



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
UNAN-Managua
Facultad de Ciencias e Ingenierías
Carrera de Biología**

MONOGRAFÍA

**Para optar al título de Licenciatura en Biología con Mención en
Administración de Recursos Naturales**

**Tema: “Calidad de Agua del Río de Oro Mediante la Aplicación de
Índices Biológicos y Parámetros Físicoquímicos Durante la
Estación Seca y Lluviosa en el Departamento de Rivas, Año 2012.”**

Elaborado por:

Br. Yaritza del Socorro Sandoval Tijerino

Br. Antonia Mayte Torrez Ortega

Tutora: Lic. Scarleth Margarita Ráudez Reyes

Asesor Científico: MSc. Silvia Elena Hernández González

Asesor Metodológico: MSc. María Elena Vargas López

Managua, Mayo - 2013.

INDICE GENERAL

Índice.....	II
Índice de gráficos.....	VI
Índice de tablas.....	VI
Índice de figuras.....	VII
Índice de anexos.....	VIII
Abreviaciones.....	IX
Dedicatoria.....	X
Agradecimiento.....	XII

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II: OBJETIVOS	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos:.....	3
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO	4
3.1 Calidad de agua	4
3.2 Concepto de Río.	4
3.3 Estructura del hábitat de las comunidades bénticas	5
3.3.1 Sustrato	5
3.3.2 Profundidad del agua.....	5
3.3.3 Velocidad de la corriente	5
3.4 Bioindicadores.....	6
3.4.1 Sistemas de bioindicación.....	6
3.4.2 Enfoque sapróbico	6
3.4.3 Enfoque de la diversidad.....	7
3.4.4 Enfoque biótico	7
3.5 Parámetros fisicoquímicos que intervienen en el ICA	8
3.5.1 Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	8
3.5.2 pH (en unidades de pH).....	9
3.5.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 mg.l ⁻¹)	9
3.5.4 Temperatura (°C).....	10
3.5.5 Fosfato (PO ₄ mg.l ⁻¹)	10
3.5.6 Nitratos (NO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹).....	10
3.5.7 Turbidez (UNT).....	11

3.5.8 Sólidos Totales Disueltos (STD mg.l ⁻¹).	11
3.5.9 Oxígeno Disuelto (OD mg.l ⁻¹)	11
3.6 Otros parámetros físicos y químicos asociados al agua y sedimento, utilizados en el análisis de las comunidades de Macroinvertebrados y Diatomeas.	12
3.6.1 Parámetros físicos	12
3.6.2 Parámetro químico	13
3.7 Comunidad de Macroinvertebrados	13
3.7.1 Hábitat de los Macroinvertebrados	13
3.7.2 Importancia de los Macroinvertebrados	13
3.7.3 Principales grupos taxonómicos	14
3.8 Descripción de la recolecta de muestras de Macroinvertebrados.	19
3.9 Comunidad de Microalgas bentónicas (Diatomeas)	21
3.9.1 Hábitat de las Diatomeas	21
3.9.2 Importancia de las Diatomeas	21
3.9.3 Grupos taxonómicos de las Diatomeas	22
3.10 Descripción de la recolecta de muestras de Diatomeas	24
3.11 Índices Biológicos	24
3.11.1 Índice de Calidad de Agua (ICA-SV.2010)	25
3.11.2 Índice BMWP-CR (2007)	26
3.11.3 Índice de Shannon & Weaver (1963)	27
3.12 Situación ambiental de la Microcuenca del Río de Oro	27
CAPITULO IV: PREGUNTAS DIRECTRICES	29

CAPITULO V: DISEÑO METODOLÓGICO	30
5.1 Descripción del área de estudio	30
5.2 Tipo de estudio.....	30
5.3 Población	30
5.4 Muestra	30
5.5 Diseño de toma de muestras	31
5.6 Criterios de selección	31
5.7 Variables analizadas	33
5.8 Métodos y procedimientos	33
5.8.1 Metodología de obtención de información:	33
5.9 Método para la recolecta y análisis de las muestras de parámetros físicoquímicos.	34
5.10 Método de recolecta y análisis de las muestras de Macroinvertebrados. ...	35
5.11 Método de recolecta y análisis de las muestras de Diatomeas.....	36
5.12 Método de obtención del Índice de Calidad de Agua (ICA-SV.2010).....	37
5.13 Método para obtención el Índice BMWP-CR (2007)	38
5.14 Método para la obtención del Índice Shannon & Weaver (1963).	39
5.15 Análisis estadístico de la información	40
CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN:	41
6.1 Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA) mediante parámetros físicoquímicos y microbiológicos.	41
6.2 Diagnóstico de la calidad del agua basado en el índice ICA-SV, 2010.....	44
6.3 Aplicación del Índice BMWP-CR. (2007).....	46
6.3.1 Estructura Comunitaria y Riqueza de especies de Macroinvertebrados	46
6.3.2 Densidad poblacional de los Macroinvertebrados bénticos	52

6.3.3 Diagnóstico de la calidad del agua basado en el Índice BMWP-CR, 2007	56
6.4 Aplicación del índice de diversidad de Shannon & Weaver	58
6.4.1 Estructura Comunitaria de las Diatomeas bentónicas	58
6.4.2 Riqueza y abundancia porcentual de las Diatomeas bentónicas	59
6.4.3 Diagnóstico de la calidad del agua basado en el Índice Shannon & Weaver	64
CAPITULO VII: CONCLUSIONES	67
CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES	68
CAPITULO IX: BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	76

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Aporte de los Macroinvertebrados bénticos a la Riqueza de especie.	48
Gráfico 2. Aporte taxonómico de familias a la estructura comunitaria de Macroinvertebrados del Río de Oro.....	51
Gráfico 3. Aporte de los Macroinvertebrados bénticos a la densidad poblacional.....	53
Gráfico 4. Aporte de la riqueza de especies de Diatomeas encontradas en el Río de Oro.....	59
Gráfico 5. Contribución de los géneros Fito-bentónicos a la riqueza de especies.....	60
Gráfico 6. Aporte porcentual de los géneros más importantes de Diatomeas a la riqueza de especies	61
Gráfico 7. Taxa representativas de Diatomeas en los puntos muestreados durante los dos períodos estacionales, año 2012.....	63
Gráfico 8. Evaluación de la riqueza de especies uniformidad y diversidad de la comunidad béntica mediante la aplicación del índice de Shannon & Weaver.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y limitaciones de los índices ICA.....	26
Tabla 2. Sitios de Muestreos.....	31
Tabla 3. Operacionalización de variables.....	33
Tabla 4. Método de análisis de laboratorios en CIRA-UNAN.....	35
Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos y su peso asignado para la aplicación del ICA.....	37

Tabla 6. Rangos del índice de Calidad del Agua.....	38
Tabla 7. Nivel de calidad de las aguas según el Índice BMWP-CR, Springer, M. <i>et al.</i> , (2007).....	39
Tabla 8. Esquemas de clasificación de las aguas contaminadas de acuerdo a los valores del índice de Shannon & Weaver (H') según Wilhm y Dorris (1968) y Staub <i>et al.</i> (1970).....	40
Tabla 9. Clasificación de la calidad del agua del Río de Oro mediante la aplicación de la metodología ICA.....	45
Tabla 10. Lista taxonómica de los Macroinvertebrados bénticos.....	46
Tabla 11. Clasificación del nivel de la calidad del agua mediante el Índice BMWP-CR, 2007.....	56
Tabla 12. Estructura comunitaria de las Diatomeas encontradas en el Río de Oro.....	58
Tabla 13. Clasificación de la condición de contaminación de las aguas del Río de Oro mediante el Índice de Shannon & Weaver.....	65

INDICE DE FIGURAS

Fig.1 Limnodrilus sp.....	15
Fig.2 Nais sp.....	15
Fig.3 Caenis sp.....	16
Fig.4 Perlide sp.....	16
Fig.5 Glossosomatidae.....	17
Fig. 6 Tropisternus sp.....	17
Fig. 7 Argia sp.....	18
Fig. 8 Ambrysus sp.....	18

Fig. 9 Chironomus sp.....	18
Fig. 10 Cyclotella sp	22
Fig. 11 Navicula sp.....	23
Fig. 12 Gomphonema sp.....	23
Fig. 13 Nitzschia sp.....	23
Fig. 14. Mapa de localización del área de estudio y sitios de muestreo.....	32

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Situación ambiental del Río de Oro.

Anexo 2. Formato de campo para colecta de muestras

Anexo 3. Valoración de la calidad de agua en función de parámetros físicoquímicos y microbiológicos

Anexo 4. Instrumentos para la toma de muestras físicoquímicas

Anexo 5. Técnicas de recolecta y análisis de Macroinvertebrados

Anexo 6. Técnica de recolecta y análisis de Diatomeas

Anexo 7. Valores de los nueve parámetros físicoquímicos necesarios para la aplicación del ICA.

Anexo 8. Macroinvertebrados encontrados en el Río de Oro.

Anexo 9. Especies de Diatomeas encontradas en el Río de Oro.

Anexo 10. Frecuencia de observación de especies de Diatomeas.

Abreviaciones

Bits/ Ind	Biodiversidad total por individuo
BMWP	Biological Monitoring Working Party
CAPRE	Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.
CCME	El Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente
CIRA	Centro para la investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DMA	Directiva Marco de Agua
EE.UU	Estados Unidos
EPA	Agencia de Protección Ambiental
ICA-SV	Índice de Calidad de Agua - El Salvador
MARENA	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales
mg.l⁻¹	miligramos por litro
ml	mililitro
Mm	milímetros
MOFP	Materia Orgánica Fina Particulada
MOGP	Materia Orgánica Gruesa Particulada
NMP/100 ml	Número Más Probable en 100 ml
NSF	Fundación de sanidad Nacional
O₂ mg.l⁻¹	miligramos de Oxígeno por litro
OD	Oxígeno Disuelto
ONG	Organización no gubernamental
OMS	Organización Mundial de la Salud
PTAR	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
SIT	Instituto de Tecnología Stevens
Sp:	Especie
UNT	Unidad Nefelométrica de Turbidez
WQI	Índice de calidad de agua
μS.cm⁻¹	micro siemens por centímetro

DEDICATORIA

Dedico con mucho amor este trabajo:

A Dios

Quién pudo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres:

- *Elena Francisca Tijerino Ortiz y Alonso Sandoval López.*

Por su apoyo moral, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles por el soporte económico para estudiar al igual que por haberme dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A

Beatriz Sandoval Tijerino y Joan Marín Gadea por su apoyo, compañía e inspiración para este trabajo.

Yaritza Sandoval Tijerino

DEDICATORIA

A Dios padre todo poderoso por darme las fuerzas y fortalezas para luchar y poder cumplir la meta propuesta.

A mis queridos y amados padres:

Juan Antonio Torrez y Cándida Rosa Ortega por su amor incondicional, por la educación que me brindaron en el seno del hogar, los buenos consejos para mi formación integral y todo los sacrificios que hicieron para apoyarme siempre y poder culminar mis estudios universitarios, pero sobre todo por ser mi mayor fuente de inspiración.

Antonia Mayte Torrez Ortega.

AGRADECIMIENTO

Al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA-UNAN), encabezado por su Director-Fundador MSc. Salvador Montenegro Guillén y al Área de Investigación, MSc. Thelma Salvatierra, por su ayuda incondicional y permitir que se realizara este importante estudio en el Centro.

Al Jefe del Laboratorio de Hidrobiología, MSc. Luis Moreno Delgado, por su completo apoyo en cuanto a gestiones y buenos consejos en nuestras vidas.

A nuestra Tutora: Lic. Scarletth Ráudez por su gran apoyo y tutoría en este estudio; a MSc. María Elena Vargas y MSc. Silvia Elena Hernández por sus asesorías y revisión del estudio.

A, Lic. Jairo Luis Palma, Lic. Rafael Varela, Lic. Roberto Cano, MSc. Ninoska Chow Wong y MSc Ramón García. A TODOS por su apoyo técnico-científico, por sus consejos y su invaluable colaboración en nuestra formación en el ámbito profesional y quehacer del laboratorio.

A nuestros maestros de la UNAN- Managua: Que con esmero y paciencia nos transmitieron parte de su conocimiento.

A todos aquellos que no logramos mencionar pero que a la vez agradecemos su apoyo en todas las áreas de nuestra vida como profesionales.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de alteraciones en el ciclo hidrológico afectan los recursos hídricos.

Por décadas los recursos hídricos de Nicaragua han sufrido procesos de contaminación provocados por fuentes puntuales y no puntuales, producto de la actividad antropogénica. Los efectos se reflejan en una reducción de la diversidad de especies y el deterioro de la calidad del agua.

En este contexto generalizado de casi todos los sistemas hídricos del país, el Río de Oro, en el departamento de Rivas es sujeto de interés y estudio ya que se caracteriza por un caudal intermitente y corto recorrido. Este en su trayecto hasta el Lago Cocibolca es afectado por la sobreexplotación de sus aguas utilizadas para riego y es receptor del efluente de las aguas residuales provenientes de las plantas de tratamiento de la ciudad de Rivas durante la estación seca y lluviosa, causando alteraciones en el comportamiento del caudal y originando así contaminación en este recurso hídrico respectivamente, provocando cambios en las comunidades acuáticas y alteraciones fisicoquímicas del medio.

Estos cambios originan estrés a las comunidades biológicas del Río de Oro, a nivel morfológico, funcional y estructural, siendo este último el más utilizado en las evaluaciones de la calidad biológica de las aguas naturales, donde las comunidades de Macroinvertebrados y Diatomeas son considerados como organismos bioindicadores de calidad.

Este estudio propone utilizar la información biológica que proporcionan las comunidades bénticas para evaluar el estado y la calidad del agua del Río de Oro mediante de la utilización de índices biológicos y parámetros fisicoquímicos. Entre estos Índices se destaca el BMWP-CR, (2007) índice de diversidad de Shannon & Weaver, (1963) y el Índice de Calidad de Agua (ICA-SV-2010).

Los resultados obtenidos en esta evaluación aportaran la información necesaria para las autoridades competentes de las alcaldías de Rivas y San Jorge, así como instituciones del ambiente (MARENA), grupos ambientalistas, ONG nacionales e internacionales que puedan tomar medidas ecológicas y responsables que permitan el desarrollo de programas de manejo ambiental con el objetivo de lograr la recuperación, protección y conservación de este importante recurso hídrico.

CAPITULO II: OBJETIVOS

Objetivo General

- ❖ Determinar la Calidad de Agua del Río de Oro mediante la utilización de índices biológicos y parámetros fisicoquímicos, durante la estación seca y lluviosa, Año 2012.

Objetivos Específicos:

- ❖ Utilizar el Índice de Calidad de Agua ICA-SV. (2010), mediante parámetros fisicoquímicos.
- ❖ Aplicar el Índice Biological Monitoring Working Party BMWP-CR. (2007), utilizando organismos de Macroinvertebrados.
- ❖ Emplear el Índice de diversidad Shannon & Weaver (1963), a través de la Identificación de especies de Diatomeas.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Calidad de agua

La calidad de agua según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, 2001), está definida como las características físicas, químicas, biológicas y estéticas (apariencia y olor) del agua. Es decir que un agua saludable debe contener una cantidad balanceada de nutrientes y fluctuaciones normales de salinidad y temperatura y al mismo tiempo un porcentaje alto de oxígeno y recibir suficiente luz solar para un adecuado crecimiento de los organismos. Mafla, M. (2005), por su parte dice que la contaminación del agua causada por daño o alteración de su estado en condiciones normales y la pérdida de las zonas de amortiguamiento de los ríos es un problema para la salud de todos los seres vivos que habitan el planeta

3.2 Concepto de Río.

Dentro de las aguas continentales los ríos son ambientes con características que los hacen ser muy dinámicos y por tanto interesantes para el estudio biológico de organismos de pequeña talla ya que los grupos que en éstos habitan presentan cambios en sus historias de vida (reproducción, crecimiento, dispersión, entre otros) en tiempos muy cortos. Según Vannote, R. *et al.*, (1980), los ríos se definen como sistemas lóticos por tener un flujo unidireccional de agua dentro de un canal y poseen una gran heterogeneidad temporal y espacial lo que brinda a las comunidades algales un gran número de microambientes susceptibles de ser colonizados.

3.3 Estructura del hábitat de las comunidades bénticas

El hábitat se refiere al lugar específico en que vive un organismo, se conocen diferentes tipos de hábitats, son muy variados y a cada uno de ellos corresponde una comunidad determinada; dentro de un hábitat, el nicho representa el papel que desempeña en la comunidad. Los organismos de la comunidad béntica viven adheridos a la superficie de rocas, pequeñas piedras, troncos sumergidos o restos de vegetación, otros habitan en las orillas, adheridos a la vegetación emergente o sumergida. Pardo, L, *et al* (2010).

3.3.1 Sustrato

Son todos aquellos sitios en los que viven los organismos del fondo tales como piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos artificiales.

3.3.2 Profundidad del agua

La profundidad del agua es esencial para el establecimiento de las comunidades acuáticas ya que en éste intervienen factores físicos tales como luz, materia orgánica y la velocidad de la corriente, estos factores influyen en la toma de muestra así como las especies a encontrar en cada tramo seleccionado del río.

3.3.3 Velocidad de la corriente

La velocidad de la corriente es un conjunto de fuerzas físicas propias de los sistemas lóticos que afectan la morfología y distribución de los organismos que habitan los ambientes acuáticos, ya que a través de sus estructuras evolutivas permiten adaptarse y mantenerse en el medio. De acuerdo a Giller, P & Malmqvist, M. (2002) cuando la velocidad de la corriente es fuerte, influye en el tamaño de las partículas de sustratos y en la remoción de nutrientes provocando cambios físicos en la biota acuática.

3.4 Bioindicadores

Rosemberg, D & Resh, V. (1993), sugieren que un bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua es definido como especie o asociación de especies que posee requerimientos particulares con relación a un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular indique que las variables físicas o químicas consideradas se encuentran cerca de sus límites de tolerancia.

Según Vázquez, G. *et al.*, (2006), el uso de bioindicadores como herramienta para conocer la calidad del agua simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio ya que su aplicación sólo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua.

3.4.1 Sistemas de bioindicación

A partir de los años 50, la tendencia a la evaluación biológica de los ríos han sido utilizados para producir índices de los cuales hoy se conocen cerca de 100 de ellos, estando de acuerdo que los Macroinvertebrados son unos de los mejores bioindicadores de la calidad de agua así como también son de mucha importancia las Diatomeas que también son una de las más utilizadas como bioindicadores, distinguiéndose tres enfoques principales para evaluar la respuesta de las comunidades de los Macroinvertebrados y Diatomeas a la contaminación. Estos enfoques según Metcalf, J. (1989) son el sapróbico el de diversidad y el biótico.

3.4.2 Enfoque sapróbico

Este enfoque se usa para referirse a la capacidad que tenían ciertos organismos de vivir en determinados niveles de contaminación, de las que se determinaron 3 zonas, entre las cuales se encuentra la zona polisapróbica predominante de

procesos reductivos, la zona mesosapróbica parcialmente reductiva con procesos predominantemente oxidativos y la zona oligosapróbica exclusivamente a procesos oxidativos. La ventaja del sistema saprobio es que incluye a una gran variedad de taxones y comunidades siendo aplicable a todo tipo de río.

3.4.3 Enfoque de la diversidad

Incluye tres componentes fundamentales de las comunidades naturales riqueza, uniformidad y abundancia para describir la respuesta de la comunidad a la calidad ambiental. Una comunidad natural se caracteriza por presentar una gran diversidad de especies y un bajo número de individuos por especie; o un bajo número de especies y muchos individuos de éstas.

Se han desarrollado varios índices para medir la calidad del agua. Uno de los más conocidos es el de Shannon & Weaver (1963), este índice refleja igualdad ya que mientras más uniforme es la distribución entre las especies que componen la comunidad, mayor es el valor.

3.4.4 Enfoque biótico

Incluye los aspectos esenciales de la saprobiedad, combinando una medida cuantitativa de diversidad de especies con la información cualitativa sobre la sensibilidad ecológica de individuos en una expresión numérica simple. En 1995 Beck propuso el índice biótico en EE.UU, el cual se basa en la relación entre especies intolerantes y tolerantes a la contaminación, con una escala de valoración entre 0-10. Así mismo en años recientes Springer, M, *et al.*, (2007) realizó una modificación para el índice BMWP-CR basados en la relación entre especies intolerantes y tolerantes a la contaminación los valores se encuentran entre 1- 9.

Según Ghetti, P & Bonazzi, G. (1981), los Macroinvertebrados son considerados como los de mayor popularidad en la bioindicación, debido a que poseen un ciclo de vida largo, son abundantes y de amplia distribución, son fáciles de recolectar, varían poco genéticamente y se pueden observar a simple vista. Le sigue en su orden las Algas, Protozoos y Bacterias, los demás se usan con menos frecuencia, entre estos están Hongos, Virus, Macrófitas y Peces.

3.5 Parámetros fisicoquímicos que intervienen en el ICA

Las metodologías de estudio y seguimiento de la calidad de las aguas están basados casi exclusivamente en análisis fisicoquímicos y microbiológicos. El gran incremento de nuevos productos contaminantes, así como el hecho de que los vertidos son generalmente puntuales en el tiempo necesita de nuevas metodologías. Según Torres, P. *et al.*, (2009), los parámetros fisicoquímicos han sido herramienta útil para la determinación de la calidad del agua, ya que éstos han demostrado su total eficacia en la detección de vertidos contaminantes por lo que permiten la valoración de procesos de autodepuración. A continuación se describen los 9 parámetros utilizados con mayor frecuencia, además de ser los que intervienen en el Índice ICA.

3.5.1 Coliformes Fecales (NMP/100 ml)

Según Darner, A. & Alvarado, M. (2005), los coliformes fecales son un grupo de bacterias en forma de bastón gran-negativos, anaeróbicas facultativas, capaces 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, habitando en su mayor parte en el tracto digestivo del intestino del hombre y de otros animales de sangre caliente. Componen la flora bacteriana fecal los géneros *Escherichia sp*, *Citrobacter sp*, *Enterobacter sp*, *Klebssiella sp*, *Yersinia sp* y *Serratia sp*.

3.5.2 pH (en unidades de pH)

El **pH** es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución indicando la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias determinando muchas características notables de la estructura y actividad de las biomacromoléculas y, por tanto, del comportamiento de células y organismos. La **escala de pH** típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más iones en la disolución) y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. Un pH 7 indica la neutralidad de la disolución (cuando el disolvente es agua). wikipedia.org/w/index.php

Generalmente, 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, J. (1981).

3.5.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅ mg.l⁻¹)

Es un parámetro que mide la cantidad O_2 consumido por la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación de un cuerpo de agua y normalmente se mide transcurridos cinco días de incubación (DBO₅), su expresión es en miligramos de Oxígeno por litro (O_2 mg.l⁻¹) y tiende a ser menor cuando el nivel de Oxígeno Disuelto es más alto. wikipedia.org/w/index.php.

3.5.4 Temperatura (°C)

Según Heathcote (1998) citado por Dumailo, S. (2003), la temperatura es una medida del calor o la energía térmica de las partículas de una sustancia que condicionan la vida acuática cuando existen variaciones bruscas. Estas fluctuaciones pueden afectar la habilidad del agua de retener oxígeno y ser letales para muchas especies que ahí habitan. Este parámetro se utiliza en la evaluación de la calidad del agua, aunque depende de factores tales como la presencia de efluentes industriales, la vegetación local y condiciones meteorológicas como nubosidad, viento y presión atmosférica.

3.5.5 Fosfato (PO₄ mg.l-1)

Según Castro, M. (1987), son compuestos esenciales en toda forma de vida acuática, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, problemas de crecimiento de plantas indeseables y acumulación de sedimentos en embalses y lagos. Según Chaves, J & Orante, G. (2010), los compuestos de fosfato se encuentran en las aguas residuales que provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza que se vierten directamente a las aguas superficiales.

3.5.6 Nitratos (NO₃- mg.l-1)

Lenntech. (2007), plantea que los nitratos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno. Según Roldán, G. (2003), en un medio acuático natural se espera encontrar la mayoría del nitrógeno como nitratos en lugar de la forma oxidada, además las altas concentraciones indican contaminación agrícola y actividad bacteriológica en el cuerpo de agua.

3.5.7 Turbidez (UNT).

Según Ramírez, A & Viña, G. (1998), 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 particulado, 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.

3.5.8 Sólidos Totales Disueltos (STD mg.l-1).

Según Ramírez, A & Viña, G. (1998) los Sólidos Totales Disueltos (STD) son la materia disuelta en el agua y comprenden las sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. Su presencia en el agua puede deberse a fuentes naturales, descargas de efluentes de aguas servidas, descargas de desechos industriales y escurrimientos urbanos.

3.5.9 Oxígeno Disuelto (OD mg.l-1)

Es un gas que se encuentra libre en la naturaleza o combinado formando compuestos químicos con otros elementos, según González, A. (1988), su importancia está ligada estrechamente con el metabolismo de los organismos acuáticos y la respiración de tipo aeróbica. De acuerdo a Wetzel, R. (1981) 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. Por otro lado, la solubilidad del oxígeno se ve afectada de manera no lineal por la temperatura, aumentando considerablemente al disminuir la temperatura del agua.

3.6 Otros parámetros físicos y químicos asociados al agua y sedimento, utilizados en el análisis de las comunidades de Macroinvertebrados y Diatomeas.

Según Custodio, E & Llamas, R. (2001), 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 antropogénica (el ambiente climático, el ambiente geológico y la acción del hombre o contaminación).

3.6.1 Parámetros físicos

3.6.1.1 Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

Según Ramírez, A & Viña, G. (1998) la conductividad eléctrica o específica es una medida de la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica en función de la concentración de iones 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 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

3.6.1.2 Textura del sedimento

Según Contreras, D; *et al* (2011), se refiere al tamaño de grano en el sustrato soluble, de tal manera que su importancia se basa en las consecuencias ecológicas de los habitantes del sedimento, dependiendo de la forma y el tamaño de las partículas de sedimento habrá más o menos espacios intersticiales disponibles para que los organismos del bentos puedan desarrollar comunidades.

3.6.1.3 Materia Orgánica

De acuerdo con Contreras, D. *et al.*, (2011), la materia orgánica es el conjunto de residuos vegetales y animales más o menos descompuestos por la acción de los microorganismos del suelo.

3.6.2 Parámetro químico

3.6.2.1 Nitrógeno Total (NT mg·l-1)

Según Wetzel, R. (1981), el nitrógeno en el medio acuático se encuentra de distintas formas, como nitrógeno gas, Amonio (NH_4^+), Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-) que son las formas de nitrógeno inorgánico disuelto altamente dependientes de los procesos biológicos para su asimilación y regeneración; la otra fracción importante la conforma el nitrógeno orgánico particulado y disuelto, el cual es resistente a la rápida degradación bacteriana y normalmente constituye más de la mitad del total de nitrógeno disuelto en el agua.

3.7 Comunidad de Macroinvertebrados

3.7.1 Hábitat de los Macroinvertebrados

Según Pardo, L. *et al.*, (2010), los hábitats de los Macroinvertebrados son cinco: rápidos con sustratos duros, pozas con fondos blandos, bancos vegetados, detritus y macrófitos sumergidas. Los Macroinvertebrados son el grupo dominante en los ríos con estos diferentes tipos de hábitats, aunque también se encuentran en la zona litoral y el fondo de lagos y humedales.

3.7.2 Importancia de los Macroinvertebrados

Los Macroinvertebrados, según Roldán, G. (1988), constituyen uno de los componentes bióticos más importantes en un ecosistema acuático por su rol en la cadena alimenticia. Su distribución, abundancia y diversidad está determinada por

las condiciones físicas y químicas del medio acuático donde se desarrollan. Algunas especies tienen rangos de tolerancia estrecho (esteno) o amplio (euri) por lo que para algunos parámetros ambientales este conocimiento es el que permite su utilización como indicador de la calidad de agua. Los principales grupos taxonómicos que conforman las comunidades bénticas de los sistemas lóticos son: Anélidos, Artrópodos, Nemátodos y Moluscos.

3.7.3 Principales grupos taxonómicos

3.7.3.1 Phylum Nematoda

Según Roldán, G. (1988), este Phylum representa un grupo importante del bentos, siendo la mayoría de ellos especies parásitas de vida libre distribuidas en todos los hábitats dulceacuícola, pueden ser detritívoros y herbívoros, se encuentran a 3 o 4 cm de profundidad y más del 80% de su producción ocurre en la zona más profunda del sedimento fino alcanzando densidades de $1 \times 10^6 \text{Ind.m}^2$ por lo que su taxonomía es difícil e incompleta.

3.7.3.2 Phylum Annelida

Según Roldán, G. (1988), este Phylum es representado por las Clases Oligochaeta, Polychaeta e Hirudinea. La Clase Oligochaeta juega un papel muy importante en el medio ecológico ya que se caracteriza por habitar aguas eutrofizadas con grandes cantidades de detritus y escasa concentración de oxígeno, es representado por las familias Tubificidae y Naididae importantes bioindicadores de calidad de agua.

a) Clase Oligochaeta se caracteriza por habitar aguas eutrofizadas con grandes cantidades de detritus y escasa concentración de oxígeno sobre fondos fangosos.

Familia Tubificidae: estos organismos son muy importantes ya que se encuentran en términos de miles de individuos por metro cuadrado, constituyéndose como indicadores de contaminación acuática, viven a varios metros de profundidad donde el oxígeno es escaso tolerando anoxia por muchos días.



Fig.1 *Limnodrilus sp*

Fuente: Sandoval, Y & Torrez.
(2012)

Familia Naididae: estos organismos viven en aguas tanto corrientes como quietas en el fondo sobre piedras, restos de plantas y sobre vegetación su alimentación consiste principalmente de algas.



Fig.2. *Nais sp*

Fuente: Sandoval, Y & Torrez.
(2012)

b) Clase Hirudinea: en su mayoría la conforman especies dulceacuícolas y pocas especies toleran corrientes rápidas, preferentemente se encuentran en aguas poco profundas con vegetación en los bordes de las lagunas, lagos y ríos lentos, son gusanos segmentados de notable uniformidad, aplanados dorso-ventralmente, de 0,5 a 46 cm.

c) Clase Polychaeta

Son animales acuáticos exclusivamente marinos caracterizados por portar en cada segmento un par de parapodos, con su rama dorsal y su rama ventral, dotados de numerosas quetas (lo que da nombre a los poliquetos, literalmente "muchas quetas").

3.7.3.3 Phylum Arthropoda

Según Roldán G. (1988), este es el Phylum más numeroso y diverso del reino animal, en tanto que el término se aplica a invertebrados dotados de un esqueleto externo y apéndices articulados, incluye entre otros, insectos, arácnidos, crustáceos y miriápodos. Hay casi 1, 200,000 especies descritas, en su mayoría insectos que representan al menos el 80% de todas las especies animales conocidas, también conforman varios grupos de artrópodos que están perfectamente adaptados a la vida en el aire igual que los vertebrados amniotas, a diferencia de los demás Phyla, son acuáticos o requieren ambientes húmedos además su anatomía, fisiología y su comportamiento revelan un diseño simple pero admirablemente eficaz. Se identifican 7 órdenes que se describen a continuación.

a) **Orden Ephemeroptera:** Son conocidos como efímeras, estos insectos son exclusivamente acuáticos poseen características singulares a diferencia de los otros ya que poseen cercos largos y filamentosos, por otro lado las ninfas de Ephemeroptera viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas y sólo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación por lo que se les considera indicadores de buena calidad del agua.



Fig.3 *Caenis sp*

Fuente: Sandoval, Y & Torrez.
(2012)

b) **Orden Plecoptera:** Son llamados moscas de piedras, son fácilmente reconocidas por varias características morfológicas, son de cuerpo suave y alargado, las ninfas de los Plecóptera viven en aguas rápidas bien oxigenadas debajo de piedras, troncos, ramas y hojas, también se ha observado en ciertos casos que son especialmente



Fig.4 *Perlidae sp*

Fuente: Gutiérrez, P. &
Springer, M. (2010)

abundantes en riachuelos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2000 m de altura, son por tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas.

c) **Orden Trichoptera:** la mayoría son mariposas y polilla, estos organismos juegan un papel importante en los ambientes acuáticos especialmente ríos y quebradas ya que son los encargados del reciclaje de nutrientes, en estos ambientes estas larvas producen sedas con la que elaboran estuches y refugios que les sirve como camuflaje contra depredadores, además ayuda en la respiración y los protege contra el arrastre que producen las corrientes, estas capacidades le han permitido explorar con éxito diferentes ambientes.



Fig.5 *Glossosomatidae*
Fuente: Gutiérrez, P & Springer, M.
(2010).

Según Springer M, *et al.*, (2010), representan un grupo muy diverso y sus larvas poseen distintos ámbitos de tolerancia basadas según la familia o el género al que pertenecen, por esta razón son muy útiles como bioindicadores de calidad de agua y la salud del ecosistema.

d) **Orden Coleoptera:** Son llamados escarabajos y mariquitas, son insectos holometábolos con un desarrollo de cuatro fases: huevo, larva, pupa y adulto, la mayoría viven en aguas continentales lóxicas y lénticas, en tanto que muchos de estos organismos se consideran acuáticos, semiacuáticos y semiterrestres, entre estos los acuáticos tienen amplia diversidad y adaptaciones para la vida en el agua tanto en fase larval como adulta.



Fig 6. *Tropisternus sp*
Fuente: Sandoval, Y & Torrez.
(2012)

e) **Orden Odonata:** Son insectos conocidos como libélula o caballito del diablo y su ciclo de vida puede durar desde pocas horas a años, son hemimetábolos con un desarrollo de tres fases: huevo, ninfa y adulto, estos viven en pozos, pantanos, márgenes de lagos también en corrientes lentas y poco profundas, por lo regular, rodeados de abundante vegetación acuática sumergida o emergente, estos habitan en aguas limpias o ligeramente eutrofizadas.



Fig.7 *Argia sp*

Fuente: Sandoval, Y & Torrez. (2012)

f) **Orden Hemiptera:** Son llamados chinches de agua por poseer las partes bucales modificadas y tener un pico chupador insertado cerca al extremo anterior de la cabeza, estos son organismos hemimetábolos con una metamorfosis incompleta, viven en remansos de ríos y quebradas, por lo que pocos géneros resisten corrientes rápidas, además de ser depredadores de insectos acuáticos y terrestres.



Fig 8 *Ambrysus sp*

Fuente: Sandoval, Y & Torrez. (2012)

g) **Orden Diptera:** es uno de los órdenes de insectos más diverso con casi 153,000 especies descritas en el ámbito mundial, de la misma manera es el grupo más importante de los insectos acuáticos (moscas, mosquitos y chaoboridos), además son constituyentes importantes del bentos en aguas corrientes, los adultos nunca son acuáticos pero cumplen la mayor parte de su ciclo de vida como formas inmaduras de agua dulce, tienen de 3 a 4 mudas para crecer y llegan a sobrevivir hasta 2 años de vida. Dentro de este grupo se destacan familias de gran interés ecológico como los Chironomidae, los que representan el 50% de la estructura comunitaria de muchos ambientes dulceacuícolas.

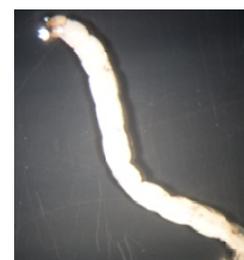


Fig.9 *Chironomus sp*

Fuente: Sandoval, Y & Torrez. (2012)

Según Ráudez, S. (2004), la importancia de este grupo radica en la tolerancia que han desarrollado sus larvas ante la contaminación de origen orgánica, la que consecuentemente reduce las concentraciones de oxígeno en el medio, provocando que los taxa desarrollen un tipo de hemoglobina que facilita la respiración en condiciones de anoxia, por estas razones estos organismos son utilizados como indicadores o sensores fieles de la calidad del agua.

3.8 Descripción de la recolecta de muestras de Macroinvertebrados.

A la observación *in situ* se debe considerar que el tramo a seleccionar debe ser lo más representativo posible de la generalidad del río, no debe presentar indicios de haber sufrido alguna perturbación natural o inducida reciente que puede alterar sus características fisicoquímicas normales; al iniciar el muestreo se deben tomar en cuenta los diferentes hábitats identificados tales como zonas concurrentes suaves, corrientes fuertes, sustratos duros, sustratos suaves, vegetación acuática emergente, presencia de materia orgánica en descomposición (hojarasca y madera) tratando de recolectar la mayor diversidad posible.

Roldán, G. (1988) describe que existe una diversidad de formas para recolectar Macroinvertebrados acuáticos por lo que la selección de los métodos varía según el tipo de estudio, el cuerpo de agua, hábitat de interés e incluso el presupuesto disponible. En las imágenes que se muestran a continuación se describen de forma general algunos métodos comunes de trabajo dentro estas se encuentra la Red D, Red de pantalla, Red Surber, Sustratos artificiales y Draga.



Red D-net

La Red D, equipo de muestreo utilizada en ríos, compuesta de una vara de aluminio con malla fina en forma de triángulo. Según Sermeño M & Springer M (2010) el método Red D puede ser complementada con un colador para una mayor eficacia del método.



Red de pantalla

Red de mano fina o de pantalla se utiliza en contra la corriente, en rápidos y remansos, posteriormente se remueve el sustrato corriente arriba de manera que los organismos queden atrapados dentro de la red.



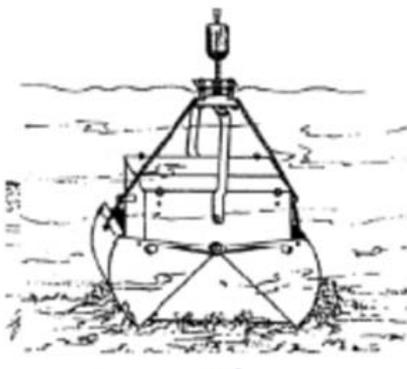
Red Surber

La red de Surber, tiene la característica de muestrear un área determinada del fondo del cuerpo de agua, se usa en áreas sin flujo, para la recolecta de las muestras se remueve el fondo y se crea una corriente de agua con la mano para que los organismos caigan a la red.



Sustrato artificial

Los sustratos consisten en canastas de alambre (50 cm de longitud por 20 de diámetro) con rocas o paquetes de hojas que se colocan en el fondo de los cuerpos de agua esperando cuatro semanas para ser colonizados por la fauna béntica



Draga

Otra técnica para recolectar muestras de Macroinvertebrados son las dragas, existen diferentes tipos, entre ellas está la draga Van veen, con 305 cm² de captura utilizada para muestrear en ríos, para utilizarse en sustratos suaves de sedimentos finos.

3.9 Comunidad de Microalgas bentónicas (Diatomeas)

3.9.1 Hábitat de las Diatomeas

Según Bikuña & Fraile. (2008), estos organismos viven flotando libremente en el agua cuando forman parte del plancton, en el bentos cuando se adhieren al sustrato y en el perifiton cuando están inmersos en una matriz de polisacáridos y asociadas a hongos y bacterias.

3.9.2 Importancia de las Diatomeas

Según la Confederación Hidrográfica del Ebro (2005), el uso de las microalgas bénticas para evaluar la calidad de agua es una práctica habitual en muchos países europeos, no obstante la inmensa mayoría de los estudios realizados se refiere a diatomeas y existe mucho menos información sobre los restantes grupos

de algas. Asimismo los ríos han sido el objeto preferente de estudio, mientras en los lagos el uso de microalgas como bioindicadores es reciente. Por otra parte en la aplicación de la Directiva Marco del Agua DMA (2005), las microalgas bénticas se consideran útiles para la detección y seguimiento de las presiones ambientales debido a la eutrofización, incremento de materia orgánica, salinidad y acidificación.

Según Bikuña, B & Fraile, H (2008), las Diatomeas son el grupo más diverso de las microalgas bentónicas; suelen constituir entre el 80 y 90% de la comunidad del perifiton, tienen como ventaja adicional la buena manipulación y conservación de muestras, lo que se debe en parte al esqueleto de sílice, el frústulo de elevada resistencia cuyas características morfológicas son la base de la identificación de las especies, por esta razón existen estudios, procedimientos de muestreo, análisis y métricas ya estandarizadas, que demuestran que las comunidades de Diatomeas integran los cambios de calidad de agua de dos meses anteriores al muestreo evidenciando el desarrollo de la comunidad fitobéntica. Existen dos ordenes taxonómicos principales de diatomeas, centrales y pennales.

3.9.3 Grupos taxonómicos de las Diatomeas

3.9.3.1 Orden Centrales: tienen simetría más o menos radiada circular, (simetría radial circular) vistas diferentes, poseen una ornamentación radial alrededor del centro o dispuesta concéntricamente (simetría axial) y carecen de rafe o pseudorafe, consecuentemente son inmóviles, son fundamentalmente marinas, también tienen espinas y apéndices externos, así como bandas intercalares en la región del cíngulo. Entre los géneros representativos está *Cyclotella* sp. Figura continuación

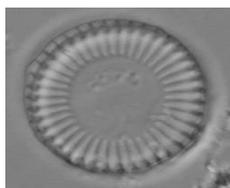


Fig 10 *Cyclotella* sp

Fuente: Sandoval, Y & Torrez. (2012)

3.9.3.2 Orden Pennales: son de valvas alargadas en forma de hueso con simetría bilateral; es decir con ornamentos dispuestos simétricamente, referidos a un plano longitudinal medio, paralelamente al cual se extiende el rafe o rafees, son móviles y generalmente dulceacuícolas. Entre los géneros más destacados están, *Navicula sp*, *Nitzschia sp* y *Gomphonema sp*.

Navícula sp: incluye individuos con valvas lanceoladas, estriadas transversalmente en la zona media, en sentido opuesto a los polos. Los extremos de las células son redondeados.

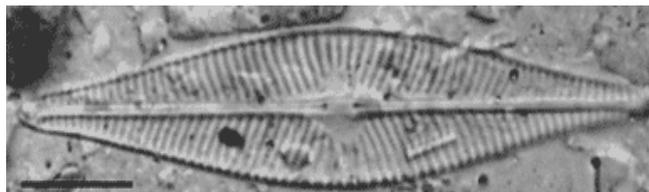


fig 11 *Navicula sp*

Fuente: Sandoval, Y & Torrez. (2012)

Gomphonema sp: este género de Diatomea agrupa células cuyas caras pleurales son cuneiformes. Las células se pueden encontrar fijas a sustratos mediante pedúnculos gelatinosos simples



Fig 12 *Gomphonema sp*

Fuente: Sandoval, Y & Torrez. (2012)

Nitzschia sp: este género agrupa células, en general pequeñas, con valvas lanceoladas que presentan estrías transversales muy finas, apenas visibles y dispuestas densamente.

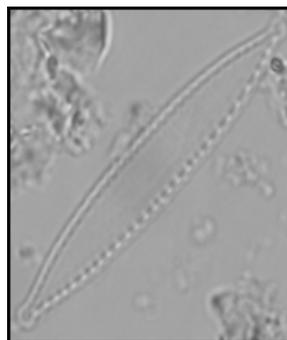


Fig 13 *Nitzschia sp*

Fuente: Sandoval, Y & Torrez. (2012)

3.10 Descripción de la recolecta de muestras de Diatomeas

Sustratos naturales móviles: como criterio general, se recomienda muestrear las comunidades superficiales, parduzcas y resbaladizas que se desarrollan sobre sustratos duros estables situados en zonas sumergidas del lecho fluvial.

Sustratos artificiales: se toma muestra sobre superficies artificiales tales como: ladrillos puentes y tejas, siempre que se garantice su presencia en el agua durante ocho semanas.

Macrofitas: se captan muestras de la vegetación acuática emergente (macrófitas). Estas comprenden las macroalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas.

3.11 Índices Biológicos

González, M & García, D. (1984) enuncian que los índices biológicos han sido utilizados desde principios del siglo XX con distintas finalidades. El primer intento de su aplicación lo hicieron Kolkwitz & Marsson (1902, 1908 y 1909) al definir los distintos grados o etapas de recuperación de un río después de haber sufrido una contaminación orgánica y establecer el conocido sistema de las saprobias. Estos índices expresan la presencia y abundancia de ciertas especies indicadoras de la calidad de las aguas, ponderándolas según su tolerancia a la contaminación orgánica.

3.11.1 Índice de Calidad de Agua (ICA-SV.2010).

El Índice de calidad de agua fue creado y diseñado por Brown en 1970 primeramente llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como INDICE DE CALIDAD DEL AGUA, (ICA), desarrollado por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF) como un esfuerzo por idear un sistema para comparar la calidad de agua en ríos en varios lugares del país. Torres, P. *et al.*, (2009).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes ya que mide los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río, además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo.

Los índices de calidad del agua (ICA) surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos, estos presentan a su vez ventajas y limitaciones en el proceso de aplicación tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 .Ventajas y limitaciones de los índices ICA.

Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua. • Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio. • Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales. • Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos. • Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas. • Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas. • Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionan un resumen de los datos. • No proporcionan información completa sobre la calidad del agua. • No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua. • Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación. • No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra. • Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal. • Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como una herramienta para la gestión del recurso agua.

Fuente: Torres, P. *et al.*, (2009).

3.11.2 Índice BMWP-CR (2007)

Existen múltiples adaptaciones mundiales de este índice creado en primer lugar por Hellawell (1978), posteriormente Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega (1988), crearon la adaptación del índice para la Península Ibérica que se denota por **BMWP'** para los ríos de Gran Bretaña, una de las últimas adaptaciones Iberian Biológica Monitoring Working Party (**IBMWP**) de Alba-Tercedor (2002), creada tras el acuerdo obtenido en el III Congreso Ibérico de Limnología debido a actualizaciones taxonómicas y modificación de alguna de las puntuaciones de las familias de macroinvertebrados. También existe la participación de Roldán, G. (2003) quien adaptó el **BMWP** para Colombia y últimamente el **BMWP-CR** (*Biological Monitoring Working Party*), fue modificado para Costa Rica por Springer, M. (2007).

Este índice es una herramienta de fácil utilización y aplicación que determina la calidad del agua ordenando a las familias de los Macroinvertebrados acuáticos en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia se le hace corresponder una puntuación que oscila entre 1 y 9, la puntuación se asigna en dependencia de la presencia o ausencia de las familias encontradas al igual del grado de sensibilidad a la contaminación que éstas puedan tolerar, este índice se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de Macroinvertebrados.

3.11.3 Índice de Shannon & Weaver (1963)

El índice de Shannon & Weaver (1963) toma en cuenta el número de especies y la equitatividad (E) o uniformidad de la distribución del número de individuos en cada especie, es más sensible para especies raras y estima la diversidad de la comunidad en que fue tomada la muestra, se mide en unidades de bits/Ind, entre rangos de cero a un valor máximo de 4.5 bits/Ind.

3.12 Situación ambiental de la Microcuenca del Río de Oro

La Microcuenca ha sido sometida a una creciente degradación producto de actividades antropogénicas, lo que ha provocado pérdida del potencial de sus tierras y la calidad del agua principalmente del sistema fluvial superficial y subterráneo. Por muchos años ha sido utilizada para el cultivo de musáceas (ver anexo 1), actividad que se ha llevado a cabo con técnicas convencionales tales como el uso indiscriminado de agroquímicos, la explotación de los recursos naturales, sobreuso de los suelos y deforestación sin la aplicación de medidas apropiadas, éstos son algunos de los factores que ponen en peligro la productividad de la microcuenca teniendo como efectos la degradación progresiva del recurso agua y la afectación a la población humana asentada en el entorno y aguas abajo del río.

El Río de Oro presenta problemas de sobreexplotación y contaminación de sus aguas. Se puede ver la existencia de pozos de galería a sus orillas usados para el riego de musáceas, el vertedero municipal con un área de 4,2 ha recibiendo un promedio de 36 m³ de residuos diarios depositados a cielo abierto, ubicado a aproximadamente 260 m de la naciente. Éste atraviesa el casco urbano del municipio de Rivas y San Jorge donde se encuentra un componente importante de infraestructura urbana, las cuales vierten sus residuos sólidos y líquidos directamente al mismo, pero el principal efecto lo produce el efluente de las aguas residuales proveniente de las plantas de tratamiento, las cuales han contribuido al deterioro de la calidad biológica y ecológica del ecosistema ribereño. (Ver anexo 1).

CAPITULO IV: PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Logrará el Índice de Calidad de Agua ICA-SV, (2010) determinar la calidad de agua del Río de Oro?

¿Permitirá el Índice biológico BMWP-CR, (2007) conocer el nivel de la calidad de agua del Río de Oro?

¿Podrá el índice de Shannon & Weaver, (1963) determinar la calidad del agua del Río de Oro?

CAPITULO V: DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 Descripción del área de estudio

El río de Oro se ubica en el departamento de Rivas, cuenta con 7 km de longitud entre la latitud 11° y longitud 86°, nace en la comunidad Las Piedras del municipio de Rivas el cual cuenta con 41,703 habitantes, en su recorrido pasa por el municipio de San Jorge con 9,954 habitantes y finalmente desemboca en el gran Lago Cocibolca. Inifom.gob.ni (2012).

5.2 Tipo de estudio

El presente estudio es descriptivo, cuantitativo y de corte transversal el cual permitió conocer y describir la calidad del agua del Río de Oro, Departamento de Rivas, año 2012.

5.3 Población

Está constituida por el número de organismos encontrados en las muestras de las comunidades biológicas de Macroinvertebrados y Diatomeas que presentó el Río de Oro durante la estación seca y lluviosa, año 2012.

5.4 Muestra

La muestra de estudio está constituida por tres matrices: agua, sedimento y sustratos. Es de carácter no probabilístico, los puntos de muestreo se seleccionaron bajo técnica de conveniencia de acuerdo a la distancia y la influencia de los factores ambientales entre cada punto de muestreo por lo que se realizó a una distancia aproximada de 2 km entre cada punto seleccionado.

5.5 Diseño de toma de muestras

En la tabla 6 se muestra el diseño de muestreo realizado en el Río de Oro durante la estación seca (Marzo) y lluviosa (Septiembre) del año 2012.

Tabla 2. Sitios de muestreo

Sitios de muestreo	Matriz	Variables
Las Piedras	Agua Superficial	} Parámetros físicoquímicos
19 de Julio		
Santa Carlota		
Desembocadura al lago	Interfase agua sedimento	} Comunidad de Macroinvertebrados
	Sustratos (piedras y troncos)	} Comunidad de Diatomeas

5.6 Criterios de selección

En la figura 14 (mapa) muestra el área de estudio y los sitios de muestreo seleccionados que a continuación se describen:

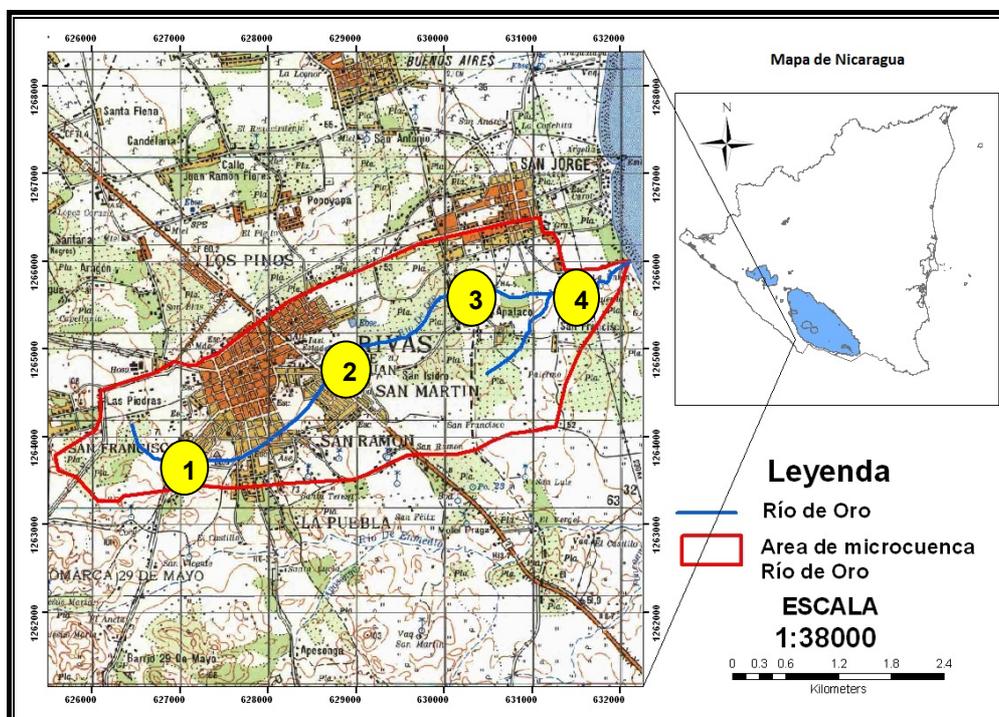
Punto # 1 (Las Piedras): se seleccionó para conocer la calidad biológica que presenta las aguas del Río en la parte alta (naciente). Este punto fue caracterizado por la sobre explotación de sus aguas a través de pozos utilizados para el riego de musáceas, ganadería extensiva y por tener a aproximadamente 260 m de longitud el vertedero municipal con cantidades de desechos sólidos expuestos al aire libre.

Punto # 2 (19 de Julio): se consideró la toma de muestras en este sitio con el fin de conocer el estado de la calidad del agua y determinar el grado de contaminación que la población le ocasiona ya que se encuentra en el centro del ecosistema urbano del municipio de Rivas.

Punto # 3 (Santa Carlota): este sitio se caracteriza por mostrar la mezcla de las aguas del río con las provenientes del efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Rivas y el efecto del monocultivo de musáceas y ganadería extensiva.

Punto # 4 (La Desembocadura): el criterio que se utilizó para seleccionar este punto fue el de conocer la calidad de las aguas del Río de Oro que desembocan al Lago Cocibolca. La muestra se tomó a una distancia aproximada de 1000 m de la costa

Figura 14. Mapa de localización del área de estudio y sitios de muestreo.



5.7 Variables analizadas

- ❖ Parámetros fisicoquímicos
- ❖ Comunidad de Macroinvertebrados
- ❖ Comunidad de Diatomeas

Tabla 3. Operacionalización de variables

VARIABLES	SUBVARIABLES	INDICADORES
Parámetros Fisicoquímicos	Coliforme fecales, pH, DBO ₅ , Nitratos, Fósforo total, Temperatura, Turbidez, Sólidos Totales Disueltos Oxígeno Disuelto.	Calidad de agua Excelente a Pésima
Comunidad de Macroinvertebrados	Presencia-ausencia de los organismos	Aguas de calidad excelente a contaminadas.
Comunidad de Diatomeas	Riqueza y abundancia	Aguas limpias a contaminadas

5.8 Métodos y procedimientos

5.8.1 Metodología de obtención de información:

5.8.1.1 Información directa

Se realizaron tres visitas in situ: una de reconocimiento del área de estudio y dos para realizar el muestreo, época seca (Marzo) y época lluviosa (Septiembre), año 2012.

Para la recolecta de información del sitio a muestrear se utilizaron los Formatos de Campo para la Colecta de Muestra (FOR-CIRA-ATACC-27), formato de campo oficial declarado para la toma de muestras en el CIRA-UNAN. (Ver anexo 2). También se utilizaron instrumentos esenciales como GPS, para la ubicación del sitio, cinta métrica para medir distancias y cronómetro para medir el tiempo en cada punto de muestreo.

5.8.1.2 información indirecta

Se hizo uso de métodos de observación indirecta en la aplicación de entrevistas dirigidas a instituciones involucradas y preguntas a pobladores de las comunidades ubicadas en el sitio de estudio.

5.9 Método para la recolecta y análisis de las muestras de parámetros fisicoquímicos.

Las muestras de aguas superficiales para la determinación de los parámetros fisicoquímicos fueron captadas a través de frascos previamente esterilizados e identificados. En el campo se midieron parámetros tales como: pH, con el uso de pH-metro, Oxígeno Disuelto, a través de oxigenometro y Conductividad mediante conductivímetro tal como se muestra en anexo 4 habiéndose anotados los datos de campo en formatos (FOR-CIRA-ATACC-27). Ver anexo 2

Seguidamente las muestras de agua captadas fueron preservadas para su posterior traslado a los laboratorios donde se les realizaron los análisis fisicoquímicos siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales y Aguas Naturales del CIRA -UNAN que obedecen a los procedimientos descritos en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005), 20 th edition, métodos utilizados para el análisis que se detallan en la tabla a continuación.

Tabla 4. Método de análisis de laboratorios del CIRA-UNAN.

Parámetros	Método Analítico	Standard Methods	Referencias	Limite de detección/Uds.
Temperatura	pH-metro	4500.B ¹	APHA. (2005). <i>Standard Methods for the Examination of Wastewater</i> 21ed.Washington	^o C
Conductividad	Método de laboratorio	2510.B ¹		$\mu\text{S.cm}^{-1}$
Oxígeno disuelto	modificación de la azida	4500.O.C		2,94, mg.l ⁻¹
Coliforme fecal	NMP/10ml	9221E		<2, NMP/100 ml
pH	Potenciométrico	4500-H.B ¹	APHA. (2005). <i>Standard Methods for the Examination of Wastewater</i> 21ed. Washington	0.1 a 14.0 Unidades
DBO ₅	(Modificación de Azida – prueba de los cinco días).	5210 ¹ .B		1,00 mg.l ⁻¹
Fosfato	Ácido ascórbico(método colorimétrico)	4500.P.B.E1		0,016 mg.l ⁻¹
Nitrógeno total	Segunda derivada con digestión previa con persulfato de potasio	Segunda Derivad a ⁵	APHA. (2005). <i>Standard Methods for the Examination of Wastewater</i> 21ed. Washington	0.100 mg.l ⁻¹
Turbidez	Nefelométrico	2130.B ¹		1.0 a 100 UNT
Sólidos Totales Disueltos	Método gravimétrico.	2540 C ¹		5.0 a 20000 mg.l ⁻¹
Nitrato	Cromatografía iónica	4500-NO ₃ ⁻ .B ¹		0,05 mg.l ⁻¹
Granulometría	Tamiz(arena),Pipeta kohn (limo y arcilla)	PON-RQA-03	Método de norma Austriacas, tamaño del grano: Arena, Arcilla y Limo (Norma austriaca L - 1061-88).	% de cada fracción
Materia Orgánica	Walkley y Black(Dicromato de potasio)	PON-RQA-02	López, R.(1990). El diagnóstico de suelos y plantas. Método de campo y laboratorio.	Porcentaje %

Fuente: CIRA-UNAN 2007

5.10 Método de recolecta y análisis de las muestras de Macroinvertebrados.

Las muestras de Macroinvertebrados bénticos establecidos en la interface agua-sedimento del sistema lotico se recolectó a través de la Red D, mediante un recorrido en contra de la corriente de unos cinco minutos a las orillas del tramo del

río a muestrear; posteriormente el material biológico recolectado se depositó en una bandeja plástica tamizándolo con un tamiz de luz de malla de 200 μm , donde el material retenido se depositó en frascos de 250 ml previamente rotulados con la información del sitio, preservándose con alcohol al 95%.

Seguidamente la muestra fue trasladada al Laboratorio de Hidrobiología donde se registró en la bitácora de recepción de muestra (BIT-GEN-HB-01) para proceder al análisis cualitativo y cuantitativo de Macroinvertebrados siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología (PON-HB-09 y PON-HB-10). Ver anexo 5

5.11 Método de recolecta y análisis de las muestras de Diatomeas

La recolección de Diatomeas se obtuvo a través del raspado de sustratos caracterizados como piedras menores de diez centímetros y trozos de raíces de plantas acuáticas sumergidas en una distancia de 100 metros sobre el curso del río. Mediante repeticiones sucesivas, los sustratos fueron cepillados y depositados en pana plástica hasta obtener muestras representativas, las que se guardaron en termo con hielo y posteriormente fueron transportadas al laboratorio sede para su posterior análisis.

En el Laboratorio de Hidrobiología la muestra fue registrada en bitácora de recepción de muestras (BIT-GEN-HB-01) para proceder al análisis cualitativo y cuantitativo de Diatomeas siguiendo los procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología, área de Fitobentos (PON-HB-04) reportándose en individuos contados según especie (Ver anexo 6).

5.12 Método de obtención del Índice de Calidad de Agua (ICA-SV.2010).

El cálculo del ICA se realizó a través de la siguiente fórmula: $ICA = \sum_{i=1}^9 (Sub_i \cdot w_i)$

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos y su peso asignado para la aplicación del ICA

	Sub_i	w_i
1	Coliformes Fecales	0,15
2	pH	0,12
3	DBO ₅	0,1
4	Nitratos	0,1
5	Fosfatos	0,1
6	Temperatura	0,1
7	Turbidez	0,08
8	Sólidos Totales Disueltos	0,08
9	Oxígeno Disuelto	0,17

Fuente: Bonilla, B. *et al.*, (2010)

Los datos de laboratorio obtenidos de las ocho variables fisicoquímicas y una bacteriológica se ubican en la curva de desviación presentada para cada variable para encontrar el valor Q. (Ver anexo 3). Posteriormente el valor Q obtenido se multiplica por el peso de cada variable (w_i) en la Tabla 5. y la suma total proporcionó el valor del ICA de cada sitio muestreado.

Procedimiento del cálculo del ICA

Parámetro	Resultado	Valor Q	W _i	Total
Coliforme fecal	1.30 E+03	22	0.15	3.52

El valor ICA obtenido en cada sitio muestreado se interpretó para evidenciar la calidad del agua en cinco categorías clasificadas por Bonilla, B. *et al.*, (2010), de Excelente a Pésima, en un rango de 0 a 100 (ver tabla 6).

Tabla 6. Rangos del índice de Calidad del Agua

Calidad de agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Mediana		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: Bonilla, B. *et al.*, (2010)

5.13 Método para obtención el Índice BMWP-CR (2007)

Para la aplicación de este índice fue necesario la identificación de organismos de Macroinvertebrados a nivel de familias a las que se les asignó un puntaje de uno a nueve de acuerdo a la tolerancia a la contaminación que estas presenten, asignando menor valor a las más tolerantes y uno mayor a las que presentan sensibilidad a la contaminación. La suma total de los valores obtenidos es el valor que expresa la calidad del agua del sitio muestreado, procedimiento que se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\Sigma: N1 + N2 + n.....$$

Aquí un ejemplo del procedimiento

Organismo /familia	Puntaje
Naididae	1
Quironomidae	2
Total	3

La clasificación de las aguas según el índice **BMWP-CR** adquiere valores comprendidos entre 0 y un máximo indeterminado que en la práctica no suele superar los 200. En función de este puntaje se establecen 6 niveles de Calidad para el Agua los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Nivel de calidad de las aguas según el Índice BMWP-CR.

Color Representativo	Nivel de Calidad	BMWP-CR
Azul	Aguas de calidad excelente.	> 120
Azul	Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de modo sensible.	101-120
Verde	Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada.	61 -100
Amarillo	Aguas de calidad mala contaminadas.	36 - 60
Naranja	Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16 - 35
Rojo	Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas.	<15

Fuente: Springer, M. *et al.*, (2007)

5.14 Método para la obtención del Índice Shannon & Weaver (1963).

El Índice de Shannon se expresa con la fórmula siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Donde: donde:

- S – número de especies (la riqueza de especies)
- p_i – proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos
(es decir la abundancia relativa de la especie i): $\frac{n_i}{N}$
- n_i – número de individuos de la especie i
- N – número de todos los individuos de todas las especies

Para la aplicación de este índice se realizó la identificación de Diatomeas hasta nivel de especies haciendo énfasis en la riqueza y diversidad de las taxa, para esto se describió la estructura comunitaria y densidad de los organismos encontrados. El cálculo se realizó mediante el programa de diversidad biológica (Franja, 1993), donde se obtuvo su valor en logaritmos naturales con su varianza analítica asociada utilizándose el número total de organismos y en número de individuos de cada uno de los organismos encontrados en cada sitio muestreado.

La clasificación de las aguas se realizó a través de los esquema de clasificación de las aguas de Wilhm & Dorris y Staub *et al*, 1970 los cuales presentan diferentes condiciones de contaminación (ver tabla 8) las cuales permitiendo conocer la calidad del agua de cada sitio muestreado.

Tabla 8. Esquemas de clasificación de las aguas contaminadas de acuerdo a los valores del índice de Shannon & Weaver H' (1963) según Wilhm y Dorris (1968) y Staub *et al.* (1970).

Esquema de Wilhm y Dorris (1968)		Esquema de Staub et al. (1970)	
H'	Condición	H'	Condición
> 3	Agua Limpia	3,0- 4,5	Contaminación débil
1-3	Contaminación moderada	2,0- 3,0	Contaminación ligera
< 1	Contaminación severa	1, 0- 2,0	Contaminación moderada
		0,0- 1, 0	Contaminación severa

Fuente: Segnini S. (2003).

5.15 Análisis estadístico de la información

Los datos obtenidos fueron procesados a través de Microsoft Office (Word, Excel) y sometidos a los procedimientos estadísticos establecidos para obtener los índices ICA-SV, índice BMWP-CR, e Índice de Shannon & Weaver mediante el programa FRANJA (franja, 1993) paquete estadístico especializado para cálculos de diversidad biológica.

CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

6.1 Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA) mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Para la implementación del Índice ICA se determinaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de calidad del agua captados en cuatro puntos sobre el curso del Río de Oro durante la estación seca en el mes de marzo y lluviosa del mes de septiembre del año 2012, habiéndose determinado nueve parámetros: Coliforme Fecal (CF) pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Nitratos (HNO_3^-), Fosfato (PO_4^{3-}), Temperatura ($^{\circ}C$), Turbidez (T), Sólidos Totales Disueltos (STD) y Oxígeno Disuelto (OD) para ambas estaciones de muestreo y presentándose los resultados obtenidos en anexo 7

Las concentraciones de Coliformes Fecales obtenidas durante la estación seca fluctuaron entre $1.30E+03$ y $3.30E+05$ NMP/100 ml, mientras que para la estación lluviosa estuvieron entre $1.30E+05$ y $3.30E+04$ NMP/100 ml, de tal manera que la mayor concentración la obtuvo el punto 19 de Julio durante la estación seca tal como se muestra en anexo 7. Estos valores se ubican por encima de los límites fijados por la EPA, también exceden las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), tanto para usos de irrigación como para recreación.

Un segundo parámetro indispensable para el establecimiento de las comunidades biológicas es el pH. En las determinaciones analíticas de este parámetro se registraron valores que fluctuaron de 7,56 a 8,28 unidades de pH durante la estación seca y 7,68 a 7,78 unidades de pH para la estación lluviosa tal como se observa en anexo 7. Estos valores se encuentran dentro del rango permisible para aguas de consumo humano según las normas CAPRE (1994) quienes establecen valores óptimos de 6,5 a 8,5 unidades de pH. Evidentemente las unidades de pH registradas durante las dos estaciones para los cuatro puntos muestreados no registraron variaciones considerables.

De la misma manera, los niveles de la Demanda Bioquímica de Oxígeno fluctuaron entre 2,71 a 32,96 mg.l⁻¹ para la estación seca y entre 6,00 y 48,00 mg.l⁻¹ para la estación lluviosa, observándose las mayores concentraciones en Santa Carlota para ambos periodos climáticos tal como se muestra en anexo 7. Según Normas Mexicanas de Salud Ambiental (1994), para determinar la calidad del agua, los valores de DBO₅ menores de 30 mg.l⁻¹ y mayores a 120 mg.l⁻¹ corresponden a aguas contaminadas, como resultado de descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal. Estos resultados coinciden con el panorama evaluado ya que este sistema recibe un efluente proveniente de las plantas de tratamiento de las aguas residuales de la población del municipio de Rivas que son depositados directamente al río a aproximadamente 1km del punto Santa Carlota.

Otro parámetro a evaluar fue la temperatura, la que registró valores similares oscilando entre 26 °C y 28,1°C para los cuatros puntos muestreados durante la estación seca y entre 27,4 °C y 30,5 °C para los tres puntos en fase lluviosa. El punto la Desembocadura al Lago Cocibolca fue el único que mostró un ligero incremento de 2 °C durante la estación lluviosa como se muestra en anexo 7, esto ocurrió posiblemente por su cercanía al lago Cocibolca, donde la evaporización y presión atmosférica son altas incidiendo así sobre la biota béntica evaluada de manera que los organismos tienden a dispersarse o buscar la profundidad para poder mantenerse a una temperatura estable.

Las concentraciones de nitratos para cada uno de los puntos de muestreo fueron variables entre ambas estaciones climáticas. El valor más alto se obtuvo en el punto 19 de Julio durante la estación lluviosa con 9,61 mg.l⁻¹ estas concentraciones están por debajo del valor máximo admisible establecidas por las Normas Canadienses (CCME) para consumo humano (≤ 45 mg.l⁻¹), tal como se muestra en anexo 7.

Conjuntamente se registraron altos valores de fosfatos, los que fluctuaron entre 0,63 a 6,87 mg.l⁻¹ para la estación seca y 1,06 a 6,37 mg.l⁻¹ para la estación lluviosa. Tal como se muestra en anexo 7, el sitio que obtuvo la mayor concentración fue Santa Carlota durante la estación seca. Estos resultados superan a los registrados por Chaves, J y Orante, G. (2010), en el Río Sensunapan de El Salvador, quién reporta rangos que van desde 0,7 hasta 2,6 mg.l⁻¹, indicando que niveles por arriba de 0,1 mg.l⁻¹, revelan una fuente de contaminación humana potencial, tal como industria, jabón, desagües, fertilizantes, perturbación del suelo, desechos animales o aguas residuales industriales.

Los registros de turbidez reportados en el Río de Oro variaron para los cuatro puntos de muestreo durante las estaciones seca y lluviosa (ver anexo 7). El valor más alto se alcanzó durante la estación seca en Santa Carlota con 81,20 UNT y con 55 UNT para la estación lluviosa, esta turbiedad en el agua es causada posiblemente por la presencia de materia suspendida, algas y otros organismos microscópico en altas concentraciones ya que en este tramo del río el caudal que corre es propiamente de las plantas de tratamiento mientras que para estación lluviosa producto de las escorrentías se dio una dilución de estas partículas.

Así mismo las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos variaron en los cuatro puntos de muestreo para las dos estaciones climáticas. Los valores oscilaron entre 342 y 527 mg.l⁻¹ para la estación seca, registrando este valor máximo para el punto Santa Carlota, posiblemente este período seco favorece la concentración de este parámetro ya que va existir una menor dilución de sólidos disueltos producto de la acumulación de materia orgánica. Para la estación lluviosa los resultados obtenidos se encontraron en un rango entre 466 mg.l⁻¹ y 519 mg.l⁻¹.

Por otro lado, las concentraciones de Oxígeno Disuelto en los cuatro puntos para las dos estaciones climáticas fueron bajas, variando entre 1.7 y 5.6 mg.l⁻¹, (ver anexo 7). Según Auquilla, R. (2005), el mínimo requerido para el desarrollo de las

comunidades acuáticas es de 6.5 mg.l^{-1} , los resultados aquí obtenidos demuestran la perturbación ambiental que el río presenta.

6.2 Diagnóstico de la calidad del agua basado en el índice ICA-SV, 2010.

De acuerdo a la clasificación de Bonilla, V. et al., (2010) en la tabla 7 descrita en metodología se determinó que el punto Las Piedras fue el sitio con mejor calidad acuática, registrando valores de 51-70 clasificando las aguas en calidad mediana tal como lo muestra la tabla 8, a pesar que se observó incidencia de agricultura y ganadería, alterando así la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua, también evidencia que la biota béntica establecida en los sustratos de este sitio reflejan resistencia a los patrones de perturbación ambiental.

Por otro lado los puntos 19 de Julio, Santa Carlota y la Desembocadura al Lago Cocibolca, registraron rangos de clasificación bajos encontrándose como aguas de mala calidad tal como se muestra en la tabla 9. Las posibles razones de estos resultados están relacionadas a la descarga de aguas residuales provenientes del efluente de las plantas de tratamiento de la Ciudad de Rivas, así como de aquellas que son transportadas a través de la escorrentías hasta la Desembocadura al Lago Cocibolca, procedentes de las fuentes no puntuales de contaminantes (la agricultura y ganadería extensiva), incidiendo de manera directa en la calidad del agua del Río de Oro. A continuación se muestran los resultados obtenidos mediante la aplicación del ICA de los cuatro sitios muestreados en la estación seca y la lluviosa.

Tabla 9. Clasificación de la calidad del agua del Río de Oro mediante la aplicación de la metodología ICA.

Puntos de muestreo	Índice de Calidad de Agua (ICA)			
	Estación Seca		Estación Lluviosa	
	Valor	Calidad	Valor	Calidad
Las Piedras	54.41	Mediana	-	-
19 de Julio	42.26	Mala	47.8	Mala
Santa Carlota	35.85	Mala	41.9	Mala
Desembocadura al Lago Cocibolca	39.44	Mala	39.22	Mala

Por tanto, la aplicación del índice **ICA** correspondió a la valoración de la calidad del agua del Río de Oro mediante parámetros fisicoquímicos, clasificando las aguas de calidad mediana para el punto Las Piedras y mala calidad para los sitios 19 de Julio, Santa Carlota y la Desembocadura al Lago.

6.3 Aplicación del Índice BMWP-CR. (2007)

6.3.1 Estructura Comunitaria y Riqueza de especies de Macroinvertebrados

La comunidad béntica establecida en los cuatro puntos de muestreo, estuvo conformada por 47 taxa, (ver anexo 8) las que se ubicaron taxonómicamente en 4 Phylum: Arthropoda (n=36), Nematoda (n=1) Annelida (n=4) y Mollusca (n=6).

De acuerdo a la lista taxonómica de estos grupos se identificaron 27 familias representativas para ambas estaciones (ver tabla 10), de las cuales se identificaron 26 familias en la estación seca y 14 de éstas en la estación lluviosa.

Tabla 10.Lista taxonómica de los Macroinvertebrados bénticos

Lista Taxonómica		
Phyllum Arthropoda	Orden Odonata	<i>Stenocypris sp</i>
Clase Insecta	Familia Coenagrionidae	Clase Aracnoidea
Orden Diptera	<i>Argia sp</i>	Orden Acari
Familia Chironomidae	<i>G.n.i</i>	<i>Hidracarina</i>
<i>Chironomus sp</i>	Familia Libellulidae	Phyllum Annelida
<i>Goeldochironomus sp</i>	<i>Dithelmis sp</i>	Clase Oligochaeta
<i>Criptochironomus sp</i>	<i>G.n.i</i>	Familia Naididae
<i>Microchironomus sp</i>	Orden Coleoptera	<i>Nais sp</i>
<i>Endochironomus sp</i>	Familia Hydrophilidae	<i>Dero sp</i>
<i>Micropsectra sp</i>	<i>Halocharis sp</i>	Familia Tubificidae
<i>Orthocladius sp</i>	<i>G.n.i</i>	<i>Limnodrilus sp</i>
<i>Ablabesmyia sp</i>	<i>Tropisternus sp</i>	Clase Hirudinea
<i>Labrudinia sp</i>	Familia Elmidae	Familia Glossiphoniidae
<i>Larsia sp</i>	<i>Microcylloepus sp</i>	<i>G.n.i</i>
Familia Ceratopogonidae	Familia Scirtidae	Phyllum Nematoda
<i>Bezzia sp</i>	<i>Elodes sp</i>	<i>G.n.i</i>
<i>Pseudomistyia sp</i>	Familia Dryopidae	Phyllum Mollusca
<i>Culicoides sp</i>	<i>Dryops sp</i>	Clase Gastropoda
Familia Tipulidae	Orden Hemiptera	Orden Basommatophora
<i>Hexatoma sp</i>	Familia Mesoveliidae	Familia Physidae
Familia Stratiomyidae	<i>Mesovelia sp</i>	<i>Physa sp</i>
<i>Odontomyia sp</i>	Familia Hebridae	Familia Ferrisia
Familia Sciomyzidae	<i>Hebrus sp</i>	<i>G.n.i</i>
<i>Sepedon sp</i>	Familia Gerridae	Familia Sphaeridae
Orden Ephemeroptera	<i>G.n.i</i>	<i>G.n.i</i>
Familia Caenidae	Familia Naucoridae	Familia Planorbidae
<i>Caenis sp</i>	<i>G.n.i</i>	<i>Laevis sp</i>
Familia Leptohyphidae	Clase Ostracoda	Familia Hydrobiidae
<i>Tricorythodes sp</i>	Orden Podocopida	<i>Phrygophorus sp</i>
Familia Leptophlebiidae	Familia Cypridae	<i>G.n.i</i>
<i>Traverella sp</i>	<i>Cypris sp</i>	

Dentro de estas familias las taxa más frecuentes y abundantes fueron ***Chironomus sp, Larsia sp y Cypris sp***, estas aparecieron en todos los sitios de muestreo durante los dos períodos climáticos. Otras taxa como ***Bezzia sp, Caenis sp, Nais sp y Physa sp*** limitaron su aparición y abundancia para el verano, mientras que ***Culicoides sp, Labrundinea sp, Microchironomus sp, Orthocladius sp, Trycorythodes sp, y Limnodrilus sp***, limitaron su presencia para la estación lluviosa.

La distribución de estos géneros obedece a distintas razones, entre ellas la dispersión geográfica ya que hubo géneros que aparecieron en algunos sitios específicos por ejemplo, los grupos funcionales especializados del Zoobentos característicos de las partes altas de los ríos como los del Orden Ephemeroptera y Orden Coleoptera se limitaron a este territorio. La presencia de estos grupos en estos sitios según Vannote, R. *et al.*, (1980), obedece a que esta zona se encuentra influenciada por abundante materia orgánica particulada gruesa (MOPG) la que constituye principal fuente de alimentación para estos organismos ya que poseen adaptaciones morfológicas aptas para fragmentar la materia gruesa en partículas finas (MOPF) facilitando así disponibilidad de alimento para otros organismos.

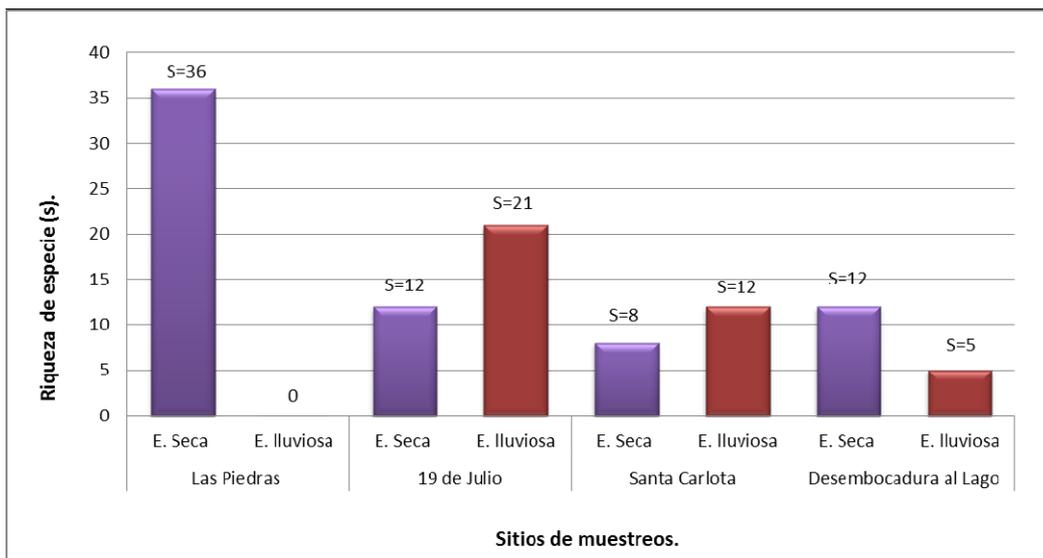
Otra de las razones se liga al régimen hidrológico ya que se observó reemplazos de los grupos orientándolos a una aparición o desaparición estacional de los mismos. Sin embargo, los Macroinvertebrados en este río reflejan una eventual preferencia por las condiciones ambientales que ahí se presentan.

En este mismo plano, se indica que la comunidad béntica del Río de Oro estuvo mayormente representada en el punto Las Piedras con 36 géneros identificados durante la estación seca, aportando el 77% de la riqueza de especies (Ver gráfico 1), se relaciona a que este sitio se ubica geográficamente en la parte más alta de

la cuenca, por tanto, era de esperarse la mayor cantidad de grupos especializados e indicadores de la calidad de agua.

Es importante mencionar que el punto Las Piedras durante la estación lluviosa no se muestreó porque estaba temporalmente seca (ver anexo 1), como consecuencia del incremento en la extracción de agua para las actividades agropecuarias que se realizan en la zona, así mismo se observó aumento del ancho del río y disminución de la cobertura vegetal haciendo que el área de su cuenca esté más expuesta a los procesos de evaporación.

Gráfico 1. Aporte de los Macroinvertebrados bénticos a la riqueza de especie.



Resultados similares reportó Longo, S. *et al.*, (2010), en la Quebradas Potrerillos de Colombia quienes destacan que durante los períodos de lluvia abundante (Septiembre y finales de Octubre) hubo sequía estacional prolongada provocando pérdida significativa y constante del flujo hídrico. De igual manera Gómez, R. (2003), señala que la reducción de los caudales superficiales es un fenómeno que no sólo afecta a los sistemas localizados en zonas áridas y semiáridas del planeta

Por lo que ríos y arroyos intermitentes pueden encontrarse bajo diferentes condiciones ambientales.

El segundo sitio más importante en términos de diversidad fue 19 de Julio, este sitio registró durante la estación seca 12 taxa es decir 26% del total encontradas, en cambio para la estación lluviosa aportó 21 géneros con el 45%. De igual manera el punto Santa Carlota presentó registros de 8 taxones que son 17% para la estación seca y para la estación lluviosa 26% (S=12), ambos puntos de muestreo tuvieron un comportamiento de carácter ascendente en cuanto a la contribución de la riqueza de especies pasando a reportar los valores más altos durante la estación lluviosa tal como se demuestra en el gráfico 1.

Evidentemente la estación lluviosa benefició los procesos de colonización y desarrollo de diversos taxa presentando esta época los valores más altos de riqueza para los dos puntos anteriormente mencionados, esto se relacionó con un caudal continuo y poco variable que favoreció la heterogeneidad de hábitats y la disponibilidad de oferta alimenticia. Estos resultados son similares a los reportados por Longo, S. *et al.* (2010) en las Quebradas Potrerillos de Colombia, los cuales señalan que durante los períodos de lluvia escasa y moderada (Enero a Junio) los valores de diversidad y riqueza de taxa fueron más altos.

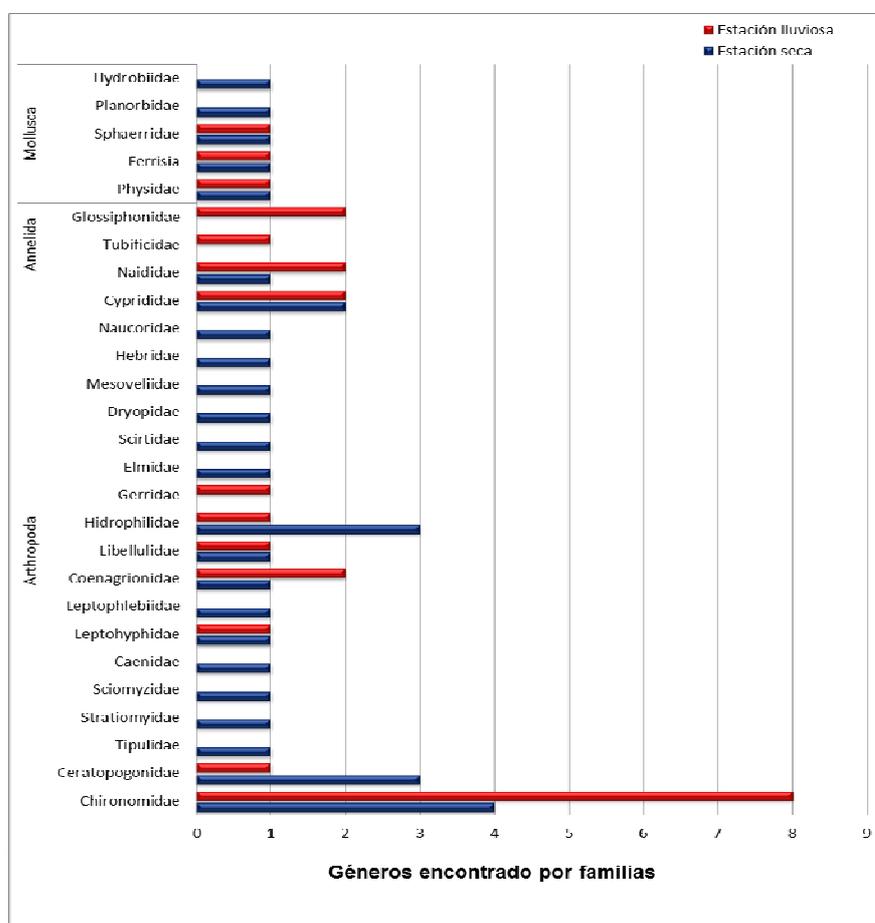
No obstante, en el punto Desembocadura hacia el Lago Cocibolca se registraron los valores más bajos de riqueza de la comunidad bentica (S=5) alcanzando el 10 % de la riqueza total durante la época lluviosa a diferencia de la estación seca que presentó (S=12) equivalente al 26% del total de taxa encontrados, (ver gráfico1). Evidentemente la baja riqueza de taxa en este espacio posiblemente se debe a su comportamiento léntico por su cercanía al Lago Cocibolca por tanto, existe mayor acumulación de materia orgánica en el sustrato provocando que la textura del sedimento sea suave e inestable.

Resultados expuestos por Caballero, Y. (2007), indican que la diversidad de este sitio (Desembocadura al Lago) fue la más baja que reportó (S=7) para ambas estaciones climáticas, estos aportes fueron asociados directamente al tipo de sustrato fangoso el que provocó que bajo estas condiciones pocas especies pueden resistir.

En general, en los cuatros sitios evaluados sobre el Río de Oro el Phylum Arthropoda sobresalió como el grupo más diverso de la comunidad béntica, el aporte cualitativo para la estación seca fue de 30 taxa que corresponde al 79% y durante la estación lluviosa aportaron 68% (S=17) registrando tres importantes Clases taxónomica: Aracnoidea, Ostracoda e Insecta, esta última fue la más heterogénea alcanzando un 70% de las familias en total distribuidas en la estaciones seca y lluviosa (ver gráfico 2).

En ambas estaciones hidroclimáticas y en los cuatro puntos evaluados, la Familia Chironomidae fue la más diversa de la comunidad béntica, (ver gráfico 2) registrando un aporte representativo de 10 géneros equivalentes al 21%. Este grupo en los sistemas dulceacuícolas está ampliamente distribuido debido a la fácil capacidad de adaptación que han desarrollado cuando las condiciones del medio son extremas (Infante A. 1992. Ráudez, 2004. Medina A, Scheibler E & Paggi A. 2008). Además por su alta fidelidad al sustrato los Chironomidae pueden servir como indicadores de la calidad de las aguas y de las alteraciones que ella sufre por la actividad humana, principalmente la de origen orgánico. Margalef, R. (1983).

Gráfico 2. Aporte taxonómico de familias a la estructura comunitaria de Macroinvertebrados del Río de Oro



La contaminación orgánica en los ríos es uno de los principales problemas que perturban a las comunidades bénticas ya que grandes cantidades de material aloctóno son depositados en sus cuencas como producto de las escorrentías desequilibrando así el sistema hídrico. Según Margalef, R. (1983), este parámetro puede considerarse como el principal factor de tensión en un sistema acuático.

En el sistema valuado el contenido de materia orgánica osciló entre 0.40 y 2.38%, estos valores corresponden únicamente a los reportados en la época seca ya que durante el invierno no se tomaron muestras para este análisis, posiblemente la época lluviosa reflejaría un incremento de este parámetro.

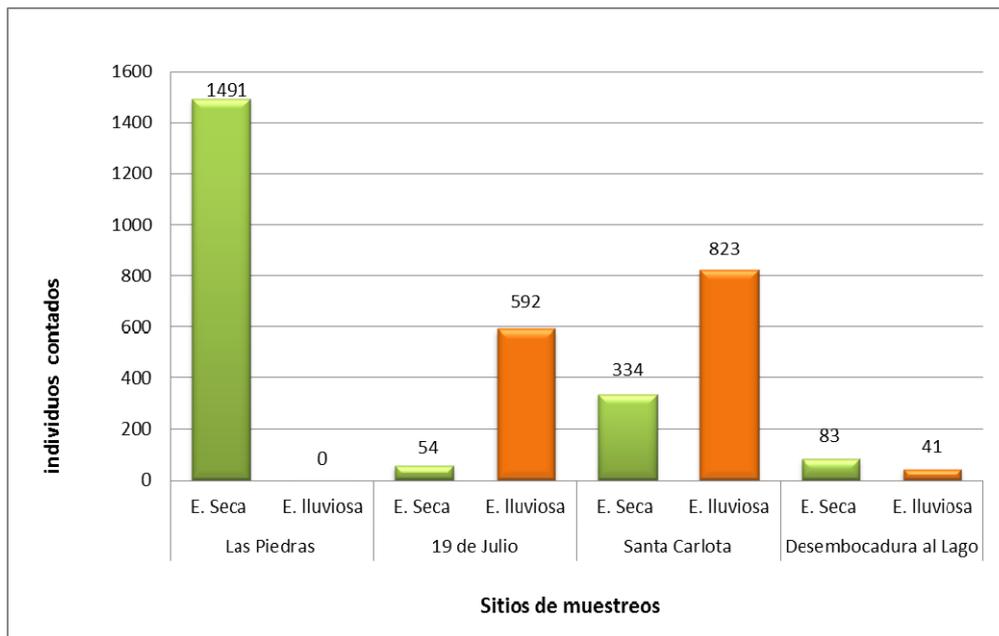
El punto Santa Carlota alcanzó el mayor valor de materia orgánica con (2.38%), donde la textura del sedimento es arcilloso limoso, esto evidencia la descarga de agua residuales proveniente de las plantas de tratamiento ubicadas a 1km aguas arriba. Sin embargo en los puntos Las Piedras, 19 de Julio y Desembocadura al Lago Cocibolca hubo predominio de la textura gruesa del sedimento (areno-limoso) con bajas proporciones de materia orgánica. De acuerdo con Arocena, R. *et al.* (2008), los fondos más finos suelen contener una mayor cantidad de materia orgánica que los fondos de mayor tamaño donde el contenido de materia orgánica es menor. Según Rivera, A. (2004), los suelos de textura gruesa albergan pocas especies con pocos individuos.

Finalmente, los Anélidos y Moluscos hicieron bajos aportes de riqueza de especies en todos los puntos de muestreo para ambas estaciones climáticas (ver gráfico 2). Los Moluscos registraron 13% en la estación seca y 12% en la lluviosa. Los Anélidos aportaron 4% en el periodo seco y 16% en el lluvioso. A pesar de que el aporte de estos grupos a la comunidad béntica fue baja , pero no debemos obviar su importancia ecológica dentro de los sistemas acuáticos ya que números autores los consideran tolerantes a ambientes perturbados debido a la capacidad de soportar alta carga orgánica y deficiencia de oxígeno, por estas razones se les consideran indicadores de ambientes eutrofizados.

6.3.2 Densidad poblacional de los Macroinvertebrados bénticos

El comportamiento de la abundancia numérica total de los Macroinvertebrados bénticos en el Río de Oro durante la estación seca y lluviosa del 2012, osciló entre 1 962 individuos contados para la estación seca y 1 456 individuos contados para estación lluviosa. Durante la estación seca el punto Las Piedras alcanzó el mayor número de organismos con 1 491 individuos equivalente al 76% y la Desembocadura al Lago registró el menor aporte con 41 individuos bénticos contados, (ver gráfico 3).

Gráfico 3. Aporte de los Macroinvertebrados bénticos a la densidad poblacional



Resultados similares obtuvo Castellanos, P & Serrato, C. (2008), Posada, G., Roldán, G & Ramírez, R. (2000), en sistemas ribereños de Colombia, donde los sitios más disímiles eran los que presentaban algún tipo de alteración antrópica. Esto ha sido fuertemente documentado por Bornette, G *et al.*, (1998) & Ward, J. (1998), quién indica que los regímenes de perturbaciones que caracterizan a los sistemas fluviales los hacen complejos, diversos y muy sensibles a las actividades humanas.

En los cuatro puntos muestreados y en ambas estaciones climáticas los Artrópodos dominaron cuantitativamente en proporciones que variaron entre 53% y 73% para la estación seca y de un 93% y 100% para la estación lluviosa. Dentro de éste Phyla, los Dípteros acuáticos representaron al grupo más importante en términos de abundancia ya que conformaron el 44% de la población total en la estación seca y el 74% durante la lluviosa. Estos resultados coincidieron con un estudio reportado por Salvatierra, T & Caballero, Y. (2006), en la misma zona de un estudio correspondiente al Río de Oro, donde reflejan la importancia ecológica

y el aporte que realizan estos organismos a la abundancia y diversidad de la comunidad béntica.

Dentro del Orden Díptera la Familia más importante fue Chironomidae tanto en términos de riqueza como de abundancia. Del total de familias identificadas (n=27) este grupo se localizó en todas las áreas evaluadas y evidenció su predominio en la mayoría de los sitios estudiados. Los aportes de familia Chironomidae variaron entre 20 a 60% en estación seca y de 12 a 92% en la estación lluviosa.

Evidentemente el predominio poblacional de un solo grupo taxonómico (Chironomidae) orienta a valorar el grado de alteración que el sistema atraviesa. Según Medianero, E & Samaniego, S. (2004), citado por Ráudez, S. (2008), indican que la dominancia de algún género de Chironomidae y la simplicidad de la mayoría de las comunidades acuáticas son indicativos de sistemas fuertemente afectados por la contaminación. En este mismo sentido, Nieves, A. (1989), Caicedo, O & Palacios, J. (1998), señalan que cuando la comunidad béntica está constituida por más del 60% de individuos de la Familia Chironomidae es un indicativo de contaminación entre moderada y alta.

La taxa responsable del incremento poblacional en la mayoría de los puntos evaluados fue *Chironomus sp* aportando un 58% en Santa Carlota durante la estación seca y 39% en la estación lluviosa. El punto la Desembocadura al Lago Cocibolca alcanzó 34% además fue dominada por el género *Cypris sp* con 73% en la estación lluviosa. Solamente en la estación 19 de Julio *Chironomus sp* apareció en segundo plano ya que *Larsia sp* aportó el 43% y *Chironomus sp* con un 36% durante la estación lluviosa. Sin embargo, en la estación seca este sitio presentó condominio poblacional entre el anélido *Nais sp* y un género no definido de *Sphaerriidae*, ambas con el 19% de la población total. En el punto Las Piedras dominaron los moluscos con el género *Physa sp* 29% del total durante la estación seca.

El género *Chironomus sp*, por registrar altos porcentajes poblacionales en la mayoría de los puntos muestreados nos orienta a señalarlo como indicador biológico tolerante a la perturbación ambiental. De igual manera lo indican Medianero, E & Samaniego, S. (2004). En el Río Curundú de Brasil, quienes reportan altas poblaciones de estos organismos y lo clasifican como el género más tolerante a la contaminación orgánica, sobre todo cuando los niveles de contaminación ascienden en diferentes latitudes.

A pesar de que en las estaciones 19 de Julio y Las Piedras no dominó *Chironomus sp*, las taxa que los representaron son indicadoras de ambientes contaminados. Según lo indica Fuller, S. (1974), quien encontró que la familia *Sphaerriidae* es indicadora de ambientes enriquecidos por materia orgánica y *Physa* frecuente en aguas duras y alcalinas donde puede formar su concha en buenas condiciones y según Roldán, G. (2003) son altamente resistentes a la contaminación orgánica.

Es notable un comportamiento heterogéneo entre los sitios muestreados ya que el coeficiente de variación utilizado para medir el grado dispersión de los datos fue alto durante la estación lluviosa de (83%), señalando que para este período se tomaron muestras en tres puntos (19 de Julio, Santa Carlota y la Desembocadura la Lago) en cambio para la estación seca obtuvo un (97%) para los tres puntos anteriormente mencionados a excepción del punto Las Piedras que no fue sitio comparativo ya que este no registró datos para la estación lluviosa. Posiblemente la causa principal de disimilitud entre los puntos de muestreo se debe a la alteración que sufre el sistema por las diversas actividades que se realizan en su entorno las que afectan marcadamente a las poblaciones que conforman la comunidad biológica del ambiente en cuestión.

Finalmente los Macroinvertebrados bénticos en los cuatro puntos de muestreo sobre el curso del Río de Oro estuvieron representados principalmente por el

Phyllum Arthropoda con la Clase Insecta conformada a su vez por 8 órdenes, siendo el Orden Díptera el grupo más representativo y abundante. En ambas estaciones climáticas la familia Chironomidae evidenció predominio en todos los sitios evaluados.

6.3.3 Diagnóstico de la calidad del agua basado en el Índice BMWP-CR, 2007

La clasificación de las aguas se hizo de acuerdo a la tabla 7 descrita en metodología donde los mayores niveles de calidad se obtuvieron durante la estación seca fluctuando entre 17 y 72 en cambio para la estación lluviosa los valores oscilaron entre 6 y 32, tal como se muestran en la tabla 11 que clasifica la calidad del agua.

Tabla 11. Clasificación del nivel de la calidad del agua mediante el Índice BMWP-CR, 2007.

Clasificación de la calidad del agua mediante el índice BMWP en cada uno de los puntos muestreados del Río de Oro, estación seca y lluviosa, 2012			
Puntos Muestreado	Estacion seca	Estacion lluviosa	Calidad
Las Piedras	72	x	Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada.
19 de Julio	30	32	Aguas de calidad mala, muy contaminadas.
Santa Carlota	17	13	Aguas de calidad mala, muy contaminadas.
Desembocadura al Lago	24	6	Aguas de calidad mala, muy contaminadas. Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas.

Mediante la aplicación de este índice se obtuvo que el sitio con mayor valor fue Las Piedras con un puntaje de 72 durante la estación seca tal como se refleja en la tabla anterior. De acuerdo al BMWP-CR 2007, la puntuación alcanzada en la estación Las Piedras permite clasificar la calidad del agua de regular, eutrófica y de contaminación moderada.

Este sitio representa la naciente del Río por lo que ecológicamente se considera que es común encontrar un mayor número de familias pertenecientes a los grupos especializados de la comunidad béntica en esta área. Según Allan, J. (1995), muchas taxa restringen su distribución a ciertos grados de altitud y latitud, haciendo notar que en esta estación se evidencian actividades agropecuarias y ganaderas que se realizan en su microcuenca incidiendo así en la calidad de agua antes mencionada, con respecto a las estaciones 19 de Julio, Santa Carlota y Desembocadura al Lago Cocibolca obtuvieron puntajes entre 6 y 32 de acuerdo a **BMWP-CR, 2007**, para los dos períodos climáticos reflejando aguas de calidad mala, muy contaminadas.

La mala calidad de agua de estos sitios está ligada al mal manejo de su microcuenca y contaminación de las aguas del río identificándose entre los factores que más contribuyen está la eliminación directa de aguas domésticas comunitarias sin tratamiento, el efluente procedente de las plantas de tratamiento de aguas residuales y la incidencia de la agricultura y ganadería en la zona adyacente al curso del río. Estos estresores ambientales en conjunto inducen a la reducción del número de organismos bentónicos y a enunciar la mala calidad del agua del sistema lótico en cuestión.

Por tanto, la aplicación del índice **BMWP-CR, 2007** correspondió a la valoración de la calidad del agua mediante las familias de Macroinvertebrados presentes, lo que resultó una calidad de agua regular, eutrófica y de contaminación moderada para el punto Las Piedras durante la estación seca. Asimismo la calidad de agua fue clasificada en la categoría de aguas malas y muy contaminadas para los puntos 19 de Julio, Santa Carlota y Desembocadura al Lago, en ambas estaciones.

6.4 Aplicación del índice de diversidad de Shannon & Weaver

6.4.1 Estructura Comunitaria de las Diatomeas bentónicas

La comunidad de Diatomeas bénticas de sustratos naturales (piedras y plantas) estuvo conformada por 53 taxa, (Ver tabla 12) constituidas en 16 géneros, siendo los más representativos: *Nitzschia sp* (14) *Navicula sp* (14), *Achnanthes sp* (3), *Cymbella sp* (3), *Pinnularia sp* (3), *Amphora sp* (2), *Diploneis sp* (2), *Gyrosigma sp* (2) y *Gomphonema sp* (2), de las cuales el 83% fueron identificadas a nivel de especies (n=43) y el 17% a nivel de género (n=9). (Ver anexo 9).

Tabla 12. Estructura comunitaria de las Diatomeas encontradas en el Río de Oro.

Especies			
<i>Achnanthes exigua</i>	<i>Gyrosigma calproides</i>	<i>Navicula gregaria</i>	<i>Nitzschia litoralis</i>
<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Gomphonema affine</i>	<i>Navicula halophila</i>	<i>Nitzschia palea</i>
<i>Achnanthes sp</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Navicula muraliformis</i>	<i>Nitzschia parvulum</i>
<i>Amphora ovalis</i>	<i>Gyrosigma sp</i>	<i>Navicula pupula</i>	<i>Nitzschia sigma</i>
<i>Amphora sp</i>	<i>Luticula mutica</i>	<i>Navicula pygmea</i>	<i>Nitzschia sigmoidea</i>
<i>Coconeis placentula</i>	<i>Melosira varians</i>	<i>Navicula schroeterii</i>	<i>Nitzschia sp 1</i>
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Navicula accomoda</i>	<i>Navucula subtilissima</i>	<i>Nitzschia sp 2</i>
<i>Cymbella sp 1</i>	<i>Navicula arvensis</i>	<i>Nitzschia amphibia</i>	<i>Nitzschia umbonata</i>
<i>Cymbella sp 2</i>	<i>Navicula confervacea</i>	<i>Nitzschia amphioxys</i>	<i>Pinnularia acrosphaeria</i>
<i>Cymbella tumida</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Nitzschia circumsuta</i>	<i>Pinnularia braunii</i>
<i>Diploneis parma</i>	<i>Navicula cryptotenella</i>	<i>Nitzschia clausii</i>	<i>Pinnularia sp</i>
<i>Diploneis sp</i>	<i>Navicula cuspidata</i>	<i>Nitzschia frustulum</i>	<i>Rhopalodia giberula</i>
<i>Diploneis puella</i>	<i>Navicula erifuga</i>	<i>Nitzschia linearis</i>	<i>Synedra ulna</i>
<i>Eunotia sp</i>			

Cabe destacar que del total de especies identificadas en este estudio se registraron especies con frecuencias entre los rangos 0,9 y 0,6 en las que se encuentran: *Achnanthes exigua*, *Amphora ovalis*, *Gomphonema parvulum*, *Luticula mutica*, *Navicula confervacea*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula pupula*, *Nitzschia amphibia*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia sp*, el resto de especies alcanzó una frecuencia de aparición de especies en un mínimo de fr=0,1 y máximo fr=0,4, por lo tanto se consideran poco frecuentes (ver anexo 10). Según los autores Lange-

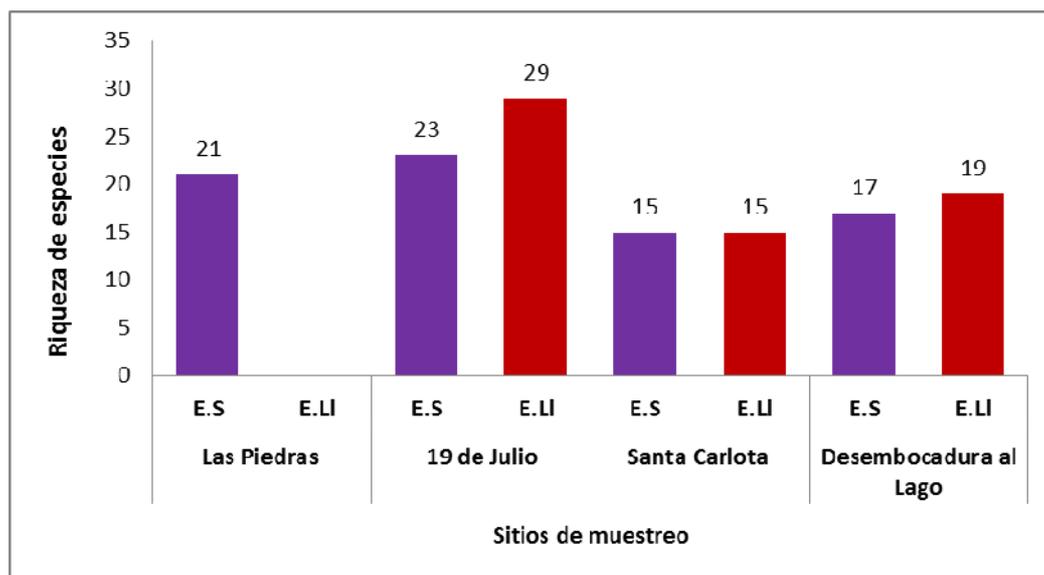
Bertalot (1979); Lange-Bertalot & Simonsen (1978); Cholnoky (1968), estas especies son consideradas como altamente tolerantes a la polución.

6.4.2 Riqueza y abundancia porcentual de las Diatomeas bentónicas

Referente a los datos de riqueza de especies obtenidas por estaciones climáticas, fue observado que durante la estación seca los sitios que registraron la mayor riqueza de especie fueron los puntos, Las Piedras (21 taxa) y 19 de Julio (23 taxa). Por el contrario los menores registros en la riqueza de especie lo presentan, Santa Carlota (15 taxa) y la Desembocadura al Lago (17 taxa) como se muestra en el gráfico 4.

En la estación lluviosa la riqueza de especie se determinó solo en los puntos: 19 de Julio (29 taxa), Santa Carlota (15 taxa) y Desembocadura al lago (19 taxa). El punto Las Piedras no se muestreó ya que presenta caudal intermitente siendo la causa principal la sobre explotación del recurso agua para el riego del cultivo de musáceas afectando fuertemente al sistema, por tanto no se pudo hacer la toma muestra para este período.

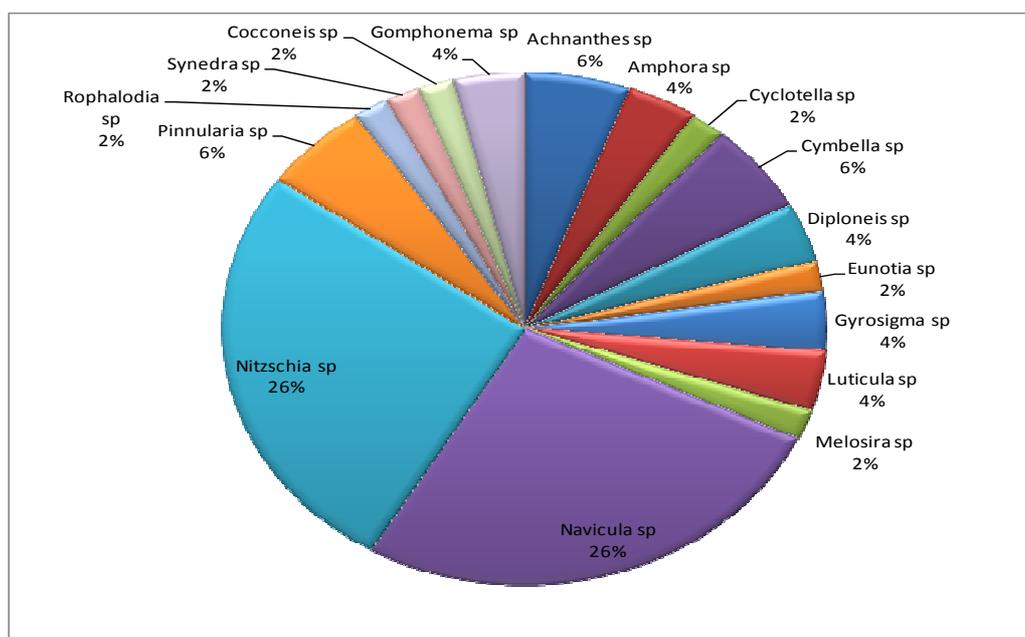
Gráfico 4. Aporte de la riqueza de especies de Diatomeas encontradas en el Río de Oro



Evidentemente para la estación lluviosa los registros obtenidos mostraron un aumento en la riqueza de taxa en comparación con las registradas en la estación seca, a excepción del punto Santa Carlota el cual registró el mismo número de taxa (15) en ambos muestreos, mientras los puntos 19 de Julio y la Desembocadura al lago mostraron un ascenso de 6 y 2 especies para cada punto respectivamente, por lo tanto el punto 19 de Julio registró la mayor riqueza en ambas estaciones climáticas.

Como resultado de este estudio los géneros *Navicula sp* y *Nitzschia sp* registraron el mayor número de especies y aportes significativos a la riqueza de especies para los cuatro puntos durante los dos períodos climáticos, de tal manera que ambos géneros representaron el 26.4 % en relación a los demás. En segundo lugar se reportan los siguientes géneros: *Cymbella sp* aportando un 5.7% , *Pinnularia sp* con aportes de 5.7%, *Achnanthes sp* 5.7 %; *Amphora sp* 3.8%, *Diploneis sp* 3.8%. *Gyrosigma sp* 3.8%, *Gomphonema sp* 3.8% y *Luticula sp* un 3.8 %.(Ver gráfico 5).

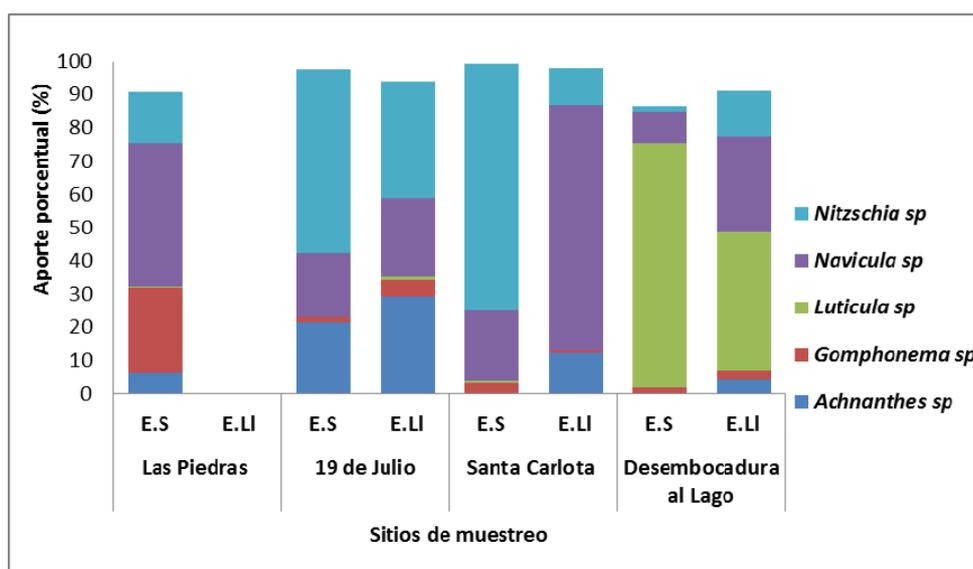
Gráfico 5. Contribución de los géneros Fito-bentónicos a la riqueza de especies



Resultados coincidentes a este trabajo es el reportado por Sosa, M. *et al*, (2006), quienes encontraron en su estudio que los géneros con mayor número de especies fueron *Nitzschia sp* y *Navicula sp*, seguidos en importancia por *Achnanthes sp* y *Gomphonema sp*. Así mismo los autores Peralta, P & Fuentes, V. (2005) también reportan estos dos géneros como indicadores de mala calidad de agua, por encontrarse en aguas ricas en nutrientes.

En el gráfico 6 se muestran los aportes porcentuales de los géneros más importantes, el género *Navicula sp* registró el 23.3% en la estación seca y 42% en la estación lluviosa; en cambio el género *Nitzschia sp* registró contribuciones porcentuales del 40% y 20%, seguidamente del género *Achnanthes sp* registró aportes de 7% durante la estación seca y 15% en la estación lluviosa, seguidamente *Gomphonema sp*, tuvo aportes de 8% y 3% para cada estación respectivamente. Otro de los géneros muy importante en aguas de corriente fue *Luticula sp* registrando aportes de 25% y 21.3% para cada estación respectivamente.

Gráfico 6. Aporte porcentual de los géneros más importantes de Diatomeas a la riqueza de especies



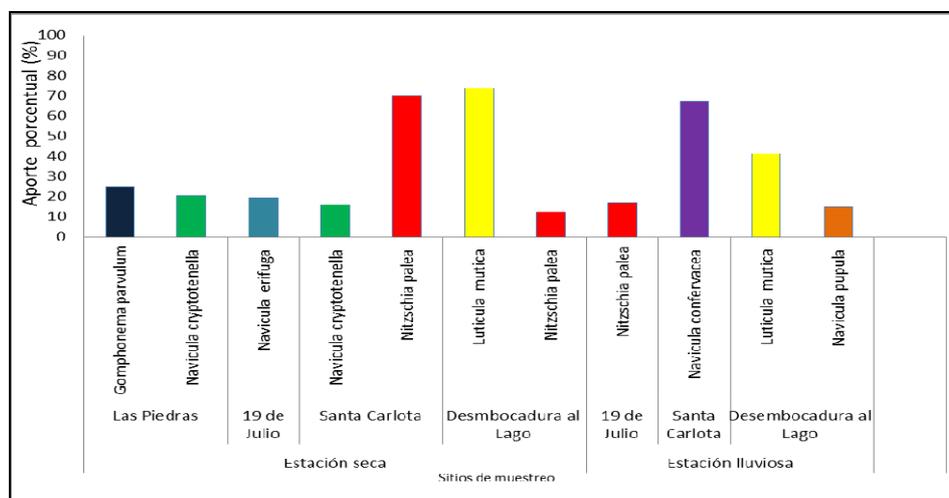
Evidentemente en este punto la dominancia y representatividad de los géneros *Navicula sp* y *Nitzschia sp* encontrada en los otros puntos, fue sustituida considerablemente por el género *Luticola sp* con sus mayores aportes porcentuales en ambas estaciones.

En el gráfico 7 se muestran las especies con mayor representatividad de los géneros más importantes del estudio. Dentro del género *Navicula sp* la especie que alcanzó mayor porcentaje en la estación seca fue *Navicula cryptotenella*, aportando un 20.43% del total de taxa registradas en el punto Las Piedras (ver figura 9). Este sitio se caracterizó por registrar una conductividad de $754 \mu\text{S cm}^{-1}$. Según Michels, A. (1998), esta especie ha sido reportada en ambientes lóxicos y léntico, en condiciones oligotróficas a eutróficas con altas conductividades por lo que es reportada como una especie tolerante a la contaminación.

Para la estación lluviosa *Navicula confervacea* fue la especie que obtuvo su mayor representatividad, registrando aportes del 67.24% del total de taxa contadas en el punto Santa Carlota. Esta especie ha sido reportada por Lobo, E. *et al.*, (1996) como una especie poco tolerante a la polución orgánica, pero según Coste, M. (1975) es una especie saprófita resistente a la contaminación orgánica encontrada en aguas con temperatura entre 25°C y 31°C .

Otra especie que registró su mayor representatividad en este mismo período climático fue *Navicula pupula* con 15% del total de taxa registradas en el sitio Desembocadura al Lago, este sitio se caracterizó por presentar un $\text{pH}=7,7$ hallazgo que se corrobora con un estudio reportado por Sala, S. *et al.*, (2012), donde reporta a esta especie para aguas con pH variable entre (5,7 y 7,4).

Gráfico 7. Taxa representativas de Diatomeas en los puntos muestreados durante los dos períodos estacionales, año 2012.



El género *Nitzschia sp* alcanzó su mayor representatividad con la especie *Nitzschia palea* en el punto Santa Carlota con aporte de 70% del total de taxa encontradas ,mientras que para la estación lluviosa su representatividad fue del 17 % en el punto 19 de Julio. Esta taxa es de gran importancia por ser muy tolerante a la contaminación orgánica, Lange-Bertalot. (1979) & Lobo E *et al.*, (1996).

Así mismo Velázquez, M. *et al.*, 2006, encontró esta especie como indicadora de aguas con altas concentraciones de nitratos. Igualmente otros autores la reportan de ambientes ricos en materia orgánica, Gómez, N. (1998); Kelly & Whitton, (1995), Van Dam, H. *et al.*, (1994); Sabater, S.*et al.*, (1988), por lo que es utilizada como indicadora de aguas fuertemente contaminadas por su alta tolerancia a la contaminación.

El género *Gomphonema sp* con la especie *Gomphonema parvulum* contribuyó a la caracterización de la calidad del agua del sistema en estudio, su mayor aporte lo registró en el sitio Las Piedras (25%) durante la estación seca. Según los autores Lange-Bertalot. (1979) & Sabater, S.*et al.*, (1988), esta especie es considerada de

gran importancia por ser altamente tolerante a la polución e indicadora de baja calidad de agua.

Del género *Luticola sp*, la especie *Luticola mutica* registró aportes porcentuales de 74% para la estación seca y 41% para la lluviosa en el sitio Desembocadura al Lago Cocibolca. Según Krammer, K & Lange-Bertalot, H. (1986-1991), esta especie es común encontrarla en ambientes salobres y dulce acuícola, es cosmopolita y es resistente a estrés ambiental. Además se le ha reportado en ambientes sujetos a desecación y biotopos terrestres húmedos Behre, K & Schwabe, G. (1970).

En síntesis, la comunidad de Diatomeas en los cuatro sitios durante las dos estaciones muestreadas sobre el cursos del Río de Oro, estuvo mayormente representada por los géneros *Navicula sp* y *Nitzschia sp*.

Se realizó un coeficiente de variación para medir el grado de dispersión de los datos obtenidos en los cuatro puntos muestreados durante los dos períodos climáticos dando como resultado un 25%, esto evidencia que la riqueza total de las especies en el Río de Oro es heterogénea espacial y temporalmente.

6.4.3 Diagnóstico de la calidad del agua basado en el Índice Shannon & Weaver

La clasificación de la calidad de agua para los puntos muestreados sobre el curso del Río de Oro, se realizó en base a los esquemas de los autores Wilhm & Dorris (1968) y Staub, *et al.* (1970). Ver metodología tabla 8.

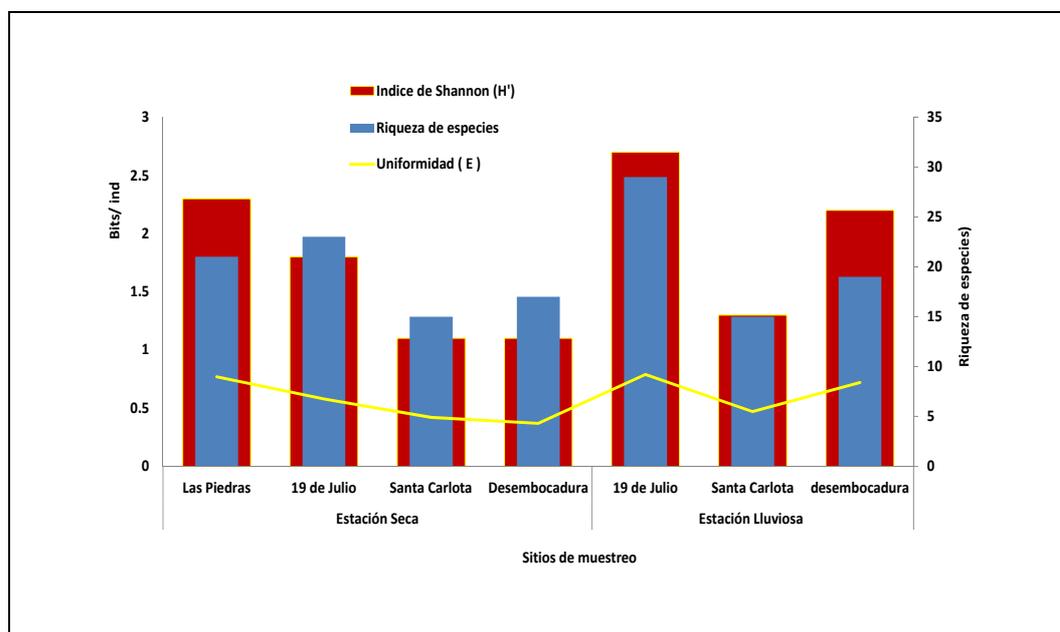
Los sitios Las Piedras, 19 de Julio, Santa Carlota y la Desembocadura al Lago durante los dos períodos climáticos se ubicaron en la categoría de aguas con contaminación moderada y/o ligeramente contaminadas, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 13. Clasificación de la condición de contaminación de las aguas del Río de Oro mediante el Índice de Shannon & Weaver

Puntos	E. Seca	E. Lluviosa	Clasificación	
	H'	H'	Wilh & Dorris (1968)	Staub. , et al (1970)
Las Piedras	2.3		Contaminación moderada	Ligeramente contaminada
19 de Julio	1.8	2.7		Contaminación moderada
Santa Carlota	1.1	1.3		Contaminación moderada
Desembocadura al Lago	1.1	2.2		

En el gráfico 8 se muestran los valores resultantes de la aplicación del índice de Shannon & Weaver para ambas estaciones. Para la estación seca los valores oscilaron entre 1.1 y 2.3 bits/Ind, donde el punto Las piedras alcanzó el mayor valor mientras que el punto 19 de Julio registró un valor de 1.8 bits/Ind. Por el contrario los sitios Santa Carlota y la Desembocadura al lago registraron 1.1 bits/Ind, siendo los sitios menos diversos del período climático. Durante la estación lluviosa la comunidad fitobentica obtuvo valores entre 1.3 y 2.7 bits/Ind, evidenciando el mayor aporte de diversidad en el punto 19 de Julio con una amplia uniformidad de (80%) y 2.2 bits/Ind para el sitio Desembocadura hacia el Lago Cocibolca, en tanto que el sitio menos diverso para este período lo registró Santa Carlota con 1.3 bits/Ind.

Grafico 8. Evaluación de la riqueza de especies, uniformidad y diversidad de la comunidad béntica mediante la aplicación del índice de Shannon & Weaver



Esta situación evidencia la alteración a la que están siendo expuestas las aguas de este río producto de las malas prácticas agrícolas, ganaderas y vertido de aguas residuales, pero más significativo aún es la influencia antrópica del ecosistema urbano.

El Punto las Piedras no presentó registros para la estación lluviosa ya que no se tomó muestras debido a que presenta caudal intermitente siendo la causa principal la sobreexplotación de sus aguas para riego de cultivo de musáceas.

Por tanto, la aplicación del índice Shannon & Weaver a través de la riqueza y diversidad de especies de Diatomeas registradas en los cuatro puntos de muestreo en la estación seca y lluviosa año 2012, clasificó las aguas de este río entre la categoría 1-3 bits/Ind correspondiendo a aguas moderadamente contaminadas y/o ligeramente contaminada.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES

1.- La aplicación del Índice ICA a través de los parámetros fisicoquímicos clasificó las aguas de mala calidad, a excepción del sitio Las Piedras que se clasificó en aguas dentro de la categoría mediana durante la estación seca.

2.- El índice biótico BMWP-CR, clasificó las aguas de calidad regular, eutrófica y de contaminación moderada en el sitio Las Piedras durante la estación seca. Los resultados para ambas estaciones climáticas en los otros sitios muestreados reflejaron rangos de calidad de agua mala, muy contaminada y extremadamente contaminada.

3.- La aplicación del índice de diversidad Shannon & Weaver en los sitios muestreados del Río de Oro durante las dos estaciones climáticas clasificó las aguas entre la categoría de contaminación moderada y/o ligeramente contaminada.

4.- Los resultados de calidad de agua obtenidos facilita la aplicación de los Índices ICA-SV, 2010; BMWP-CR, 2007 y Shannon & Weaver coincidieron en la clasificación de agua.

CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES

- La información generada en este documento se propone sea utilizada por la Alcaldía de Rivas, San Jorge y ENACAL como herramienta básica en la implementación de estrategias para la conservación y protección de este importante recurso hídrico.
- Los resultados de este trabajo se brindarán como insumos a MARENA para apoyar los programas de recuperación, resguardo y vigilancia de este recurso natural.
- En el CIRA-UNAN se espera que sea un aporte a los estudios nacionales utilizando índices biológicos en la evaluación de la calidad de aguas del país.

Glosario

Bentos: Flora o fauna que vive en el fondo de cualquier ecosistema acuático de agua dulce, salobre o salado, puede arrastrarse, socavar o mantenerse atado sobre cualquier sustrato.

Biotopo: Es un área de condiciones ambientales uniformes que provee espacio vital a un conjunto de flora y fauna. El biotopo es casi sinónimo del término hábitat con la diferencia de que hábitat se refiere a las especies o poblaciones mientras que biotopo se refiere a las comunidades biológicas.

Contaminación: Alteración, daño de la pureza de una sustancia o el estado de alguna cosa. Ejemplo, cuando los residuos llegan al agua, se daña la pureza de la misma.

Diatomeas: Las Diatomeas, también llamadas bacilariofitas, son una clase de algas pluricelulares cuyo tamaño oscila entre 2 y 4 milímetros, provistas de una membrana externa impregnada de sílice, denominada frústula, constituida por dos valvas que encajan entre sí, lo que les da gran consistencia, y que pueden tomar formas muy variadas: alargada, elíptica, esferoidal, cúbica, estrellada.

Ecosistema: conjunto de seres vivos en un mismo medio.

Estenotermos: Organismos que seleccionan mucho la temperatura a la que viven, estos viven en rangos muy pequeños a los que están muy bien adaptados.

Euritermos: Organismos que seleccionan muy poco la temperatura y son capaces de vivir en un amplio rango de temperaturas.

Familia: Unidad taxonómica constituida por varios géneros con caracteres comunes.

Fitobentos: Organismos autótrofos, viven asociados a cualquier sustrato del fondo en los ecosistemas acuáticos incluyendo Cianobacterias, algas microscópicas (microalgas), macroalgas y macrófitas.

Frústulo cubierta celular silícica de las diatomeas formadas por dos valvas unidas por dos o más bandas pleurales

Hábitat: Las condiciones físicas y biológicas que un organismo necesita (para protección, reproducción, comida y descanso) para desarrollarse activamente

Hipoxia: Baja concentración de oxígeno en el ambiente.

Lótico: Hábitat de agua con corriente, incluye todas las partes del curso de los ríos: los arroyos y manantiales, la zona central del valle con sus remansos y sus rápidos, la zona de la llanura aluvial y los estuarios que vierten sus aguas al mar.

Macrófitas: son plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos tales como lagos, estanques, charcos, estuarios, pantanos, orillas de los ríos, deltas o lagunas marinas.

Macroinvertebrados: Organismo acuático perteneciente al grupo de los invertebrados que viven adheridos al sustrato y con un tamaño que permite la observación sin necesidad de equipo óptico de aumento.

Perifiton: comunidad microbiótica que vive sobre sustratos sumergidos de diferente naturaleza, sustratos duros, vegetación acuática viva y muerta e incluye microalgas, bacterias, hongos y protozoos.

Ribera: Área que está directamente a los lados de la quebrada y se extiende por 50 metros alrededor del mismo.

Sedimentos: Partículas pequeñas de tierra o piedra que se suspenden en el agua o cubren el fondo del río.

Sustrato: Material que se deposita en el fondo o lecho del río y que puede ser de arcilla, piedras, rocas, arena y partículas orgánicas entre otros materiales.

Zoobentos: Es un conjunto de animales protistas heterotróficos que viven en el sustrato de un ecosistema acuático, se subdividen en 3 grupos de organismos de acuerdo al tamaño y tipo de contacto en el fondo: macrofauna, meiofauna y microfauna.

Taxa: unidad taxonómica, por ejemplo familia, género o especies.

Valva: componente estructural del frústulo de una Diatomea.

CAPITULO IX: BIBLIOGRAFÍA

- Auquilla, R. (2005).** Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la sub cuenca del río Jabonal, Costa Rica. Tesis Mgs Sc, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE): Turrialba, Costa Rica, 123 p.
- Allan, J. (1995).** Stream Ecology. Structure and function of Running Waters. Kluwer Academic Publishers. Boston.
- Arocena, R; Chalar, G; Daniel, F; León L; Brugnoli, E; Silva, M; Rodó, E; Machado, I; Pacheco, J; Castiglioni, R & Gabito, L. (2008).** Evaluación ecológica de cursos de agua y biomonitorio.
- Behre, K & Schwabe, G. (1970).** Auf Surtsey/Island im Sommer 1968 nachgewiesene nicht marine Algen . Schr .Naturw . Ver . Schles . Holst., Sonderband : 31-100.
- Bonilla, B; Carranzas, F; Flores T; Gonzales C; Arias, A & Chaves, J; (2010)** Metodología Analítica Para la Determinación del Índice de Calidad de agua (ICA).
- Bornette, G; Amoros, H; Piegay, J; Tachet & Hein, T. (1998).** Ecological complexity of wetlands within a river landscape. Biological Conservation 85:35-45.
- Bikuña, B & Fraile, H. (2008).** Protocolos de muestreo y análisis de organismos fitobentónicos en ríos y valoración del estado, según la Directiva 2000/60/CE. Informe no publicado de Anbiotek SL, para URA, Agencia Vasca del Agua. Vitoria-Gasteiz. 53pp.
- Caballero, Y. (2007).** Potencial Hidrológico y Calidad de las Aguas Superficiales en la Subcuenca del Río Ochomogo. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA/UNAN.
- Caicedo, O & Palacios, J. (1998).** Los macroinvertebrados bénticos y la investigación en la quebrada la mosca (Guarme Antioquia Colombia), Actualidades Biologicas 20 (69), 61-73
- Castellanos, P & Serrato, C,(2008).** Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el nacimiento del río Páramo de Santurban. Rev. Acad Colomb. Ciencia. 32 (122):9-86. ISSN 0370-3908.
- Castro, M. (1987).** Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad de agua. Curso taller sobre control de la calidad analítica CEPIS, LIMA, PERU.
- CCME, (2003)** Canadian council of minister of the Environment recreational water Quality Guidelines an Aesthetics in Canadian Environment Quality Guidelines Canada.
- Chaves, J & Orante, G. (2010).** Reconocimiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como alternativa para determinar la calidad del agua del Río Sensunapán, Departamento de Sonsonate, El Salvador, C.A.
- CAPRE. (1994).** Norma Regional de Calidad de Agua para Consumo Humano. Comité coordinador regional de instituciones de agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.
- Confederación Hidrográfica del Ebro (2005).** Metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua. Protocolos de muestreo y Análisis para fitobentos (microalgas bentónicas). Ministerio de Medio Ambiente– Confederación Hidrográfica del Ebro - URS, Zaragoza, 33 pp.
- Contreras, D; Fuentes, D & Sauco, C. (2011).** Análisis y determinación de la composición del suelo. Sin referencia
- Coste, M. (1975)..** Sur la prolifération dans la Seine dune diatomée benthique tropicale: *Navicula confervacea* (Kützing) Grunow . **Annales de Limnologie**, v. 11, p. 111-123.
- Custodio, E y Llamas, R (2001).** Hidrología Subterránea, 2350pp., 2ed. Ediciones Omega, V. 1-2, Barcelona, España.

Cholnoky, B.J., (1968). Dic. Okologie d diurro mn1r 1 B I IC' I I -gcwa.s.sern. J. Cramer, Lehre, 699 págs.

Darner, A & Alvarado, M. (2005) C-R. Evolución de las guías microbiológicas de la OMS para evaluar la calidad del agua para consumo humano: 1984 -2004.

Dumailo, S. (2003). Evaluación de la problemática ambiental por medio del estudio de algunos aspectos de sedimentación y contaminación en la laguna de Bluefields, RAAS, Nicaragua. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA/UNAN.

EPA, Environmental Protección Agency (2001). Calidad y Cantidad de Agua. Disponible en: <http://www.environment.nsw.gov.au>.

Epler, J. (2001). Identification Manual for the Larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. A guide to the taxonomy of the midges of the southeastern United States, including Florida. Special Publication SJ2001-SP13. North Carolina Department of Environment and Natural Resources, Raleigh, NC, and St. JohnsRiver Water Management District, Palatka, FL. 526 pp.

Fuller, S. (1974) Clams and Mussels (Molusca: Bivalvia). En: Hart, C W & S L H Fuller (eds). Pollution ecology of freshwater invertebrates. New York.

Guiller, P & Malmqvist, M. (2002), the biology of stream and river. Biology of habitats. Oxford University Press, 26/11/1998 - 296 páginas

Gómez, N. (1998). Use of epipellic diatoms for evaluation of water quality in the matanza-Riachuelo (Argentina) a Pampean Plain river.

Gómez, R. (2003). Modelos Conceptuales de Funcionamientos de Ríos y Arroyos. Documento inédito 17 Pag.

González, A. (1988). El plancton de las aguas continentales. OEA. Programa Regional Científico y Tecnológico. Monografía. Washington D. C. Estados Unidos, pág. 130.

González, M & García, D. (1984).Desarrollo de un Índice Biológico para estimar la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Duero. .Universidad Politécnica de Madrid.

Ghetti, P & Bonazzi, G. (1981) Macroinvertebrati nella sorveglianza ecologica dei corsi dacqua. C.N.R. Roma. 175 pp

Hernández, S & Guerrero, M. (1995). Diatomeas Como Indicadores Biológicos de La Calidad Del Agua en el Lago Cocibolca. CIRA-UNAN. Nicaragua

Hernández, S (2012) Revista científica Universidad Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua Vol.6 Nª 9. 20-23

Infante, A. (1992). Curso introductorio sobre bentos de aguas dulce. 138 Pág.

Inifom.gob.ni (2012), en línea, Disponible en:<http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/Rivas>. 2012.

Kelly, M. & Whittton, B. (1995). The trophic Diatom Index a new index for monitoring eutrophication in rivers. J appl. Phycol. 7: 433-444

Krammer, K & Lange-Bertalot, H. (1986-1991). Süßwasserfl ora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae Teil 1-4. 2486 págs. G. Fisher Verlag. Stuttgart.

Lange-Bertalot. (1979). Pollution and tolerance of diatoms as a criterion of water quality estimation. Nava Hedwigia 64:285-304

Lange-Bertalot & Simonsen (1978). A taxonomic revision of the Nitzschia lanceolate Gronow 2.European and other related extra European freshwater and brackish wáter taxa. Bacillaria 1:11-111.

Lobo, E; Callegaro, V; Olivera, M; Salomoni, S & Schuler, S. (1996). Pollution Tolerant Diatoms from Lotic Systems the Jacuí Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. Iheringia. Série Botânica, n. 47 p. 45-72.

- Longo, S; Hilldier, Z; Castor, G & Ramirez, J. (2010).** Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la Quebrada Potrerillos (Colombia): Respuesta a los cambios estacionales de caudal. Universidad de Antioquia A.A 9634, Medellín Colombia
- Lenntech. (2007).** Agua residual y purificación del aire. (En línea). Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol>.
- Mafía, M. (2005).** Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca - Costa Rica. (CATIE) Turrialba, Costa Rica.
- MARENA – Procuencia. (2005).** Proyecto Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera.
- Margalef, R. (1983).** Libro de Limnología. Editorial Omega, S.A. Barcelona.
- Medianero, E & Samaniego, S. (2004).** Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá. *Folia Entomol, Mex.* 43(3) 279-294.
- Medina, A; Scheibler, E & Paggi, A. (2008).** Composición y abundancia de Chironomidae (Diptera) en un río serrano de zona semiárida (San Luis, Argentina). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 63 (3-4): 107-118.
- Merritt, R. & Cummins, K. (1978).** An introduction to the aquatic insects of North America. Second Edition. Kundall / Hunt Publishing Company, Iowa.
- Metcalfe, J. (1989).** Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environ. Pollut.*,60 (1-2), 101-139 (39 pages).
- Michels, A. (1998).** Effects of sewage water on diatoms (Bacillariophyceae) and water on diatoms streams in Costa Rica, *Rev. Biol. Trop.* 46 Suppl. 6: 153-175.
- Molina, J. (2001).** Características Fisicoquímicas y del Fitoplancton de la Laguna Costera Laguna Perla (RAAS). Con Énfasis en Calidad de Agua.
- Nieves, A. (1989).** Estudio de las comunidades macrobentónicas en el río manzanares y sus afluentes y su relación con la calidad de agua. *Biológicas*, 18 (65) 45-60.
- Normas oficiales para la calidad del agua Mexico. Norma oficial Mexicana Nom-127-SSAI- (1994).** “Salud Ambiental. Agua. para uso y consumo humano –Límites permisibles de calidad de agua y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización”.
- Pardo, L; García, L; Delgado, C; Costas, N & Abraín, R. (2010).** Protocolos de muestreo de comunidades biológicas acuáticas fluviales en el ámbito de las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico. Convenio entre la Universidad de Vigo y las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico.68pp. NIPO 783-10-001-8
- Pennak, R. (1978).** Fresh- Water Invertebrates of the United States.803 Pag.
- Pino Chala, et al. (2003).** Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada la bendición, municipio de Quibdó (chocó, Colombia).
- Peralta, P & Fuentes, V. (2005).** Fitobentos, fitoplancton y zooplancton del Litoral del Bañado de Carilauquen, Cuenca de Ilancanelo, Mendoza, Arg.
- Posada, G; Roldán, G & Ramírez, R. (2000),** Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la Quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia *Rev. biol. Trop* v.48 n.1 San José mar.
- Ramírez, A & Viña, G. (1998).** Limnología colombiana aportes a su conocimiento y estadística de análisis. Primera edición. Fundación universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia.
- Ráudez, S. (2004).** Presencia de la familia Chironomidae en la entrada del Río San Juan y cuatro de sus tributarios. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA/UNAN.

- Ráudez, S. (2008).** Calidad del agua del Lago de Managua. Acápites de macroinvertebrados benthicos del Lago Xolotlan. Managua: Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA/UNAN. Evaluación y Monitoreo, ENACAL, INETER.
- Rivera, A. (2004).** Estructura y Composición de la Comunidad de Macroinvertebrados bentónicos en los Ríos Paramo y zonas boscosas en los andes venezolanos. Universidad de los Andes MERIDA- VENEZUELA 72 Pag.
- Rodier, J. (1991).** Análisis de aguas Naturales, Residuales y agua de mar. Ediciones Omega, S.A. CASANOVA, 220- Barcelona, España.
- Roldán, G. (1988).** Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. 217 Pag. Bogotá, fondo FEN Colombia-Colciencias, Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (2003).** Bioindicadores de la calidad de agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col. Editorial Universidad De Antioquia. 170 P, primera edición Medellín Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Rosemberg, D & Resh, V. (1993).** Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman y Hall, Nueva York. 488 p.
- Sabater, S; Sabater, F & Armenjol, J. (1988).** Comunidades de diatomeas en localidades altamente contaminadas del Río Ter (Cataluña, NE España). Limnética, 3: 103-109.
- Sala, S; Vouillou, A; Aguirre, N & Moreno Y. (2012)** .Diatomeas (Bacillariophyta) perifíticas del Complejo Cenagoso de ayapel, Colombia. Departamento Científico Ficología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Paseo del Bosque s/n.1900. La Plata. Argentina.
- Salvatierra, T & Caballero, Y. (2006).** Calidad del Agua del Lago de Nicaragua, (Cocibolca) en el área de influencia municipal del sur de la Isla de Ometepe. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA/UNAN.
- Salvatierra, T. (2012)** Revista científica Universidad Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua Vol.6 Nª 9: 36-41
- Sermeno, M & Springer, M. (2010).** Guía de metodología estandarizada de muestreo multi-habitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la "Red D" en ríos del salvador.
- Stevens Institute of Technology, SIT. (2006).** Demanda Biológica de Oxígeno. (En línea). Disponible en: <http://www.k12science.org>.
- Sosa, M; Novoa, M; Martinez, A. (2006).** Ficoflora de la cuenca endorreica fluviolacustre Chucal (Córdoba, Argentina). Departamento de ciencias naturales.
- Springer, M; Serrano, L & Zepeda, A. (2010).** Guía ilustrada para el estudio, ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Trichoptera.
- Springer, M; Vásquez, D; Castro, A; Kohlmann, B. (2007).** Bioindicadores de la calidad del agua. [Field-sheet for rapid environmental assessment of river water quality.] Universidad. EARTH. Guácimo, CR. 6 p.
- Staub, R; Appling, J; Hofstetter, A & Hass, J. (1970).** The effects of industrial wastes of Memphis and Shelby County on primary planktonic producers. Bioscience 20: 905-912.
- Segnini S. (2003).** El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua en corriente. Sociedad Venezolana de Ecología. ECOTROPICOS 16(2):45-63 2003
- Torres, P; Cruz, C & Patiño, P. (2009).** Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica, Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
- Van Dam, H; Mertens, A; Sinkeldam, J. (1994).** A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. Netherlands Journal of Aquatic ecology 28:117-133

Vannote, R; Minshall, G; Cummins, K; Sedell, J & Cushing, C. (1980). The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 130-137.

Vázquez G, Castro G, Gonzalez I, Pérez R & Castro T. (2006). Bioindicadores como Herramientas para Determinar La Calidad del Agua.

Velazquez, M; Alcantara, L; Mendoza, C. (2006) .Usos de diatomeas para la evaluación de la calidad del agua del Río Turbio, afluente del Río Lerma, Mexico. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, instituto de investigaciones metalúrgicas, metalúrgicas, Departamento de Geología Universidad Nacional Autónoma de México.

Ward, J. (1998). Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biological Conservation* 83: 269-278.

Wilhm, J & Dorris, T. (1968). Biological parameters of water quality. *Bioscience* 18: 447- 481.

Wetzel, R. (1981). Limnología. Ediciones Omega S.A. Barcelona.

<http://es.wikipedia.org/w/index.php> Contribuyentes: .Sergio, Alex, Abisaicoronado, *et al.* Pag, Consultada en el año 2012.

<http://es.wikipedia.org/w/index>. Contribuyentes: Acratta, Aeveraal, David *et al.* Pag, Consultada en el año 2012.

ANEXOS

Anexo 1. Situación ambiental del Río de Oro



Punto Las Piedras temporada seca.



Pozos artesanales adentro y a orillas del Río de Oro.



Cultivos de musáceas a orillas del río



Residuos sólidos que se vierten al Río de Oro

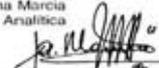


Vertedero municipal del municipio de Rivas

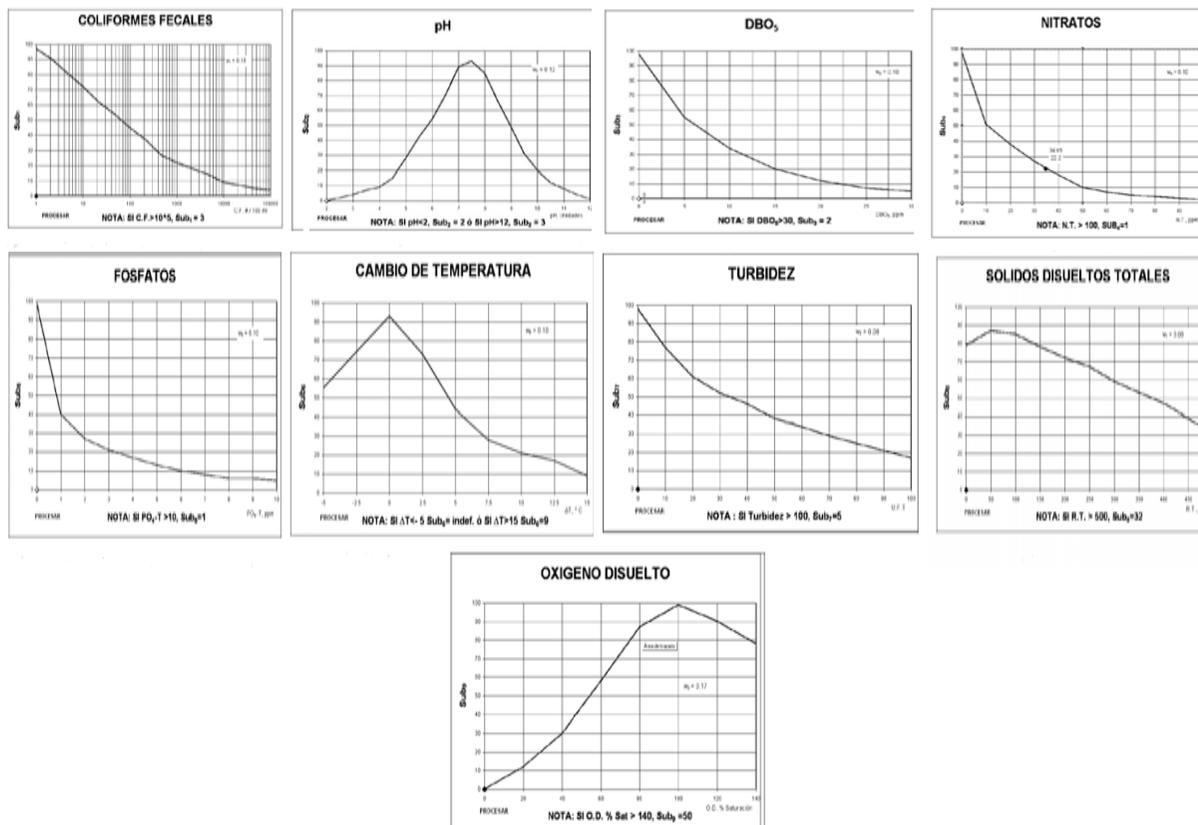


Planta de tratamiento de aguas residuales

Anexo 2. Formato de campo para colecta de muestras

	FORMATO DE CAMPO PARA LA COLECTA DE MUESTRA	FOR-CIRA-ATACC-27 Revisión: 2.1
CIRA/UNAN		
CLIENTE: _____		
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: _____		
LUGAR: _____		COMUNIDAD: _____
MUNICIPIO: _____		DEPARTAMENTO: _____
ELEVACIÓN _____ m	COORDENADAS N: _____	E: _____
FECHA DE MUESTREO: _____		HORA DE MUESTREO: _____
ANALISIS SOLICITADOS: _____		
Marque con una X cuando aplique:		
Matriz	Fuente	
Agua Natural <input type="checkbox"/>	Rio__ Lago__ Mar__ PE__ PP__ Manantial__ Lluvia__ Grifo__ Agua Envasada__ Otros__	
Agua Residual <input type="checkbox"/>	Industrial__ Tipo de efluente _____ Doméstico__ Agua tratada__	
Suelo <input type="checkbox"/>	De uso agrícola__ De uso forestal__ De Uso pecuario__ Natural__	
Sedimento <input type="checkbox"/>	Marino__ Lacustre__ Fluvial__ Residual__	
Peces <input type="checkbox"/>	Marino__ Agua dulce__	
Fluido biológico <input type="checkbox"/>	Sangre__ Orina__ Leche__ Grasa__ Otros__	
Tejido biológico <input type="checkbox"/>	Especifique: _____	
Alimentos <input type="checkbox"/>	Procesado__ No procesado__ Especifique: _____	
Ambiente <input type="checkbox"/>	_____	
Clave: PE: Pozo Excavado PP: Pozo Perforado		
PARÁMETROS DE CAMPO:		
pH: _____ Unidades de pH	Temperatura: _____ °C	Conductividad eléctrica _____ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
Salinidad: _____ ‰	Cloro Residual: _____ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Potencial Redox: _____ mV
Oxígeno Disuelto: _____ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Saturación de Oxígeno: _____ %	
TIPO DE MUESTREO:		
Puntual__	Estratificado__	No de Intervalos: _____
Compuesto de _____ horas		Integral: _____ de _____ a _____ m
Equipo de muestreo utilizado: _____		
Observaciones: _____		
Nombre de la persona que tomó la muestra _____		
Para Uso de la Unidad Venta de Servicios	Nombre de la persona que verifica esta información: _____	
Para Uso del laboratorio	Iniciales analista a Cargo: _____	Código de la muestra en el laboratorio: _____
Fecha de Verificación: _____		
Este formato fue elaborado por un equipo técnico con amplia experiencia en el trabajo analítico y de campo.		
Elaborado por: Ins: Hurtado García Especialista-Analista Firma: 	Revisado por: Junette Molina Marcia Jefe de Área Analítica Firma: 	Aprobado y Autorizado por: Victor Manuel Martínez Jefe de Área Técnica, Aseguramiento y Control de la Calidad Firma: 
Fecha: 2007-03-15	Fecha: 2007-03-15	Fecha: 2007.03.15.

Anexo 3. Valoración de la calidad de agua en función de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.



Bonilla, B. *et al.*, (2010)

Anexo 4. Instrumentos para la toma de muestras fisicoquímicas



Anexo 5. Técnicas de recolecta y análisis de Macroinvertebrados



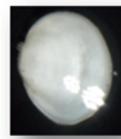
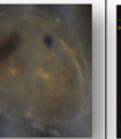
Anexo 6. Técnica de recolecta y análisis de Diatomeas



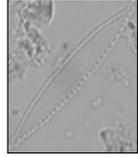
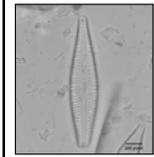
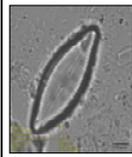
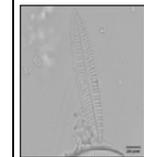
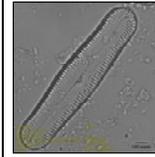
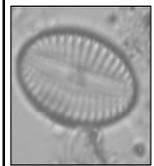
Anexo 7. Valores de los nueve parámetros fisicoquímicos necesarios para la aplicación del ICA, registrados en la estación seca y lluviosa en los cuatro sitios de muestreo sobre el curso del Río de Oro, 2012.

Puntos de muestreo		Las Piedras		19 de Julio		Santa Carlota		Desembocadura al Lago	
Parámetros	Unidades	E. seca	E. lluviosa	E. seca	E. lluviosa	E. seca	E. lluviosa	E. seca	E. lluviosa
Coliformes fecales	NMP/100ml	1.30 E+03	No se obtuvieron muestras	3.30E+05	3.30E+04	3.30E+04	1.30E+05	2.20E+05	3.30E+04
pH	Unidades de pH	8,15		8,28	7,68	7,56	7,69	8,17	7,78
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg.l ⁻¹	2,71		4,46	6	32,96	48	14,76	16
Temperatura	°C	26		27,4	27,8	28	28,4	28,1	30,5
Nitratos	mg.l ⁻¹	3,5		8,59	9,61	<ld	1,11	<ld	0,35
Fosfatos	mg.l ⁻¹	0,637		1,476	1,066	6,874	6,373	6,587	4,399
Turbidez	UTN	3,6		5,05	1,2	81,2	55	31,1	17,8
Sólidos Totales Disueltos	mg.l ⁻¹	342		487	519	527	466	510	512
Oxígeno Disuelto	mg.l ⁻¹	0,7		3,2	4,3	3,6	5,6	5	2,9

Anexo 8. Macroinvertebrados encontrados en el Río de Oro.

 <i>Bezzia sp</i>	 <i>Chironomus sp</i>	 <i>Hexatoma sp</i>	 <i>Sepedon sp</i>	 <i>Microcyloepus sp</i>	 <i>Caenis sp</i>	 <i>Darwinula sp</i>	 <i>Physa sp</i>
 <i>Nais sp</i>	 <i>Ambrysus sp</i>	 <i>Odontomyia sp</i>	 <i>Hydrarina</i>	 <i>Laevis sp</i>	 <i>Hebrus sp</i>	 <i>Tropisternus sp</i>	 <i>Halochares sp</i>
 <i>Microsepra sp</i>	 <i>Larsia sp</i>	 <i>Endoquironomus sp</i>	 <i>Dero sp</i>	 <i>Argia sp</i>	 <i>Dithelmis sp</i>	 <i>Driops sp</i>	 <i>Colembola sp</i>
 <i>G.N.I</i>	 <i>Typerionxystus sp</i>	 <i>G.N.I</i>	 <i>Placobdela sp</i>	 <i>Cypris sp</i>	 <i>Tricorithodes sp</i>	 <i>Traverela sp</i>	 <i>Mesovella sp</i>
 <i>Limnocytheri sp</i>							
MACROINVERTEBRADOS DEL RÍO DE ORO:					YARITZA SANDOVAL		

Anexo 9. Especies de Diatomeas encontradas en el Río de Oro.

<i>Nitzschia palea</i>	<i>Amphora ovalis</i>	<i>Navicula pupula</i>	<i>Nitzschia frustulum</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Navicula confervacea</i>	<i>Navicula scroeterii</i>	<i>Pinnularia acrosphaeria</i>
							
<i>Pinnularia sp</i>	<i>Luticola mitica</i>	<i>Pinnularia braunii</i>	<i>Gomphonema affine</i>	<i>Diploneis sp</i>	<i>Navicula confervacea</i>	<i>L. mitica</i>	<i>Navicula pupula</i>
							

Anexo 10. Frecuencia de observación de especies de Diatomeas registrada en los cuatro puntos muestreados en el Río de Oro durante la estación seca y lluviosa, año 2012.

Género	Especies	Fr
Achnanthes	<i>Achnanthes exigua</i>	0.9
	<i>Achnanthes minutissima</i>	0.3
	<i>Achnanthes sp</i>	0.3
Amphora	<i>Amphora ovalis</i>	0.7
	<i>Amphora sp</i>	0.1
Coconeis	<i>Coconeis placentula</i>	0.3
Cyclotella	<i>Cyclotella meneghiniana-</i>	0.1
Cymbella	<i>Cymbella sp1</i>	0.1
	<i>Cymbella sp2</i>	0.1
	<i>Cymbella tumida</i>	0.1
Diploneis	<i>Diploneis parma</i>	0.1
	<i>Diploneis puella</i>	0.1
Eunotia	<i>Eunotia sp</i>	0.3
Gyrosigma	<i>Gyrosigma scalproides</i>	0.1
	<i>Gyrosigma sp</i>	0.1
Gomphonema	<i>Gomphonema affine</i>	0.7
	<i>Gomphonema parvulum</i>	0.9
Luticula	<i>Luticula mutica</i>	0.6
Melosira	<i>Melosira varians</i>	0.1
Navicula	<i>Navicula accomoda</i>	0.3
	<i>Navicula arvensis</i>	0.3
	<i>Navicula confervacea</i>	0.7
	<i>Navicula cryptocephala</i>	0.1
	<i>Navicula cryptotenella</i>	0.9
	<i>Navicula cuspidata</i>	0.1
	<i>Navicula erifuga</i>	0.4
	<i>Navicula gregaria</i>	0.1
	<i>Navicula halophila</i>	0.3
	<i>Navicula muraliformis</i>	0.4
	<i>Navicula pupula</i>	0.7
	<i>Navicula pygmaea</i>	0.1
	<i>Navicula schroeterii</i>	0.3
<i>Navicula subtilissima</i>	0.1	
Nitzschia	<i>Nitzschia amphibia</i>	0.6
	<i>Nitzschia amphioxys</i>	0.1
	<i>Nitzschia circumsuta</i>	0.1
	<i>Nitzschia clausii</i>	0.3
	<i>Nitzschia frustulum</i>	0.3
	<i>Nitzschia linearis</i>	0.1
	<i>Nitzschia litoralis</i>	0.1
	<i>Nitzschia palea</i>	0.9
	<i>Nitzschia parvulum</i>	0.1
	<i>Nitzschia sigma</i>	0.1
	<i>Nitzschia sigmaidea</i>	0.1
	<i>Nitzschia sp1</i>	0.6
	<i>Nitzschia sp2</i>	0.1
<i>Nitzschia umbonata</i>	0.4	
Pinnularia	<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	0.4
	<i>Pinnularia braunii</i>	0.4
	<i>Pinnularia sp</i>	0.4
Rhopalodia	<i>Rhopalodia gibberula</i>	0.3
Synedra	<i>Synedra ulna</i>	0.1