de las Normas. La condición sanitaria del Río Ochomogo se ha deteriorado si comparamos estos resultados con el obtenido por PROCUENCA (2004), ellos obtuvieron valores de  $1,00E+01$  y  $1,70E+03$  de *E. coli* NMP/100 ml.

Los valores de Estreptococos fecales fueron realmente bajos durante la época seca a excepción de Nandarola (S5) y Antes de la Presa (S6) donde se detectó  $8.0E+2$  NMP/100 ml y  $1.3E+02$  NMP/100 ml respectivamente (Anexo, Tabla 9). Este indicador de contaminación fecal aumentó significativamente durante la época lluviosa sobresaliendo Los Gómez (S1) ( $9,00E+03$ ), Nandarola (S5) ( $9,00E+03$ ) y Desembocadura al Lago (S7) ( $1.6E+04$ ). La presencia de Estreptococos fecal en las aguas del Río Ochomogo guarda relación con la actividad ganadera de la zona, ya que la mayoría de los estreptococos provienen del ganado vacuno.

## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

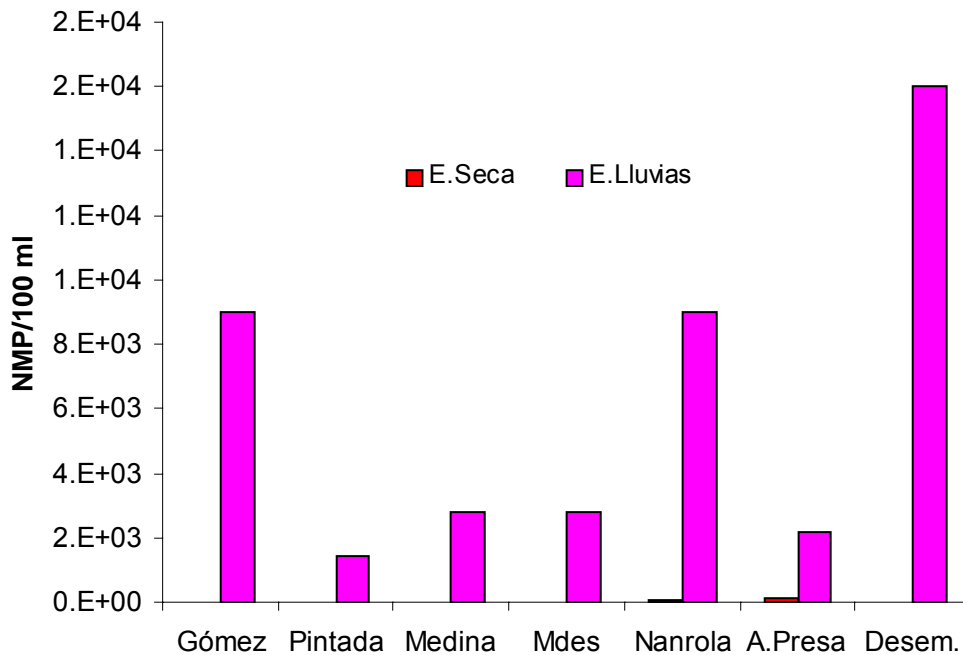


Figura 14. Número de Estreptococos Fecales en la época seca y lluviosa en la subcuenca del Río Ochomogo.

Los valores de Estreptococos Fecales encontrados en este estudio no reflejan mucha variación con respecto a los obtenidos por PROCUENCA (2004).

Desde el punto de vista sanitario existe una contaminación de origen fecal en las aguas de la subcuenca del Río Ochomogo y sus principales tributarios, esto implica un deterioro de la calidad de agua y limita su potencial para uso doméstico y fines recreativos.

### 4.6.3.2 Macroinvertebrados benthicos

#### ➤ Abundancia Numérica

La densidad de la comunidad de macroinvertebrados benthicos fue mucho mayor en la época seca que en la época lluviosa (Anexo, Tablas 10a, 10b y 11a y 11b), sobresaliendo los sitios Antes de la Presa (S5) con 5703 Ind.m<sup>-2</sup> y Las Mercedes (S4) con 6334 Ind.m<sup>-2</sup> (Fig. 15).

## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

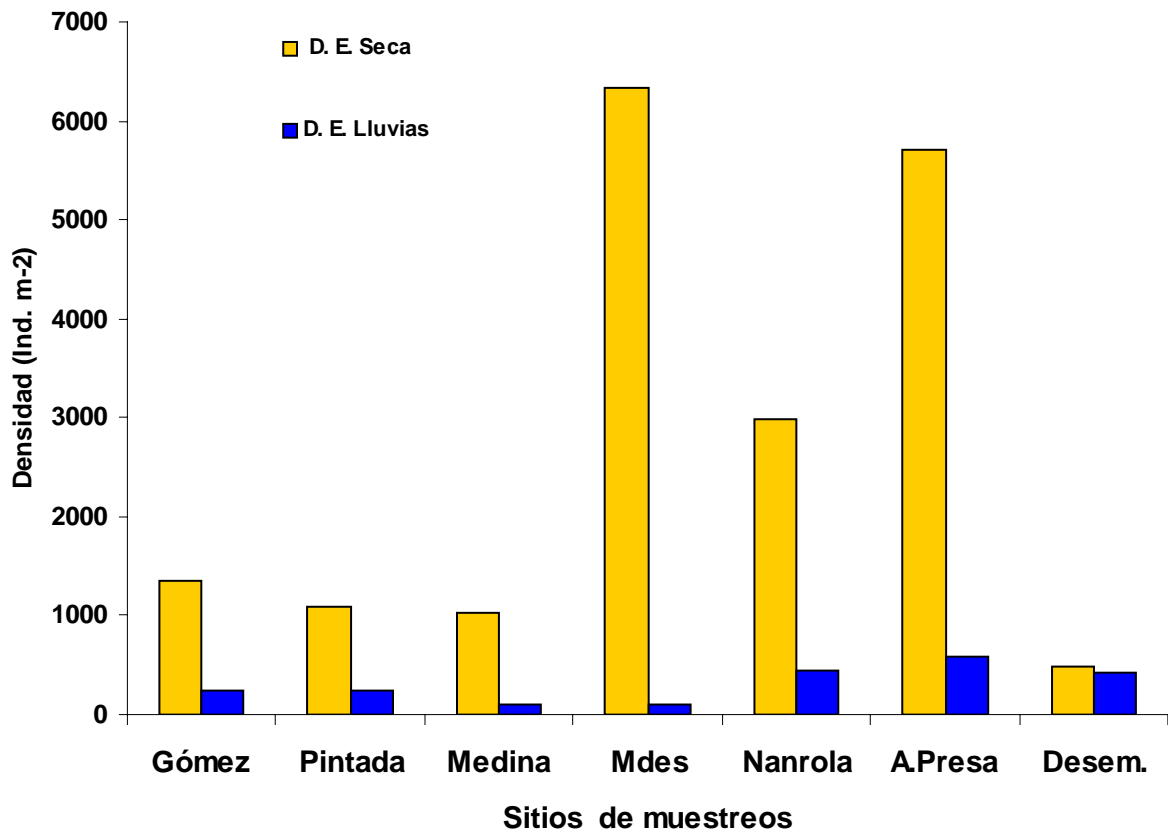


Figura 15. Densidad total de la comunidad de macrozoobentos en los sitios estudiados del Río Ochomogo y sus principales tributarios.

Los géneros más frecuentes fueron *Polypedilum*, *Coelotanytarsus* y *Criptochironomus* de la Familia Chironomidae y el género *Probezia* de la Familia Ceratopogonidae y los que más aportaron a la densidad del bentos fueron *Cladotanytarsus*, *Nilotanypus*, *Shaeteria*, *Tricorythodes* y *Procladius*.

En la Fig. 16 se presenta la composición comunitaria y abundancia relativa del bentos en la época seca. Se consideró como dominante en este estudio a las Familias con porcentajes igual o mayor al 50 % de la abundancia total. De las 10 Familias colectadas solo Chironomidae se encontró en todos los sitios, evidenciando la supremacía de este grupo.

## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

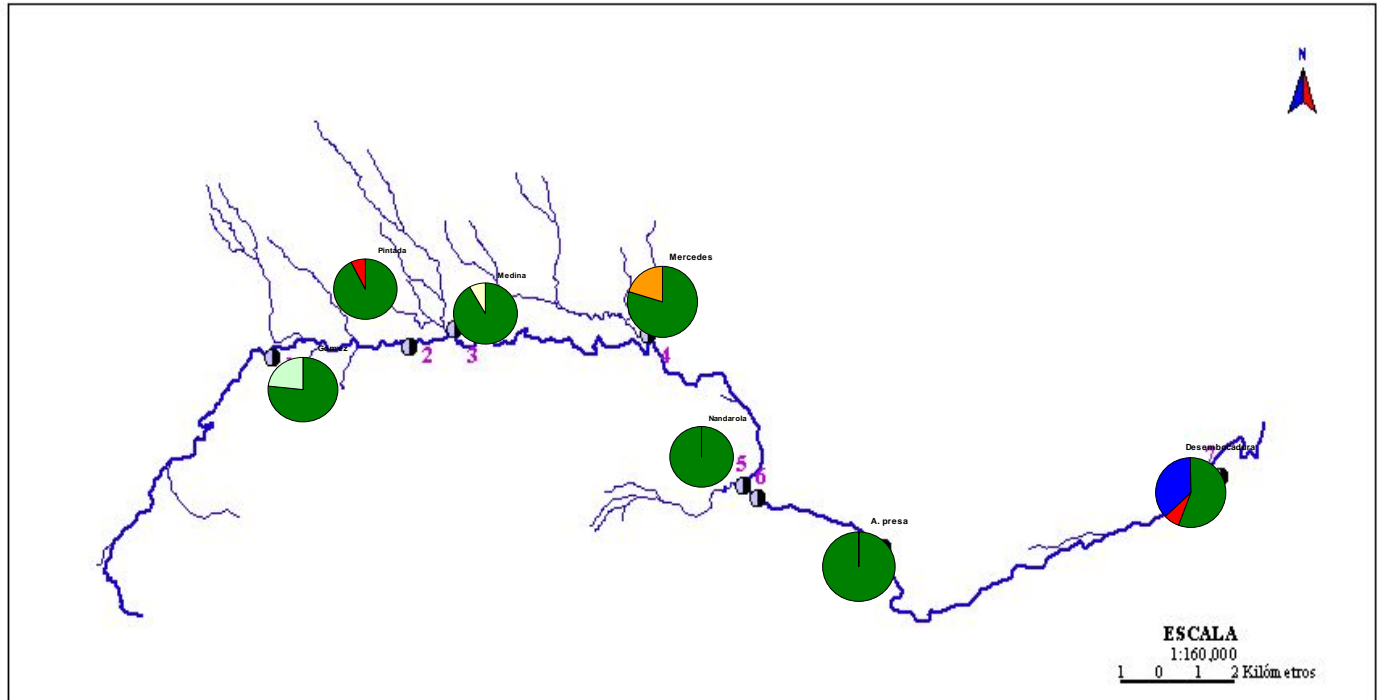


Figura. 16 Composición comunitaria y abundancia relativa del bentos en la época seca en el Río Ochomogo y sus principales tributarios.

El río Mercedes (S4) y el punto Antes de la Presa (S6) presentaron las densidades más altas. El género *Cladotanytarsus* fue el responsable de la alta densidad observada en Las Mercedes (S4) con un total de 4567 Ind.m<sup>-2</sup>, mientras que en el Punto Antes de la Presa (S6) los géneros más abundantes fueron *Nilotanypus* y *Shaeteria* con 3992 y 1646 Ind.m<sup>-2</sup> cada uno, todos ellos de la Familia Chironomidae (Anexo, Tablas 10a y 10b). En estos dos sitios se registró los caudales más altos durante la época seca (0.285 y 0.708 m<sup>3</sup> .s<sup>-1</sup>) (Cuadro 9), a su vez la mayor densidad de individuos. Las especies dominantes poseen capacidades especiales tales como la excavación de galerías o la fijación de sus cobijas que les permiten protegerse de corrientes de mediana velocidad.

En la época lluviosa la situación cambia completamente, la densidad disminuye y solo prevalecen especies capaces de resistir velocidades de corriente superior a las registradas en el verano (Fig. 17). La Familia Chironomidae domina la

## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

comunidad y solamente en Río Medina (S3) el bentos estuvo dominada en un 67 % por la Familia Elmidae (Anexo, Tablas 11a y 11b).

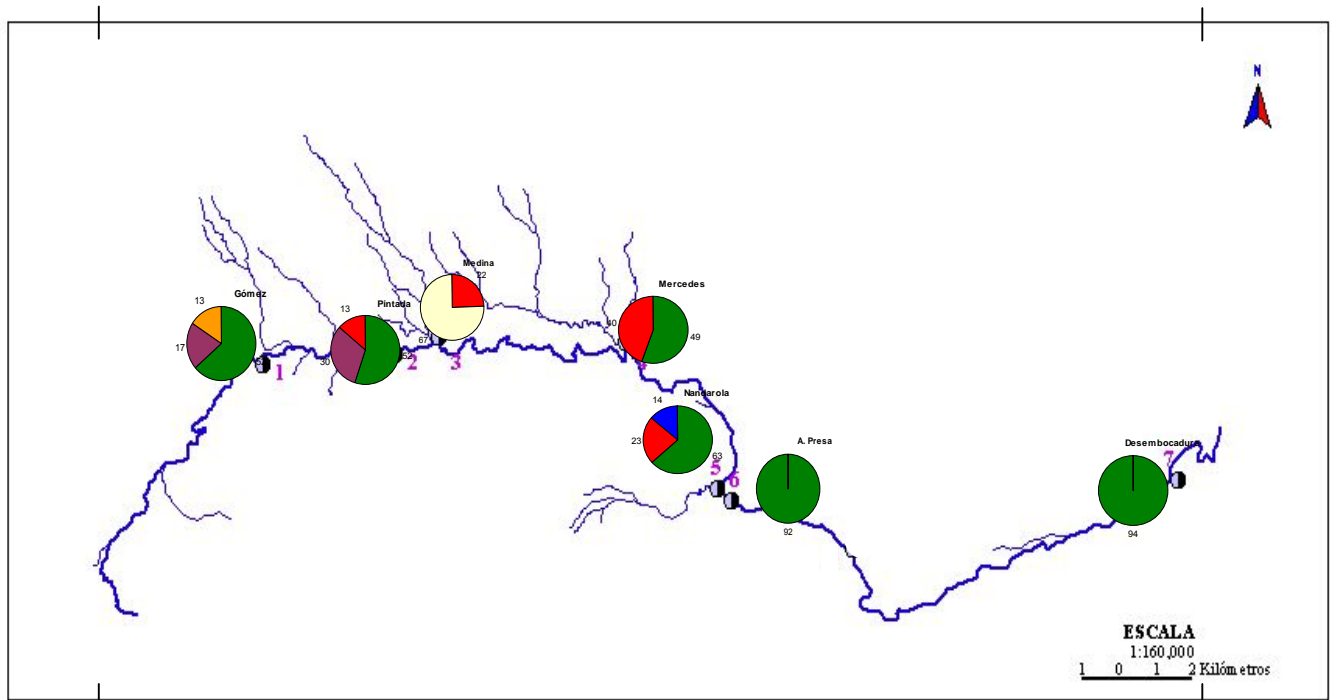


Figura. 17. Composición comunitaria y abundancia relativa del bentos en la época lluviosa en el Río Ochomogo y sus principales tributarios.

Se observan diferencias en la estructura de la comunidad del macrozoobentos entre puntos y entre muestreos, esto se explica por las características morfológica y fisiológicas propias de cada especie que les permite adaptarse y sobrevivir en ambientes con un régimen de flujo cambiante que altera el tipo de sustrato, la disponibilidad de alimentos y los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Los cambios en la composición del bentos también se asocian al contenido de materia orgánica. Según Margalef (1983), la composición del bentos en los sistemas lóticos depende principalmente de la velocidad de la corriente, la consecuente granulometría del sedimento y su contenido de materia orgánica. La cantidad de materia orgánica en los ríos puede variar entre límites muy amplios y en general depende de los aportes alóctonos.

## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Los resultados de abundancia relativa en este estudio como el realizado por Salvatierra (2000), indican que la familia Chironomidae fue la más importante tanto en abundancia como en composición de especies.

En ríos y quebradas de aguas turbias y contaminadas con materia orgánica, con poco oxígeno y eutroficadas, las poblaciones de macroinvertebrados dominantes en estos sistemas son los oligoquetos, quironómidos y algunos moluscos (Toro et al., 2003). La estructura de la comunidad del bentos es un buen reflejo de la calidad del agua debido a su permanencia relativamente larga en el sustrato y a la diferente sensibilidad de las especies. Se emplean como indicador de contaminación, específicamente donde existen un amplio conocimiento de la taxonomía y ecología de las especies. Algunas de las especies encontradas durante el estudio han sido catalogadas como bioindicadoras de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos, tal es el caso de *Procladius sp* que es tolerante a niveles altos de contaminación orgánica. Este género fue encontrado en Los Gómez (S1), La Pintada (S2) y en la Microcuenca Nandarola (S5). El género *Tanytarsus sp* por su parte es tolerante a las bajas concentraciones de oxígeno, aunque esta no fue la condición encontrada en este sistema.

### **➤ Diversidad y Riqueza de Especies**

Un total de 35 géneros de Macrozoobentos fueron identificados durante las dos campañas de muestreo (Anexo, Tablas 10a, 10b y 11a y 11b). La familia Chironomidae fue el grupo más representativo con 20 géneros que corresponden al 57 % del total de especies, seguido de la Familia Ceratopogonidae y Elmidae con 3 géneros cada uno (8.5 %). El mayor número de especies se encontró en los Gómez (S1), que corresponde a la parte alta del curso del Río, con 13 y 11 géneros en la época seca y lluviosa respectivamente (Fig. 18).

## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

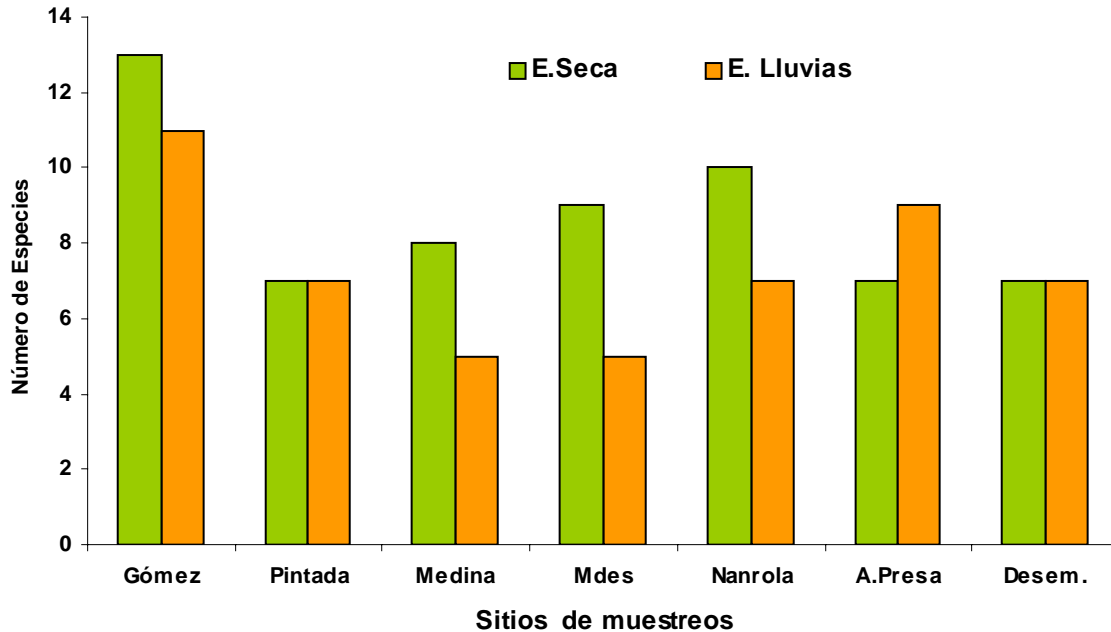


Figura 18. Riqueza de especies de macrozoobentos encontrados en los puntos y épocas muestreadas en el Río Ochomogo y sus principales tributarios.

De los ríos tributarios, el Nandarola (S5) presenta mayor riqueza con 10 y 7 especies en Marzo y Septiembre. Se observa una reducción en el número de especies durante la época lluviosa producidas por aumento en el caudal del río que provoca cambios en el sustrato, en el tipo y disponibilidad de alimento por lo que algunos organismos no pueden sobrevivir. Barton (1980); Habdija et al (1998), también encontraron que existe una relación entre diversidad y caudal del río.

La diversidad es proporción entre el número de especies presentes y el número total de individuos de la comunidad. La diversidad es la expresión de la complejidad de las interrelaciones de una comunidad. Numéricamente es la relación existente entre el número de especies, riqueza de especie, y la abundancia relativa de individuos entre las especies, la uniformidad de la especie. Una comunidad que contiene a unos pocos individuos de muchas especies puede tener una diversidad más alta que una comunidad que tiene el mismo número de individuos con la mayoría de ellos perteneciendo a unas pocas especies. Para cuantificar la diversidad de la especie se han propuesto varios índices de

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

diversidad que reflejan las variaciones en la estructura de las comunidades o ecosistemas según el número de especies y la abundancia relativa de cada una de ellas.

El índice de diversidad se utiliza para comparar dos o más comunidades o muestras en el espacio o tiempo. Una comunidad es diversa si alberga una variedad de especies y la densidad numérica es baja. En la mayoría de los casos el índice más utilizado es el índice de Shannon y Weiner. También es aconsejable establecer en conjunto con el índice, el índice de equidad que es una medida de la similitud existente en dos comunidades.

Este índice adquiere un valor máximo en los ríos de 4.5 bits/individuos para las comunidades de Macroinvertebrados bentónicos, valores inferiores a 2.4-2.5 bits/individuos indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, canalización, embalse, dragado etc.). Es un índice que disminuye en aguas contaminadas.

La diversidad fue más alta en la época lluviosa en relación a la época seca, la excepción fue en la Desembocadura al Lago (S7) donde se observó una diversidad menor que el resto de sitios muestreados (Cuadro 14). La mayor diversidad de macroinvertebrados se registró en los Gómez (S1) en ambas épocas, lo cual se asume que se debió a la gran variedad de microhábitats existentes en este sitio, además se encuentra en la parte naciente del río y hay poca influencia de la acción antropogénica creando condiciones favorables para los procesos reproductivos de los organismos. En este punto la velocidad de la corriente es lenta por lo que es favorable estableciendo una estabilidad del medio lo cual propicia un mayor éxito en el desarrollo de las especies.



**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

Cuadro 14. Índice de Diversidad de Shannon y Wiener ( H' ) y de Equidad ( J ).

Sitio de muestreo	Número de especies	H (E S)	J (E S)	Número de especies	H (E S)	J (E LI)
Gómez (S1)	13	2.82	0.54	11	3.21	0.64
Pintada (S2)	7	1.66	1.00	7	2.55	1.00
Medina (S3)	8	2.07	0.88	5	2.11	1.40
Mercedes (S4)	9	1.24	0.78	5	1.97	1.40
Nandarola (S5)	10	1.77	0.70	7	2.64	1.00
A. de Presa (S6)	7	1.52	1.00	8	2.56	0.88
Desemb (S7)	8	2.31	0.88	6	1.83	1.17

H: Diversidad

J: Equidad

E S: Epoca Seca

E LI: Epoca lluviosa

Por otro lado en Las Mercedes (S4) y en la Desembocadura al Lago (S7) se observaron las diversidades más bajas, dominando **Cladotanytarsus sp** y **Cryptochironomus sp** en la época seca y **Polypedilum sp** en el invierno. Según Margalef (1983), las comunidades con dominancia de una o dos especies son siempre comunidades con baja diversidad. Esta baja diversidad podría estar asociado al tipo de sustrato ya que en la Desembocadura al Lago (S7) el sustrato es fangoso y en Las Mercedes (S4) es arenoso. Margalef, (1983) señala que cambios en el sustrato provocan un descenso de la diversidad creando condiciones rigurosas que pocas especies pueden resistir, estimulando el fuerte desarrollo de unas especies en ambientes altamente fluctuantes e inestables.

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochohogo***

Los valores más altos de equidad se obtuvieron en los sitios Antes de la Presa (S6) y La Pintada (S2) durante el verano y en El Medina ((S3) y Las Mercedes (S4) en el invierno, mientras en Los Gómez (S1) se obtuvo la menor equidad tanto en la época seca como en la época lluviosa (Cuadro 13), contrario a los resultados obtenidos en la diversidad. Esto indica una tendencia de los individuos a repartirse equitativamente en las especies, cuando la diversidad es menor. Según Tramer (1969), la diversidad representa frecuentemente una relación inversa a la equitatividad debido a que este índice es en realidad una expresión de las abundancias relativas. Sin embargo a veces es posible encontrar una correlación negativa debido a una mayor cantidad de individuos en algunas especies. La dominancia es un parámetro que está estrechamente relacionado con la diversidad.

Estos valores altos de equidad indican que el número de especies encontradas en esta área es mayor y están mejor distribuidas. La equidad varió en dependencias de la localidad

Los resultados obtenidos en este estudio como el realizado por Salvatierra (2000), reflejan que los cambios en la diversidad de especie se deben a la variación del caudal del río y que el tributario Las Mercedes (S4) fue el de menor diversidad y mayor abundancia.

La diferencia de densidad entre una época de muestreo y otra podría estar relacionada con una serie de factores bióticos y abióticos, aunque el más evidente en este estudio es el aumento del caudal del río durante los meses de precipitación provocando cambios en la velocidad de la corriente, en la granulometría del sedimento y en el contenido de materia orgánica (MO). Algunos autores entre ellos Solabarrieta & Weibezahn (1980), señalan que la estacionalidad del régimen de descarga en los ríos modifica el hábitat (sustrato), las condiciones de alimento y por ende la estructura comunitaria de los organismos del fondo.

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Existe una relación inversa entre el contenido orgánico de los sedimentos y el caudal de un río, por lo general disminuye la cantidad de MO en la época lluviosa (Fig. 19). Esta condición no se observó durante este estudio, por el contrario la materia orgánica aumentó con el incremento en el caudal; solamente en Nandarola (S5) y Antes de la Presa (S6) se observó una disminución de MO. Los resultados reflejan que probablemente la reducción en la población del bentos no guarda relación con el contenido de materia orgánica, que es la fuente de alimento de estos organismos, sino más bien con la alteración del hábitat (sustrato) por la velocidad de la corriente.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

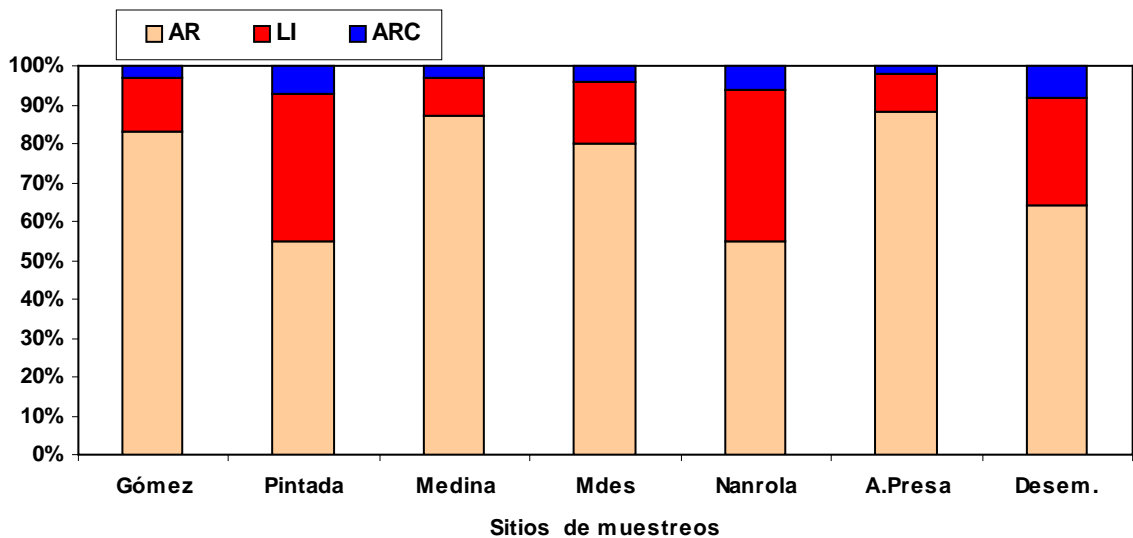
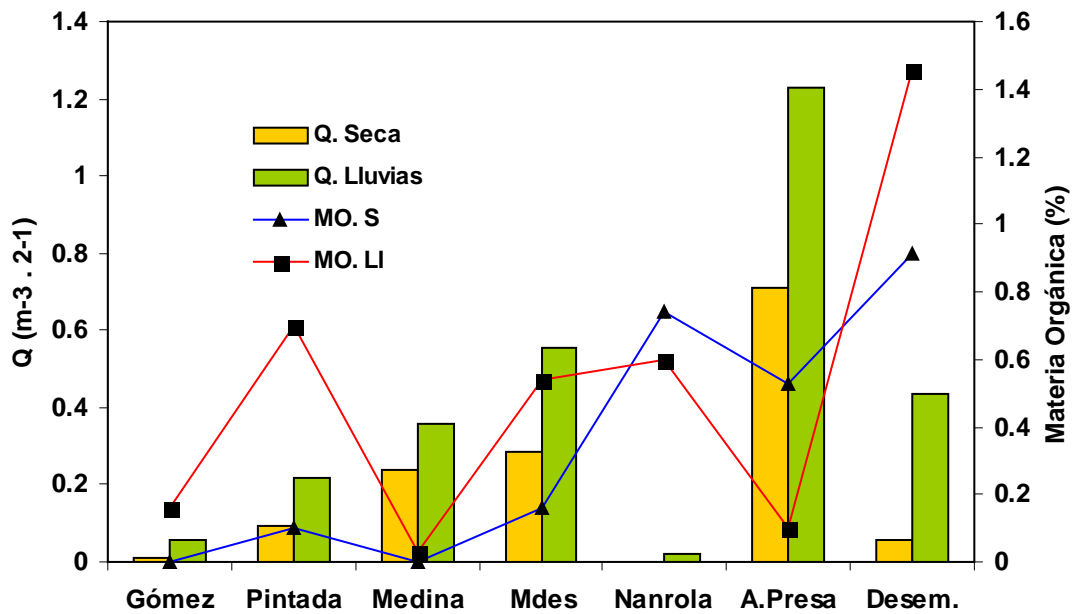


Figura 19. Composición porcentual de las diferentes fracciones del sedimento, las líneas continuas señalan la materia orgánica (MO) y las barras el caudal registrado durante la época seca y lluviosa en el Río Ochomogo y sus principales tributarios.

Los sedimentos de los sitios muestreados fue predominantemente arenoso durante la época seca, con un contenido de MO que varió entre 0.1 y 0.99 %, este

## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

último fue encontrado en la desembocadura. Desafortunadamente no se cuenta con la granulometría de la época lluviosa, aunque se sabe por la literatura que el tamaño de grano más pequeño desaparece al ser arrastrado por las aguas al aumentar el caudal. Los sedimentos con mayor cantidad de arena y 0 % de materia orgánica se encontraron en los Gómez (S1) y El Medina (S3), también el contenido de limo y arcilla fue bajo. (Anexo, Tabla 13).

### **4.7 CONTAMINACIÓN ORGANICA**

#### **4.7.1 Plaguicidas Organoclorados en agua**

De los 15 plaguicidas organoclorados analizados en agua, solamente tres de ellos (Dieldrín, Endrín, DDT y sus metabolitos) fueron detectados durante la época seca (Cuadro 15). Se encontró residuos de estos tres plaguicidas en Las Mercedes (S4), esta microcuenca sustentó durante varias décadas una agricultura intensiva (caña de azúcar) y esto podría explicar la presencia de esos residuos de plaguicidas. Debemos tener presente que el DDT fue prohibido hace algunos años en el país, así que su presencia se debe a la alta persistencia de este compuesto en el ambiente. Según Orozco et al. (2004), los compuestos organoclorados son persistente en el medio ambiente.

Cuadro 15. Residuos de plaguicidas en el Río Ochomogo y principales tributarios en la época seca.

Parámetros	Unidades	Gómez	Pintada	Medina	Mercedes	Nandarola	Antes Presa	Desemb
Dieldrín	ng.l <sup>-1</sup>	nd	nd	nd	1.58	nd	nd	nd
pp-DDE	ng.l <sup>-1</sup>	nd	3.02	0.35	3.09	nd	0.41	0.35
Endrín	ng.l <sup>-1</sup>	nd	nd	nd	5.45	nd	nd	nd
pp-DDD	ng.l <sup>-1</sup>	nd	nd	<ld	2.13	nd	1.99	nd
pp-DDT	ng.l <sup>-1</sup>	nd	44.23	nd	8.13	nd	0.78	nd

nd: No detectado

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

En La Pintada (S2) se registró el valor más alto de DDT ( $44.23 \text{ ng.l}^{-1}$ ) en este estudio, indicando el uso reciente de este insecticida en los cultivos. Todos los valores de DDT y sus metabolitos fueron encontrados en concentraciones superiores que  $0.6 \text{ ng.l}^{-1}$  y  $1 \text{ ng.l}^{-1}$  establecidos por las Normas de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (USEPA 2002) para la protección de la salud humana y protección de la vida acuática respectivamente.

La relación metabolito/compuesto madre indica el tiempo de aplicación del compuesto madre (Miglioranza et al., 2003), en el caso de La Pintada (S2) y Las Mercedes (S4), el valor ( $<1$ ) indica uso reciente del plaguicida pp'-DDT. Esta relación es  $>1$  en el punto Antes de la Presa (S6), lo que sugiere un uso antiguo del plaguicida y un proceso de degradación intenso en este sitio.

El pp'-DDE fue encontrado en todos los puntos y solamente en Los Gómez (S1) y Nandarola (S5) los niveles superan los valores guías de la USEPA, (2004) para la protección de la vida acuática ( $1 \text{ ng.l}^{-1}$ ) y para la protección de la salud humana ( $0.6 \text{ ng.l}^{-1}$ ).

El pp'-DDD solo fue detectado en Las Mercedes (S4), y Antes de la Presa (S6), en valores superiores a los recomendados por la USEPA (2004), para protección de la vida acuática ( $1 \text{ ng.l}^{-1}$ ) y protección de la salud humana ( $0.83 \text{ ng.l}^{-1}$ ).

El Dieldrín y el Endrín son metabolitos del compuesto madre Aldrín (OPS, 1987), por lo tanto la presencia en Las Mercedes (S4) de estos productos de degradación indican su aplicación en años anteriores. Las concentraciones detectadas son muy inferiores a los valores guía recomendados por la USEPA para la protección de la vida acuática que son  $56$  y  $36 \text{ ng.l}^{-1}$  respectivamente. El Dieldrín si sobrepasa el valor guía recomendado por la USEPA para la protección de la salud humana ( $0.14 \text{ ng.l}^{-1}$ ).

En la época lluviosa lluviosa se detectó Dieldrín, pp'-DDE, alfa-BHC y Lindano (Cuadro 16). En el punto Antes de la Presa (S6) se encontró el mayor número y cantidad de residuos de plaguicidas, probablemente por la persistencia en el medio ambiente ya que se degradan lentamente además, los suelos de las

### **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

microcuencas son vertisoles ricos en arcillas los cuales tienden a retener estos compuestos por el intercambio iónico que ocurre entre el plaguicida y el suelo. Los suelos con alto contenido de arcilla absorben más que aquellos bajos en arcilla (Sánchez, 1981), por lo tanto los plaguicidas ingresan al medio acuático adheridas a las partículas de sedimentos que por escorrentía superficial son lavados de la parte alta de la subcuenca.

Cuadro 16. Residuos de plaguicidas en el Río Ochomogo y principales tributarios en la época lluviosa.

Parámetros	Unidades	Gómez	Pintada	Medina	Mercedes	Nandarola	Antes Presa	Desemb
Alfa-BHC	ng.l-1	nd	nd	nd	nd	nd	0.30	nd
Lindano	ng.l-1	nd	nd	nd	nd	nd	1.03	nd
Dieldrín	ng.l-1	nd	nd	nd	nd	0.77	0.78	nd
pp-DDE	ng.l-1	0.65	nd	0.51	nd	nd	nd	d

nd: No detectado

El Alfa-BHC fue detectado con un valor de 0.30 ng.l<sup>-1</sup> en el punto Antes de la Presa (S6) en una concentración menor a la sugerida por la USEPA para la protección de la salud humana (4 ng.l<sup>-1</sup>), su presencia en el agua se asocia con la actividad agrícola en ciertas áreas aledaños al Río Ochomogo.

Se encontró Lindano en el punto Antes de la Presa (S6) en una concentración de 1.03 ng.l<sup>-1</sup>, su presencia en el ambiente se debe al uso por el MINSA en el control de vectores transmisores de la malaria (Fuente: Encuestas a la población). El Lindano por su estructura química es altamente persistencia y se adhiere fácilmente a los suelos siendo arrastrado por escorrentía pluvial hacia los cuerpos de agua. La concentración registrada en este estudio es mucho menor a la recomendada por la Norma Canadiense (10 ng.l<sup>-1</sup>) para la protección de la vida acuática (CCME 2002). En suelos con abundante materia orgánica, el Lindano se degrada por la actividad de los microorganismos del suelo (WHO, 1991).

## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

En la época lluviosa el Dieldrín se registró solo en el punto Antes de la Presa (S6) en concentraciones mayores a las establecidas por la USEPA para la protección de la salud humana ( $0.14 \text{ ng.l}^{-1}$ ). Su presencia se debe a sus características de alta persistencia en el suelo, resistencia a la biotransformación y a la degradación por factores abióticos. Como resultado de esto, siempre se encuentra en niveles bajos en todos los lugares donde ha sido detectado. Este compuesto es formado por oxidación química del Aldrín en los suelos (Castillo, et al., 1995). El Dieldrín existió en los inventarios de Plaguicidas de nuestro país hasta el año 1992. En el estudio de PROCUENCA SAN JUAN (2004), se encontró que el segundo río más contaminado con residuos de Lindano, pp-DDT, pp-DDE y pp-DDD es el Río Ochomogo. En el estudio de Procuenca se empleó el Dispositivo de Membranas Semipermeables (DMSP), que es un método de muestreo mucho más sensible para la captura de concentraciones bajas de compuestos orgánicos lipofílicos.

### **4.7.2 Plaguicidas Organoclorados en Sedimentos**

En época seca se detectó DDT y su metabolito pp-DDE en El Medina (S2), Las Mercedes (S4) y en la Desembocadura al Lago (S7), en este sitio se encontró la mayor cantidad de residuos de plaguicidas. El Dieldrín, Lindano y Alfa-BHC se detectaron en concentraciones menores al límite de detección (Cuadro 17).

Cuadro 17. Plaguicidas Organoclorados en los sedimentos del Río Ochomogo y principales tributarios en la época seca.

Parámetros	Unidades	Pintada	Medina	Mercedes	Antes Presa	Desembocad
Alfa-BHC	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	nd	nd	<ld	nd	nd
Lindano	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	nd	nd	nd	nd	<ld
Dieldrín	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	nd	nd	nd	nd	<ld
p-DDE	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	nd	0.60	0.63	<ld	1.02
pp-DDT	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	<ld	0.39	1.78	nd	0.38



## **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

nd: No detectado

En Las Mercedes (S4) la concentración de pp-DDT sobrepasa el límite permisible de  $1.19 \mu\text{g.kg}^{-1}$  en sedimentos que establece la Norma Canadiense de Calidad Ambiental (EQGs) para protección de la vida acuática.

Es natural encontrar un valor de  $1.78 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de DDT en los sedimentos a la altura de Las Mercedes (S4) si consideramos que hace dos décadas este plaguicida fue el más utilizado en el cultivo de la caña de azúcar en esta microcuenca. El tipo de suelo predominante es del tipo molisoles, ricos en materia orgánica la cual incrementa la adsorción de los plaguicidas por su alto contenido, también hay que tomar en cuenta que la materia orgánica es la fuente de energía para los microorganismos y estos son los responsables de la degradación de los plaguicidas.

El valor de pp-DDE, encontrado en la desembocadura es inferior al valor límite permisible ( $1.42 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ) en sedimentos que establecen las Normas EQGs para protección de la vida acuática. El DDT se degrada por acción bacteriana en el metabolito pp-DDE, el cual posee una estabilidad mayor o igual que el compuesto de origen (Cruz, 1995). El DDT fue prohibido en Nicaragua desde los años ochenta, debido a su persistencia en el medio ambiente, a la capacidad de bioacumularse en los tejidos grasos de los organismos y por tanto de biomagnificarse en la cadena trófica.

La relación metabolito/compuesto madre (pp'-DDE/pp'-DDT) en el sedimento de Las Mercedes (S4) es menor que 1 lo que indica que este plaguicida fue usado recientemente, mientras que en la Desembocadura al Lago (S7) y el Medina (S3) es mayor que uno, lo que evidencia que fue utilizado en el pasado. El DDT sufre procesos de degradación y es transportado al río por las escorrentías. Los compuestos organoclorados tienen baja solubilidad en agua, son altamente hidrofóbicos dando lugar a su acumulación en los tejidos adiposos.

Las concentraciones de plaguicidas en este estudio son inferiores a las reportadas por Salvatierra (2000), en la microcuenca Las Mercedes (S4). En la estación,

### **Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

cercana al antiguo Ingenio Javier Guerra encontró valores de  $7.91 \mu\text{g.kg}^{-1}$  y  $6.77 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de DDT y DDE respectivamente.

En la época lluviosa se detectaron pp-DDE en La Pintada (S2), El Medina (S3), Las Mercedes (S4) y Antes de la Presa (S6), pero no en la Desembocadura al Lago (S7). En este punto se encontró residuos de Dieldrín y pp-DDD. El Alfa-BHC se detectó en concentración menor al límite de detección en Las Mercedes (S4), mientras que el Dieldrín solo se registró en la Desembocadura al Lago (S7) (Cuadro 18).

Cuadro 18. Plaguicidas organoclorados en sedimentos en el Río Ochomogo y principales tributarios en la época lluviosa.

Parámetros	Unidades	Pintada	Medina	Mercedes	Antes Presa	Desembocadura
Alfa-BHC	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	nd	nd	<ld	nd	nd
Dieldrín	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	nd	nd	nd	nd	1.07
pp-DDE	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	0.15	0.10	0.38	0.16	nd
pp-DDD	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	nd	nd	nd	nd	0.13

nd: No detectado

Las concentraciones de pp-DDE están entre el valor límite establecido por las Normas Canadienses EQGs en sedimentos ( $1.42 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ), de igual manera el pp'-DDD en la desembocadura al Lago (S7) esta por debajo del valor limite establecido por las Normas EQGs en sedimento para protección de la vida acuática ( $3.54 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ).

Los valores de plaguicidas en aguas y sedimentos se encuentran por debajo de los límites permisibles por las Normas EQGs para protección de la vida acuática en todos los sitios muestreados en la subcuenca del Río Ochomogo. La presencia de residuos de plaguicidas es debido a la actividad agrícola que se desarrolla en la microcuenca Las Mercedes (S4) y la Desembocadura al Lago (S7). Así mismo se evidencia que se han utilizado plaguicidas como el DDT el cual es reconocido por

## Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo

la alta toxicidad, persistencia y bioacumulación en el ambiente. También se encontró residuos de Dieldrín y Lindano.

### 4.8 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

El análisis de la información recopilada de las visitas al campo, encuestas a la población, recopilación de información existentes de estudios en la subcuenca señalan que la agricultura es la principal fuente de contaminación, por el uso de agroquímicos (Fig. 20). La agricultura es una de las pocas actividades donde se descargan deliberadamente en el medio ambiente productos químicos para acabar con algunas formas de vida por lo que representa uno de los mayores peligros de contaminación de los recursos hídricos de la subcuenca, como consecuencia del uso de plaguicidas y fertilizantes en los cultivos agrícolas en la microcuenca Las Mercedes y en la parte correspondiente a la desembocadura del Río Ochomogo. Los cultivos de caña de azúcar en el ingenio Javier Guerra en la década de los 90 contribuyó al deterioro de la calidad del agua de las microcuencas El Medina y Las Mercedes y en los sitios Antes de la Presa y la desembocadura al Lago de Nicaragua debido al uso intensivo de plaguicidas.

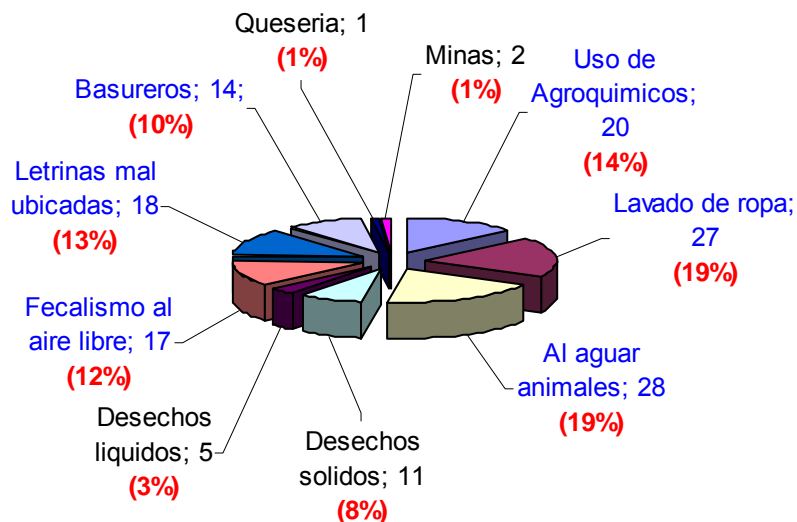


Figura 20. Fuentes de contaminación detectadas en la subcuenca del Río Ochomogo. (INTA 2004).

### ***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

Otra fuente de contaminación es el aumento de la práctica del fecalismo al aire libre que realiza la población con menos recursos económicos. Según el INTA (2004), la mayor densidad poblacional se concentra en Nandaime, Los Jirones y en La microcuenca El Medina y el 35% de la población practica el fecalismo al aire libre y tienen las letrinas mal ubicadas (Fig. 20), incrementando los riesgos de contaminación de las fuentes de agua, aumentando la vulnerabilidad ante las enfermedades, principalmente por la diarrea en los infantes. Basándonos en esta observación esta podría ser la causa de la contaminación por heces fecales de las aguas superficiales de la subcuenca del Río Ochomogo. Los resultados del estudio realizado por el INTA (2004), indican que el 38% de las comunidades están expuesta a consumo de agua contaminada por efecto de la contaminación del agua de los ríos por las heces fecales de los animales y residuos por lavado de ropa. Las zonas mas afectadas son la microcuenca El Medina y los sitios La Pintada, Antes de la Presa y La desembocadura al Lago de Nicaragua lo cual se comprobó con las visitas al campo.

Cabe señalar que en estos sitios mencionados anteriormente también se lleva a cabo la ganadería debido a la existencia de terrenos aptos, la mayoría ubicados a orillas del Río Ochomogo los cuales utilizan el Río para abrevar el ganado (Fig. 20) descargando directamente las excretas y orina contaminando con heces fecales, deteriorando la calidad de las aguas.

La contaminación doméstica y urbana es otra fuente importante de contaminación en la subcuenca del Río Ochomogo y se caracteriza por el lavado de ropa, desechos sólidos, líquidos y la acumulación de basura por la población que vive alrededor de los ríos y quebradas de la subcuenca (Fig. 20).

Otras actividades como la labranza y arado de los suelos aumentan la erosión y la sedimentación contaminando los suelos y las aguas superficiales provocando mayor turbidez.

## **V CONCLUSIONES**

1. Existe una disponibilidad potencial de agua superficial en la subcuenca del Río Ochomogo de 42.62 MMCA, de los cuales 5.11 MMCA corresponden a la escorrentía base.
2. El caudal del Río Ochomogo depende mayormente de los aportes de la microcuenca Las Mercedes con un valor promedio de  $0.397 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .
3. La reducción de caudal del Río Ochomogo en la parte baja o desembocadura por el represamiento del mismo y la extracción de 8 MMCA de agua para riego, ha generado conflictos entre los propietarios de tierras de cultivo.
4. Las aguas superficiales de la subcuenca del Río Ochomogo son del tipo bicarbonatadas calcicas y no presentan problemas de calidad en su relación a su composición física y química, los parámetros evaluados están dentro de los rangos o límites establecidos por las Normas Canadienses (CCME).
5. Debido a las características litológicas de la subcuenca el hierro es la única variable química que presenta concentraciones no aceptables para consumo humano y protección del medio ambiente durante el invierno.
6. El Fecalismo al aire libre por parte de la población en La Pintada, El Medina, el sitio antes de la Presa y La desembocadura al Lago de Nicaragua ha provocado contaminación de origen fecal en las aguas del Río Ochomogo.
7. La baja diversidad de macroinvertebrados bénticos, la abundancia y la dominancia de la Familia Chironomidae señalan los inicios del deterioro de la calidad del agua superficial en la subcuenca del Río Ochomogo.
8. Las microcuencas El Medina, Las Mercedes y los sitios Antes de la Presa y La Desembocadura al Lago de Nicaragua están contaminadas por compuestos orgánicos por el uso intensivo de plaguicidas en los cultivos agrícolas.

***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

9. La presencia de los plaguicidas organoclorados detectado en agua y sedimentos de pp-DDT, pp-DDE, pp-DDD, Dieldrín, Endrín, Lindano y alfa-BHC es debido al uso antiguo y reciente en los cultivos agrícolas de la subcuenca.

## **VI RECOMENDACIONES**

1. Dar a conocer los resultados obtenidos de esta investigación a los diferentes actores y organizaciones sociales localizadas en la subcuenca del Río Ochomogo, con la finalidad de sensibilizar a la población sobre la problemática ambiental que esta incidiendo en la disponibilidad y calidad del agua superficial.
2. Atendiendo la alta dependencia que tiene la población con el recurso hídrico superficial en sus actividades agrícolas y domésticas, es necesario profundizar con estudios sobre la calidad del agua del Río Ochomogo y sus tributarios.
3. Debido a la intensa actividad agrícola en La microcuenca Las Mercedes y desde el sitio Antes de la Presa hasta la desembocadura es necesario realizar el análisis de carbamatos que no se incluyó en este estudio.
4. Que el CIRA como institución universitaria preocupada por los recursos hídricos de Nicaragua forme parte de la Comisión Ambiental Municipal (CAM) de los Municipios de Nandaime y Santa Teresa, con la finalidad de elaborar en conjunto un Plan de Acción de Manejo que garantice la conservación y protección de los recursos existentes en la subcuenca del Río Ochomogo.

## **VII BIBLIOGRAFIA**

- Albert, L., 1997.** *Contaminación Ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos.* En: **Albert, L. (ed.)** *Introducción a la toxicología Ambiental.* Organización Panamericana de la Salud y Gobierno del Estado de México, México.
- Allan, JD., 1995.** *Stream Ecology. Structure and function of Running Waters.* Kluwver Academic Publishers. Boston.
- Ayers, R. y Wescot, D., 1987.** *La calidad del agua en la agricultura.* FAO. Roma, Italia.
- Borton, D., 1980.** *Benthic macroinvertebrates communities at the Athabasca River near Ft. Mackay, Alberta.* Hidrobiol. (74)151-160.
- CAPRE, 1993.** (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y Republica Dominicana). *Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano.* Primera edición. San José, Costa Rica.
- CCME, 2003.** (Canadian Council of Ministers of the Environment). *Recreational Water Quality Guidelines an Aesthetics. In Canadian Environmental Quality Guidelines.* Canada.
- Castillo, L. y Chaverry, F., 1995.** *Manual de Plaguicidas.* Guía para América Central. Primera edición. Editorial de la universidad Nacional Campus "Omar Dengo". Heredia, Costa Rica.
- Custodio, E. y Llamas, M., 2001.** *Hidrología Subterránea.* Segunda Edición. Tomo I y II. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España.
- Cruz, A., 1996.** *Plaguicidas Organoclorados en grasa de mujeres Nicaragüenses.* CIRA/UNAN. Managua, Nicaragua.



**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

**U.S.EPA, 1994.** *Water Quality Criteria Summary Concentration. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Science and Technology. Estados Unidos.*

**González, R., 2004.** *ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA Y PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DE LOS POZOS DE ABASTECIMIENTO PUBLICO, RÍO VIEJO Y GRANDE DE MATAGALPA EN EL VALLE DE SÉBACO.* Trabajo de tesis para optar al Grado de Master en Ciencias del Agua en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua).

**Horan, N., 2003.** *Faecal indicator organisms. En: Mara, D y Horan, N. (eds). The Handbook of Water and Wastewater Microbiology. pp 105-112. Academic Press, London.*

**INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá), 1994.** *Diagnóstico, tratamiento y prevención de intoxicaciones agudas causadas por Plaguicidas Unidad 3. "Insecticida Organoclorados, piretrina y piretroides". México.*

**Koppen, W. y Geiger, R., 1928.** *Koppen-Geiger Map of World Climates.*

**Madigan, M., Martinko, J. y Parker, J., 2000.** *Biology of Microorganisms. 9a Edición. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. Pags. 976-980.*

**MAGFOR, 2000.** *Estudios hidrológicos e hidrogeológicos en la región del Pacifico de Nicaragua. Fase I Región Chinandega-León-Nagarote. Informe final. Volumen III.*

**Margalef, R., 1983.** *Limnología.* Editorial Omega, S.A. Barcelona España. 985pp.

**McJunkin, E. 1986.** *Agua y Salud Humana.* Primera edición. EDITORIAL LIMUSA, S.A. Impreso en México.

**OPS (Organización Mundial de la Salud), 1987.** *Guías para la calidad del agua potable. Vol. 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base. Publicación Científica No. 506. Washington, D, C. 343 pp.*

***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

**Orozco, C., Serrano, A. Gonzáles, M. Rodríguez, F y Alfayate, J., 2004.** *Contaminación ambiental. Una visión desde la química.* Segunda edición. Impreso en Madrid. España.

**Peña, E., 2005.** *Disponibilidad y aprovechamiento sostenible del acuífero de Nandaime.* Trabajo de tesis para optar al Grado de Master en Ciencias del Agua en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua).

**Proyecto Sur Oeste de Nicaragua IDR-GTZ, 2003.** *Actualización del estado del recurso suelo y capacidad de uso de la tierra de los municipios de Santa Teresa y Nandaime.* Informe Técnico.

**PROCUENCA SAN JUAN, 2004.** *Integración de los estudios básicos.* Managua, Nicaragua.

**Ramírez, A. y Viña. G., 1998.** *LIMNOLOGÍA COLOMBIANA APORTES A SU CONOCIMIENTO Y ESTADÍSTICA DE ANÁLISIS.* Primera edición. Fundación universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia.

**Rodier, J., 1981.** *Análisis de las aguas naturales, Aguas residuales y aguas de mar. Química, Física-Química, Bacteriológica y Biología.* Ediciones Omega S. A. Barcelona, España.

**Salvatierra, T., 2000.** *Presencia de residuos de Plaguicidas Organoclorados y carbamatos en el río Ochomogo y efectos sobre la comunidad macrozoobentica.* Tesis para optar al grado de Licenciatura, UNAN-Managua.

**Sánchez, P., 1981.** *Suelos del trópico características y manejo.* Departamento de la Ciencia del Suelo. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Raleigh, EUA. Primera edición en Español por IICA. 634 Pág.

**Smith, R y Smith T., 1998.** *Elements of Ecology.* Cuarta edición. San Francisco, CA.

***Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo***

**Solabarieta, M. y Weibezahn, F., 1980.** *Distribución y abundancia de los macroinvertebrados bénticos del Lago de Valencia.* Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Folleto multicopiado. Pag 247-274.

**Solkolov, A y Chapman, T., 1981.** *Método de cálculo del balance hídrico: Guía internacional de investigación y métodos.* Instituto de Hidrología de Madrid, España. UNESCO Impresa en el Servicio de Edición del Centro de estudios Hidrográficos de España con el número 141.

**Tahal Consulting Engineers, 1968.** *Proyecto de desarrollo de agricultura bajo riego Nandaime-Rivas.* Estudio de Factibilidad. Volumen I, II y III. Informe Técnico

**UNESCO, 1982.** *Guía metodológica para la elaboración del balance Hídrico de América del sur.* Montevideo, Uruguay.

**Wetzel, R., 1981.** *Limnología.* Ediciones Omega, S,A. Barcelona, España.

**Wetzel, R., 2000.** *Limnología.* Ediciones Omega, S,A. Barcelona, España.

**Word Health Organization (WHO) 1991.** *Lindane Enviromental Health Criterio* 124. Geneva, 1991. pag. 135.

**Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales de la Subcuenca del Río Ochomogo**

**BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA EN INTERNET.**

**Habdija, I. Radanovic, I. y Princ.-Habdija, B., 1998.** “*Seasonal Changes in Trophic Structure of macroinvertebrates on the cobble substrate*”. Consultado en:

<http://ciencias.udg.es/iea/Limnoaiguamollscatal%C3%A0.htm>

Fecha 26/08/2005

**Lasheras, A., Múzquiz, J. Ruiz, I. Ormad, M. y Ortega. C., 1997.** *Estudio de la calidad de las aguas del río Aragón*. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. Consultado en:

<http://www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol22/suple3/suple28.html>

Fecha de consulta: 10/02/2006

**Miglioranza, K., Moreno, JE, Moreno, VJ., (2003). 2003.** “*Dynamics of organochlorine pesticides in soils from a southeastern region of Argentina*”. Environ. Toxicol. Chem., 22 (4) 712-717. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, 7600, Mar del Plata, Argentina

Consultado en: <http://scholar.ilib.cn/Abstract.aspx?A=trq-e200602004>

Fecha de consulta: 13/09/2005

**Toro, J., Schuster, J. Kurosawa, J. Araya, E. y Contreras, M., 2003.** *Diagnostico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores Río Maipo*. Santiago. Chile. Consultado en:

[http://www.conama.clrm/568/articles-](http://www.conama.clrm/568/articles-0399_NOR_01_04_13.pdf#search=%22indice%20de%20calidad%20de%20agua%20)

[0399\\_NOR\\_01\\_04\\_13.pdf#search=%22indice%20de%20calidad%20de%20agua%20](http://www.conama.clrm/568/articles-0399_NOR_01_04_13.pdf#search=%22indice%20de%20calidad%20de%20agua%20)

Fecha: 8/03/2005

**Tramer, E.,1969.** *Ecology Bird species diversity: componentes of Shannon's formula*.1969.927-929.50

Consultado en: <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1987-2/articulo276.html>

Fecha de consulta: 11/05/2005

ANEXO

Tabla 1. Comportamiento de la temperatura en la estación de Nandaime.

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Promedio
1990- 1991	27.9	26.8	26.2	26.8	26.3	25.8	25.7	25.6	25.9	26.5	27.6	28.4	26.6
1991-1992	27.7	27.1	26.4	26.6	26.7	25.6	25.8	25.9	26.0	26.8	27.7	28.9	26.8
1992-1993	28.8	27.7	25.9	26.3	25.9	26.2	26.2	25.9	26.0	26.8	27.5	28.6	26.8
1993-1994	27.2	27.0	26.7	26.3	25.5	26.4	26.1	26.3	26.0	26.7	27.6	28.1	26.6
1994-1995	27.9	26.8	26.7	26.8	26.3	26.2	25.9	26.0	26.3	26.9	27.2	28.0	26.7
1995-1996	27.7	26.7	26.3	26.2	25.8	25.6	26.0	25.8	25.3	26.3	26.8	28.6	26.4
1996-1997	27.0	26.9	26.1	26.0	26.2	25.8	25.9	25.5	25.1	26.4	26.9	28.0	26.3
1997-1998	28.7	26.4	27.6	27.6	27.0	26.4	26.1	26.1	26.5	26.8	28.1	29.0	27.1
1998-1999	28.8	27.5	26.8	26.9	26.1	25.6	25.9	25.9	25.9	26.1	26.9	28.1	26.7
1999-2000	28.0	28.1	26.4	26.3	25.4	25.3	25.4	25.6	25.3	25.9	26.6	27.7	26.3
2000-2001	27.5	26.6	26.7	26.9	25.7	25.8	26.0	26.1	25.7	26.4	27.1	28.5	26.5
2001-2002	28.6	27.0	26.7	27.1	26.3	26.5	26.0	26.6	26.5	26.9	27.8	28.4	27.0
2002-2003	27.9	27.1	26.7	27.1	26.4	26.3	26.2	26.6	26.7	27.7	28.2	29.0	27.1
2003-2004	28.5	26.4	26.6	26.8	26.9	26.5	26.3	26.1	26.0	27.1	27.9	28.8	29.9
Promedio	28.0	27.0	26.5	26.6	26.1	26.0	25.9	26.0	25.9	26.6	27.4	28.4	26.9

Fuente: INETER, 2004

Tabla 2. Comportamiento de la precipitación en la estación de Nandaime.

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1990- 1991	179	125	167	36	164	331	124	19	3	1	0	0	1149
1991-1992	303	192	99	40	143	140	68	3	1	0	0	0	990
1992-1993	101	321	196	102	197	135	30	14	10	0	0	27	1132
1993-1994	701	203	127	221	446	129	44	2	8	9	0	39	1929
1994-1995	157	257	37	52	303	268	122	7	0	2	81	66	1350
1995-1996	120	184	334	461	294	334	49	37	15	1	4	0	1832
1996-1997	361	119	285	256	310	308	174	2	4	0	1	29	1849
1997-1998	15	300	51	74	204	212	142	0	0	0	0	1	998
1998-1999	145	180	128	196	288	775	67	17	13	2	2	6	1819
1999-2000	189	169	162	299	400	236	107	3	20	1	1	0	1587
2000-2001	156	148	39	154	379	191	59	5	3	5	0	0	1139
2001-2002	172	145	68	115	202	408	121	4	10	1	1	2	1249
2002-2003	634	286	136	159	277	150	15	1	0	0	35	40	1733
2003-2004	250	510	259	118	165	269	74	5	4	1	1	4	1659
Promedio	249	224	149	163	269	277	85	8	6	2	9	15	1456

Fuente: INETER, 2004

Tabla 3. Comportamiento de la evapotranspiración en la estación de Nandaime.

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1990- 1991	169	142	145	154	140	129	118	121	129	136	172	177	1732
1991-1992	167	146	144	149	142	126	126	128	135	138	177	185	1764
1992-1993	191	158	146	153	137	139	129	129	137	144	179	180	1822
1993-1994	157	141	146	143	126	134	122	127	131	134	171	170	1700
1994-1995	168	145	154	154	134	137	123	127	133	139	163	163	1739
1995-1996	159	140	141	139	128	122	124	122	130	136	169	181	1692
1996-1997	157	145	146	144	133	128	121	126	127	135	171	177	1711
1997-1998	186	142	165	165	147	136	123	132	139	138	177	185	1837
1998-1999	181	154	156	150	130	121	121	126	132	136	170	175	1752
1999-2000	171	162	151	142	124	125	122	130	138	138	168	178	1748
2000-2001	170	150	161	158	130	131	122	130	137	136	172	181	1779
2001-2002	178	152	153	152	135	134	137	133	139	140	181	185	1819
2002-2003	175	149	150	162	137	139	131	134	146	148	179	185	1835
2003-2004	174	139	148	152	144	135	126	134	139	144	180	182	1798
Promedio	172	148	150	151	135	131	125	129	135	139	174	179	1768

Fuente: INETER, 2004



Tabla 4. Comportamiento de la precipitación en la estación de Santa Teresa

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1990- 1991	234	286	198	300	314	349	99	37	26	8	2	4	1857
1991-1992	336	297	211	324	387	328	115	38	0	26	0	0	2061
1992-1993	24	400	376	134	231	251	41	86	0	0	0	32	1575
1993-1994	537	328	194	316	582	279	46	0	43	35	0	87	2447
1994-1995	154	175	165	83	385	393	177	64	0	9	71	244	1918
1995-1996	98	402	489	540	368	284	143	60	23	9	8	0	2425
1996-1997	233	219	351	418	382	323	92	37	42	14	16	20	2147
1997-1998	0	370	87	108	252	421	225	33	0	0	0	8	1503
1998-1999	106	175	191	200	388	1019	162	54	52	29	21	34	2431
1999-2000	224	261	142	409	458	302	35	0	17	6	4	14	1872
2000-2001	181	425	83	270	589	176	15	0	12	30	42	28	1849
2001-2002	323	325	210	245	785	664	92	7	11	9	8	15	2694
2002-2003	490	383	219	372	695	682	42	9	2	7	46	21	2968
2003-2004	189	483	299	214	320	382	124	23	12	9	25	22	2102
Promedio	224	323	229	281	438	418	101	32	17	14	17	38	2132

Fuente: INETER, 2004

Tabla 5. Resultados de los parámetros para realizar el Balance hídrico.

Mes	Precipitación	Evapotranspiración				
		Molisoles	Vertisoles	Alfisoles	Entisol	Inceptisol
May	249	50.93	82.77	81.99	82.62	93.54
Jun	224	106.40	96.15	94.90	93.51	105.38
Jul	149	103.94	81.74	80.34	77.20	86.47
Ago	163	108.14	80.82	79.41	76.38	85.47
Sep	269	135.00	109.46	107.90	105.87	119.03
Oct	277	131.00	124.52	122.67	119.71	131.00
Nov	85	88.89	72.27	70.68	65.98	72.17
Dic	8	44.76	31.38	30.30	26.19	28.00
Ene	6	23.08	14.24	13.62	11.22	11.73
Feb	2	11.16	6.06	5.73	4.52	4.60
Mar	9	9.12	5.43	5.24	4.64	4.98
Abr	15	9.88	6.81	6.66	6.37	7.08
Sub-total	1456	822.30	711.65	699.45	674.21	749.44
Total	1456	731.41				

Fuente: Peña, 2005

Tabla 6. Resultados de los parámetros para realizar el Balance hídrico.

Mes	Escorrentía				
	Molisoles	Vertisoles	Alfisoles	Entisol	Inceptisol
May	80.59	68.75	67.00	58.27	38.32
Jun	164.50	140.25	136.68	118.83	115.77
Jul	83.58	71.23	69.41	60.35	58.79
Ago	37.96	32.45	31.62	27.49	26.79
Sep	53.28	45.38	44.22	38.45	37.46
Oct	86.58	73.98	72.09	62.68	61.06
Nov	23.98	20.35	19.83	17.24	16.80
Dic	1.67	1.38	1.34	1.17	1.14
Ene	1.00	0.96	1.07	0.93	0.91
Feb	0.33	0.28	0.27	0.23	0.23
Mar	0.33	0.28	0.27	0.23	0.23
Abr	1.33	1.10	1.07	0.93	0.91
Sub-total	535.13	456.36	444.88	386.80	358.39
Total	436.31				

Fuente: Peña, 2005



Tabla 7b. Resultados químicos del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca.

Parámetros	Unidades	Gómez (S1)	Pintada (S2)	Medina (S3)	Mercedes (S4)	Nandarola (S5)	Antes Presa (S6)	Desem bocadura (S7)
Calcio	mg.l <sup>-1</sup>	78.92	45.44	31.09	33.48	70.15	42.25	68.56
Magnesio	mg.l <sup>-1</sup>	14.5	13.05	12.56	12.08	15.47	11.6	18.85
Sodio	mg.l <sup>-1</sup>	26	20.02	20	26.4	38.5	23.6	47.00
Potasio	mg.l <sup>-1</sup>	3.63	5.63	7.33	8.88	7.63	7.28	7.88
Cloruros	mg.l <sup>-1</sup>	17.18	13.16	8.19	7.99	49.53	9.77	52.65
Sulfatos	mg.l <sup>-1</sup>	7.72	6.36	5.09	7.59	11.83	7.22	10.35
Carbonatos	mg.l <sup>-1</sup>	< 2.00	<2.00	<2.00	15.12	25.2	25.2	65.52
Bicarbonatos	mg.l <sup>-1</sup>	366.49	253.72	207.59	207.59	274.22	202.46	233.22
Dureza Total	mg.l <sup>-1</sup>	256.58	167.08	129.28	133.26	238.68	153.15	248.62
Alcalinidad Total	mg.l <sup>-1</sup>	300.35	207.9	170.1	195.3	266.7	207.9	300.3
Alcalinidad Fenol.	mg.l <sup>-1</sup>	<1.67	<1.67	<1.67	12.6	21	21	54.6

Tabla 7c. Resultados químicos del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca.

Parámetros	Unidades	Gómez (S1)	Pintada (S2)	Medina (S3)	Mercedes (S4)	Nandarola (S5)	Antes Presa (S6)	Desem bocadura (S7)
Nitratos	mg.l <sup>-1</sup>	<0.05	0.39	0.54	0.51	0.20	0.30	<0.05
Nitritos	mg.l <sup>-1</sup>	0.003	0.005	0.004	0.004	0.002	0.004	0.001
Amonio	mg.l <sup>-1</sup>	0.099	0.045	0.024	0.023	0.029	0.034	0.012
Nitrógeno Total	mg.l <sup>-1</sup>	0.459	0.837	0.938	1.167	0.838	0.733	0.716
Fósforo Total Dis	mg.l <sup>-1</sup>	0.101	0.092	0.119	0.104	0.060	0.110	0.146
Fósforo React Dis	mg.l <sup>-1</sup>	0.095	0.080	0.106	0.097	0.04	0.092	0.140
Fósforo	mg.l <sup>-1</sup>	0.119	0.114	0.123	0.117	0.078	0.126	0.163
Hierro Total	mg.l <sup>-1</sup>	0.09	0.86	0.58	0.51	0.076	1.05	3.48
Sílice disuelto	mg.l <sup>-1</sup>	88.32	78.72	86.31	88.32	61.52	82.63	78.72
Fluoruros	mg.l <sup>-1</sup>	0.26	0.29	0.31	0.35	0.30	0.32	0.44
Boro	mg.l <sup>-1</sup>	0.16	0.09	0.08	0.07	0.21	0.21	0.47
Carb Org Disuelto	mg.l <sup>-1</sup>	3.807	3.364	1.822	2.455	7.281	2.507	20.136

Tabla 8a. Resultados físicos del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época lluviosa.

Parámetros	Unidades	Gómez (S1)	Pintada (S2)	Medina (S3)	Mercedes (S4)	Nandarola (S5)	Antes Presa (S6)	Desem bocadura (S7)
pH	Unid. pH	8.31	8.20	8.12	8.14	8.20	8.29	7.96
Conductividad	$\mu\text{S. cm}^{-1}$	446	378	296	326	476	349	252
Turbidez	UNT	89.70	158.40	169.48	68.30	140.90	79.60	642.00
Color	$\text{mg.l}^{-1}\text{pt-Co}$	15	20	20	20	20	15	60
Oxígeno Disuelto	$\text{mg.l}^{-1}$	8.62	8.62	9.03	8.62	7.18	8.41	7.38
Sólidos Totales	$\text{mg.l}^{-1}$	410	428	392	340	433	356	817
Sólidos Disueltos	$\text{mg.l}^{-1}$	323	281	254	275	330	286.50	207
Sólidos Suspensos	$\text{mg.l}^{-1}$	87	147.00	138.00	65	103	78.50	610.00
S. Sedimentales	$\text{ml.l}^{-1}$	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5





Tabla 8c. Resultados químicos del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época lluviosa.

Parámetros	Unidades	Gómez (S1)	Pintada (S2)	Medina (S3)	Mercedes (S4)	Nandarola (S5)	Antes Presa (S6)	Desem bocadura (S7)
Nitratos	mg. l <sup>-1</sup>	0.11	0.46	0.67	0.64	0.36	0.58	0.50
Nitritos	mg.l <sup>-1</sup>	0.003	0.006	0.010	0.006	0.007	0.003	0.010
Amonio	mg.l <sup>-1</sup>	0.035	0.025	0.087	0.021	0.065	0.024	0.079
Nitrógeno Total	mg.l <sup>-1</sup>	0.479	0.675	0.838	0.748	0.874	0.827	1.116
Fósforo Total Dis	mg.l <sup>-1</sup>	0.127	0.104	0.190	0.134	0.152	0.154	0.187
Fósforo React Dis	mg.l <sup>-1</sup>	0.122	0.099	0.168	0.116	0.133	0.154	0.146
Fósforo	mg.l <sup>-1</sup>	0.251	0.190	0.28	0.265	0.228	0.258	0.376
Hierro Total	mg.l <sup>-1</sup>	4.15	10.37	9.57	3.92	5.89	4.18	19.64
Sílice disuelto	mg.l <sup>-1</sup>	50.61	66.89	80.88	82.65	42.05	77.5	56.75
Fluoruros	mg.l <sup>-1</sup>	0.27	0.30	0.22	0.17	0.13	0.14	0.12
Boro	mg.l <sup>-1</sup>	0.32	0.25	0.19	0.22	0.30	0.26	0.31
Carb Org Disuelto	mg.l <sup>-1</sup>	6.274	11.958	5.962	4.202	5.890	3.265	32.882

Tabla 9. Resultados microbiológicos del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca y lluviosa.

Sitios de muestreos	C T E.S	C T E.LL	C Term E.S	C Term E.LL	E. Coli E.S	E. Coli E.LL	E C E.S	E C E.LL
Los Gómez (S1)	2.3.E+03	3.0.E+04	3.0.E+02	3.0.E+04	4.0.E+01	8.0.E+03	2.6.E+01	9.0.E+03
La Pintada (S2)	5.0.E+03	3.0.E+04	8.0.E+02	3.0.E+04	4.0.E+01	1.7.E+04	4.0.E+00	1.4.E+03
El Medina (S3)	5.0.E+03	2.4.E+05	8.0.E+02	2.4.E+05	8.0.E+01	5.0.E+03	1.0.E+00	2.8.E+03
Las Mercedes (S4)	2.3.E+03	2.4.E+04	5.0.E+02	1.3.E+04	8.0.E+01	5.0.E+03	4.0.E+00	2.8.E+03
Nandarola (S5)	1.7.E+03	9.0.E+04	3.0.E+02	5.0.E+04	7.0.E+01	1.1.E+04	8.0.E+01	9.0.E+03
A.Presa (S6)	5.0.E+03	2.4.E+05	8.0.E+02	1.7.E+04	1.7.E+02	1.7.E+04	1.3.E+02	2.2.E+03
Desembocadura (S7)	5.0.E+02	5.0.E+04	2.3.E+02	5.0.E+04	2.0.E+01	5.0.E+04	1.0.E+00	1.6.E+04

Estos valores se expresan como Número más probable (NMP).

S de M: Sitios de muestreos

C T: Coliformes Totales

C Term: Coliformes Termotolerantes

E coli: Escherichia coli

Estreptococos Fecales

E S: Época seca

E Ll: Época Lluviosa



Tabla 10a. Resultados de la comunidad de macroinvertebrados del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca.

Grupo Taxonómico	Gómez (S1)	Pintada (S2)	Medina (S3)	Mercedes (S4)	Nandarola (S5)	Antes Presa (S6)	Desem bocadura (S7)
<b>Phyllum Arthropoda</b>							
<b>Orden Diptera</b>							
<b>Familia Chironomidae</b>							
Coelotanytarsus sp	33						98
Polypedilum sp	534	164	55	284	153		109
Tanytarsus sp	76				207		
Microchironomus sp	11						
Procladius sp	120	44			676		
<b>Pupas de dipteros</b>	<b>76</b>						
Genero n.i	44						
Labrundinia	33						
Cryptochironomus sp		55					11
Cladotanytarsus sp		719	109	4567	1777		11
Lopescladius sp			610				
Endochironomus sp			22				
Shaeteria sp			76			1646	
Acricotopus sp				11			
Nilotanypus sp				44		3292	
Pseudochironomus sp				65	22		
Cryptotendipes sp					11		
Fissimentum sp					65		
Micropsectra sp							11
<b>Familia Ceratopogonidae</b>							
Probezia sp	22	76	55	33	44	55	33

ni: Género no identificado  
Estos valores se expresan en Ind.m<sup>2</sup>.

Tabla 10b. Resultados de la comunidad de macroinvertebrados del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época seca.

Grupo Taxonómico	Gómez (S1)	Pintada (S2)	Medina (S3)	Mercedes (S4)	Nandarola (S5)	Antes Presa (S6)	Desem bocadura (S7)
<b>Familia Tipulidae</b>							
Hexatoma sp		11				22	
Limnophila sp						44	
<b>Orden Ephemeroptera</b>							
<b>Familia Caenidae</b>							
Caenis sp	262	22			11		
<b>Familia Tricorythidae</b>							
Trocorythodes sp	76			1286			
<b>Clase Arachnoida</b>							
<b>Sub-orden Trombidiformes</b>							
Género n.i	11					600	
<b>Hydracarina</b>							
<b>Familia Polymitaeridae</b>							
Campsurus sp							11
<b>Orden Coleoptera</b>							
<b>Familia Elmidae</b>							
Lara sp	55				11		
Stenelmis sp			76			44	
<b>Phylum Nematoda</b>							
Género n.i			33	33			
<b>Phylum Annelida</b>							
<b>Clase Oligochaeta</b>							
<b>Familia Naididae</b>							
Nais sp							164
<b>Total</b>	<b>1353</b>	<b>1091</b>	<b>1036</b>	<b>6334</b>	<b>2977</b>	<b>5703</b>	<b>448</b>

ni: Género no identificado

Estos valores se expresan en Ind.m<sup>2</sup>.

Tabla 11a. Resultados de la comunidad de macroinvertebrados del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época lluviosa.

Grupo Taxonómico	Gómez Pintada (S1)	Pintada (S2)	Medina (S3)	Mercedes (S4)	Nandarola (S5)	Antes Presa (S6)	Desem bocadura (S7)
<b>Phyllum Arthropoda</b>							
<b>Orden Diptera</b>							
<b>Familia Chironomidae</b>							
Nilotanypus sp	22					142	98
Coelotanypus sp	11	22				98	33
Procladius sp	44	22			22		
Polypedilum sp	54				87		163
Tanytarsus sp					98	76	
Shaeteria sp						163	
Cladopelma sp						65	
Cryptochironomus sp		87		54	65		185
<b>Familia Ceratopogonidae</b>							
Bezia sp	11	33	11	11	22		11
Probezzia sp			11	22	76	11	
Culicoides sp				11			
<b>Familia Tipulidae</b>							
Hexatoma sp	22	44	11			22	
Limnophila sp	22	33				11	

Estos valores se expresan en Ind.m<sup>2</sup>.

Tabla 11b. Resultados de la comunidad de macroinvertebrados del Río Ochomogo y sus principales tributarios en la época lluviosa.

Grupo Taxonómico	Gómez (S1)	Pintada (S2)	Medina (S3)	Mercedes (S4)	Nandarola (S5)	Antes Presa (S6)	Desem bocadura (S7)
<b>Orden Ephemeroptera</b>							
<b>Familia Caenidae</b>							
Caenis sp	11						
<b>Familia Leptophlebiidae</b>							
Thraulodes sp	11						
<b>Familia Tricorythidae</b>							
Tricorythodes sp	33						
<b>Familia Polymitarcyidae</b>							
Campsurus sp							22
<b>Orden Coleoptera</b>							
<b>Familia Elmidae</b>							
Lara sp			33			11	11
Gonielmis sp			33	11			
<b>Phylum Annelida</b>							
<b>Clase Oligochaeta</b>							
<b>Familia Naididae</b>							
Nais sp					65		
<b>Orden Trichoptera</b>							
<b>Familia Helocopshyidae</b>							
Helicopshyidae		11					
<b>Total</b>	252	252	99	109	435	588	425

Estos valores se expresan en Ind.m<sup>2</sup>.

Tabla 12. Resultados de materia orgánica en la subcuenca del Río Ochomogo.

Sitios de Muestreo	% E.Seca	% E.Lluviosa
Los Gómez (S1)	0.00	0.16
La Pintada (S2)	0.10	0.70
El Medina (S3)	0.00	0.03
Las Mercedes (S4)	0.16	0.54
Nandarola (S5)	0.74	0.60
A.Presa (S6)	0.53	0.10
Desembocadura (S7)	0.91	1.46



Tabla 13. Resultados de Granulometría en la subcuenca del Río Ochomogo.

Sitios de Muestreos	T de F en la A				T de F en el L				T de F en el Ar		T F
	A-G	A-M	A-F	% A	L-G	L-M	L-F	% L	Ar	% Ar	
Gómez (S1)	40	39	4	83	10	2	2	14	3	3	100
La Pintada (S2)	10	39	6	55	24	7	7	38	7	7	100
El Medina (S3)	72	12	3	87	6	3	1	10	3	3	100
Las Mercedes (S4)	70	7	3	80	11	3	2	16	4	4	100
Nandarola (S5)	35	19	1	55	27	7	5	39	6	6	100
Antes de la Presa (S6)	81	6	1	88	7	2	1	10	2	2	100
Desembocadura (S7)	24	37	3	64	21	5	2	28	8	8	100

T de F en el S: Tipo de fracción en el Sedimento

A-G : Arena Gruesa

A-M: Arena Media

A-F: Arena Fina

% A: Porcentaje de Arena

L-G: Limo Grueso

L-M: Limo Medio

L-F: Limo Fino

% L: Porcentaje de Limo

Ar: Arcilla

% A: Porcentaje de Arena