

UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
Tesis presentada y aprobada para completar los requisitos para el grado de
Maestría en Ciencias Ambientales

EL PERIFITON COMO BIOINDICADOR DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS
RÍOS: GRANDE DE AÑASCO, GUANAJIBO Y YAGÜEZ

Janet Millán Alduén

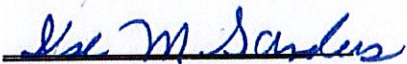
Junio 2022

Miembros del Comité de Tesis



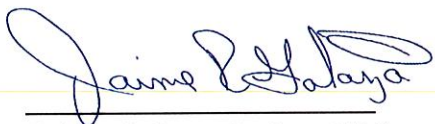
Héctor E. Quintero Vilella, PhD.
Presidente

15 de noviembre de 2022
Fecha



Ilse M. Sanders, PhD.
Lectora

15 de noviembre de 2022
Fecha



Jaime Galarza Laboy, M.S.
Lector

15 de noviembre de 2022
Fecha



Carlos E. Irizarry, D.B.A.
Director Interino Centro Estudios Graduados

15 de noviembre de 2022
Fecha



Dra. Ileana Ortiz, Ed.D.
Decana Interina de Asuntos Académicos

15 de noviembre de 2022
Fecha

RESUMEN

El perifiton es, una comunidad compleja de microorganismos que vive adherida a un sustrato sumergido en el agua (Biggs y Kilroy, 2000). En este estudio se utilizó el perifiton como bioindicador de la calidad del agua de tres ríos del área oeste de Puerto Rico. Los sistemas lóticos estudiados fueron: Río Grande de Añasco, Río Guanajibo y Río Yagüez.

Por medio de raspado se tomaron muestras de perifiton en sustrato natural y se colectaron trampas de sustrato artificial en las tres estaciones de los Ríos de estudio. Fueron colectadas: diatomeas, algas verdes y algas azul-verdosas en ambos sustratos. Se determinaron los parámetros físicos-químicos: temperatura, velocidad de la corriente, pH y profundidad in situ. Se colectaron dos muestras de agua de cada estación, para analizar en el laboratorio: oxígeno disuelto, bióxido de carbono, nitrato, fosfato, sílica, amonía, cloro, la dureza, la turbidez y la alcalinidad (La Motte Water Pollution Detection Kit, 2009).

La comunidad del perifiton estuvo dominada por diatomeas de los géneros: *Cocconeis spp.*, *Navícula spp.* y *Fragilaria spp.* Los géneros menos abundantes fueron: *Lyngbya spp.* (alga azul-verdosa); *Scenedesmus spp.* y *Ankistrodesmus spp.* (algas verdes). Se identificaron 797 individuos en el Río Guanajibo; 714 en el Río Grande de Añasco y 690 en el Río Yagüez.

El perifiton está compuesto por organismos de una calidad de agua intermedia y pobre (Palmer, 1969; Bellinger y Sigee, 2010; Palmer, C. M. et al, 1962); que existen en los ríos: Grande de Añasco, Guanajibo y Yagüez. Los ríos comparten taxones identificados como de agua contaminada: *Melosira spp.*, *Synedra spp.*, *Navícula spp.* y *Nitzschia spp.*, *Cladophora spp.* y *Spirogyra spp.* (Bellinger y Sigee, 2010; Gualtero, 2007; Palmer, 1969; Palmer, C. M. et al, 1962). *Cocconeis spp.* considerada cosmopolita, se encontró en los tres puntos de muestreo de los tres ríos de estudio.

No se encontró diferencia significativa entre el total de individuos por río y por estación durante los seis meses de muestreo. Existe la probabilidad que haya relación entre la cantidad promedio de nutrientes (amonía, fosfato y nitrato) y el número de individuos en cada río; según resultados de la corelación de Spearman. Según los resultados del Índice de Diversidad de Shannon, los Ríos de estudio se clasifican como mesotróficos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación no hubiera podido llevarse a cabo sin la colaboración y apoyo de muchas personas, que no puedo dejar de mencionar. Ya que de una forma u otra estuvieron conmigo en las buenas y en las malas.

Mi equipo de trabajo de campo, compuesto por mi madre Alida Alduén y su esposo José Cardona (Jun). Por su participación activa en cada muestreo. A mi hermana, Diane Millán, por su trabajo de informática. Los hermanos Félix y Juan Agrait, por su trabajo gráfico. A mi sobrina Carolina, por ayudarme con la data.

A mi director del comité graduado, Dr. Héctor Quintero, por confiar en mí capacidad y ser mi andamio desde el principio hasta el final de esta larga jornada. Gracias, a mis lectores Dra. Ilse Sanders y Profesor Jaime Galarza, por sacar de su tiempo. A Rafael Rivera y Nilda por siempre estar disponible para ayudarme con el equipo del laboratorio.

Mis amigas y compañeras universitarias: Verónica Aponte, Yamillette Colón y especialmente, Anangélica Rivera por enseñarme que no es llegar primero, si no con estilo. Al Sr. Ángel Carreras por su ayuda con el trabajo estadístico.

A mis hermanos y sobrinos; por sostenerme durante los momentos de duda.

Por último y el más importante, a Papá Dios por iluminarme la mente y cuidarme durante este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulos:	Páginas:
I. INTRODUCCION	1
II. JUSTIFICACION	4
III. OBJETIVOS	6
IV. REVISION DE LITERATURA	7
1 Biomonitoreo	7
2 Perifiton	8
2.1 Diatomeas	9
2.2 Algas Verdes	10
2.3 Algas Azul-Verdosas	11
2.4 Euglenoides	11
3 Usos	13
4 Estudios	13
V. Metodología	18
1 Área de Estudio	18
2 Colección Muestras de Agua y determinación de calidad físico química	23
3 Colección de perifiton e Identificación	25
4 Determinación de Calidad Biológica	29
5 Diversidad y Abundancia	29
6 Análisis de Data	30
VI. Resultados y Discusión	31

1 Temporada de Muestreo	31
1.1 Precipitación	31
2 Calidad del Agua	35
2.1 pH	35
2.2 Temperatura	38
2.3 Velocidad de la Corriente	41
2.4 Profundidad	44
2.5 Alcalinidad	47
2.6 Amonia/Nitrógeno	50
2.7 Cloruro	53
2.8 Dióxido de Carbono	56
2.9 Dureza	59
2.1 Fوسفato	63
2.11 Nitrato	66
2.12 Oxígeno Disuelto	69
2.13 Sílica	72
2.14 Sulfuro	74
2.15 Turbidez	77
3. Tipo de Sustrato	81
4 Composición de la Población del Perifiton	84
5. Identificación del Perifiton	89
6. Evaluación Biológica	95
6.1 Abundancia	95

6.2 Índice de Diversidad	100
6.3 Índice de Contaminación	106
7 Comparación entre Concentración Nutrientes vs. Número de Individuos y Número de Especies	114
8. Análisis de Data	120
8.1 ANOVA	120
8.2 Coeficiente de Correlación de Spearman	126
VII. CONCLUSION	127
VIII. BIBLIOGRAFIA	129
IX. APENDICE	135

LISTA DE TABLAS

TABLAS:	PAGINAS:
1. Clasificación de la calidad del agua según su dureza (mg/L)	60
2. Clasificación de la calidad del agua según concentraciones de nitrato, amonio, cloruro y oxígeno (mg/L)	80
3. Composición población perifiton por estación del Río Grande de Añasco	85
4. Composición población perifiton por estación del Río Guanajibo	86
5. Composición población perifiton por estación Río Yagüez	87
6. Composición población perifiton de los tres ríos	88
7. Total de individuos por estación Río Grande de Añasco	96
8. Total de individuos por estación Río Guanajibo	97
9. Total de individuos por estación Río Yagüez	98
10. Total de individuos de los tres ríos	99
11. Resultados Índice de Diversidad de Shannon Río Grande de Añasco	101
12. Resultados Índice de Diversidad de Shannon Río Guanajibo	102
13. Resultados Índice de Diversidad de Shannon Yagüez	103
14. Resultados Índice de Diversidad de Shannon de los 3 ríos	104
15. Relación entre la calidad de agua y el Índice de Diversidad de Shannon	105
16. Resultado Índice de Contaminación de Palmer Río Grande de Añasco por estación	107
17. Resultado Índice de Contaminación de Palmer Río Guanajibo por estación	108
18. Resultado Índice de Contaminación Palmer de Río Yagüez por estación	109
19. Resultado Índice de Contaminación de Palmer en los tres ríos	111

20. Relación entre la calidad de agua y el Índice de Contaminación Palmer	113
21. Calidad de agua según resultados Índice de Diversidad de Shannon, Índice de Contaminación de Palmer y concentración de Nutrientes	115
22. Relación entre número de individuos; número especies y concentración promedio de amonio ,nitrato y fosfato (mg/L) en el Río Grande de Anasco	117
23. Relación entre número de individuos; número especies y concentración promedio de amonio ,nitrato y fosfato (mg/l) en el Río Guanajibo	118
24 .Relación entre número de individuos; número especies y concentración promedio de amonio ,nitrato y fosfato (mg/l) en el Río Yagüez	119
25. Resumen de resultados de ANOVA para determinar si el total de individuos por estación, en el Río Grande de Anasco es disparejo	121
26. Resumen de resultados de ANOVA para determinar si el total de individuos por estación, en el Río Guanajibo es disparejo	122
27. Resumen de resultados de ANOVA para determinar si el total de individuos por estación, en el Río Yagüez es disparejo	123
28. Resumen de resultados de ANOVA para determinar si hubo diferencia significativa en el número de individuos, de los tres ríos durante los seis meses de muestreo	125

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS:	PAGINAS:
1 Perifiton visto a través del microscopio	12
2 Puntos de muestreo y colocación de trampas de perifiton en los Ríos: Grande de Añasco: Yagüez y Guanajibo	19
3 Localización de las tres estaciones de muestreo del Río Grande de Añasco	20
4 Localización de las tres estaciones de muestreo del Río Guanajibo	21
5 Localización de las tres estaciones de muestreo del Río Yagüez	22
6 Prueba para medir la Velocidad de la corriente	24
7 Trampa de perifiton (sustrato artificial), sumergida en el Río Yagüez	28
8 Precipitación promedio por estación de cada río	33
9 Precipitación promedio por río	34
10 pH promedio por estación de cada río	36
11 pH promedio por río	37
12 Temperatura promedio por estación de cada río	39
13 Temperatura promedio por río	40
14 Velocidad de la corriente promedio por estación de cada río	42
15 Velocidad de la corriente promedio por río	43
16 Profundidad promedio por estación de cada río	45
17 Profundidad promedio por río	46
18 Alcalinidad promedio por estación de cada río	48
19 Alcalinidad promedio por río	49
20 Amonia/Nitrógeno promedio por estación de cada río	51

21	Amonia/Nitrógeno promedio por río	52
22	Cloruro promedio por estación de cada río	54
23	Cloruro promedio por río	55
24	Dióxido de Carbono promedio por estación de cada río	57
25	Dióxido de Carbono promedio por río	58
26	Dureza promedio por estación de cada río	61
27	Dureza promedio por río	62
28	Fosfato promedio por estación de cada río	64
29	Fosfato promedio por río	65
30	Nitrato promedio por estación de cada río	67
31	Nitrato promedio por río	68
32	Oxígeno Disuelto promedio por estación de cada río	70
33	Oxígeno Disuelto promedio por río	71
34	Sílica promedio por río	73
35	Sulfuro promedio por estación de cada río	75
36	Sulfuro promedio por río	76
37	Turbidez promedio por estación de cada río	78
38	Turbidez promedio por río	79
39	Sustrato artificial vs. natural en los tres Ríos	82
40	Perifiton colectado en sustrato natural y artificial	83
41	Especies identificadas en los tres Ríos I	91
42	Especies identificadas en los tres Ríos II	92
43	Especies identificadas en los tres Ríos III	93

44	Especies identificadas en los tres Ríos IV	94
45	Por ciento de especies identificadas como pertenecientes al Índice de Contaminación de Palmer en cada estación de los tres Ríos	110
46	Por ciento de especies identificadas como pertenecientes al Índice de Contaminación de Palmer en los tres Ríos	112

LISTA DE APENDICES

APENDICE:	PAGINAS:
1. Géneros identificados en la estación uno del Río Grande de Añasco	136
2. Géneros identificados en la estación dos del Río Grande de Añasco	137
3. Géneros identificados en la estación tres del Río Grande de Añasco	138
4. Géneros identificados en la estación uno del Río Guanajibo	139
5. Géneros identificados en la estación dos del Río Guanajibo	140
6 .Géneros identificados en la estación tres del Río Guanajibo	141
7 .Géneros identificados en la estación uno del Río Yagüez	142
8. Géneros identificados en la estación dos del Río Yagüez	143
9 .Géneros identificados en la estación tres del Río Yagüez	144
10. Índice de Contaminación de Palmer	145

CAPITULO I: INTRODUCCION

La calidad de los cuerpos de aguas superficiales es un asunto de gran importancia para todos. Están destinadas a utilizarse como fuente de abasto para el suministro de agua potable, la propagación y preservación de especies; así como para la recreación. El aumento en la población, el desparramiento urbano, la falta de planificación y de conciencia ambiental han provocado que la calidad del agua de nuestros recursos hidrográficos disminuya (DRNA, 2007). Las fuentes de contaminación por nutrientes y sedimentos de las aguas superficiales son numerosas. Existen diversas fuentes puntuales y dispersas como lo son las comunidades urbanas sin alcantarillado, comunidades suburbanas y áreas rurales, botaderos de basura también han sido identificados como de los mayores contribuyentes de nutrientes en la superficie de las aguas de Puerto Rico (Padilla, 2007; DRNA, 2007). Es por esta razón que es importante conocer el estado de los cuerpos de agua; como los ríos; e integrar los índices biológicos con los parámetros físico-químicos para obtener un cuadro más amplio de lo que acontece en la cuenca.

La degradación de la calidad de agua de los ríos, ha sido motivo de preocupación en las últimas décadas, y aunque la contaminación del agua es ante todo un problema biológico, muchos países han dependido de los parámetros físico-químicos para su evaluación. Los llamados índices biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras, es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas (Araya, et al, 2003). El control biológico ó biomonitoreo, es el uso de la respuesta biológica para

evaluar los cambios en el medio ambiente, en general, los cambios debidos a causas antropogénicas. Es una herramienta valiosa de evaluación, que está recibiendo un mayor uso en programas de monitoreo de calidad del agua de todo tipo. La presencia o ausencia del indicador o de una especie indicadora de la comunidad o indicador refleja las condiciones del medio ambiente (Ramakrishnan, 2003).

Se han utilizado como bioindicadores de la calidad de agua de los ríos: macroinvertebrados, peces, perifiton, y *Escherichia coli*, entre otros (Barbour et al, 2002; Bellinger y Sigee, 2010). En esta investigación se utilizó el perifiton. Las ventajas de utilizar el perifiton son varias. Como productores primarios, son afectados directamente por los cambios en composición del agua (Biggs y Kilroy, 2000). La composición de su micro comunidad la hace sensitiva a ciertos contaminantes que no afectan visiblemente a otras comunidades (Barbour et al, 2002; Biggs y Kilroy, 2000). Colectarlos es fácil, económico y no necesita mucho personal. Existe información taxonómica para su identificación en aguas limpias y en aguas contaminadas (Barbour et al, 2002; Bellinger y Sigee, 2010). Se reproducen rápido y su ciclo de vida es corto (Barbour et al, 2002). La contaminación orgánica tiende a influenciar la flora algal más que cualquier otro factor en el ambiente acuático (Palmer, 1969).

En Puerto Rico, desafortunadamente, se le ha dado poca importancia al monitoreo biológico con perifiton; a diferencia de otros países (Rivera, 1987; Gualtero, 2007). La mayoría de los estudios llevados a cabo en la Isla, con bioindicadores utilizan: macroinvertebrados, insectos y fitoplancton (Gualtero, 2007).

En esta investigación se utilizaron las comunidades del perifiton como bioindicadores de calidad de agua. Se analizaron los parámetros físico-químicos, para de esta forma comparar la relación entre los parámetros, la presencia de nutrientes y el perifiton. Se caracterizaron taxonómicamente los Ríos Grande de Añasco, Guanajibo y Yagüez. Los resultados obtenidos servirán de base para estudios futuros, así como para manejar con mayor cobertura los estudios de calidad de agua de los ríos de Puerto Rico.

CAPITULO II: JUSTIFICACION AMBIENTAL

El agua es un recurso vital para el ser humano y su medio ambiente, y de su calidad depende el buen funcionamiento de todos los sistemas de un organismo viviente (DRNA, 2007).

En ambientes lóticos, el efecto de las corrientes no permite el desarrollo de comunidades planctónicas permanentes, estando la producción primaria del sistema prácticamente restringida al perifiton que se desarrolla en los diferentes sustratos presentes (Salazar, 1998). Al perifiton, se le considera un excelente indicador de cambios ocurridos en el ambiente acuático (Azim et al, 2005). La presencia de ciertas especies tolerantes a la contaminación permite clasificar un sistema acuático en: saludable, semi-saludable, contaminado y muy contaminado (Weitzel, 1979).

El perifiton responde a alteraciones en parámetros físicos, químicos y biológicos debido a su tamaño y rápido crecimiento; la composición del perifiton puede ser muy útil como sistema de alerta temprana de las alteraciones de la cuenca (Barbour et al, 2002). Los disturbios directos o indirectos cambian la composición del agua y pueden causar cambios en la composición de la comunidad algal y/o adaptaciones a los factores estresantes. Estos son: disturbios físicos, luz, disponibilidad de nutrientes, estabilidad del sustrato, temperatura, profundidad, escorrentías, velocidad de la corriente y la presencia de herbívoros (Bellinger y Sigee, 2010).

Por varios años han existido una serie de propuestas, donde las diatomeas y algas, son utilizados como organismos indicativos de la calidad del agua (Palmer, 1969). En Nueva Zelandia, España, Taiwan, India (Azim, 2005; Ramakrishnan, 2003); Canadá, Australia (Gualtero, 2007), Malasia, (Wan, 2010) , Argentina (Vilches et al. 2016), Mexico (Hidalgo et al, 2018),Venezuela (Andrade et al. 2009), Costa Rica (Barquero,1999) y en los Estados Unidos (Montana, Kentucky, Delaware, Massachusetts, Ohio, Florida y Oklahoma (Barbour et al, 2002), se han desarrollado métodos que emplean la comunidad del perifiton, en los monitoreos de calidad de agua. Agencias Federales como, la EPA y USGS, utilizan el perifiton en sus estudios de calidad de agua y se fundamenta principalmente en la identificación de taxones y su frecuencia (Gualtero, 2007). Por ende, la comunidad del perifiton se reconoce como un medio de evaluación de la biodinámica del río, (Araya, 2003; Rivera, 1987; Weitzel, 1979).

CAPITULO III: OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es integrar el uso de bioindicadores, como lo es la comunidad del perifiton, apoyados en los parámetros físico-químicos. Para evaluar la salud biológica de los tres Ríos de estudio, conocer parcialmente su estado actual y brindar elementos para establecer comparaciones futuras.

- 1) Determinar si existen diferencias entre las poblaciones de perifiton entre los tres Ríos: Guanajibo, Grande de Añasco y Yagüez.
- 2) Determinar si existen diferencias entre las poblaciones de perifiton en diferentes estaciones de muestreo en el mismo Río.
- 3) Identificar especies predominantes en los tres ríos.
- 4) Identificar especies bioindicadores de calidad de agua en los tres Ríos.
- 5) Utilizar el Índice de Palmer para indicar la calidad del agua biológicamente.
- 6) Caracterizar la calidad físico-química del agua de los Ríos mencionados.
- 7) Relacionar los resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos con los indicadores bióticos.
- 8) Determinar si la presencia de nutrientes influye en el tamaño y composición del perifiton.

CAPITULO IV: REVISION LITERATURA

1. Biomonitorio

La evaluación biológica es una valoración de la condición de un cuerpo de agua a través de la biota residente en las aguas superficiales (Barbour et al, 2002). Su presencia provee información sobre el ambiente físico-químico en un lugar en particular. Nos provee información a largo plazo de las condiciones pre-existentes con alta concentración de nutrientes. A corto plazo, cambios en condiciones que reflejan la posibilidad de contaminación causadas por actividades antropogénicas (Wu, 1999). Algunos grupos taxonómicos de algas demuestran claramente su preferencia por condiciones particulares en el agua (Bellinger y Sigeo, 2010). Las ventajas de utilizar el perifiton son que: refleja la calidad del agua integrando diferentes fechas estresantes sobre el tiempo, medida de impacto ecológico en los parámetros ambientales y sobre los organismos acuáticos; forma rápida, económica y disponible de monitorear las condiciones del cuerpo de agua (Barbour et al, 2002).

Como alternativa a estos procedimientos, algunos países, por ejemplo: España y Estados Unidos (Toro et al, 2003), han incorporado el biomonitorio, (Araya, et al, 2003). Los llamados índices biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras, es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas (Araya, et al, 2003). El conocimiento de los aspectos biológicos de la contaminación no es sólo de interés, si no esencial para el estudio del problema de contaminación en los ríos, (Rivera,

1987). Los estudios de comunidades rivereñas se pueden utilizar para describir el estado del agua, predecir su desarrollo y recomendar la protección del cuerpo de agua, (Druvietis, 1997).

2. Perifiton

El perifiton, (ver Figura 1), se define como una comunidad de microorganismos atados a una superficie sólida y sumergida. Consiste de algas verdes, algas azul-verdosas y diatomeas primariamente (Biggs y Kilroy, 2000), pero puede tener atado: bacterias, hongos, protozoarios, rotíferos y otros organismos pequeños (USGS, 1994; Azim et al, 2005). El perifiton es utilizado comúnmente en la literatura para incluir los organismos que crecen asociados a un sustrato sumergido (Poulickova, et al, 2008). El término alemán “aufwuchs” (Rivera, 1987), biopelícula (Horne y Goldman, 1994), algas bénticas y phytobenthos (Barbour et al, 2002), ha sido empleado como sinónimo por muchos autores. Estos se clasifican según el sustrato de su preferencia: epilíticas (sobre rocas), epipélicas (sobre sedimento ó arcilla), episámicas (granos de arena), epífitas (sobre plantas sumergidas), episílicas (sobre madera) y epizóicas (sobre animales), (Poulickova et al, 2008; Azim et al, 2005). Además pueden utilizar como sustrato materia en descomposición y materia no viva (Azim et al, 2005). Se puede encontrar en todo tipo de cuerpo de agua, desde pequeñas charcas hasta en grandes océanos y bajo condiciones oligotróficas hasta eutróficas (Azim et al, 2005). Su morfología es una forma modificada de plankton, pero con algunas adaptaciones que le permiten conectarse al sustrato. Algunas de estas adaptaciones son: filamentos, rizoides y terminaciones pegajosas que le permiten adherirse y permanecer en dicho sustrato (Azim et al, 2005). Su tamaño tiene

un rango desde una célula a miles de células en un diámetro; hasta más de 60 m de altura en algunas algas filamentosas. Su forma puede ser: simple, multicelular, no mótil, mótil y filamentosas. Se clasifican en cuatro grupos (Azim et al, 2005) dependiendo del color, forma de crecimiento y características fotosintéticas: capa negra, capa marrón, capa verde y filamentosas verdes. Los factores que influyen en la distribución, abundancia y composición de la comunidad son: la luz, nutrientes, velocidad de la corriente, profundidad, sustrato, temperatura, los animales que raspan (“grazing animals”) (Azim et al, 2005), la materia disuelta en el agua (Weitzel, 1979) y las escorrentías (Allan, 1995).

Para los propósitos de este estudio se identificaron, de la comunidad del perifiton: diatomeas, algas verdes y algas azul-verdosas, solamente.

2.1. Bacillariophyta (diatomeas)

Su estructura le permite ser identificada sobre otras especies, ya que es un grupo bien distintivo (Bellinger y Sigee, 2010). Están compuestas mayormente por sílica (Biggs y Kilroy, 2000). Es el componente mayor de las películas de perifiton y en la secuencia de colonización (Azim et al, 2005). Es utilizado como bioindicador de condiciones ambientales de cuerpos lóticos (ríos y quebradas) y lénticos (lagos y humedales) (Barbour et al, 2002). Se puede tener información de la calidad del agua con los índices taxonómicos (Palmer et al, 1962; Ramakrishnan, 2003). La composición de la comunidad de las diatomeas de río se desarrolla en respuesta a la velocidad de la corriente, la naturaleza química del agua, la eutroficación, la contaminación tóxica y los organismos que raspan.

(Prescott G., 1979; Barbour et al, 2002). Son ampliamente utilizadas en la determinación de las características paleoambientales (Biggs y Kilroy, 2000). Los resultados de los estudios realizados con diatomeas han mostrado que la calidad biológica del agua con los datos físico-químicos (Almeida, 2001). Coloniza diferentes ambientes y probablemente son los organismos eucariotas más dominantes del medio acuático. Esto se debe a su pared de sílice, que al ser una capa dura les confiere resistencia a diferentes cambios ambientales (Colón Ortiz, et al, 2006).

2.2. Chlorophyta (alga verde)

Tienen como principal característica la presencia de clorofila a y b en la misma proporción que las plantas que son las causantes de su color verde (Wehr y Sheath ,2003). Toleran ambientes muy variables en las que pocas especies logran sobrevivir (Bellinger y Sigee, 2010). Tienen células grandes con numerosos cloroplastos. Plantas celulares o filamentosas flotando, nadando; o atadas y estacionarias (Horne y Goldman, 1994). Es utilizada frecuentemente para proveer información de las características físico-químicas en los ambientes acuáticos. (Cleckner et al, 1999). Por ejemplo, el alga verde filamentosa domina con frecuencia los ambientes dominados por factores estresantes como lo son: eutroficación cultural, acidificación y contaminación con metales (Biggs y Kilroy, 2000).

2.3. Cyanophyta (alga azul-verdosa)

Tienen clorofila a, únicas que llevan a cabo fotosíntesis oxigénica. Son plantas unicelulares, en colonias o en simples filamentos con ramificaciones (Prescott, 1979). Están frecuentemente presentes en películas mixtas (con bacterias, hongos e invertebrados también presentes); y películas de perifiton maduro (Azim et al, 2000). Las cianobacterias colonizan numerosos ecosistemas terrestres y acuáticos. Sin embargo, en ambientes acuáticos es donde especialmente se agregan, dando lugar a formaciones típicas conocidas como floraciones o “blooms” Estas proliferaciones en masa ocurren en aguas eutróficas ricas en nutrientes (particularmente fosfatos, nitratos y amoníaco). Dichos “blooms” resultan muy antiestéticos e indeseables en aguas de recreo ya que cambian el aspecto del agua y causan turbidez (Wehr y Sheath, 2003).

2.4. Euglenoides

Están incluidos en el índice de agua contaminada de Palmer. Grupo de flagelados comúnmente presentes en cuerpo de agua dulce, especialmente cuando es rica en materia orgánica (Wehr y Sheath, 2003). Se considera un indicador inequívoco de aguas de muy pobre calidad (Bellinger y Sigee, 2010)

Figura 1 Perifiton visto através del microscopio.



3. Usos

La comunidad del perifiton es utilizada además, para el tratamiento de aguas usadas, (Azim et al, 2005) y en la producción de peces para la acuicultura en la India. Se ha encontrado que las comunidades del perifiton desempeñan un papel fundamental en la dinámica de los sistemas acuáticos. Contribuyen a la producción de metabolitos orgánicos para diversos organismos en la cadena alimenticia. Además, presentan una alta tasa de reciclaje de nutrientes, hábitat y alimento a otros organismos acuáticos (Carvajal et al, 2005). En los Everglades del estado de Florida, E. U., el perifiton es una importante fuente de comida y de oxígeno para los organismos acuáticos pequeños. Además, provee la humedad que necesitan estos para sobrevivir durante la época seca (USGS, 2004). Es un buen indicador de calidad de agua (USGS, 1994), y se ha usado como detector de contaminación por su naturaleza sésil (Lind, 1979). El perifiton puede indicar calidad de agua sobre el periodo de un año y es un indicador más sensitivo que las medidas químicas (McPherson, et al, 2003). Se ha determinado que el perifiton tiene el potencial para proveer data de los efectos biológicos de descargas a los ríos para completar data de biomonitoreo de calidad de agua (Biggs, 1989).

4. Estudios

Los trabajos limnológicos realizados en Puerto Rico, sobre organismos indicadores de contaminación de los ríos, son muy escasos y se basan principalmente en identificación de especies, (Rivera, 1987). Gualtero Leal (2007), estudió la composición y abundancia de las algas bénticas en cinco sistemas lóticos de Puerto Rico. Estos sistemas estaban en el centro y este de la Isla. Encontró que la composición de especies y las altas

concentraciones de nutrientes con respecto a las quebradas del este, pueden indicar la influencia de la actividad antropogénica en sus cuencas. Rivera (1987), utilizó el perifiton para identificar los cambios ecológicos en el Río Hondo de Mayagüez atribuidos a la contaminación orgánica. Se encontró que el número total de especies se reduce, pero las que pueden crecer lo hacen en grandes cantidades, aumentando la productividad. Deliz Quiñones (2005), utilizó los insectos acuáticos para medir calidad de agua en la Laguna Cartagena. Tapia Larios (2007), midió la variación espacial y temporal del fitoplancton en la bahía de Mayagüez utilizando los Ríos Grande de Añasco, Guanajibo y Yagüez que desembocan en la misma. Ruperto Cintrón (2008), utilizó macroinvertebrados bénticos como bioindicadores del río Yagüez. Y más reciente Escobar Ramos (2010), utilizó macroinvertebrados para medir la calidad de cuatro ríos en Puerto Rico, incluyendo entre estos Guanajibo.

En las últimas dos décadas las diatomeas han sido ampliamente utilizadas en Europa como indicadores de calidad de agua (Almeida, 2001). La Unión Europea requiere que los miembros que lo componen lleven a cabo monitoreo biológico de los cuerpos de agua. En la República Checa se utilizó perifiton para entender su función en la regulación de nutrientes en la producción primaria y cómo ésta afecta por los cambios del terreno y las malas prácticas del uso del terreno. Se encontró que se reduce su sensibilidad a la erosión mantenimiento barreras físicas, (Poulickova et al, 2008). En España se encontró que la contaminación de metales pesados ha tenido sobre el perifiton del río Guadiamar. Los resultados indicaron que se bioacumulan metales y que estos afectan el desarrollo y la composición de la comunidad, (Martín, et al, 2004). En el río Mapio de Chile, se

utilizó el perifiton para indicar la calidad del agua en sistemas lóticos y se llegó a la conclusión que la presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado es un índice inequívoco de las condiciones que allí están prevaleciendo, la calidad ambiental de un sistema acuático no siempre es evaluada con certeza a través de los análisis químicos, (Toro et al, 2003). En Noruega se biomonitoreó la contaminación orgánica utilizando el perifiton, (Biggs, 1988). En Inglaterra y en Polonia se utilizó el perifiton para detectar contaminación orgánica e inorgánica en los ríos. En Grecia, para determinar el estado de eutroficación de los cuerpos de agua.

En Francia, Dersy y Coste (1991), realizaron un estudio de métodos de evaluación para la calidad del agua usando diatomeas. Con éste demostró, que los estudios de la calidad del agua basados en diatomeas resultaron precisos y comparables con los parámetros físico-químicos. En Portugal, Almeida (2001), encontró que los índices de diatomeas dieron mejores resultados que los índices sapróticos. Las diatomeas fueron sensibles, especialmente al contenido orgánico. En Taiwan, Wu (1999), utilizó las diatomeas para evaluar la calidad del agua de uno de los ríos más contaminados orgánicamente. Relacionó la riqueza de especies con los índices sapróticos. Las diatomeas son usadas para monitorear biológicamente los ríos en este país. En África, Almeida (2001), se midieron las relaciones entre pH, fosfato y nitrógeno; y las estructuras de la comunidad de diatomeas. Estos reflejaron que las diatomeas son buenos índices de la calidad de agua de un ecosistema (Azim, 2005). En Turquía, Cüneyt (2010), utilizó diatomeas para conocer la calidad de agua del río Kütahya.

En Estados Unidos se ha utilizado en varios estados. En Louisiana en el Fuerte Polk del Ejército, el USGS hizo un estudio donde medía los efectos en el perifiton en cinco quebradas que pasan a través de la Reserva Militar, (Bryan, et al, 2003). En una zona urbana de Alabama se utilizó el perifiton para conocer la calidad del agua y la estructura de la comunidad acuática (McPherson, et al, 2003). En el río Spokane en Idaho se utilizó junto a otros, como indicador ecológico (USGS, 1999). En Florida se tomaron muestras de perifiton en el “Big Cypress National Preserve” para determinar concentraciones de cobre, mercurio, plomo y zinc, Cox y Simón, 1999). En los Everglades se utilizó el perifiton para detectar metil-mercurio que es una neurotoxina para los peces (Kendall y Simon, 2004).

En general, su estudio se ha abordado con menos intensidad que el de otras comunidades acuáticas, existiendo un gran vacío de información al respecto, (Salazar, 1998).

Es por lo tanto, importante reconocer el gran valor que tiene la bioindicación como método para evaluar la calidad de agua. La presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado es un índice inequívoco de las condiciones que allí están prevaleciendo y que las fluctuaciones de contaminación que puedan presentarse, no son lo suficientemente fuertes como para provocar un cambio significativo en la misma, (Bellinger y Sigee, 2010).

CAPITULO V: METODOLOGÍA

1. Área de Estudio

Los Ríos de interés para este estudio son tres: Grande de Añasco, Guanajibo y Yagüez. Todos localizados en el área oeste de Puerto Rico y desembocan en la Bahía de Mayagüez (ver Figura 2).

El Río Grande de Añasco nace de la unión del Río Blanco y el Río Prieto en Lares. Cruza por los municipios de Adjuntas, Lares, Las Marías, San Sebastián, Añasco y Mayagüez. Tiene una longitud aproximadamente de 64 km. (ver Figura 3). En su cuenca no tiene plantas de tratamiento pero uno de sus tributarios trata aguas usadas.

El Río Guanajibo se origina en la Cordillera Central como a diez km, al noreste de Sabana Grande. Tiene una longitud de 38.4 km. aproximadamente y cruza por los pueblos de Sabana Grande, San Germán, Hormigueros, Cabo Rojo y Mayagüez, (ver Figura 4). Este tiene dos plantas de tratamiento en su cuenca y una, en uno de sus tributarios.

El Río Yagüez nace en las montañas Urayoán al suroeste de Las Marías y noreste de Maricao. Tiene una longitud de 20.8 km. aproximadamente, (ver Figura 5). En su curso está la Represa de Mayagüez en el Barrio Bateyes y El Limón, (DRNA, 1998). No tiene plantas de tratamiento en su cuenca. Es el que tiene mayor cantidad de residencias en su curso.

Figura 2 Puntos de muestreo y colocación de trampas de perifiton en los ríos:
Grande de Añasco, Yagüez y Guanajibo.

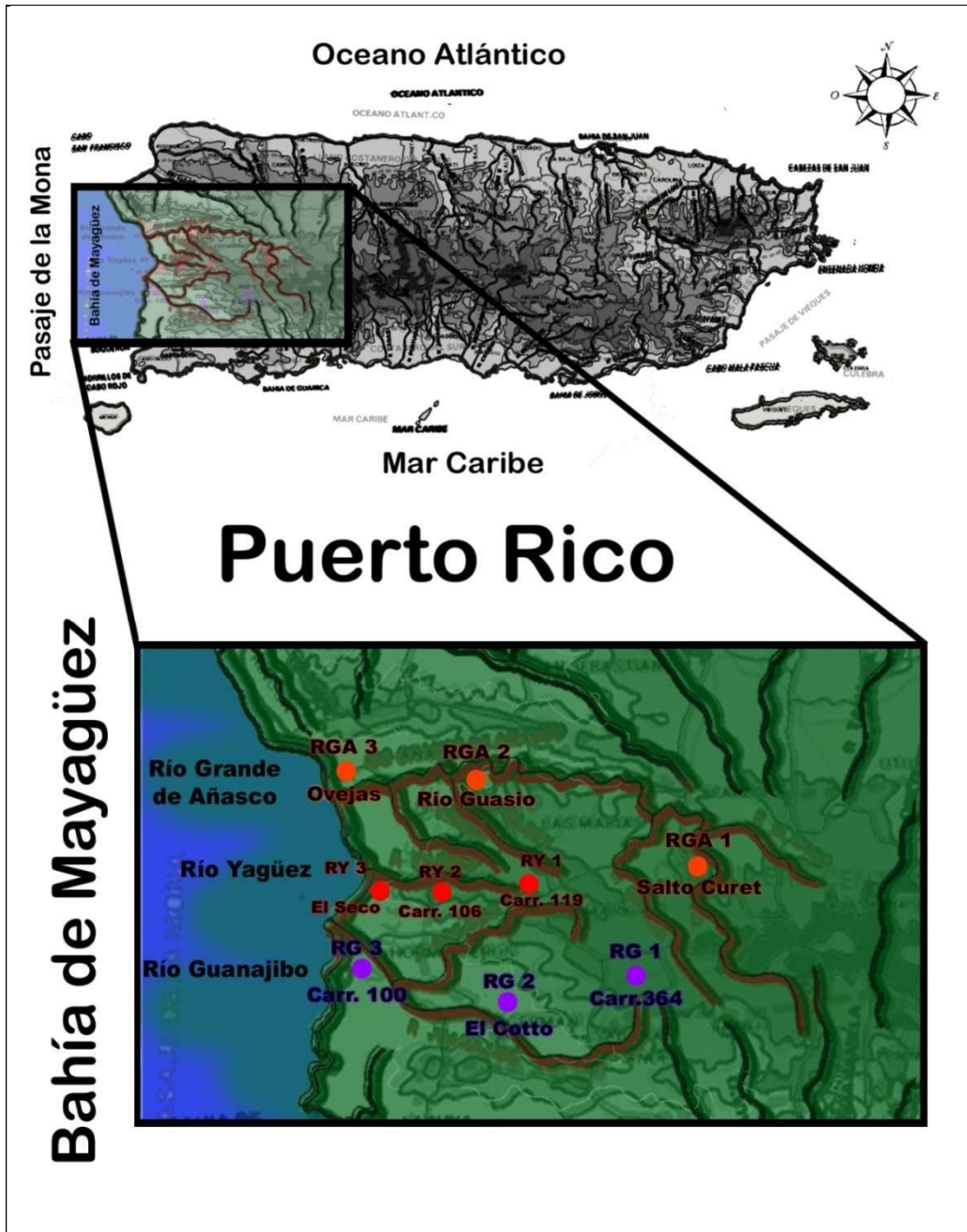


Figura 3 Localización de las 3 estaciones de muestreo del Río Grande de Añasco

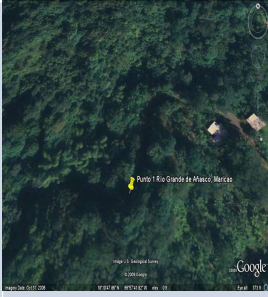
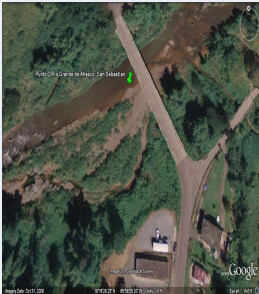
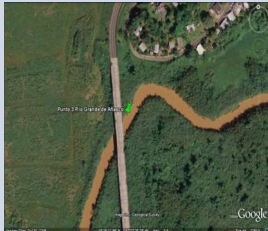
RÍO	LOCALIZACIÓN	ESTACIÓN	APARIENCIA
Grande de Añasco		1 Está localizado en la carretera 425, Maricao, cerca del Salto Curett. 18.104786 grados N y 66.574182 grados W. (Google earth, 2006).	
Grande de Añasco		2 Punto 2, (tramo central), del río Grande de Añasco. Está localizado en la carretera 119 en la colindancia de San Sebastian y Las Marías en el Bo. Guasio. 18.27475490 grados N y 66.981751 grados W. (Google earth, 2006).	
Grande de Añasco		3 Se encuentra en la carretera 430 Bo. Ovejas, Añasco 18.3 grados N y 67.1 grados W (Google earth, 2006).	

Figura 4 Localización de las 3 estaciones de muestreo del Río Guanajibo

RÍO	LOCALIZACIÓN	ESTACIÓN	APARIENCIA
Guanajibo		1 Punto 1 (río arriba), río Guanajibo en Sabana Grande. Está localizado en la carretera 364 al final de la misma. 18.063842 grados N y 66.560832 W. (Google earth, 2006).	
Guanajibo		2 Punto 2, (tramo central), río Guanajibo en San Germán. Está localizado en el sector El Cotto, carretera 347 km. 3. 18.105136 grados N y 67.063068 grados W. (Google earth, 2006).	
Guanajibo		3 Estación 3, (cerca de la desembocadura), río Guanajibo en Cabo Rojo. Está localizado sobre el puente de la carretera 100. 18.140744 grados N y 67.148493 grados W (Google earth, 2006).	

Figura 5 Localización de las 3 estaciones de muestreo del Río Yagüez

RÍO	LOCALIZACIÓN	ESTACIÓN	APARIENCIA
Yagüez		1 Estac Carr. 119 km. 20, Las Merías. 18.2 grados N y 67.1 grados W. (Google earth, 2006).	
Yagüez		2 Estación 2, (tramo central), del río Yagüez en Mayagüez. Está localizado en la carretera 106. 18.207234 grados N y 67.117782 grados W. (Google earth, 2006).	
Yagüez		3	

2. Colección de Muestras de agua y Determinación de Calidad Físico-Químico

Se tomaron dos muestras de agua, en un envase plástico de 250 ml., (Lind, 1979), en tres estaciones diferentes (río arriba, tramo central y cerca de la desembocadura) de los Ríos: Grande de Añasco, Guanajibo y Yagüez. Fig. 1. Para un total de seis muestras por cada Río.

Se evaluaron los parámetros in situ: la temperatura, el pH, la velocidad de la corriente y la profundidad. Para medir el pH y la temperatura se utilizó el modelo de sonda YSI 63. Para la profundidad se utilizó 15 “meter Graduated metric Model OTR15M”. Para la velocidad se utilizaron las tabletas “Brightdyes Fluorescent red” de la compañía Kingscote Chemicals; una tableta por 60 galones de agua. Con un cronómetro se anotaron los segundos que tardaba el tinte en moverse en cuatro metros (ver Figura 6). Este procedimiento se llevó a cabo, cada vez que se recogieron y se colocaron las trampas en los diferentes puntos de muestreo.

Se analizaron las muestras en el laboratorio, para determinar: oxígeno disuelto, nitrato, fosfato, bióxido de carbono, cloro, amoníaco, sílica, sulfato, dureza y alcalinidad del agua utilizando “La Motte Water Pollution Detection Kit” (Forestry Suppliers, 2009). Se determinó la turbidez con “La Motte Environmental Kit for Turbidity” (Forestry Suppliers, 2009).

Figura 6 Movimiento del tinte en el agua, utilizado para medir la velocidad de la corriente



1. Colección de Perifiton e Identificación

A pesar de los muchos trabajos relacionados con la metodología de evaluación del perifiton de los ríos, aún se requieren estudios comparativos más detallados. Ningún método de muestreo descrito ha demostrado ser totalmente efectivo, (Rivera, 1987). Se han hecho estudios con sustratos naturales donde se raspan las rocas donde está adherido y se remueve el material. También se utilizan sustratos artificiales como: laminillas de vidrio, parafina, concreto y otros materiales (Biro y Cupsa, 2007). Estos métodos han probado ser válidos para determinar productividad de las aguas en ambientes lóticos, (Fernández y Esteves, 2003; Rivera, 1987).

Durante los meses de febrero, marzo, abril y noviembre del 2010; y febrero y marzo del 2011, se identificaron tres puntos de cada cuenca, (alta, media y en la desembocadura), donde se colocaron laminillas de vidrio pegadas a un ladrillo y se sumergieron como sustrato artificial (Greenberg, et al, 1992). Se colocaron dos trampas de perifiton (sustrato artificial) en cada punto de muestreo (ver Figura 7). Para un total de seis trampas por cada río. Las trampas o sustrato artificial consisten de: tres laminillas de vidrio (Lind, 1979) (Greenberg et al, 1994) de 7.5 de largo y 2.5 cm de ancho, pegadas con cinta adhesiva a prueba de agua a un ladrillo (Nielsen et al, 1984). Este se amarró con una soga y se sujetó a una varilla de hierro que se fijó en el suelo del río. Se cumplieron cuatro semanas, tiempo necesario para la colonización de perifiton, (Nielsen et al, 1984; Barbour et al, 2002), se recogieron las trampas y las coloqué en cajas de plástico, para transportarlas al laboratorio en una nevera portátil con hielo.

Se rasparon con un bisturí, (Lind, 1979), las rocas cercanas donde se pudieron coleccionar perifiton en sustrato natural; se colocaron dentro de un colector de cristal (Lind, 1979), y fueron transportadas al laboratorio en una nevera portátil con hielo. Para un total de seis envases de cristal con perifiton natural de cada río.

Se preservaron ambas muestras de perifiton en sustrato natural y artificial; con la Solución de Lugol al 5% (Barbour et al., 2002; Biggs y Kilroy, 2000; Greenberg et al, 1992). El perifiton se observó directamente en montaje húmedo. Para esto, se homogenizó la muestra agitándola y se transfirió una gota de la misma a una lamilla limpia. Se colocó un cubre objeto para evitar la formación de burbujas (Colón et al, 2006). Luego fueron identificadas las especies que componen el perifiton. En lo posible los organismos fueron identificados hasta la especie; utilizando el microscopio “Motic Images Plus” modelo dmb3. La identificación se llevó a cabo utilizando las siguientes claves taxonómicas: Bellinger and Sigeo, (2010); Azim et al. (2005); Colón Ortiz et al (2006); Biggs and Kilroy (2000); Ortega (1984); Needham y Needham (1962); Prescott (1970); Prescott (1979) y Palmer C. M. et al (1962).

El total de meses de muestreo fue seis. Se obtuvo dos muestras (de agua, de perifiton en sustrato natural y de perifiton en sustrato artificial) por seis meses, de cada uno de los ríos, en los tres puntos, para un total de 54. Se colocaron nuevas trampas, y repetí este procedimiento cada vez que fui al campo.

Figura 7 Trampa de perifiton utilizada como sustrato artificial



4. Pruebas Estadísticas

Para determinar si había diferencia significativa entre el total de diatomeas, algas verdes y algas azul-verdosas y las estaciones de cada río durante los seis meses de estudio; se utilizó ANOVA de una vía. Se determinó con la prueba de ANOVA de dos vías si había diferencia significativa entre el número de individuos los tres ríos de estudio.

Para la correlacionar entre nutrientes (fosfato, nitrato y amonía) y el número de individuos se utilizó el Coeficiente de Correlación de Spearman.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

5. Calidad Biológica

Se utilizó “Palmer’s Pollution Index”, para determinar la calidad biológica del río. Palmer (1969), preparó una lista de especies de algas tolerantes a la contaminación orgánica. Incorporó esta data en un índice para evaluar la calidad del agua biológicamente. Las algas son clasificadas como intolerantes-tolerantes en una escala del 1-5. Se calcula sumando el número que se le asigna a la especie en la escala. En la lista incluye diatomeas, algas verdes, algas azul verdosas y euglenoides.

6. Diversidad y Abundancia

Se utilizó para medir la diversidad el índice de Shannon-Weaver. El índice Shannon-Weaver se utiliza para medir la biodiversidad. Su valor normal está entre 2-3. Los valores inferiores a dos se consideran con baja diversidad y superiores a tres son altos en diversidad de especies. El índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (diversidad) y la cantidad relativa de individuos de cada especie (abundancia) (Pla, 2006).

La ecuación es la siguiente:

$$H = -\sum_{i=1}^s (p_i)(\log p_i)$$

Se determinó la abundancia relativa de las especies con la siguiente fórmula:

A = número de individuos de una especie / total de especies

CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSION

1. Temporada de Muestreo

1.1 Precipitación

El tiempo es un factor importante; varios días de lluvia ó de cubierta de nubes que oculten el sol; reducirá temporalmente el crecimiento de algas (Arhwiner, D y Sparks, K., 2003). Si hay inundaciones, puede tomar varias semanas para que el perifiton vuelva a sus niveles anteriores Sin embargo, después de una descarga alta, la recuperación puede ser rápida, como en siete días, si no se producen graves daños al sustrato (Stevenson, R.J. y Loren L.B., 2011) y en los ríos con un alto enriquecimiento de nutrientes (Arhwiner, D y Sparks, K., 2003). Se determinó la precipitación de los ríos utilizando información suministrada por la oficina <http://water.weather.gov/precip/>. El mes de mayor precipitación fue noviembre para el Río Grande de Añasco y Río Yagüez; en cambio para el Río Guanajibo fue en abril del 2010. La cantidad de precipitación recibida por las estaciones no tuvo diferencia significativa (ver Figura 8). Los eventos de lluvia limpian ó remueven el perifiton de las rocas, causando disminución en el mismo (Barbour, 2002). Esto se comprobó con los tres Ríos de estudio, al comparar el mes que tuvieron mayor precipitación y el número de individuos encontrados. En el Río grande de Añasco en noviembre se encontraron 83 individuos, en cambio en febrero 2011, tuvo menor precipitación y se hallaron 243 individuos. En el Río Yagüez, el mes de menor precipitación fue en marzo 2011 y se contaron 155 individuos, en cambio, en noviembre no se recuperó muestra. En el Río

Guanajibo, en abril 2010, se hallaron 28 individuos y en febrero 2011, donde tuvo su menor precipitación, se hallaron 295 individuos. Al comparar la precipitación promedio entre los cuerpos de agua durante los seis meses de muestreo: el Río Grande de Añasco fue el recibió mayor cantidad de lluvia, seguido por el Río Yagüez y el Río Guanajibo respectivamente (ver Figura 9).

Figura 8 Precipitación Promedio por Estación de los 3 Ríos (mm)

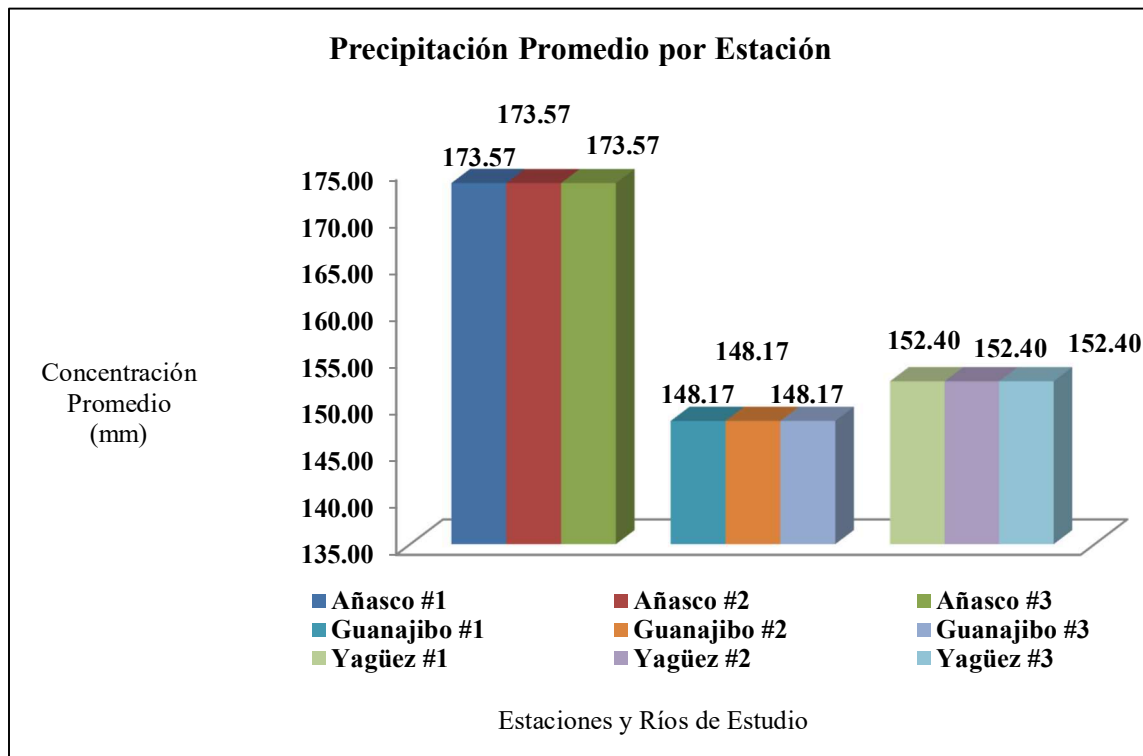
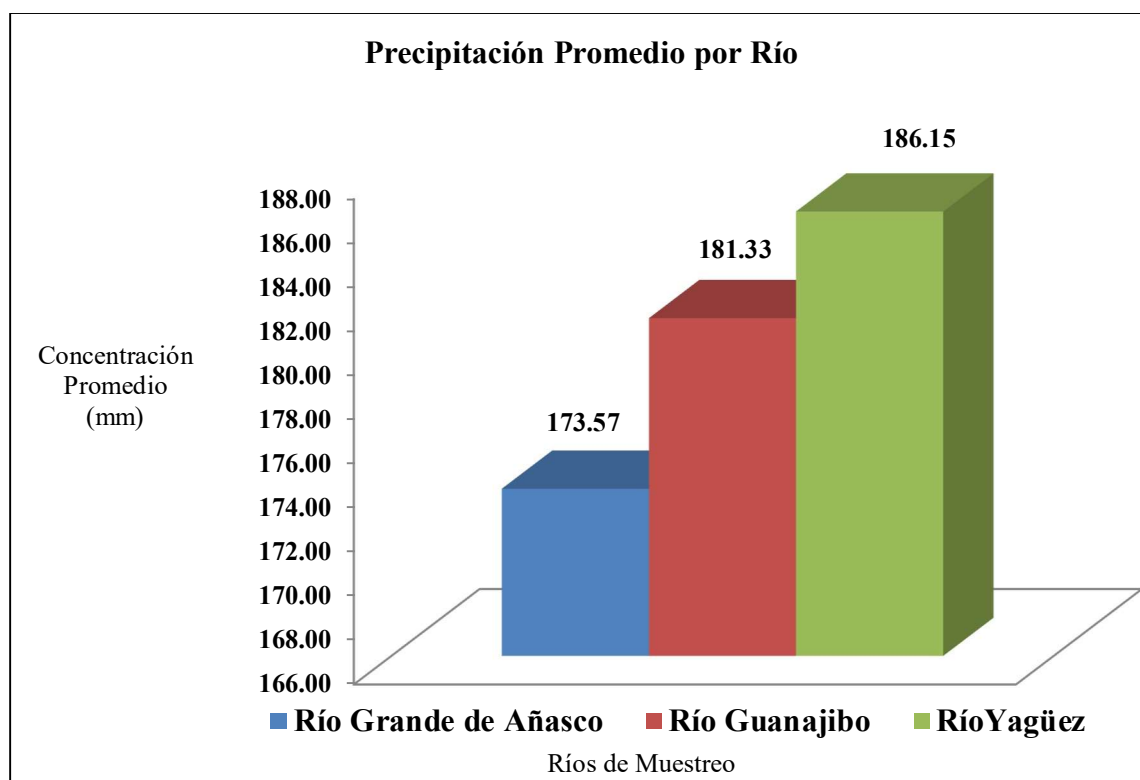


Figura 9 Precipitación Promedio por Río (mm)



2. Calidad del Agua

2.1. pH

El pH del agua representa su acidez o su alcalinidad. La mayoría de los ecosistemas acuáticos tienen un pH que oscila entre 5 y 9, muy pocas especies pueden crecer a un pH inferior a 2.0 ó superior a 10.0 (Wehr y Sheath, 2003). Este parámetro no es limitante para el crecimiento del perifiton ya que se han identificado algas azul-verdosas en pH de 9.5-10.5 y; algas y diatomeas en pH de 3.5. Esto explica la persistencia del perifiton en ambientes extremos (Azim et al. 2005). El Reglamento de la Junta de Calidad Ambiental en Puerto Rico estipula que el límite de pH en los cuerpos de agua debe ser de 6.0 a 9.0; excepto por causas naturales. El mayor valor de pH obtenido fue en el mes de marzo 2011, en los Ríos Grande de Añasco y Guanajibo; con 8.33. El valor menor obtenido fue en el río Yagüez, con 5.88 en abril 2010, este fué el único valor que no cumplió con los límites estipulados por la Junta de Calidad Ambiental. Los valores promedio obtenidos por Río fluctuaron entre 7.66 – 7.73. (ver Figura 11).

Figura 10 pH promedio por estación de cada Río

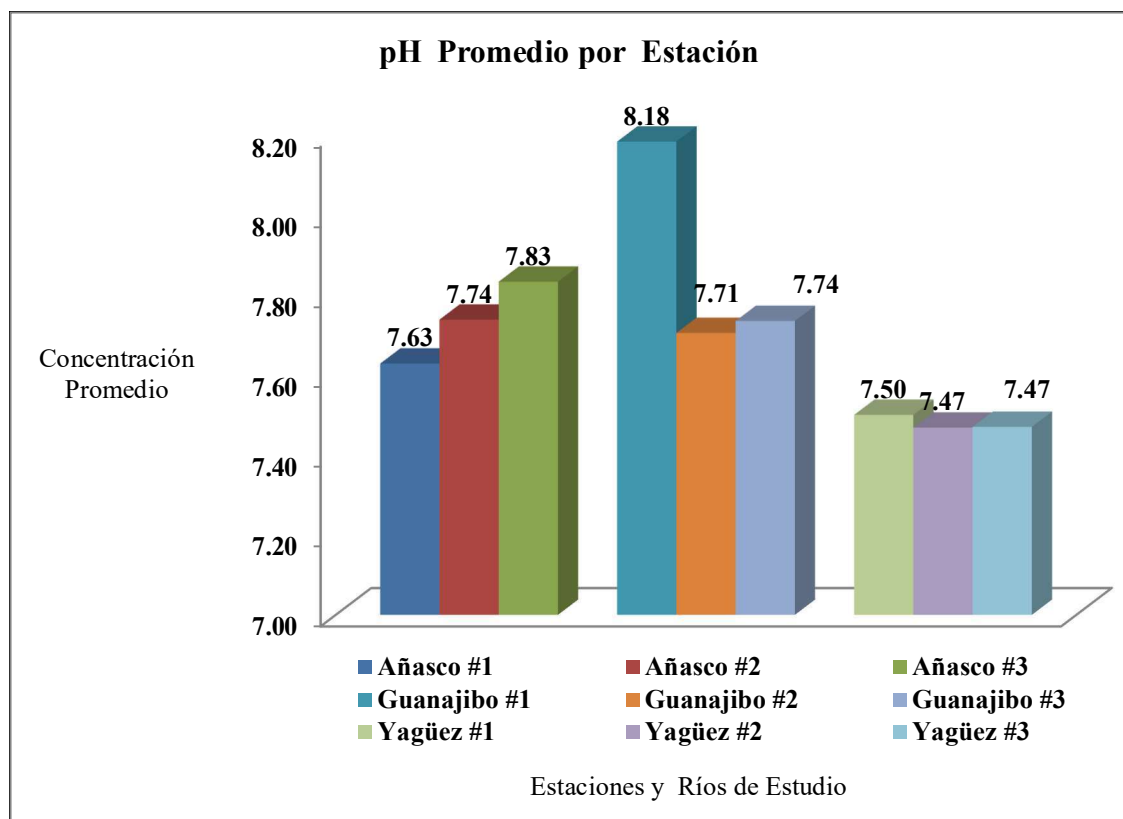
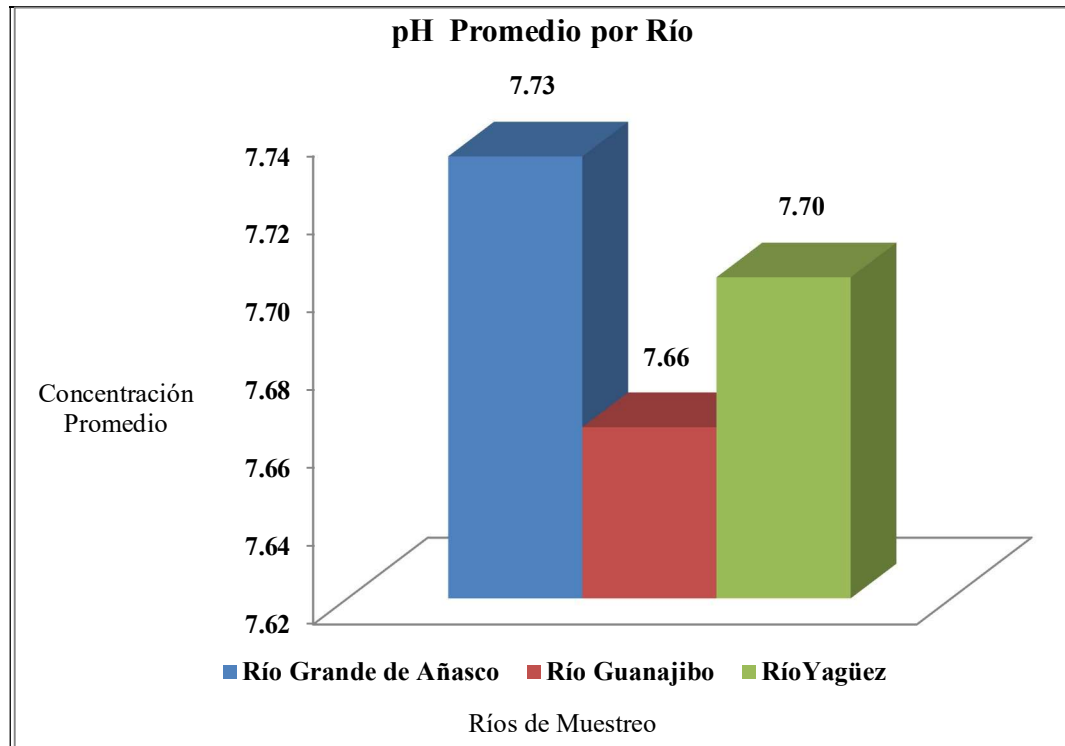


Figura 11 pH promedio de cada Río



2.2. Temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la proliferación y supervivencia de los microorganismos (Bellinger y Sigeo, 2010). Se ha encontrado perifiton en latitudes extremadamente altas, como en la Antártida, y en latitudes bajas (Azim et al. ,2005). La Junta de Calidad Ambiental estipula que la temperatura en los cuerpos de agua debe ser 32.2 ° C, el límite. Los tres Ríos de estudio cumplieron con los parámetros establecidos por la JCA. La temperatura más baja se registró en el Río Yagüez, en el mes de marzo 2011; el valor fue 21.1°C; puede entenderse que, debido a la cubierta ó follaje de los árboles que bloquean la luz solar, la temperatura se mantiene baja en el Río (Arhwiner, D y Sparks, K., 2003). La temperatura máxima registrada fué 30°C, en marzo 2010, en el Río Yagüez y el Río Guanajibo respectivamente. La temperatura de los Ríos osciló entre 25.96°C - 26.05 °C en los seis meses de estudio, Fig. 7.

Figura 12 Temperatura promedio por estación de los 3 Ríos (°C)

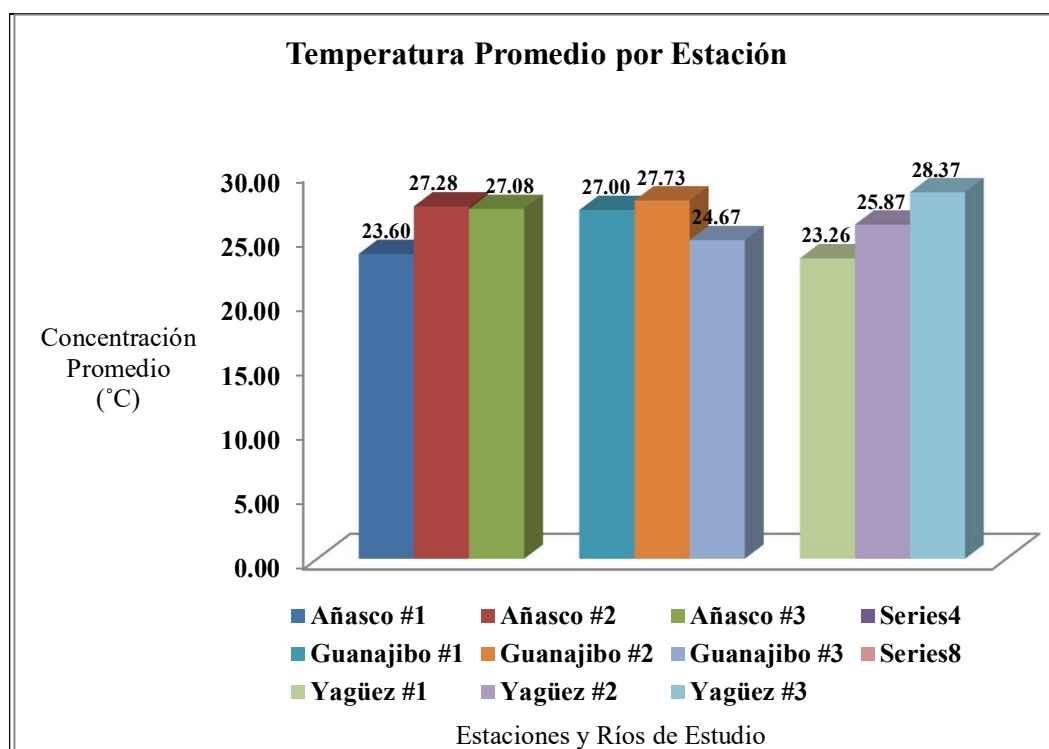
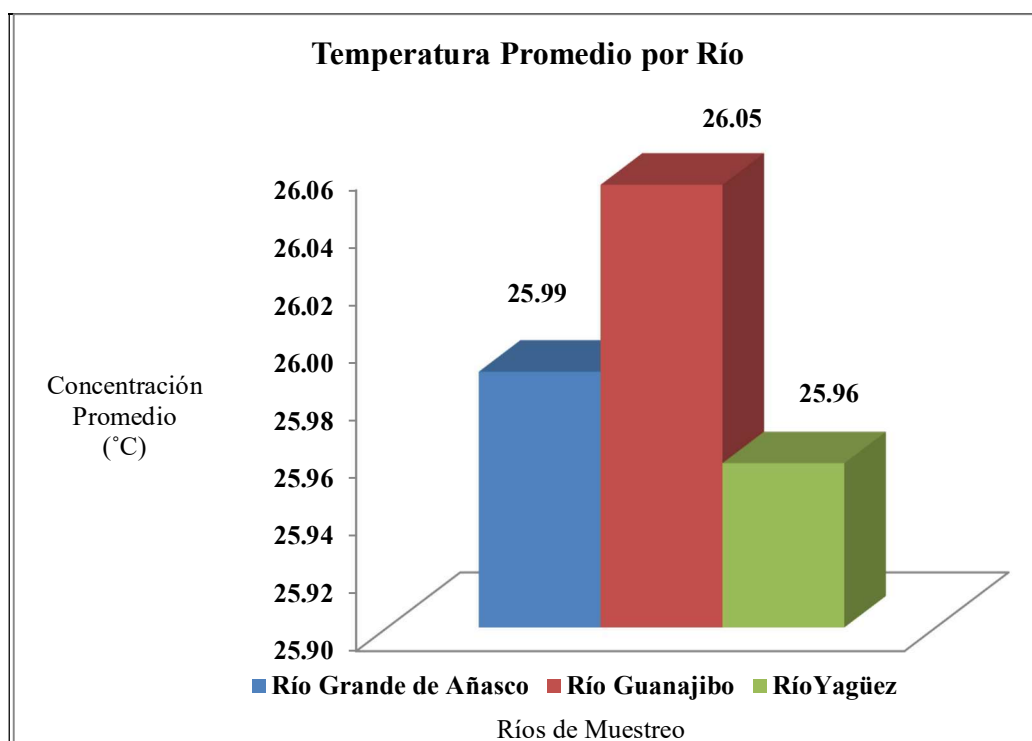


Figura 13 Temperatura promedio por Río (°C)



2.3. Velocidad de la Corriente

Se define como, el tiempo que tarda en transportarse el agua de un punto a otro punto. La corriente modifica el sustrato y el aumento de su velocidad, estimula la toma de nutrientes (Gualtero, 2007). Debido a las adaptaciones que posee el perifiton, (filamentos, secreciones mucilaginosas, terminaciones, pegajosas y rizoides); pueden adherirse a un sustrato y mantenerse en ambientes lóticos (Biggs y Kilroy, 2000). Se encontró que en la estación 1 de los Ríos Grande de Añasco y Guanajibo, la velocidad fue más rápida, 0.41 m/s; y en el Río Yagüez la estación 2, 0.39 m/s. La estación 3 de los Ríos Grande de Añasco, 0.23 m/s y Yagüez, 0.10 m/s, fueron las de menor velocidad; y en Guanajibo la estación 2, 0.28 m/s respectivamente, Fig. 9.

**Figura 14 Velocidad de la Corriente promedio por estación de los 3 Ríos
(m/s)**

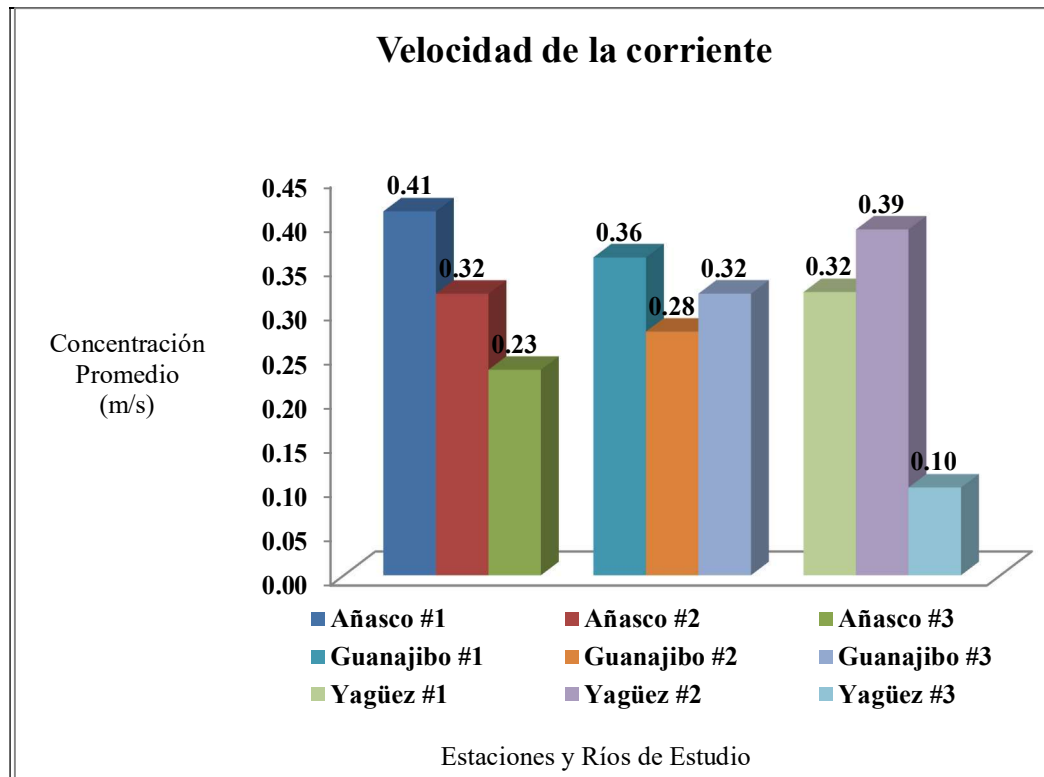
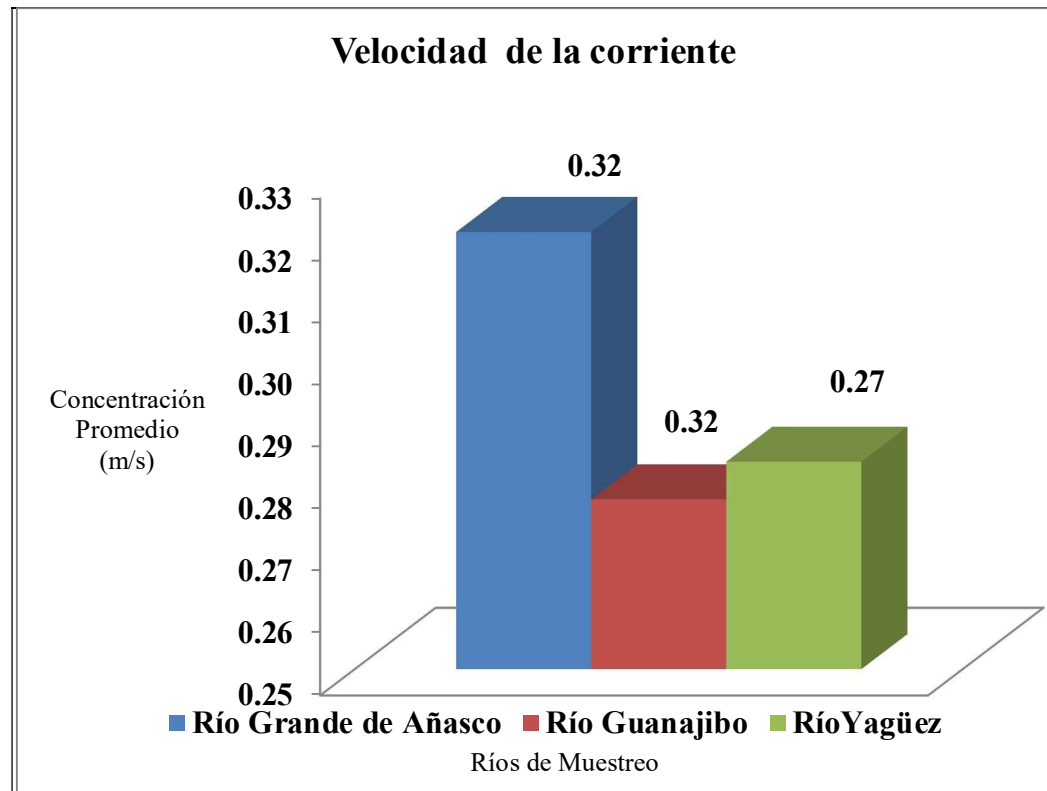


Figura 15 Velocidad de la Corriente Promedio por Río (ms)



2.4. Profundidad

El perifiton puede desarrollarse tanto en aguas superficiales como en aguas profundas (Stevenson, R.J. y Loren. L.B., 2011). Para esta investigación, debido a los eventos de lluvia, se colectó agua y perifiton en diferentes profundidades. Ya que cuando ocurren eventos de lluvia los Ríos de estudio estaban caudalosos y en época de sequía hay menos cantidad de agua. De los Ríos estudiados, fue mayor la profundidad promedio en el Río Grande de Añasco en la estación tres, con 98 cm.; y la de menor profundidad resultó ser el Río Guanajibo, estación dos, con 1.5 cm.

Figura 16 Profundidad Promedio por Estación por Río (cm.)

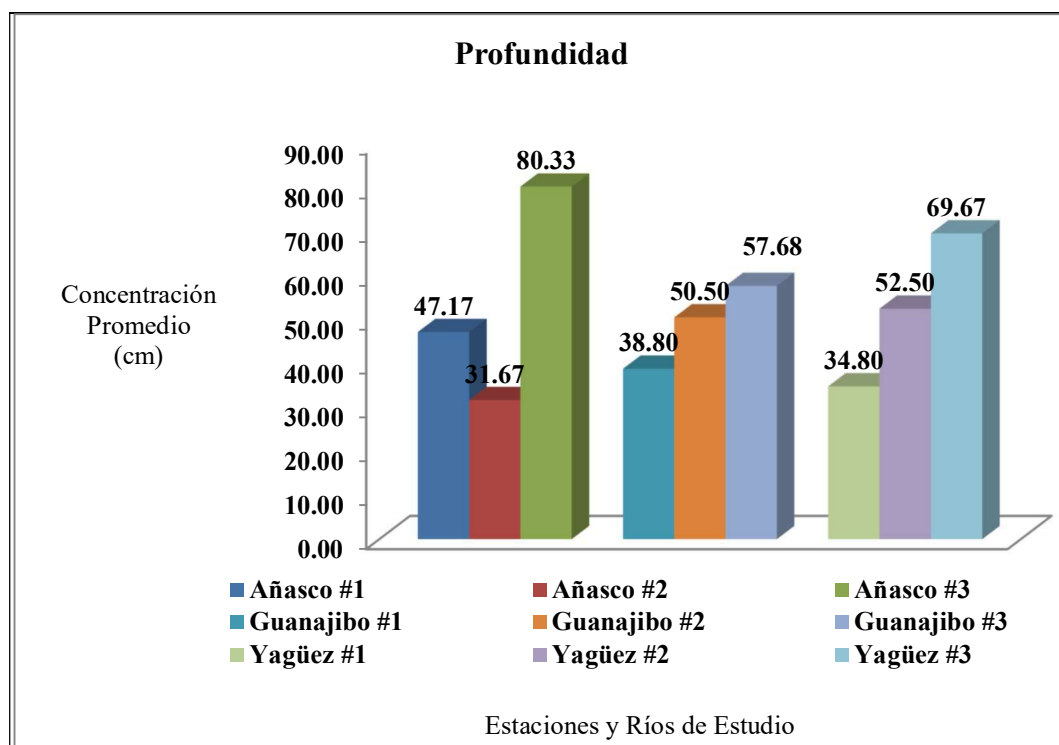
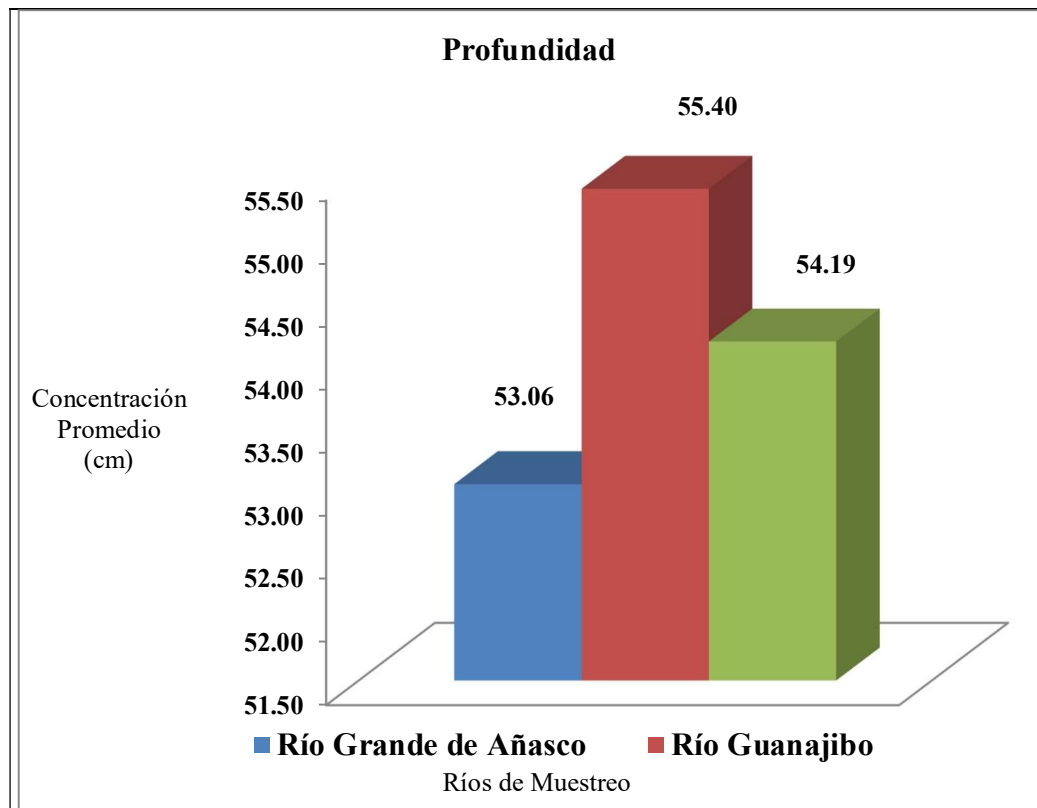


Figura 17 Profundidad Promedio por Río (cm.)



2.5. Alcalinidad

Las aguas naturales contienen soluciones suspendidas de gases atmosféricos y de minerales del suelo y son estos productos los encargados de suministrar las características ácidas y alcalínicas. Esta se define como la medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Tiene como efecto cambiar el sabor del agua. El límite permitido por la Junta de Calidad Ambiental es 250 mg/l. El cuerpo de agua con mayor alcalinidad fue el Río Yagüez, en la estación tres, fue 360 mg/l; y el de menor alcalinidad fue en el Río Grande de Añasco, estación uno, con 40 mg/l.

Figura 18 Alcalinidad Promedio por Estación por Río (mg/l T Alkalinity)

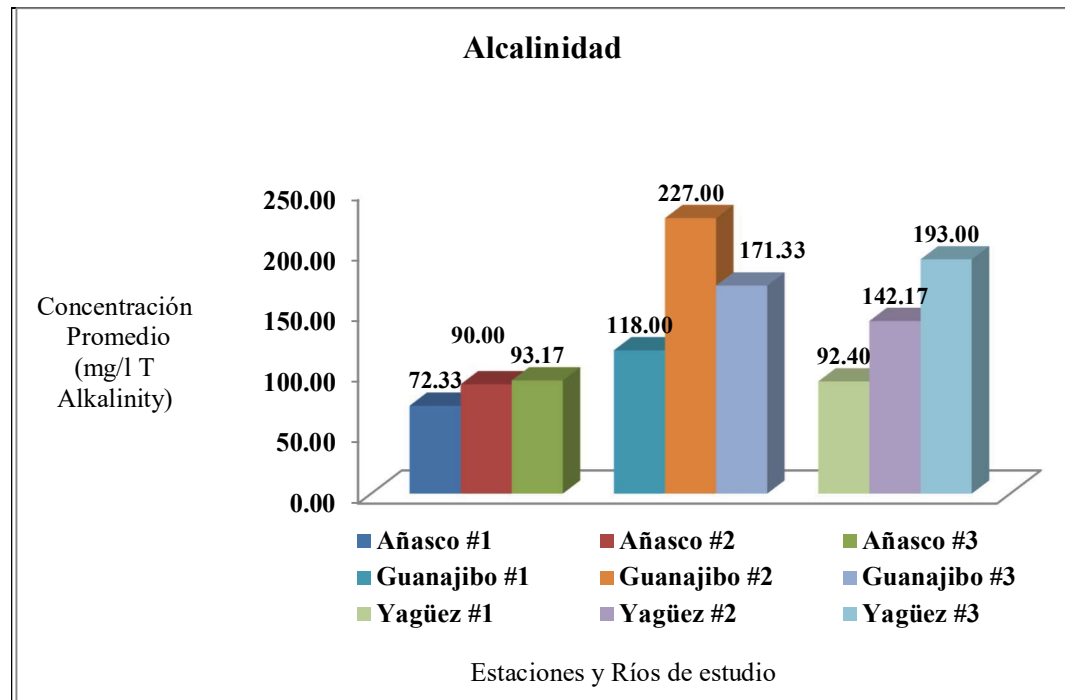
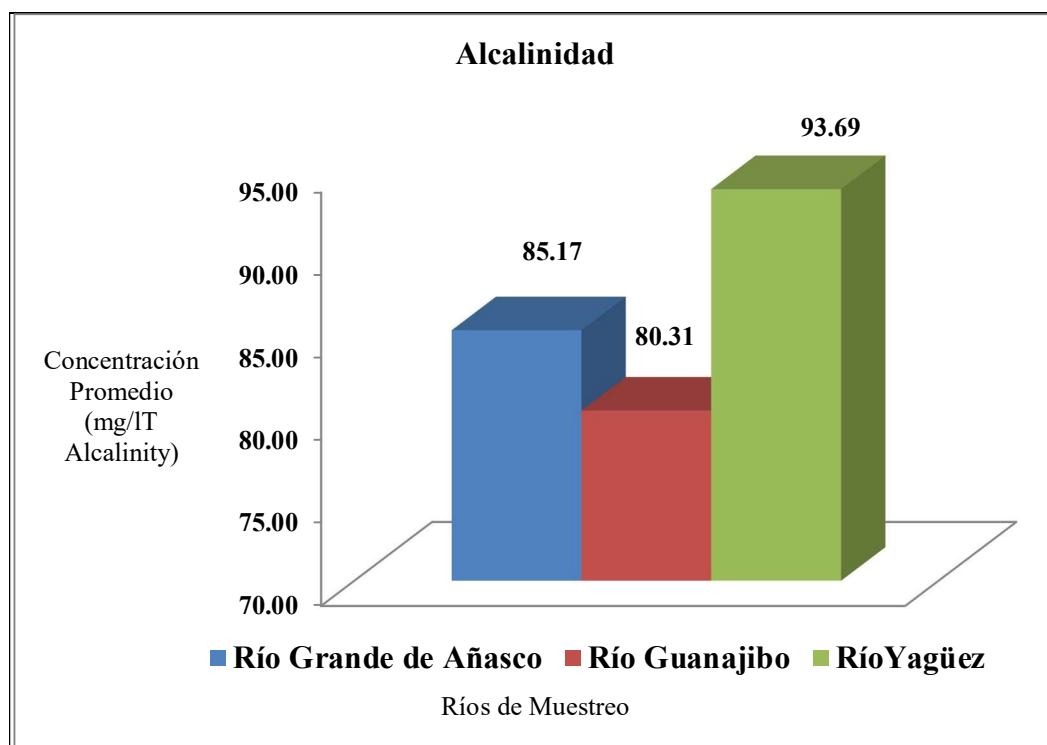


Figura 19 Alcalinidad Promedio por Río (mg/l T Alkalinity)



2.6. Amonia/Nitrógeno

La Junta de Calidad Ambiental estipula que no excederá 1 mg/l. Su presencia indica contaminación por aguas negras, fertilizantes y la degradación incompleta de la materia orgánica. Es un típico indicador de calidad de agua. Las algas lo absorben y lo eliminan con facilidad. El río Grande de Añasco pasó el límite estipulado en cuatro ocasiones en la estación tres y en dos ocasiones en la estación dos; con un valor de 5 mg/l. El río Guanajibo pasó el límite con un valor de 5 mg/l en la estación 2, en cinco ocasiones. El valor más bajo lo obtuvo el río Yagüez en febrero 2010, con .2 mg/l.

Figura 20 Amonia/Nitrógeno Promedio por Estación por Río (mg/l)

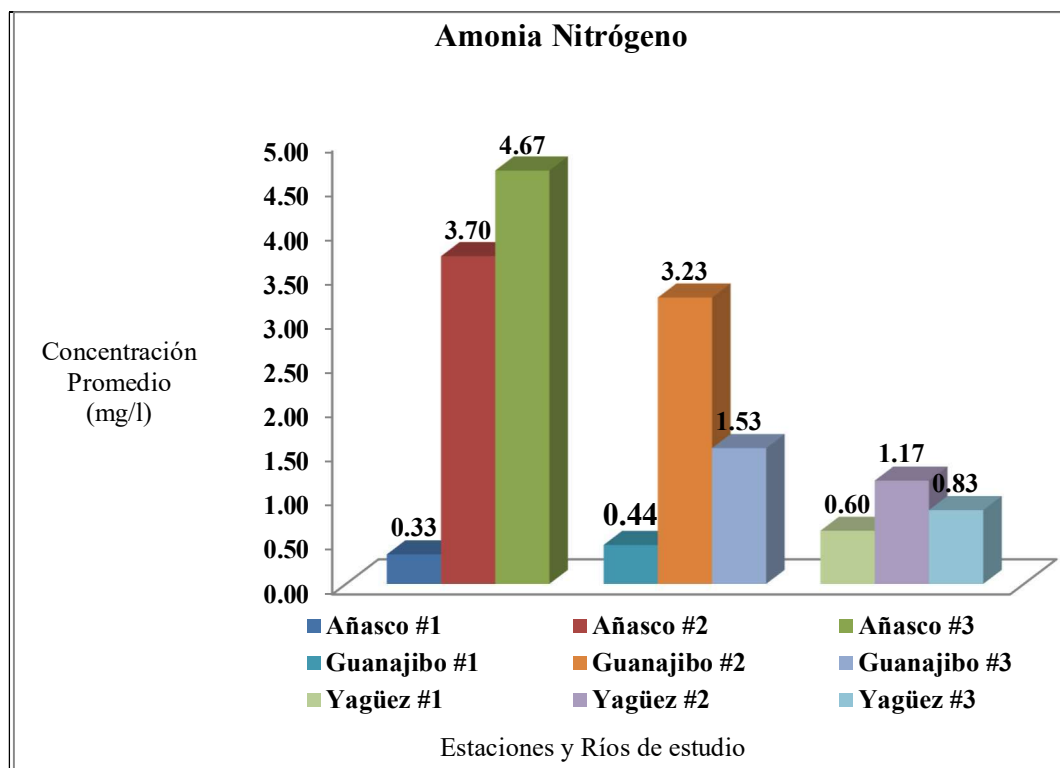
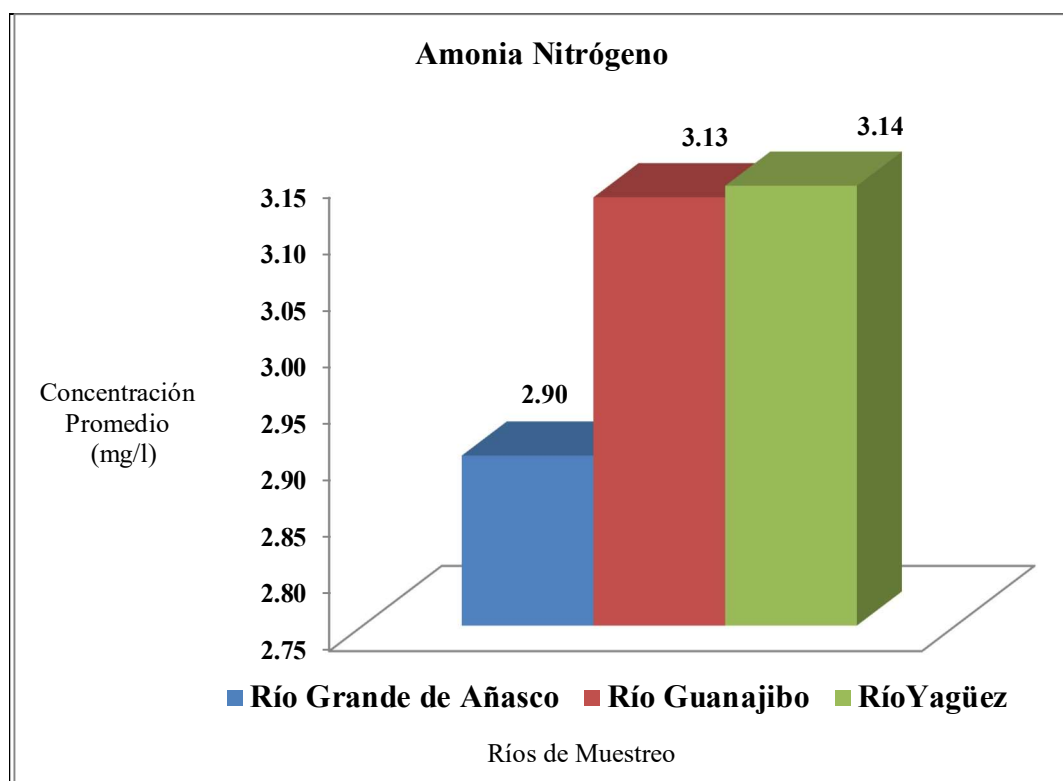


Figura 21 Amonia/Nitrógeno Promedio por Río (mg/l)



2.7. Cloruro

La Junta de Calidad Ambiental estipula que no excederá de 250mg/l, excepto a causa de fenómenos naturales. Afecta la potabilidad del agua y su uso agrícola e industrial. Es corrosivo y su presencia puede indicar vertidos urbanos o industriales. Todos los ríos cumplieron con los parámetros establecidos por la Junta de Calidad Ambiental. El Río Grande de Añasco obtuvo el mayor valor con 108 mg/l y el menor valor con 6 mg/l.

Figura 22 Cloruro Promedio por Estación por Río (mg/l)

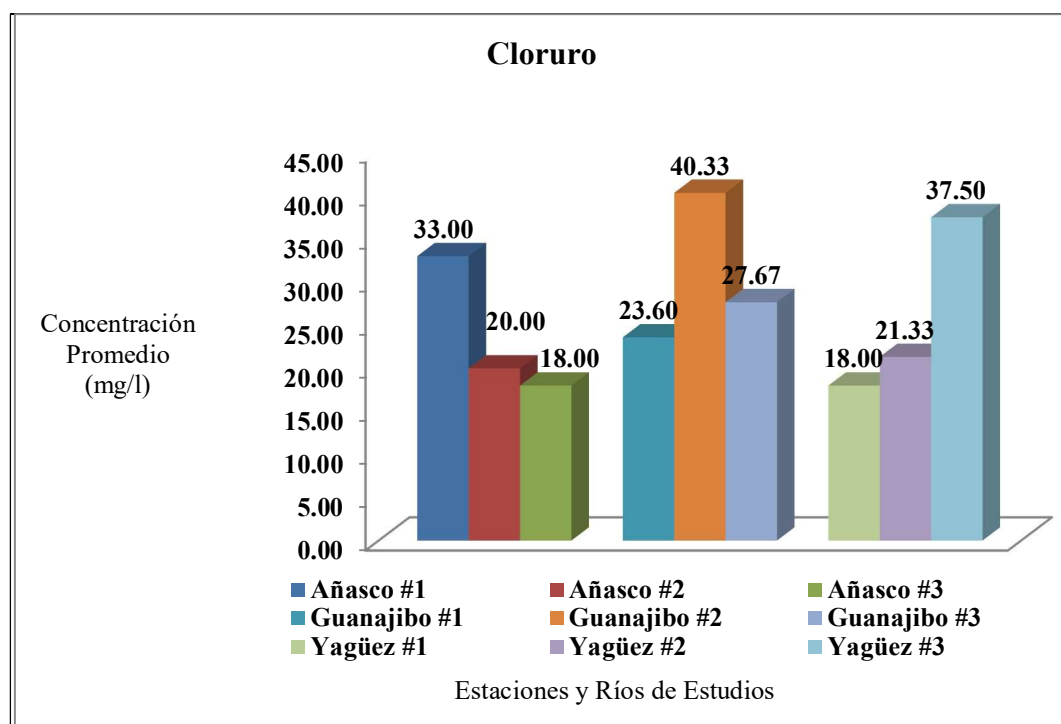
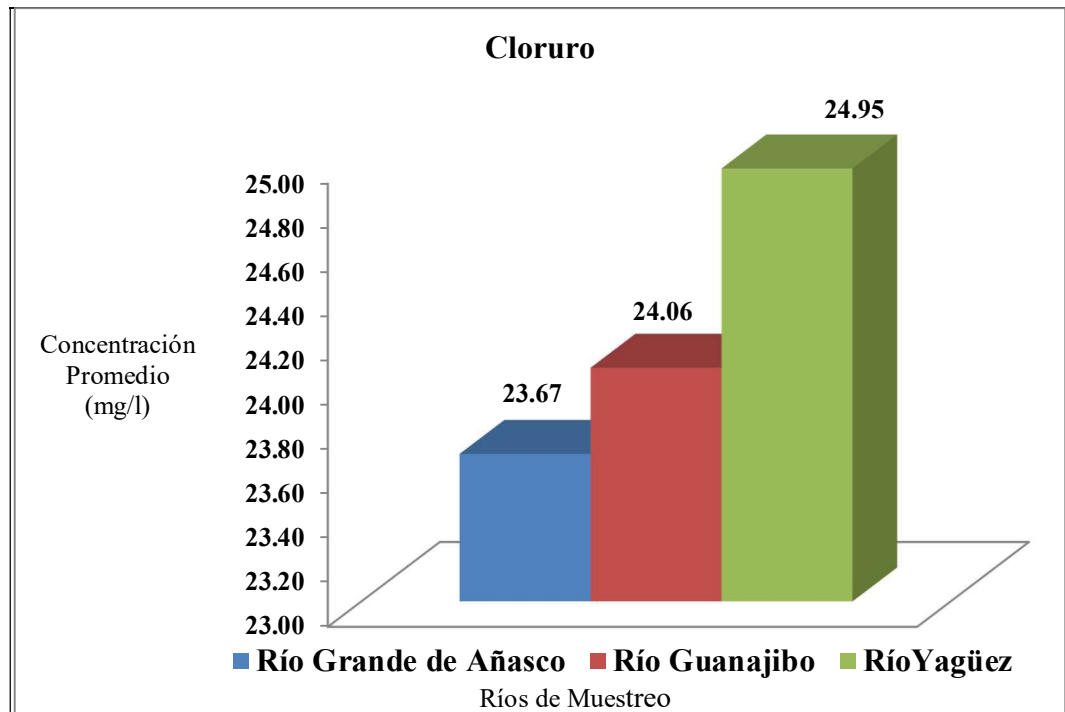


Figura 23 Cloruro Promedio por Río (mg/l)



2.8. Dióxido de Carbono

Es esencial ya que todas las plantas acuáticas dependen para vivir y crecer del dióxido de carbono y bicarbonatos en el agua. Es utilizado para la fotosíntesis. La Junta de Calidad Ambiental no estipula límites. El valor más alto fue 18 mg/l, en el Río Grande de añasco, estación uno y el menor se encontró en los tres Ríos, su valor fue de tres.

Figura 24 Dióxido de Carbono Promedio por Estación por Río (mg/l)

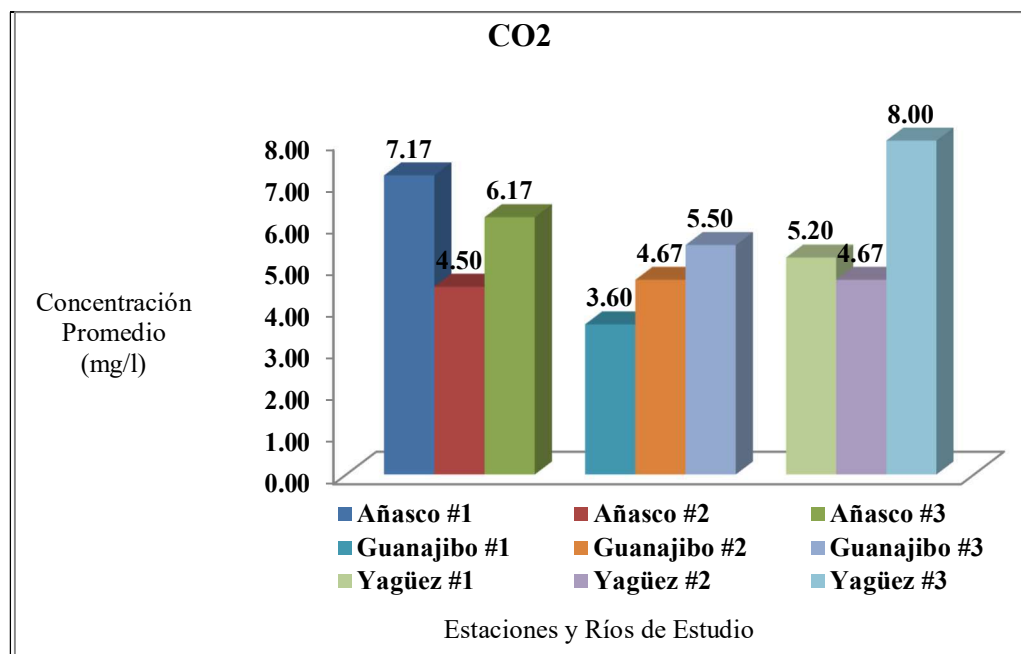
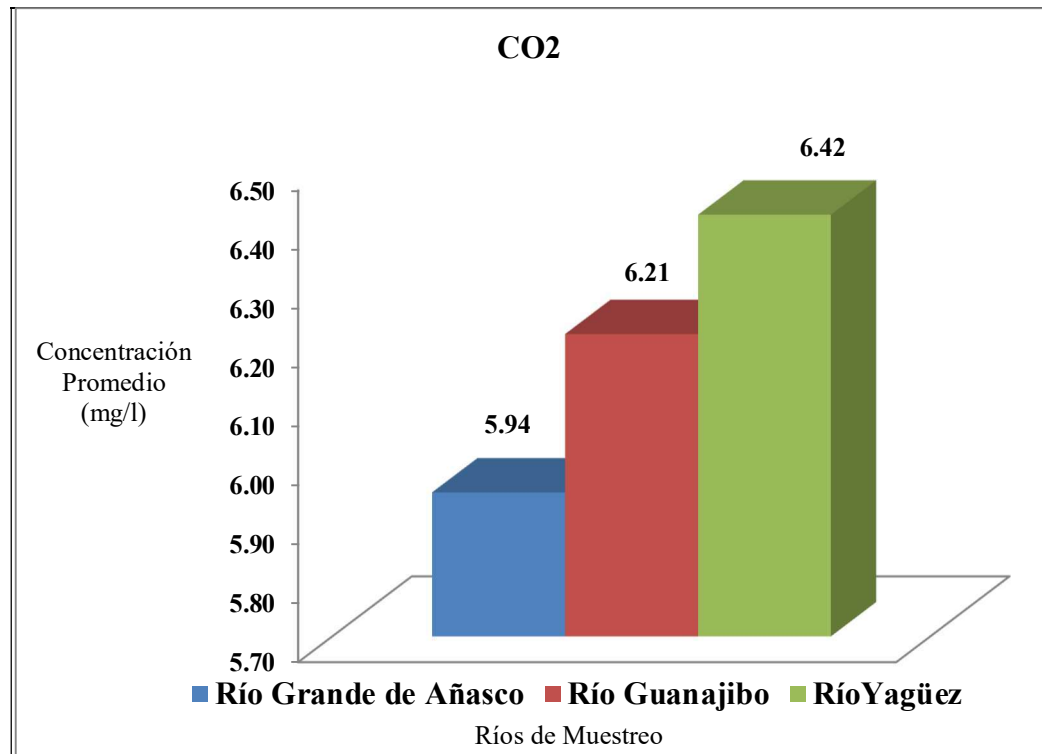


Figura 25 Dióxido de Carbono Promedio por Río (mg/l)



2.9. Dureza

Se debe a la presencia de sales disueltas de Ca y Mg. No se establece un límite específico en la Junta de Calidad Ambiental. Se exceso forma un precipitado insoluble. Durante los seis meses de muestreo, en los tres Ríos, la mayoría de los ríos obtuvo un valor de 250 o más. El valor menor fue en el Río Grande de Añasco en noviembre con 100 y el más alto en el Río Guanajibo, en el punto dos en marzo 2010, con 2200. Según, (EPA,2001), se puede decir que un cuerpo de agua es:

Tabla 1 Calidad del Agua según su Dureza (mg/l)

Concentración (mg/l)	Clasificación
50 - 100 mg/l	moderadamente suave
101 – 150 mg/l	ligeramente duro
151 – 250 mg/l	duro
251 - 350 mg/l	moderadamente duro
350 mg/l en adelante	excesivamente duro

(EPA, 2001)

Figura 26 Dureza Promedio por Estación por Río (mg/l CaCO₃)

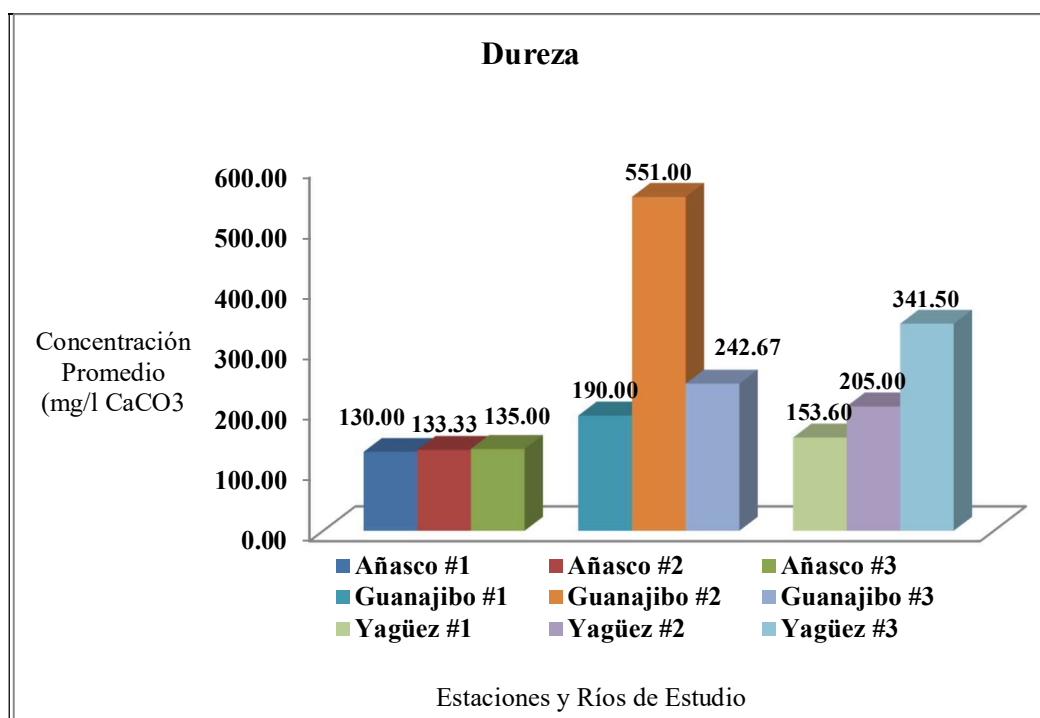
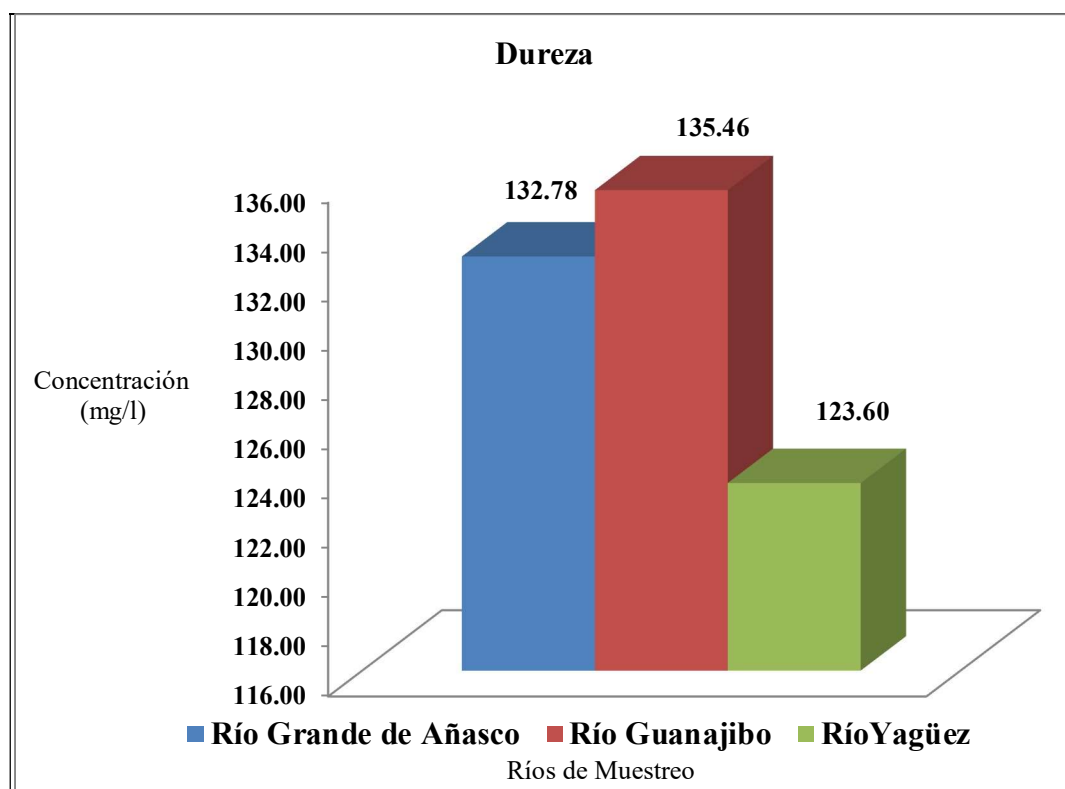


Figura 27 Dureza Promedio por Río (mg/l CaCO₃)



2.10. Fosfato

El fosfato en un cuerpo de agua permite la formación de biomasa, la cual requiere un aumento en la demanda biológica de oxígeno. Esto provoca un aumento en su concentración y como consecuencia la eutroficación del cuerpo de agua. Su presencia indica descargas de aguas negras, detergentes y fertilizantes. Los compuestos de fosfato promueven el crecimiento de algas. En los tres ríos se cumplió con los parámetros de la Junta de Calidad Ambiental ya que el valor menor fue .1 mg/l, en el río Guanajibo, estación uno y .8 mg/l, para más de una estación en cada río. Es un componente limitante para el desarrollo de las comunidades. La Junta de Calidad Ambiental establece que el fósforo total no excederá 1mg/l en cuerpos de agua superficiales, excepto cuando sea demostrado a la Junta que un valor más alto en combinación con nutrientes derivados de nitrógeno no contribuirá a las condiciones eutróficas en el cuerpo de agua

Figura 28 Fوسفato Promedio por Estación por Río (mg/l Orthophosphate))

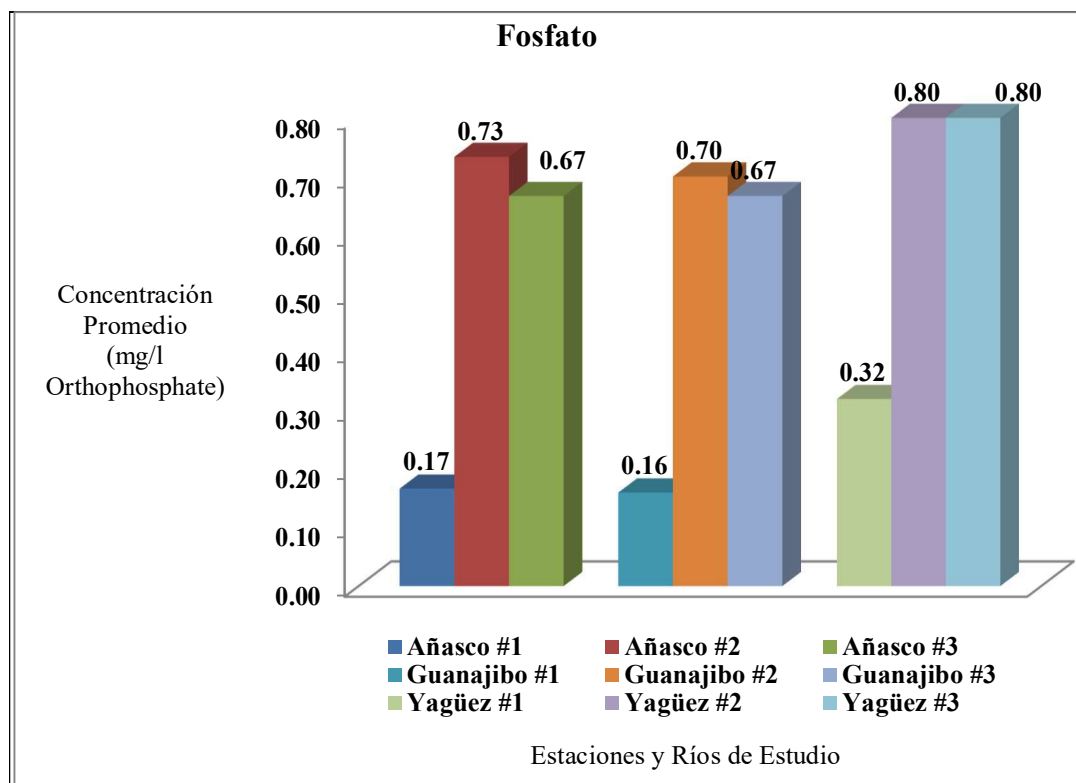
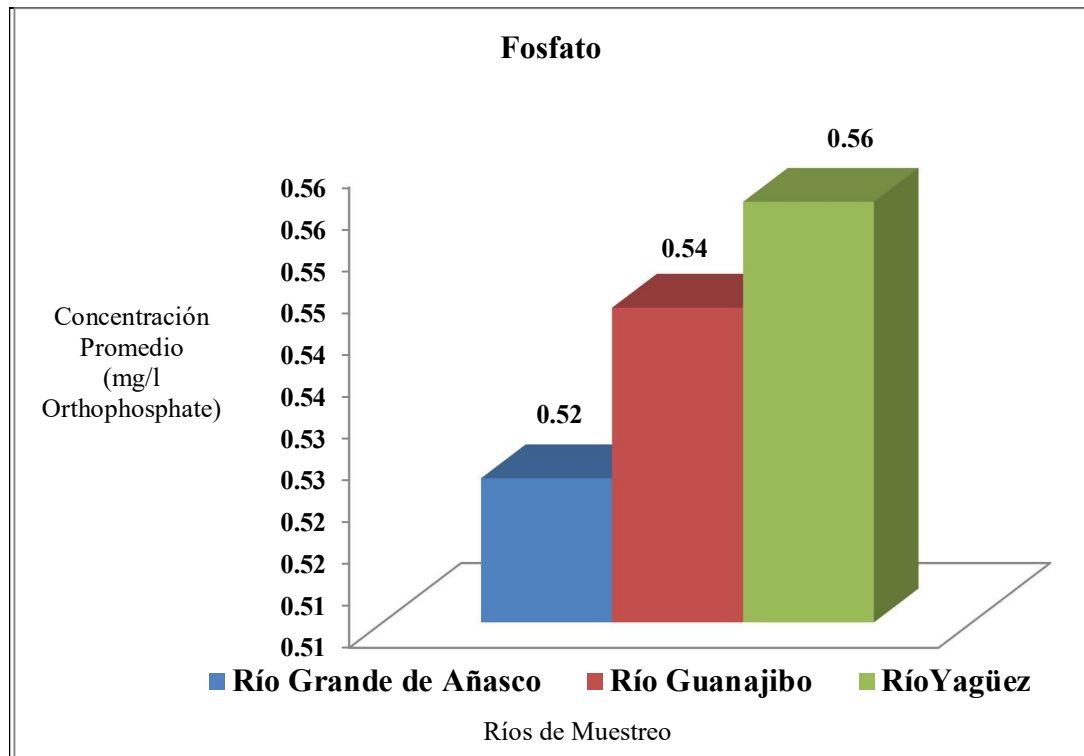


Figura 29 Fosfato Promedio por Río (mg/l Orthophosphate))



2.11. Nitrato

Es un elemento esencial para el crecimiento de algas y causa un aumento en la demanda de oxígeno al ser oxidado por bacterias, reduciendo por ende los niveles de oxígeno. Las descargas de aguas residuales ricas en nitrógeno pueden causar problemas de eutroficación y nitrificación en el cuerpo de agua. Su presencia denota contaminación orgánica, fertilizantes debido a las actividades antropogénicas. En el Río Grande de Añasco los valores de nitrato fueron altos en todas las estaciones, el máximo fue 1.33 mg/l, en abril, noviembre y marzo 2011. Lo mismo ocurrió con el Río Guanajibo, todos sus valores fueron altos, durante los meses de muestreo. El Río Yagüez cumplió con los parámetros en marzo y abril en el punto uno.

Figura 30 Nitrato Promedio por Estación por Río (mg/l)

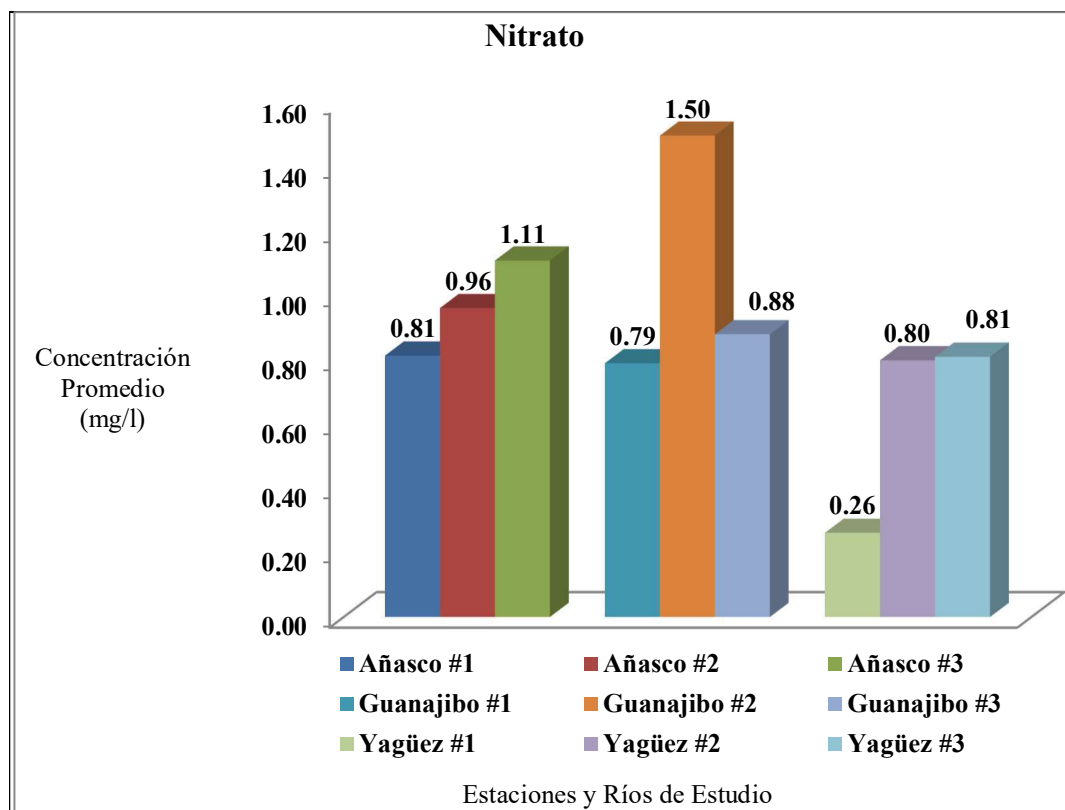
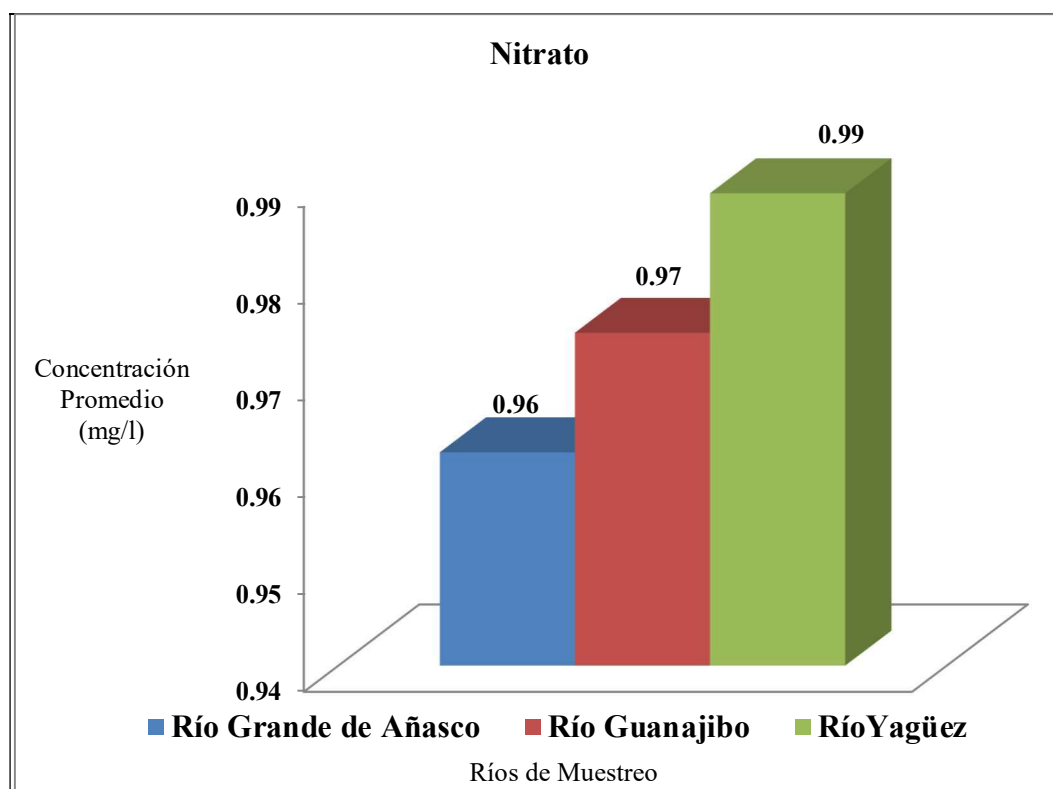


Figura 31 Nitrato Promedio por Río (mg/l)



2.12. Oxígeno Disuelto

Es la cantidad de Oxígeno disuelto en el agua. Es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. La fuente principal es el aire el cual se difunde rápidamente por la turbulencia en los ríos. Los factores que afectan el oxígeno disuelto son la temperatura, la presencia de químicos disueltos, la velocidad y la presencia de microorganismos que lo consumen. Un nivel alto de oxígenos disuelto indica calidad y en niveles bajos los peces y otros organismos no pueden vivir.

La materia orgánica contaminada que se añade al agua consume oxígeno; y es un indicador de impureza, la ausencia de oxígeno en el cuerpo de agua. La Junta de Calidad Ambiental estipula que contendrá no menos de 5.0mg/l, excepto cuando causas naturales ocasionen una depresión en este valor.

Durante los meses de muestreo los Ríos cumplieron con los parámetros establecidos, excepto el Río Yagüez en el punto tres; los valores fluctuaron de 6.4 mg/l, en el Río Grande de Añasco a 4.6 mg/l, en el Río Yagüez.

Figura 32 Oxígeno Disuelto Promedio por Estación por Río (mg/l)

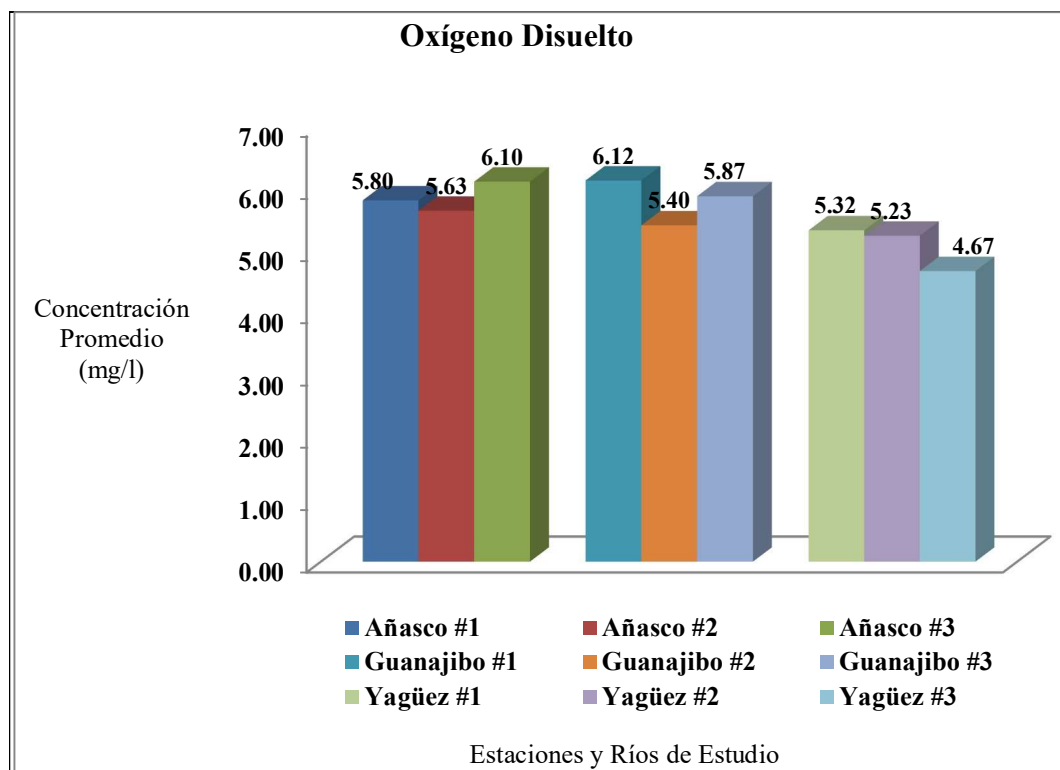
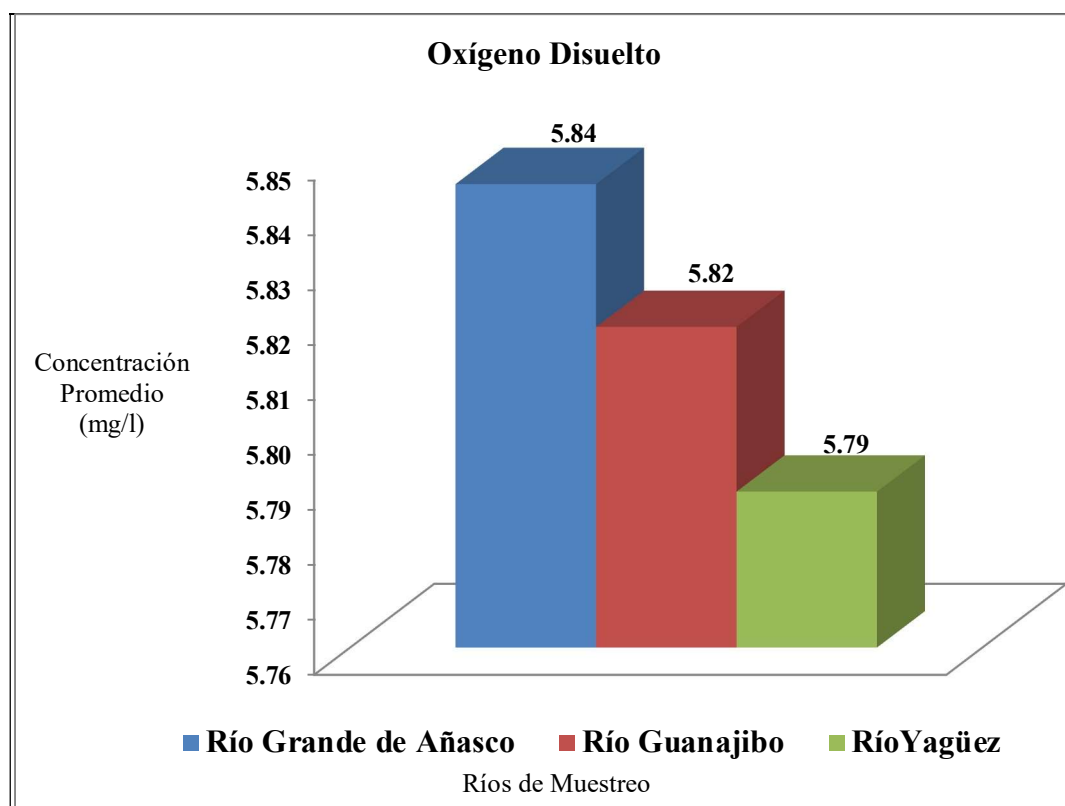


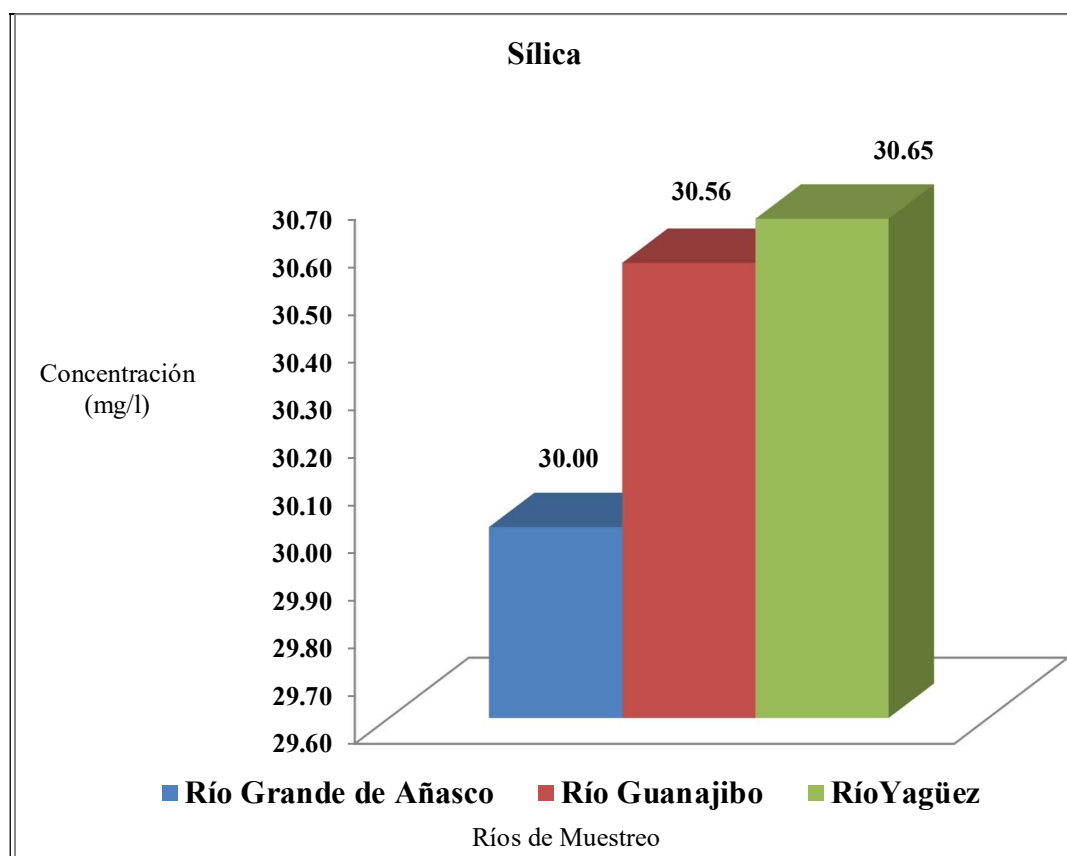
Figura 33 Oxígeno Disuelto Promedio por Río (mg/l)



2.13. Sílica

Segundo elemento de mayor abundancia en la litósfera. Es un nutriente esencial para las diatomeas, quienes los usan para formar sus frústulas. Es importante para el crecimiento de otras algas, y su disponibilidad afecta la composición taxonómica que se desarrolla (Azim, 2005). El valor mayor de sílica lo obtuvo el Río Guanajibo, en marzo 2010, con un valor de 90 mg/l; y el valor menor fue 20 mg/l, en más de una estación de los tres Ríos.

Figura 34 Sílica Promedio por Río (mg/l)



2.14. Sulfuro

Según la Junta de Calidad Ambiental no excederá 250 mg/l, excepto a causa de fenómenos naturales. Su presencia puede causar acidez al agua cambiando el pH. Los tres Ríos tuvieron valores excesivamente bajos para este parámetro, ya que el valor máximo es 250 mg/l. Los valores de los tres Ríos fluctuaron en un rango de .1 – 4 mg/l.

Figura 35 Sulfuro Promedio por Estación por Río (mg/l)

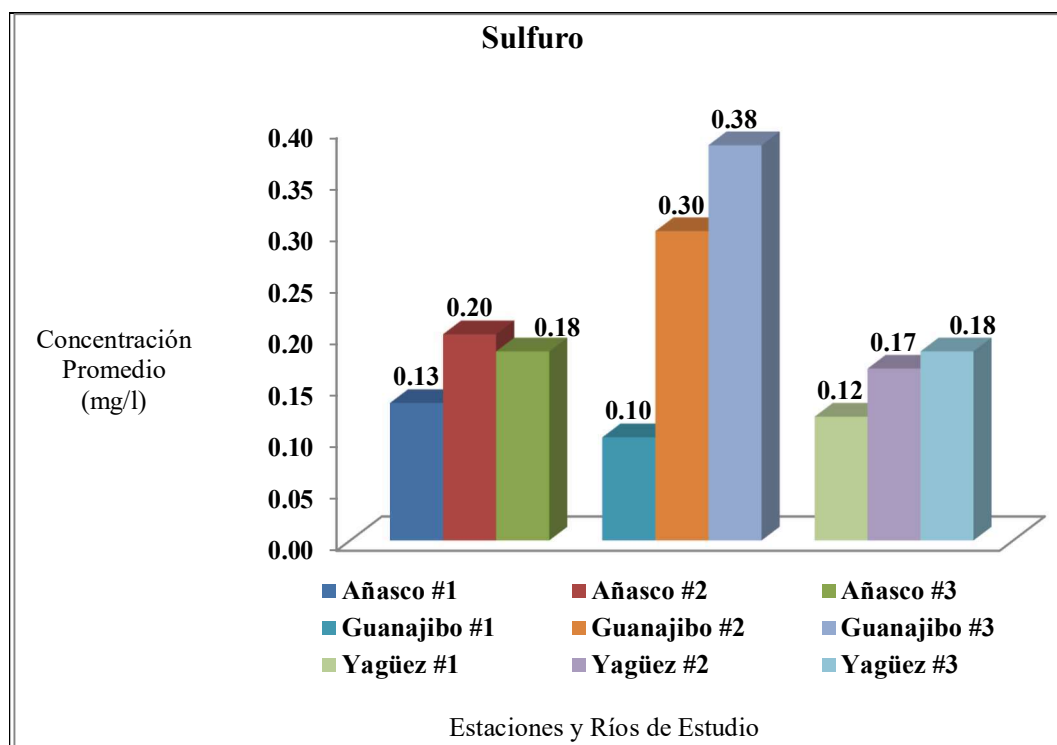
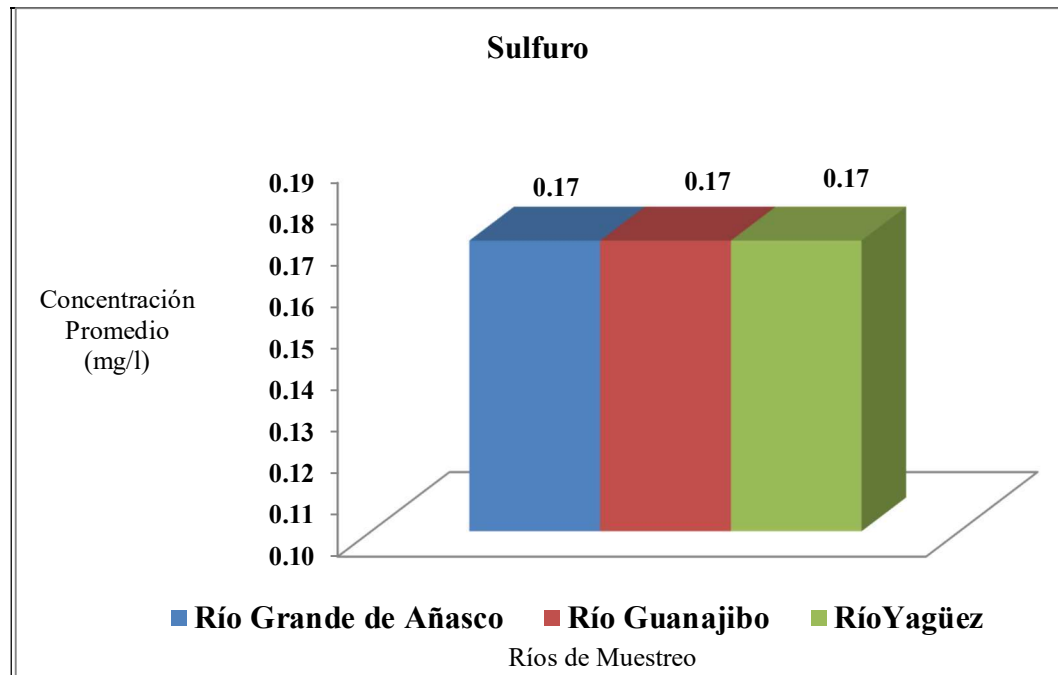


Figura 36 Sulfuro Promedio por Río (mg/l)



2.15. Turbidez

Es la medida de la claridad del agua. Es causada por sólidos suspendidos en el agua. La Junta de Calidad Ambiental estipula que no excederá 50 NTU, excepto por causas naturales. Se utilizó para medir la turbidez el kit HATCH que usa un método visual donde se obtiene la turbidez en unidades Jackson (JTU), que es equivalente a NTU. Es causada por la deforestación, erosión y agricultura. El valor mayor obtenido fue en el Río Guanajibo, en la estación dos en abril, con 40 JTU y el menor valor de 10 JTU en más de una estación por Río.

Figura 37 Turbidez Promedio por Estación por Río (NTU)

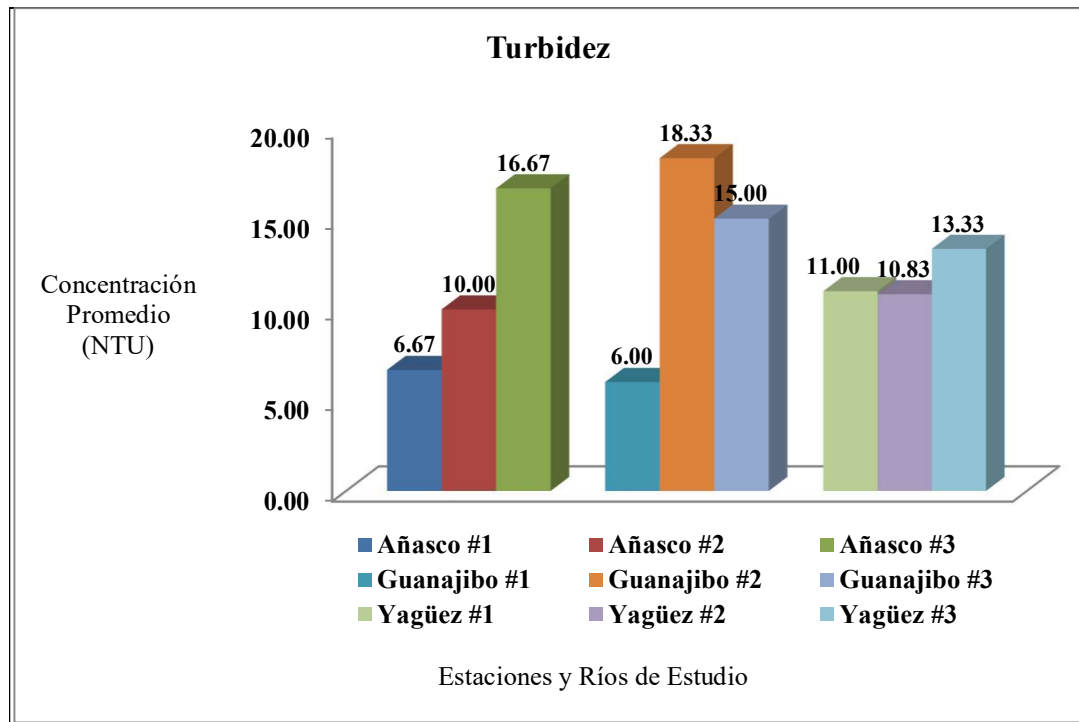


Figura 38 Turbidez Promedio por Río (NTU)

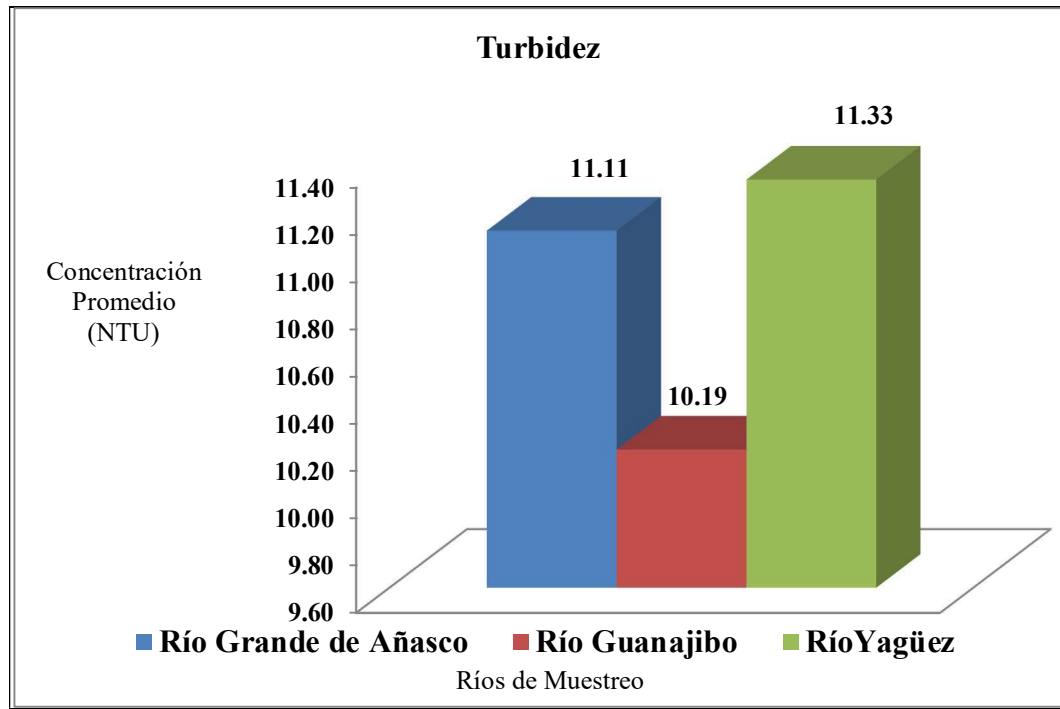


Tabla 2 Concentraciones promedios por parámetro y la calidad del agua según estos

Amonia mg/l	Nitrato mg/l	Oxígeno mg/l	Cloruro mg/l	Calidad del Agua
0.04	0.1	11	10	Muy limpio
0.24	0.25	9.3	25	Limpio
0.67	0.35	8.6	30	Regular
2.5	0.6	6.6	50	Dudosa
6.7	1.0	<3	>50	Mala

(Sagastizado, 2001), Tomada de Cubillo (1990, CDIAT, Venezuela).

3. Tipo de Sustrato

Las ventajas de utilizar un sustrato artificial son: se puede estudiar la comunidad sin dañarla al rasparla y para estudios cuantitativos, porque el área de superficie es conocida, (Lind, 1979). La desventaja es el tiempo que tarda el perifiton, en colonizar suficientemente un sustrato para que sea una muestra significativa (ocho semanas), está expuesta a vandalismo y a las crecidas o disminuciones de los cuerpos de agua. Al comparar ambos métodos se ha encontrado diferencias mínimas en la composición de las especies y densidades, (Rivera, 1987).

El sustrato natural permite obtener una muestra mucho más representativa de la comunidad del perifiton en ese cuerpo de agua. Se encontró que las trampas de perifiton no siempre eran recuperadas, y por lo tanto la mayoría de las laminillas se prepararon con perifiton en sustrato natural.

Figura 39 Sustrato Artificial vs. Sustrato Natural

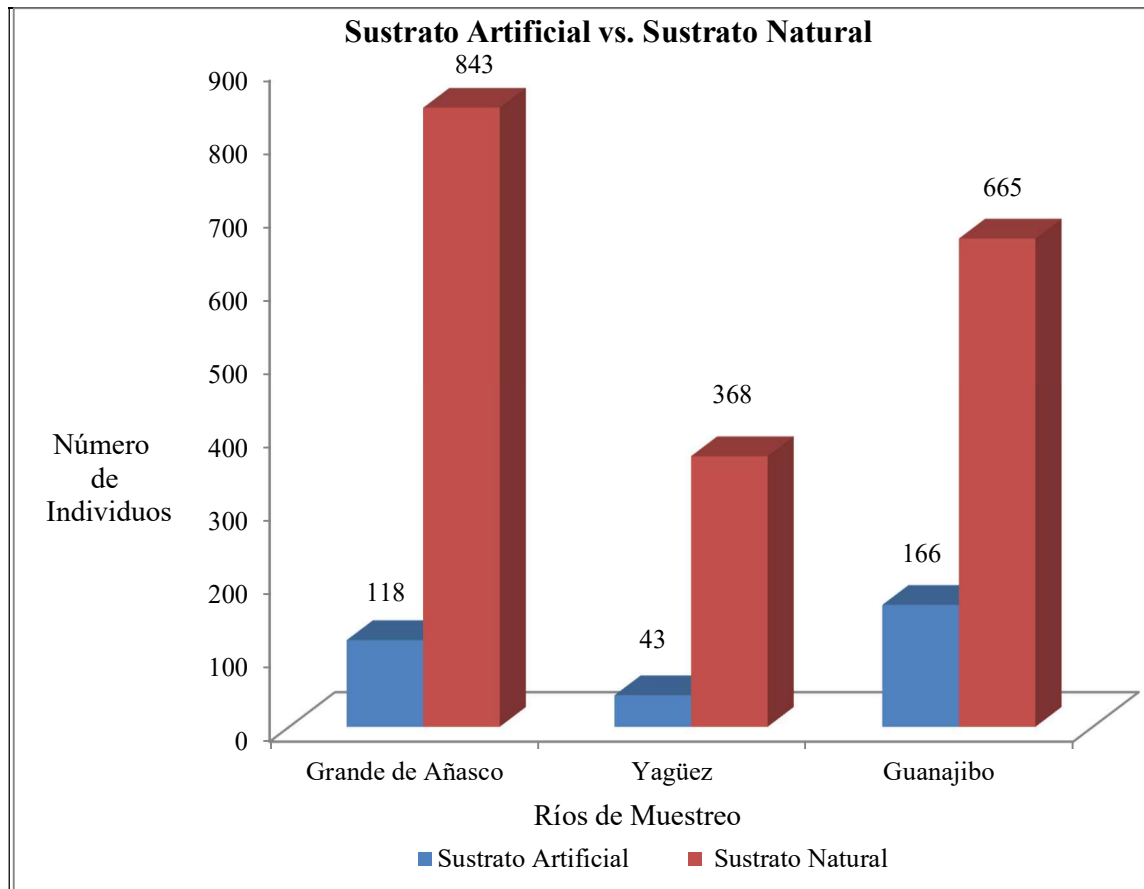


Figura 40 Perifiton colectado en sustrato natural y artificial



4. Composición de la Población del Perifiton

Las diatomeas dominaron en los tres ríos, las tres estaciones, durante los seis meses de estudio. Fueron las más abundantes en la estación uno de cada Río. Las algas verdes le siguieron y por último el azul - verdosas. El mayor número de diatomeas identificado fue 143 en el Río Grande de Añasco, estación 1 (Tabla 2). El menor número reportado fue 33, en el Río Yagüez, en el punto 1 (Tabla 4). La población mayor de perifiton identificado fue durante el mes de marzo 2011, donde el total de individuos fue 174, 199 y 155 individuos para el Río Grande de Añasco, Guanajibo y Yagüez. El dominio de las diatomeas es debido a que tienen secreciones mucilaginosas que le permiten adherirse al sustrato y la capacidad de moverse sobre el sustrato; como por ejemplo el género *Navícula spp.* (Gualtero, 2007). Referirse a las tablas 3, 4, 5 y 6.

Tabla 3 Composición Población Perifiton del Río Grande de Añasco

Donde D= diatomeas, V= algas verdes y AV= algas azul verdosas

COMPOSICIÓN POBLACION DE PERIFITON RIO GRANDE DE ANASCO									
Mes	Estación #1			Estación #2			Estación #3		
	D	V	AV	D	V	AV	D	V	AV
febrero 2010	11	3	0	39	5	0	25	0	0
marzo 2010	40	0	0	0	0	0	69	0	0
abril 2010	41	2	0	58	0	2	50	0	0
noviembre 2010	34	1	0	53	19	4	87	0	1
febrero 2011	143	21	0	68	9	2	0	0	0
marzo 2011	42	5	0	59	0	2	58	4	3
Total	311	32	0	277	33	10	289	4	4

Tabla 4 Composición Población Perifiton del Río Guanajibo

Donde D= diatomeas, V= algas verdes y AV= algas azul verdosas

COMPOSICIÓN POBLACION DE PERIFITON RIO GUANAJIBO									
Mes	Estación #1			Estación #2			Estación #3		
	D	V	AV	D	V	AV	D	V	AV
febrero 2010	25	0	0	70	0	0	1	0	0
marzo 2010	1	0	0	27	0	0	0	0	0
abril 2010	34	0	0	25	4	1	53	0	0
noviembre 2010	29	1	0	39	2	1	10	11	1
febrero 2011	108	2	0	49	20	0	104	9	3
marzo 2011	78	3	0	58	1	0	51	5	3
Total	275	6	0	268	27	2	219	25	7

Tabla 5: Composición Población Perifiton del Río Yagüez

Donde D= diatomeas, V= algas verdes y AV= algas azul verdosas

COMPOSICIÓN POBLACION DE PERIFITON RIO YAGUEZ									
Mes	Estación #1			Estación #2			Estación #3		
	D	V	AV	D	V	AV	D	V	AV
febrero 2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0
marzo 2010	33	0	0	20	0	2	0	0	0
abril 2010	28	2	0	11	12	2	22	1	0
noviembre 2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0
febrero 2011	0	0	0	51	3	1	62	5	1
marzo 2011	24	2	1	65	11	2	48	2	1
Total	85	4	1	147	26	7	132	8	2

Tabla 6 Composición Población Perifiton de los 3 Ríos

Donde D= diatomeas, V= algas verdes y AV= algas azul verdosas

COMPOSICIÓN POBLACION DE PERIFITON									
Mes	Grande de Añasco			Guanajibo			Yagüez		
	D	V	AV	D	V	AV	D	V	AV
febrero 2010	36	3	0	109	5	0	26	0	0
marzo 2010	74	0	0	47	0	2	69	0	0
abril 2010	103	4	0	94	16	5	125	1	0
noviembre 2010	63	2	0	92	21	5	97	11	2
febrero 2011	251	23	0	168	32	3	166	14	4
marzo 2011	144	10	1	182	12	4	157	11	7
Total	671	42	1	692	86	19	640	37	13

5. Identificación del Perifiton

Cocconeis placentula y *Fragilaria spp.*, fueron las especies con mayor abundancia durante el mes de febrero 2010; en el Río Grande de Añasco y Guanajibo respectivamente. En el Río Yagüez no se pudo recobrar muestra durante este mes. En el río Grande de Añasco se identificaron 16 especies y en Guanajibo 13 especies. Durante el mes de febrero 2010 en la estación uno en el río Grande de Añasco, *Cocconeis* fue el más abundante; *Pinularia*, *Novilis*; 48% en el Río Guanajibo y *Navícula radios* en la estación dos. En el Río Guanajibo *Pinularia*, *Novilis*, 48% en el punto uno. En el punto dos, fue *Navícula crystocephala* y en el punto tres, se pudo identificar solo *Gyrosigma*. Durante el mes de marzo 2010, en el Río Guanajibo se identificaron 13 especies y *Fragilaria* fue la más abundante. En el Río Guanajibo se identificaron 4 especies y *Navícula spp.*, fue la más abundante. En el Río Yagüez se identificaron 10 especies, y la más abundante fue *Cocconeis spp.* Durante el mes de abril 2010, se identificaron en el Río Grande de Añasco, Guanajibo y Yagüez, los géneros *Cocconeis* y *Navícula* como las especies más abundantes durante el mes de abril. Se identificó una *Euglena spp.*, en el punto dos del Río Guanajibo. *Cymbella spp.* Fue la especie dominante en el Río Grande de Añasco en la estación uno y Guanajibo estación tres. Se identificó una *Traquelomona spp.*, en el Río Yagüez, durante este mes. En noviembre *Nitzschia spp.* y *Achanthes spp.*, fueron las más abundantes en el Río Grande de Añasco y Guanajibo. En el Río Yagüez, no se pudo recuperar muestra durante ese mes. En febrero 2011, *Cocconeis spp.* y *Navícula spp.*, fueron las especies más abundantes en el Río Grande de Añasco y Yagüez respectivamente. *Nitzschia* fue la más abundante en la estación dos, en el Río Grande de

Añasco y Guanajibo. Durante marzo 2011, fue el mes de mayor especie por Río: Grande de Añasco 21 especie, Guanajibo 22 y Yagüez 18. *Navícula spp.* y *Melosiriam spp.*, fueron las especies de mayor abundancia en los ríos. *Gomphonema spp.*, *Cymbella spp.*, *Cladosphora spp.*, *Spyrogira spp.*, poseen basales de adhesión que le permite tolerar la velocidad de las corrientes (Gualtero 2007).

Figura 42 Especies Identificadas en los 3 Ríos I

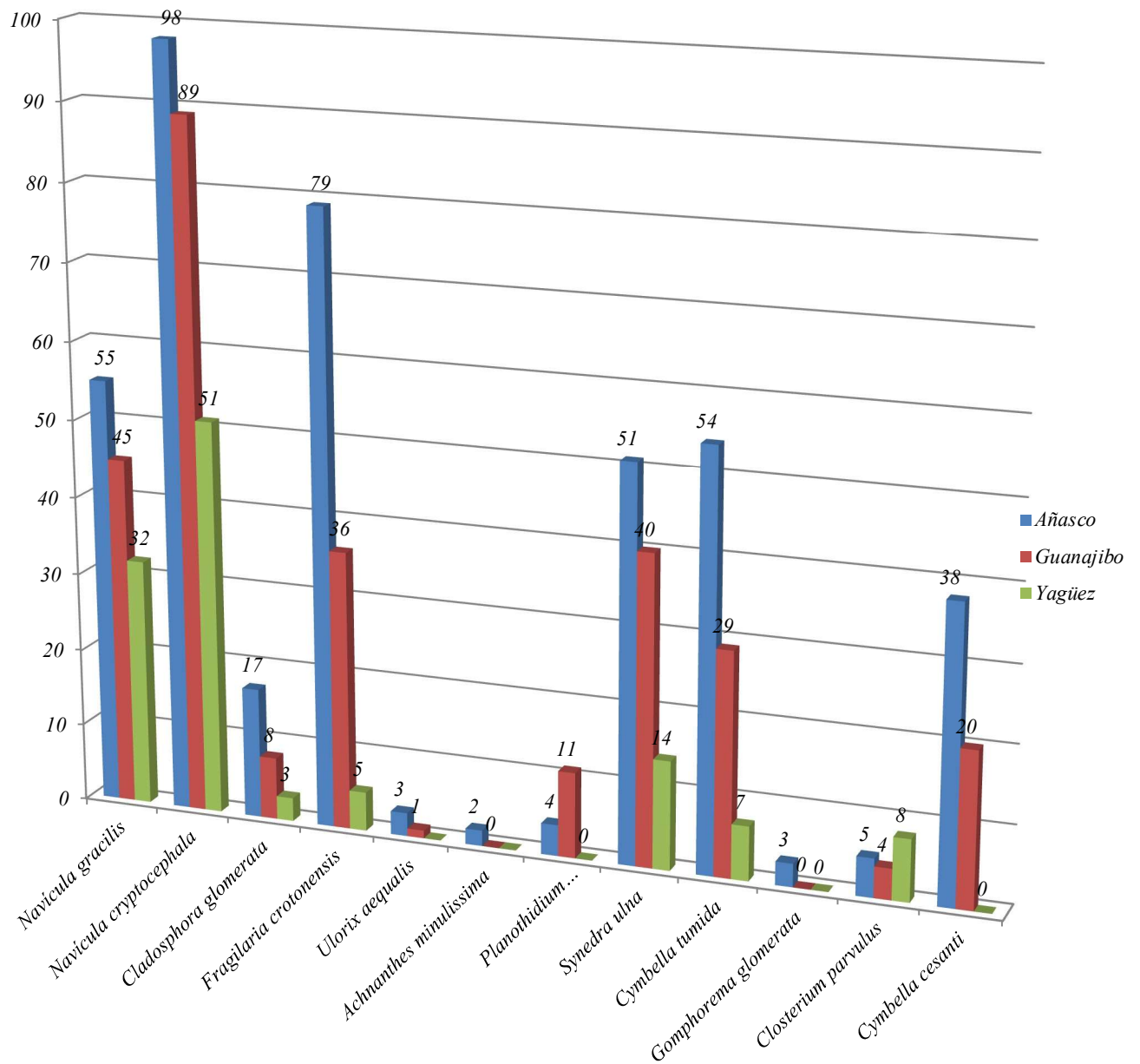


Figura 43 Especies Identificadas en los 3 Ríos II

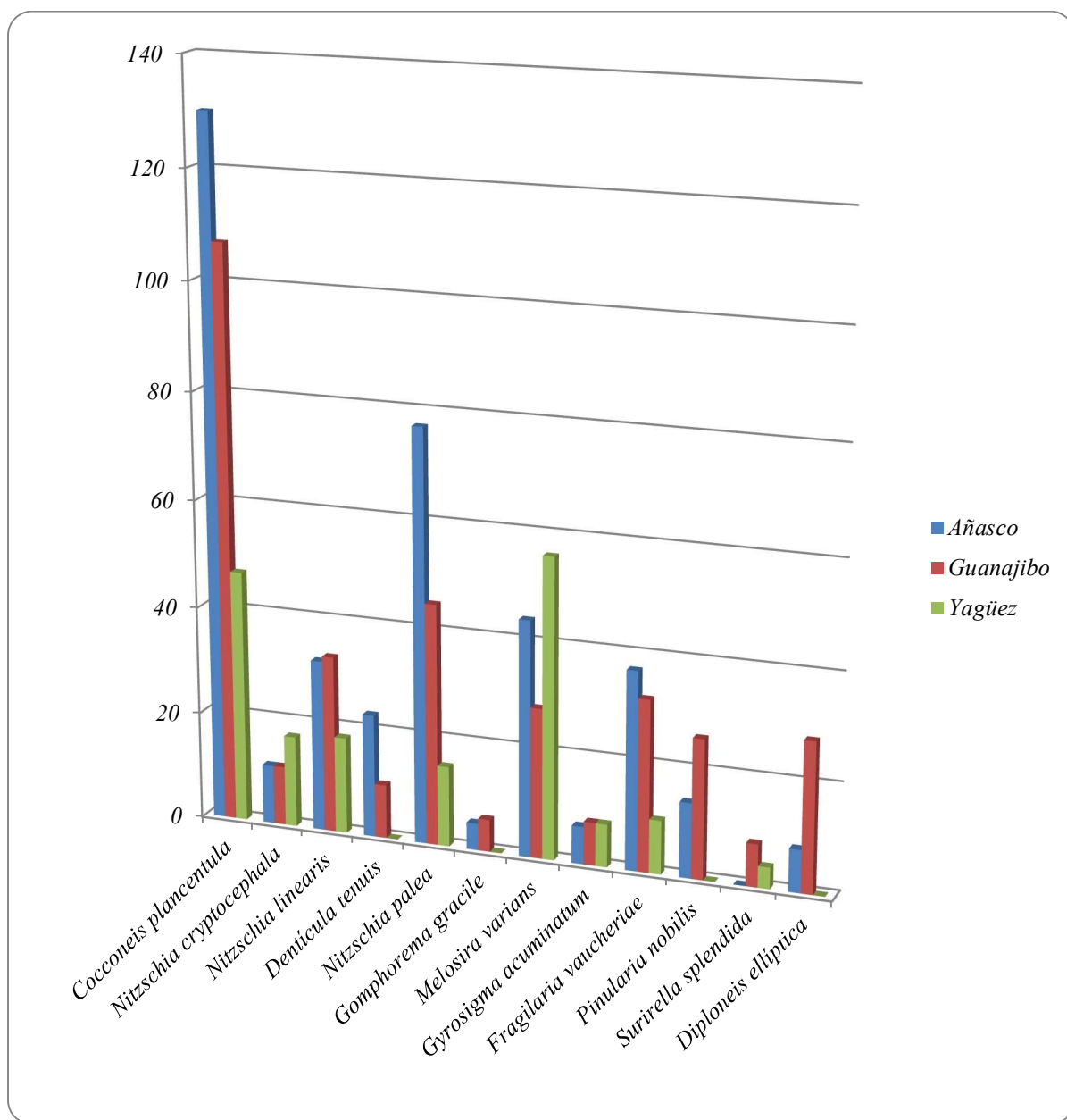


Figura 44 Especies Identificadas en los 3 Ríos III

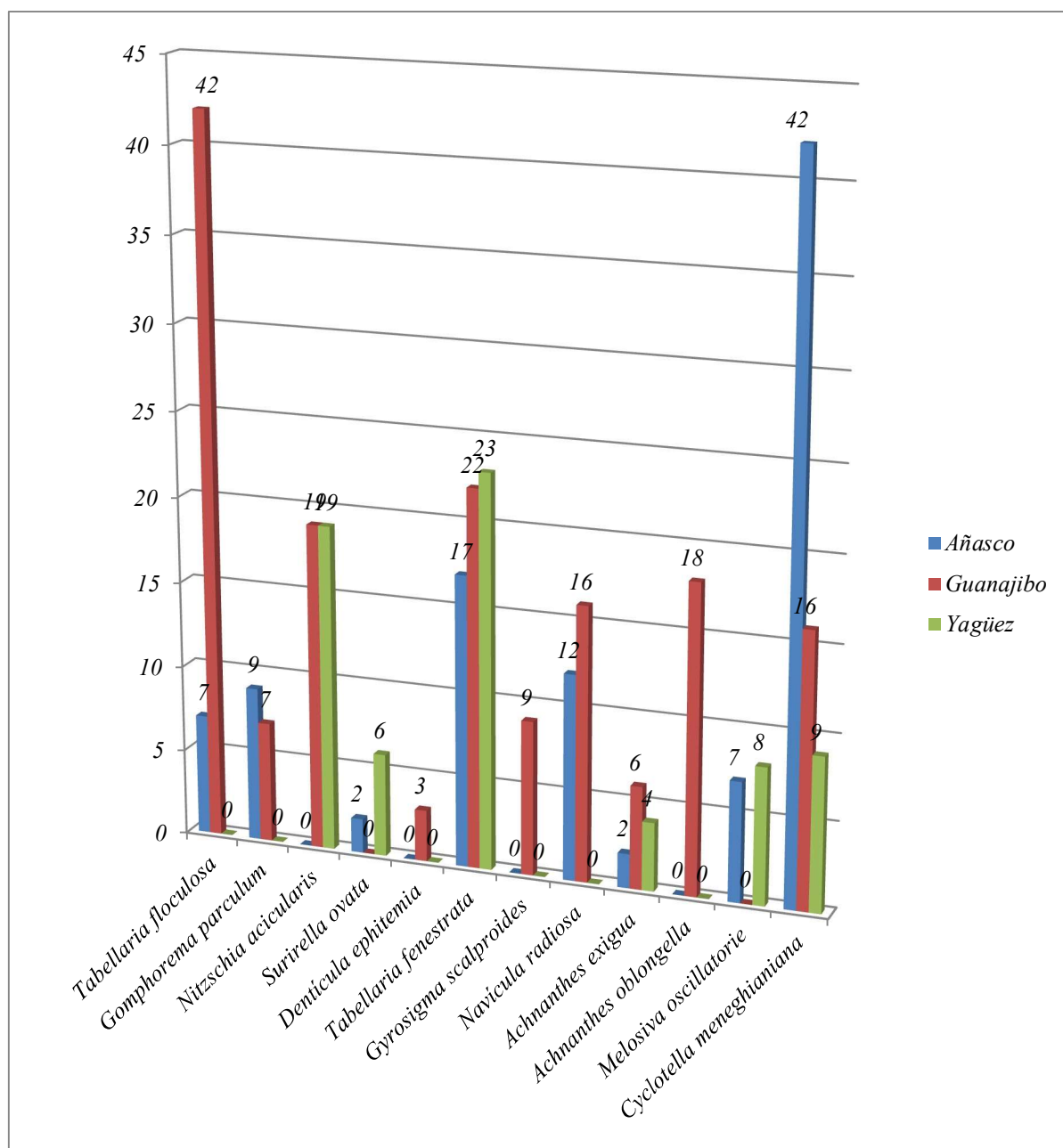
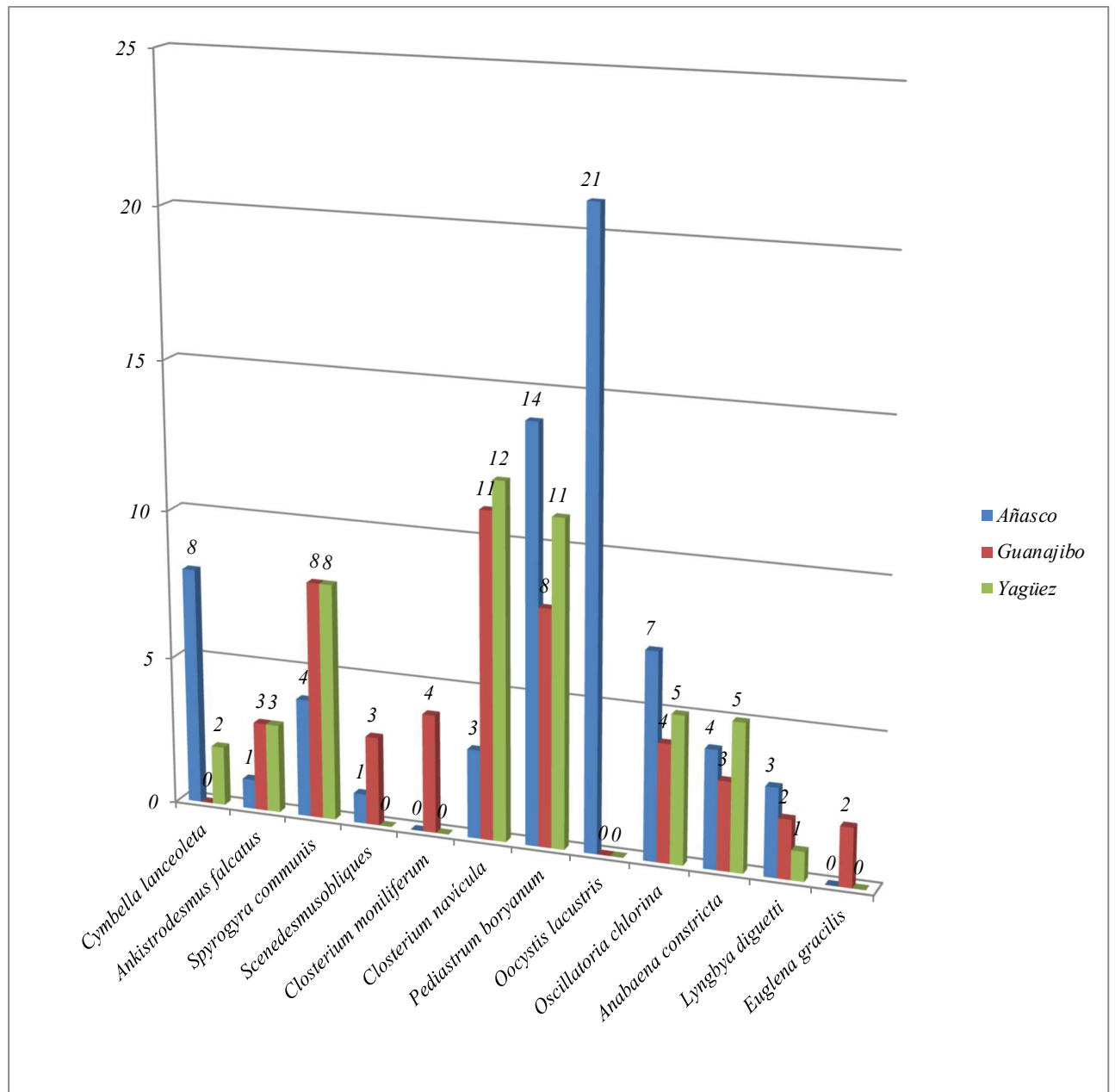


Figura 45 Especies Identificadas en los tres Ríos IV



6. Evaluación Biológica

6.1 Abundancia

La abundancia relativa de cada río, por mes y estación se resumen en la Tablas: 6, 7 y 8.

La abundancia del río Grande de Añasco por estación y mes, se presenta en la Tabla 6.

Tabla 7 Total de individuos en el Río Grande de Añasco durante los meses: febrero F1, marzo M1, abril A1 y noviembre N1 2010; febrero F2 y marzo M2 2011 en las tres estaciones de muestreo.

RIO GRANDE DE ANASCO																		
Estaciones	Estación #1						Estación #2						Estación #3					
Género Especie	F1	M1	A1	N1	F2	M2	F1	M1	A1	N1	F2	M2	F1	M1	A1	N1	F2	M2
<i>Navícula gracilis</i>	11	10	16	31		19	16	ND		1						16	ND	
<i>Navícula cryptocephala</i>					4		5	ND	28	18	11	15	24	12	30		ND	17
<i>Cladosphora glomerata</i>			5	3		6		ND		12			40				ND	
<i>Fragilaria crotonensis</i>		33		6	6	6	7	ND	12	1		13		19		10	ND	
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>								ND									ND	2
<i>Anabaena constricta</i>								ND			3						ND	3
<i>Pediastrum boryanum</i>								ND		8	6						ND	5
<i>Synedra ulna</i>		5			7		9	ND			5	11	20	3		8	ND	14
<i>Cymbella tumida</i>							14	ND	22	14	13				16	3	ND	5
<i>Closterium parvulus</i>	21					4		ND									ND	
<i>Cymbella cesanti</i>	7		14	9	14			ND								17	ND	
<i>Nitzschia palea</i>								ND		20		18		20	12		ND	
<i>Melosira varians</i>				3	5			ND				16		6		14	ND	11
<i>Pinularia nobilis</i>						3		ND				3					ND	
<i>Cyclotella meneghianiana</i>						20		ND			10	20		9		11	ND	9
<i>Oscillatoria chlorina</i>						3		ND		1		3					ND	2
<i>Cocconeis plancentula</i>	57	28	33	26	29	17		ND	18					1	24		ND	14
<i>Nitzschia linearis</i>				23	5	27		ND					8				ND	
<i>Tabellaria flocculosa</i>						15		ND									ND	
<i>Ulotrix aequalis</i>							7	ND									ND	
<i>Achanthes minulissima</i>							5	ND		3							ND	
<i>Plathidium frequetissimo</i>							9	ND									ND	
<i>Gomphonema glomarata</i>							7	ND	15		20			7			ND	
<i>Navícula radiosa</i>							18	ND								5	ND	
<i>Nitschia cryptocephala</i>								ND		12			8				ND	
<i>Denticula tenuis</i>		20			8			ND						3			ND	
<i>Gyrosigma acuminatum</i>								ND			4			6			ND	
<i>Fragilaria vaucheriae</i>								ND						14	14	15	ND	11

Tabla 8 Total de individuos en el Río Guanajibo durante los meses: febrero F1, marzo M1, abril A1 y noviembre N1 2010; febrero F2 y marzo M2 2011 en las tres estaciones de muestreo.

RIO GUANAJIBO																		
Estaciones	Estación #1						Estación #2						Estación #3					
Género Especie	F1	M1	A1	N1	F2	M2	F1	M1	A1	N1	F2	M2	F1	M1	A1	N1	F2	M2
<i>Navicula gracilis</i>	16		29		7	28								ND				
<i>Navicula cryptocephala</i>							23	44		21	13	19		ND	30		6	15
<i>Cladosphora glomerata</i>			6	3	2	2					1			ND				
<i>Fragilaria crotonensis</i>					12		4				16	5		ND			5	
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>						1						2		ND				2
<i>Anabaena constricta</i>												3		ND			1	3
<i>Pediastrum boryanum</i>											10			ND			1	
<i>Synedra ulna</i>			3		6		11				12			ND			8	12
<i>Cymbella tumida</i>							7	26	17		3	5		ND			1	7
<i>Closterium parvulus</i>									13					ND				
<i>Cymbella cesanti</i>			6	7		5								ND	23			
<i>Nitzschia palea</i>							3		31		16			ND			12	14
<i>Melosira varians</i>											14			ND			16	
<i>Pinularia nobilis</i>	48			13	6				6			2		ND				
<i>Cyclotella meneghianiana</i>														ND			14	
<i>Oscillatoria chlorine</i>									3			2		ND		5	1	2
<i>Cocconeis placentula</i>	24		15	43	30	4	21	30	19		13	7		ND				8
<i>Nitzschia linearis</i>		100	18	7	12	14								ND				
<i>Tabellaria flocculosa</i>						41								ND				15
<i>Ulotrix aequalis</i>														ND				
<i>Achanthes minutissima</i>														ND				
<i>Plathidium frequetissimo</i>							16							ND				
<i>Gomphonema glomarata</i>							9		22					ND				
<i>Navicula radiosa</i>										7		8		ND			7	
<i>Nitschia cryptocephala</i>														ND	21			
<i>Gyrosigma acuminatum</i>												14	100	ND	6			5
<i>Fragilaria vaucheriae</i>			15	10			5		17			7		ND	11	14		

Tabla 9 Total de Individuos en el Río Yagüez durante los meses: febrero F1, marzo M1, abril A1 y noviembre N1 2010; febrero F2 y marzo M2 2011 en las tres estaciones de muestreo.

RIO YAGUEZ																		
Estaciones	Estación #1						Estación #2						Estación #3					
Género Especie	F1	M1	A1	N1	F2	M2	F1	M1	A1	N1	F2	M2	F1	M1	A1	N1	F2	M2
<i>Navicula gracilis</i>	ND	15	27	ND	ND	37	ND			ND			ND	ND		ND	13	
<i>Navicula cryptocephala</i>	ND			ND	ND		ND	9		ND	13	17	ND	ND	26	ND	19	20
<i>Cladosphora glomerata</i>	ND	6		ND	ND	4	ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Fragilaria crotonensis</i>	ND		7	ND	ND		ND			ND	5		ND	ND		ND		
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	ND			ND	ND		ND			ND		3	ND	ND		ND		2
<i>Anabaena constricta</i>	ND			ND	ND		ND		8	ND	2		ND	ND		ND	1	2
<i>Pediastrum boryanum</i>	ND			ND	ND		ND			ND	4	9	ND	ND		ND	3	
<i>Synedra ulna</i>	ND	18		ND	ND		ND			ND	5		ND	ND		ND	7	
<i>Cymbella tumida</i>	ND			ND	ND		ND			ND	13		ND	ND		ND		
<i>Closterium parvulus</i>	ND	18	7	ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Cymbella cesanti</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		4
<i>Nitzschia palea</i>	ND			ND	ND		ND			ND	11	12	ND	ND		ND		
<i>Melosira varians</i>	ND			ND	ND		ND	18		ND	31	38	ND	ND		ND	9	14
<i>Pinularia nobilis</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	ND			ND	ND		ND	18		ND	9		ND	ND		ND		
<i>Oscillatoria chlorina</i>	ND			ND	ND		ND	9		ND	2	3	ND	ND		ND		
<i>Cocconeis placentula</i>	ND	30	47	ND	ND		ND	45		ND		17	ND	ND		ND		
<i>Nitzschia linearis</i>	ND		13	ND	ND	52	ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Tabellaria flocculosa</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Ulotrix aequalis</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Achanthes minutissima</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND	6	
<i>Plathidium frequentissimum</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Gomphonema glomerata</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Navicula radiosa</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Nitzschia cryptocephala</i>	ND			ND	ND		ND		16	ND			ND	ND		ND		26
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	ND			ND	ND		ND			ND	4		ND	ND		ND	6	4
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND	9	ND	4	10
<i>Surirella splendida</i>	ND	12		ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Tabellaria fenestrata</i>	ND			ND	ND		ND		28	ND			ND	ND		ND	10	18
<i>Closterium navicula</i>	ND			ND	ND		ND		48	ND			ND	ND		ND		
<i>Nitzschia acicularis</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND	35	ND	16	
<i>Denticula ephitemia</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND		ND		
<i>Surirella obata</i>	ND			ND	ND		ND			ND			ND	ND	26	ND		
<i>Spirogira communis</i>	ND			ND	ND	4	ND			ND	2	3	ND	ND	4	ND	4	
<i>Lyngbya digueti</i>	ND			ND	ND	4	ND			ND			ND	ND		ND		

Tabla 10 Total de individuos por río: Grande de Añasco (GA). Guanajibo (G) y Yagüez (Y) durante los meses: febrero F1, marzo M1, abril A1 y noviembre N1 2010; febrero F2 y marzo M2 2011.

% Abundancia																		
Ríos	GRANDE DE AÑASCO						GUANAJIBO						YAGUEZ					
Género Especie	F1	M1	A1	N1	F2	M2	F1	M1	A1	N1	F2	M2	F1	M1	A1	N1	F2	M2
<i>Navicula gracilis</i>	11	4	5	13		5	4		8		3	12	ND	9	10	ND	7	6
<i>Navicula cryptocephala</i>	10	7	21	7	7	11	17	43	13	10	5	10	ND	4	8	ND	16	15
<i>Cladosphora glomerata</i>	2		1	5		2			2	1	1	1	ND	4		ND		1
<i>Fragilaria crotonensis</i>	16	24	5	6	4	6	3				10	2	ND		3	ND	2	
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>						1						2	ND			ND		2
<i>Anabaena constricta</i>					1						1	1	ND		3	ND	2	1
<i>Pediastrum boryanum</i>				3	2	2					3		ND			ND	3	5
<i>Synedra ulna</i>	11	4		4	6	9	8		1		8	4	ND	11		ND	7	
<i>Cymbella tumida</i>	7		14	7	4	2	5	25		7	1	4	ND			ND	6	
<i>Closterium parvulus</i>	4					1			3				ND	11	3	ND		
<i>Cymbella cesanti</i>	1	2	4	2	9	2			12	2		2	ND			ND		1
<i>Nitzschia palea</i>		13	4	15	7		2		8		8	4	ND			ND	5	6
<i>Melosira varians</i>		4	1	7	4	10					9		ND	7		ND	7	24
<i>Pinularia nobilis</i>						1	13		2	4	2	1	ND			ND		
<i>Cyclotella meneghiniana</i>		6		5	3	10					5		ND	7		ND	4	
<i>Oscillatoria chlorina</i>				1		2			1	1	1	1	ND	4		ND	1	1
<i>Cocconeis plancentula</i>	10	11	24	5	19	10	22	29	9	14	14	6	ND	36	18	ND		8
<i>Nitzschia linearis</i>	2			4	4	7		4	5	2	4	6	ND		5	ND		9
<i>Tabellaria flocculosa</i>						4			1			21	ND			ND		
<i>Ulotrix aequalis</i>	4												ND			ND		
<i>Achanthes minutissima</i>	2			1									ND			ND	3	
<i>Plathidium frequetissimo</i>	5						11						ND			ND		
<i>Gomphonema glomarata</i>	4	5	6				6						ND			ND		
<i>Navicula radiosa</i>	10			2						3	3	3	ND			ND		
<i>Nitzschia cryptocephala</i>	2			5					9				ND		5	ND		8
<i>Denticula tenuis</i>		9			5								ND			ND		
<i>Gyrosigma acuminatum</i>		4			1	1		6	2	6			ND	6		ND	5	1
<i>Fragilaria vaucheriae</i>		9	5	7		4		9	14	4			ND	14	3	ND	2	3
<i>Surirella splendid</i>													ND	7		ND		
<i>Tabellaria fenestrata</i>													ND		9	ND	6	6
<i>Closterium navicula</i>													ND		15	ND		
<i>Nitzschia acicularis</i>													ND		10	ND	9	
<i>Denticula ephitemia</i>													ND			ND		
<i>Surirella obata</i>													ND		8	ND		
<i>Spirogira communis</i>													ND		1	ND	3	2
<i>Lyngbya digueti</i>													ND			ND		1

6.2 Diversidad

Los índices de diversidad de Shannon se resumen en las tablas 10, 11, 12 y 13. Según el índice de diversidad de Shannon, los tres estudios se clasifican desde mesotróficos a eutróficos (Tabla 14). Solamente el Río Guanajibo y Yagüez en el mes de marzo 2010, fueron clasificados como mesotróficos. En el Río Grande de Añasco la estación uno, fue clasificada como mesotrófico. La estación dos y tres, como eutrófico. En el Río Guanajibo la estación uno y dos, fueron clasificadas como mesotróficas y la tres eutrófica. En el Río Yagüez las tres estaciones fueron clasificadas como mesotróficas; según el índice de Shannon.

Tabla 11 Resultados del Índice de Diversidad de Shannon para el Río Grande de Añasco; en cada una de sus estaciones, durante los meses de muestreo.

Índice de Diversidad de Shannon			
Mes	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Febrero 2010	2.740	3.129	3.877
Marzo 2010	2.268	ND	3.126
Abril 2010	2.403	2.476	2.388
Noviembre 2010	2.348	3.168	3.082
Febrero 2011	3.132	3.243	ND
Marzo 2011	2.740	3.129	3.877
Clasificación del río	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico

Tabla 12 Resultados del Índice de Diversidad de Índice de Diversidad de Shannon para el Río Guanajibo; en cada una de sus estaciones, durante los meses de muestreo.

Índice de Diversidad de Shannon			
Mes	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Febrero 2010	1.792	2.939	ND
Marzo 2010	ND	1.545	ND
Abril 2010	2.714	2.488	2.327
Noviembre 2010	2.358	2.663	1.620
Febrero 2011	2.820	3.035	3.585
Marzo 2011	2.249	3.123	3.330
Clasificación del río	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico

R

Tabla 13 I Resultados del Índice de Diversidad de Shannon para el río Yagüez; en cada una de sus estaciones, durante los meses de muestreo.

Índice de Diversidad de Shannon			
Mes	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Febrero 2010	ND	ND	ND
Marzo 2010	2.443	2.040	ND
Abril 2010	1.930	1.737	2.044
Noviembre 2010	ND	ND	ND
Febrero 2011	ND	3.373	3.308
Marzo 2011	1.550	2.470	2.741
Clasificación del río	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico

Tabla 14 Resultados del Índice de Diversidad de dice de Diversidad de Shannon para los tres ríos de estudio; durante los meses de muestreo.

Índice de Diversidad de Shannon			
Mes	Río Grande de Añasco	Río Guanajibo	Río Yagüez
Febrero 2010	3.984	3.328	ND
Marzo 2010	3.373	1.712	2.889
Abril 2010	3.277	3.773	3.478
Noviembre 2010	3.997	3.471	ND
Febrero 2011	3.961	4.009	3.877
Marzo 2011	3.984	3.860	3.512
Clasificación del río	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico

Tabla 15 Relación entre el Índice de Diversidad de Shannon y la calidad del agua.

Rango	Calidad del agua
< 1	Hipertrófico
1 ~ 2.0	Eutrófico
2.1 ~ 3	Mesotrófico
> 4	Oligotrófico

(You et al., 2005)

6.3 Índice de Contaminación

Los índices biológicos están basados en la presencia de ciertos organismos. Estos traen a consideración la adaptabilidad de diferentes grupos taxonómicos. Para evaluar la calidad biológica del agua de los Ríos Grande de Añasco, Guanajibo y Yagüez; con base en la composición del perifiton se utilizó como referencia el Índice de Contaminación de Palmer. Se escogió este índice porque contiene algas y diatomeas; otros índices, como Dercy's solo utiliza diatomeas; Margalef es para lagos y Zelinka y Marvan utilizan désmidos. Palmer (1969) propuso un índice de contaminación a base de algas y diatomeas para determinar su tolerancia a la contaminación orgánica. Utilizó información sobre la contaminación de algas tolerantes compilado a partir de muchos autores, los géneros y especies más de 60 géneros y 80 especies han sido registradas a tolerar diferentes niveles de contaminación orgánica. El estado de la contaminación del agua se determina en función de sus índices, como se muestra en la Tabla el mismo oscila entre 1 – 5 (Tabla 19). No es posible señalar especies individuales de algas en relación con los estados tróficos particulares; pero si es posible mencionar o hacer una lista de organismos que crecen en lugares particulares de la cuenca (Palmer 1969). En los tres ríos de estudio, según el Índice de Contaminación de Palmer, existe la posibilidad de contaminación orgánica. En las estaciones uno, dos y tres.; de los tres Ríos, la contaminación orgánica no es alta o la muestra no es representativa.

Tabla 16 Resultados del Índice de Contaminación de Palmer para el río Grande de Añasco; en cada una de sus estaciones, durante los meses de muestreo.

Índice de Contaminación de Palmer			
Mes	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Febrero 2010	4	10	9
Marzo 2010	3	12	12
Abril 2010	0	10	6
Noviembre 2010	1	14	23
Febrero 2011	7	11	ND
Marzo 2011	1	18	18
Grado de contaminación orgánica	Contaminación orgánica no es alta	Contaminación orgánica no es alta	Probable evidencia de alta contaminación orgánica

Tabla 17 Resultados Índice de Contaminación de Palmer para el río Guanajibo; en cada una de sus estaciones, durante los meses de muestreo.

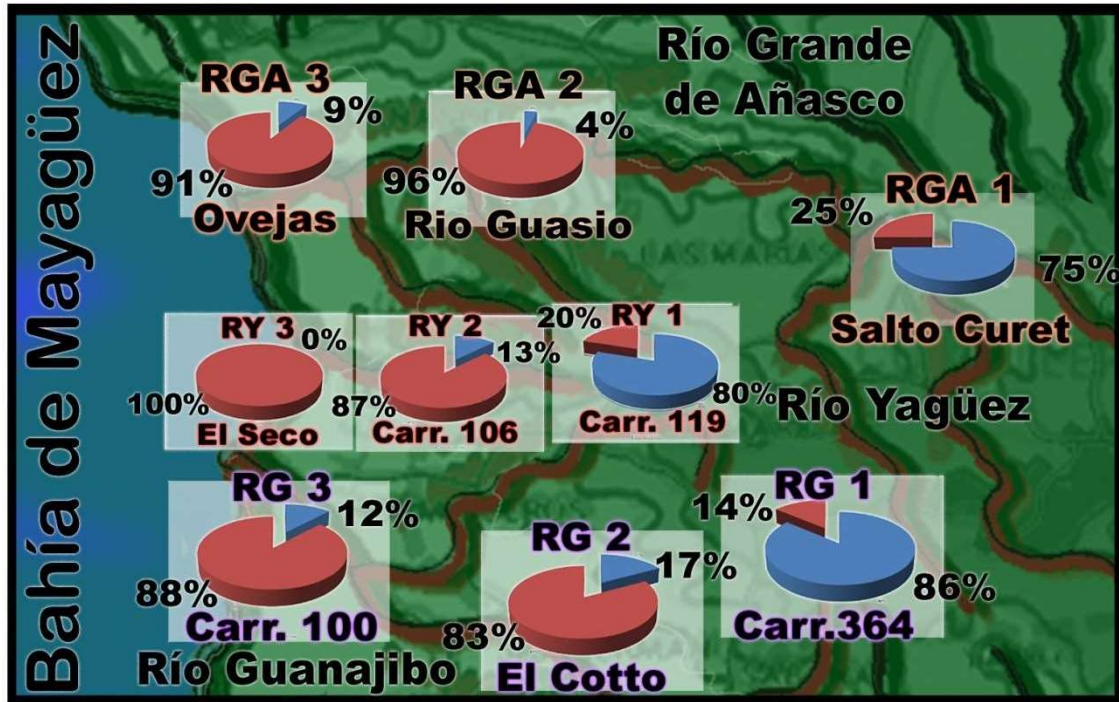
Índice de Contaminación de Palmer			
Mes	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Febrero 2010	0	10	0
Marzo 2010	0	10	ND
Abril 2010	3	15	6
Noviembre 2010	0	10	6
Febrero 2011	3	14	19
Marzo 2011	2	11	19
Grado de contaminación orgánica	Contaminación orgánica no es alta	Contaminación orgánica no es alta	Contaminación orgánica no es alta

Tabla 18 Índice de Contaminación de Palmer para el río Yagüez; en cada una de sus estaciones, durante los meses de muestreo.

Índice de Contaminación de Palmer			
Mes	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Febrero 2010	ND	ND	ND
Marzo 2010	4	10	ND
Abril 2010	1	9	6
Noviembre 2010	ND	ND	ND
Febrero 2011	ND	14	10
Marzo 2011	0	19	9
Grado de contaminación orgánica	Contaminación orgánica no es alta	Contaminación orgánica no es alta	Contaminación orgánica no es alta

Figura 46 Porcentaje de especies identificadas como pertenecientes al Índice de Contaminación de Palmer en cada estación de los 3 ríos

Puerto Rico



 **Contaminada**

 **Limpia**

Tabla 19 Índice de Contaminación de Palmer para los tres ríos de estudio; durante los meses de muestreo.

Índice de Contaminación de Palmer			
Mes	Río Grande de Añasco	Río Guanajibo	Río Yagüez
Febrero 2010	14	10	ND
Marzo 2010	12	3	14
Abril 2010	13	21	16
Noviembre 2010	26	16	ND
Febrero 2011	12	23	20
Marzo 2011	19	22	22
Grado de contaminación orgánica	Probable evidencia de alta contaminación orgánica	Probable evidencia de alta contaminación orgánica	Probable evidencia de alta contaminación orgánica

Tabla 20 Clasificación de un cuerpo de agua; según el índice de contaminación de Palmer.

Rango	Calidad del agua	Grado de contaminación
20 - > 20	Positiva	Alta contaminación orgánica
14 - 19	Probable	Probable evidencia de alta contaminación orgánica
13 - < 13	Negativa	Contaminación orgánica no es alta La muestra no es representativa Otros factores interfirieron

(Bellinger y Sigee, 2010)

7. Comparación Químico-Físico vs Biológico

6.1. Nutrientes

Eutrofización es el proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes. Aunque tanto el nitrógeno como el fósforo contribuyen a la eutroficación, la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación. Los efectos de la eutroficación, como los florecimientos de algas, son fácilmente visibles. Los procesos por escorrentía y cambios en el uso de la tierra, tal como urbanización, desarrollo y actividades agrícolas ganaderas, contribuyen a la degradación cualitativa de los cuerpos de agua.

Las concentraciones de nitrógeno y oxígeno son usualmente las determinantes más importantes, de cual tipo de alga va a crecer en un lugar específico (Azym, et al.,2005).

Tabla 21 Calidad de agua según resultados Índice de Diversidad de Shannon, Índice de Contaminación de Palmer y concentración de Nutrientes

CALIDAD DE LOS RÍOS

Ríos	Palmer	Shannon	Concentración de amonia, nitrato y oxígeno
Grande de Añasco	Probable evidencia de contaminación orgánica	Mesotrófico	Regular ó dudosa
Guanajibo	Probable evidencia de contaminación orgánica	Mesotrófico	Regular ó dudosa
Yagüez	Probable evidencia de contaminación orgánica	Mesotrófico	Regular ó dudosa

Al comparar los resultados de de los Índice de Palmer (biológico), Índice de Shannon (diversidad) y la concentración de amonia, nitrato (nutrientes, químico) y de oxígeno; todas coinciden en clasificar el cuerpo de agua con una calidad que fluctúa de: probable evidencia de contaminación orgánica, por la presencia de especies indicadoras de agua contaminada; mesotrófico (moderada cantidad de nutrientes); hasta regular ó dudosa; la calidad del agua de los Ríos de estudio.

Tabla 22 Relación entre número de individuos; número especies y concentración promedio de amonio, nitrato y fosfato (mg/L) en el Río Grande de Añasco

Ríos	Meses de estudio	Núm. de especies	Núm. de individuos	Concentración Promedio Amonia mg/l	Concentración Promedio Nitrato mg/l	Concentración Promedio Fosfato mg/l
Grande de Añasco	Feb 2010	16	83	4.6	.888	400
	Marzo 2010	13	109	3	.888	466
	Abril 2010	15	153	3.46	1.18	600
	Nov 2010	21	199	3.13	1.03	566
	Feb 2011	20	243	2.73	.733	500
	Marzo 2011	21	174	3.46	1.03	600

El límite permitido por la JCA en PR no excederá de 1 mg/l para amonia; para nitrato es 0.02 mg/l y para fosfato es 1 mg/l.

Tabla 23 Relación entre número de individuos; número especies y concentración promedio de amonio, nitrato y fosfato (mg/L) en el Río Guanajibo

Ríos	Meses de estudio	Núm. de especies	Núm. de individuos	Concentración Promedio Amonia mg/l	Concentración Promedio Nitrato mg/l	Concentración Promedio Fosfato mg/l
Guanajibo	Feb 2010	13	96	2.66	1.32	433
	Marzo 2010	4	28	1.33	0.6	500
	Abril 2010	17	119	2.5	0.888	400
	Nov 2010	16	94	2.66	1.036	533
	Feb 2011	24	295	3.5	1.036	533
	Marzo 2011	22	199	3.0	1.48	533

El límite permitido por la JCA en PR no excederá de 1 mg/l para amonia; para nitrato es 0.02 mg/l y para fosfato es 1 mg/l.

Tabla 24 Relación entre número de individuos; número especies y concentración promedio de amonio, nitrato y fosfato (mg/L) en el Río Yagüez

Ríos	Meses de estudio	Núm. de especies	Núm. de individuos	Concentración Promedio Amonia mg/l	Concentración Promedio Nitrato mg/l	Concentración Promedio Fosfato mg/l
Yagüez	Feb 2010	ND	ND	1.0	.333	666
	Marzo 2010	6	55	1.0	.333	666
	Abril 2010	14	78	2.0	1.08	600
	Nov 2010	ND	ND	1.0	1.55	800
	Feb 2011	18	123	1.0	.3821	666
	Marzo 2011	18	155	1	.4884	600

El límite permitido por la JCA en PR no excederá de 1 mg/l para amonia; para nitrato es 0.02 mg/l y para fosfato es 1 mg/l.

8. Análisis Bioestadístico

8.1 ANOVA

Sé determinó; con la prueba de ANOVA de una vía; que el total de especies: diatomeas, algas verdes y algas azul-verdosas; no es significativamente diferente entre las estaciones de cada Río durante los seis meses de estudio. Los factores que se consideraron fueron el total de especies/ por cada estación /por Río. El propósito fue determinar si el número de diatomeas, algas verdes y algas azul-verdosas era disparejo, de acuerdo a la estación en cada Río.

Tabla 25 Resumen de resultados de ANOVA para determinar si el total de individuos por estación, en el Río Grande de Anasco es disparejo

Rio 1

**Anova:
Single
Factor**

SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Est. 1	6	52	8.666667	18.26667		
Est. 2	5	50	10	6		
Est. 3	6	43	7.166667	19.76667		

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	22.06863	2	11.03431	0.721309	0.503326	3.738892
Within Groups	214.1667	14	15.29762			
Total	236.2353	16				

Tabla 26 Resumen de resultados de ANOVA para determinar si el total de individuos por estación, en el Río Río Guanajibo es disparejo

Rio 2

**Anova: Single
Factor**

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Est. 1	6	37	6.166667	9.366667
Est. 2	6	49	8.166667	8.566667
Est. 3	5	40	8	41.5

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	14.45098	2	7.22549	0.395659	0.680531	3.738892
Within Groups	255.6667	14	18.2619			
Total	270.1176	16				

Tabla 27 Resumen de resultados de ANOVA para determinar si el total de individuos por estación, en el Río Yagüez es disperejo

Rio 3

**Anova: Single
Factor**

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Est. 1	5	10	2	7.5
Est. 2	5	30	6	23.5
Est. 3	4	26	6.5	27

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	57.85714	2	28.92857	1.552265	0.254793	3.982298
Within Groups	205	11	18.63636			
Total	262.8571	13				

Las diferencias significativas para el número de individuos por río durante los seis meses de muestreo, se determinó con la prueba de ANOVA de dos vías. Esta prueba reveló que: no existe; diferencia significativa en el número de individuos; de los tres Ríos en los seis meses de estudio. Se utilizó como factor: el número de individuos/ por los seis meses de muestreo/por Río. El propósito fue comparar si el mes de muestreo ó temporada, afecta la cantidad de individuos por Río.

Tabla 28 Resumen de resultados de ANOVA para determinar si hubo diferencia significativa en el número de individuos, de los tres Ríos durante los seis meses de muestreo

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Feb	3	11.66667	3.888889	12.03704
Mar	3	18	6	42.25
Abril	3	18	6	1.444444
Nov	3	16	5.333333	24.11111
Feb	3	27.66667	9.222222	6.037037
Mar	3	27	9	2.333333
RIO 1	6	52.83333	8.805556	7.182407
RIO 2	6	42.66667	7.111111	13.0963
RIO 3	6	22.83333	3.805556	12.8713

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
MESES	66.91975	5	13.38395	1.354236	0.318708	3.325835
RIOS	77.59568	2	38.79784	3.925705	0.055162	4.102821
RESIDUOS	98.83025	10	9.883025			
Total	243.3457	17				

8.2 Spearman

Para determinar la posible correlación entre la abundancia de las poblaciones y los nutrientes (fosfato, nitrato y amonia) promedio por los seis meses de estudio. Se partió de la hipótesis que si existe ó no existe relación entre la población total y la cantidad de nutrientes (fosfato, nitrato y amonia). Los resultados reflejaron que no hay correlación entre una cosa y la otra. En el Río Grande de Añasco se encontró que a mayor población, menor cantidad de amonia y de nitrato. El Río Yagüez y Guanajibo reflejaron en cambio, que, a mayor población, mayor cantidad de amonia. y de nitrato. Para el fosfato, el Río Grande de Añasco y Guanajibo reflejaron que; a mayor cantidad del nutriente, mayor población. Para el Río Yagüez, se encontró que para el fosfato; a mayor población, menor cantidad de fosfato.

CONCLUSION

A través de la historia las cuencas hidrográficas de Puerto Rico han estado expuestas a una serie de contaminantes como lo son los compuestos químicos, los pesticidas y compuestos orgánicos debido a las escorrentías, (DRNA, 2007). El uso de vehículos en riberas de los ríos, los botaderos de basura, la ganadería, la agricultura, la construcción de viviendas en áreas aledañas al río, plantas de tratamiento de aguas usadas, descargas ilegales de aguas grises y negras; son acciones antropogénicas que ha contribuido al deterioro de los ríos (Padilla, 2007).

Al ser el perifiton una comunidad rica en especies y cada especie tiene un rango de tolerancia ambiental particular; puede utilizarse como un indicador biológico del cual se obtiene información complementaria a la suministrada por las variables físico – químicas (Vilches et al, 2016).

En este estudio, dentro del perifiton, las diatomeas fueron las más abundantes, seguidas de las algas verdes y las algas azul-verdosas en menor cantidad, en los tres Ríos. También se identificó *Euglena spp.*, que es un protozooario que puede estar atado al perifiton (USGS, 1994), en el Río Guanajibo; *Trachelomona spp.* en el Río Yaguez y *Closterium spp.* (désmda asociada al perifiton) en los tres Ríos de estudio. Las especies de mayor distribución y abundancia en los tres Ríos fueron *Cocconeis spp.* y *Navícula spp.*; la primera se considera cosmopolita (Azim et al, 2005) y la segunda se considera

altamente tolerante a la contaminación (Barquero, 1999). La menos abundante fue *Achanthes* spp., considerada altamente sensible a la contaminación (Barquero, 1999).

El Río Guanajibo fue el de mayor cantidad de individuos (797); el valor mayor de sílica lo obtuvo el Río Guanajibo, en marzo 2010, con un valor de 90 mg/l. y se contaron 100 individuos de una sola especie, *Nitzschia* spp., en la estación #1 durante el mes de marzo. La sílica es un nutriente esencial para las diatomeas, quienes los usan para formar sus frústulas. Es importante para el crecimiento de otras algas, y su disponibilidad afecta la composición taxonómica que se desarrolla (Azim, 2005). *Navicula* spp. , altamente tolerante a la contaminación (Barquero, 1999), fue la diatomea predominante en la estación #2, con 44 individuos durante el mes de marzo también. En esta estación fue que se obtuvo el mayor valor de fosfato, amonía y nitrato; y el menor valor de oxígeno disuelto. *Gyrosigma* spp. fue la especie de mayor abundancia en la estación #3, con 100 individuos, durante el mes de febrero. *Nitzschia palea* es considerada una especie tolerante a la contaminación severa por nutrientes (Vilches et al, 2016), y se encontraron 31 individuos en la estación #2 durante el mes de abril; y 14 individuos en la estación #3 durante el mes de marzo. La estación #3 fue la que obtuvo los valores secundarios de fosfato, amonía y nitrato; lo mismo para el oxígeno disuelto. *Surirella* spp. y *Achantes* spp, consideradas altamente sensibles a la contaminación (Barquero, 1999), no se encontraron en ninguna de las estaciones del Río Guanajibo. La estación #1 fue la que obtuvo los menores valores de fosfato, amonía y nitrato; y el mayor valor en oxígeno disuelto. Esta estación fue donde se colectaron muestras a menor profundidad. En cuanto al Índice de Contaminación de Palmer, se identificaron especies del mismo en las tres

estaciones de muestreo. *Oscillatoria spp.* y *Euglena spp.*, con un valor de 5 (el más alto del índice), fueron identificadas en las estaciones 2 y 3 del Río Guanajibo.

El Río Grande de Añasco fue el segundo Río donde se identificaron mayor cantidad de individuos (714). En la estación #1 la especie de mayor número de individuos fue *Cocconeis spp.* (57 individuos). En la estación #2 *Navicula spp* fue la especie predominante con 28 individuos. Y en la estación #3 *Cladosphora spp.* con 40 individuos fue la más abundante. Especie tolerante a la contaminación severa por nutrientes (Vilches et al, 2016), como *Nitzschia palea* ,se encontraron en la estación #2 (38 individuos) y en la estación #3 (32 individuos). En la estación #1 no se identificó esta especie. *Navicula spp.* Se identificó en las tres estaciones, aunque en menor abundancia en la estación #1. *Gomphonema spp.* en la estación #1 y #2. *Pinnularia spp.* en la estación #1 y #2. Estas últimas tres se consideran altamente tolerantes a la contaminación. En cambio, *Achanthes spp.* se pudo identificar solo en la estación #2 de este Río y la misma es considerada sensible a la contaminación. Las tres estaciones obtuvieron el mismo valor para sílica. La estación #3 reflejó los valores más altos para oxígeno disuelto, nitrato y amoníaco, en cambio el valor mayor de fosfato se obtuvo en la estación #2. De las especies identificadas en el Índice de Palmer se identificó el alga verde *Ankistrodesmus spp.* con el valor 2 en el índice y solo en la estación #3. *Navicula cryptocephala* predominó en las estaciones #1 y #2, a esta se le atribuye su presencia a una mala calidad de agua (Vilches et al, 2016) y tiene un valor de 3 en el Índice de Palmer. La segunda especie abundante fue *Closterium spp.*, con un valor de 1 en el Índice de Palmer se identificó solamente en la estación #1. Y *Synedra Ulna* se identificó en las 3

estaciones; esta tiene un valor de 3 en el índice de Palmer.

En el Río Yagüez fue donde se identificaron mayor cantidad de especies del índice de Palmer y en el único que se pudo encontrar *Trachelomona spp.*, que es un típico indicador de medianas a altas concentraciones de materia orgánica en el agua y especialmente asociado con altas concentraciones de amonio (Vilches et al, 2016). Los resultados del análisis químico de amonio/nitrógeno reflejaron su valor mayor en el punto #2. En este Río fue donde menor cantidad de especies se identificaron (690). *Nitzschia acicularis* (con valor de 3 en el índice de Palmer); 56 especies en la estación #3 y *Navicula cryptocephala*, 26 especies, considerada su presencia a una mala calidad de agua (Vilches et al, 2016).

En esta investigación se pudo clasificar biológicamente los cuerpos de agua, con el Índice de contaminación de Palmer. En el Río Guanajibo se identificaron 8 de 13 especies de dicho índice. En el Río Grande de Añasco, 9 de 13 y en el Río Yagüez, 10 de 13. Para un total de 10 de 13 especies identificadas pertenecientes al índice de Palmer, en los 3 Ríos de estudio. Según los resultados del Índice de Palmer existe probable evidencia de contaminación orgánica y los géneros que predominaron en las estaciones 2 y 3 de los 3 ríos de estudio, pertenecen a aguas contaminadas. En cuanto a la composición del perifiton que existen en los ríos: Grande de Añasco, Guanajibo y Yagüez se identificaron organismos de una calidad de agua intermedia y pobre (Palmer, 1969; Bellinger y Sigee, 2010; Palmer, C. M. et al, 1962).

Según Vilches (2016); *Nitzschia palea*, es considerada como heterotrófica y una de las especies más tolerantes a contaminación severa por nutrientes. En este estudio se identificó en los 3 Ríos de estudio. Fueron identificadas en las estaciones #2 y #3.

Y *Trachelomas spp.* fue asociada, Vilches (2016), a aguas ricas en materia orgánica y de alto contenido trófico como los expuestos a heces fecales. Fue identificada en el Río Yagüez. Ambas especies asociadas al ganado. Middleton (2010) encontró que el acceso del ganado al cuerpo de agua afecta significativamente la composición del perifiton

Lyngbya spp. fue asociada al uso agrícola (Vilches et al, 2016). Esta especie fue identificada en los 3 Ríos de estudio. Según las observaciones de Middleton (2010)

Navicula cryptocephala y *Navicula radiosa*, *Oscillatoria spp.* indican mala calidad del agua. *Navicula cryptocephala* y *Oscillatoria spp* fueron identificadas en los 3 Ríos de estudio. *Navicula radiosa* fue identificada en el Río Grande de Añasco y Guanajibo.

Hidalgo (2018) indicó que *Gomphonema spp.*, *Navicula spp.* y *Nitzschia spp.* son especies tolerantes a la contaminación y a la perturbación, además son indicadoras de eutroficación del medio acuático. *Gomphonema spp.* fue identificada en los Ríos Grande de Añasco y Guanajibo. *Navicula spp.* y *Nitzschia spp.* fueron identificadas en los 3 Ríos.

Barquero (1999) identificó como especies altamente sensibles a la contaminación en los 3 géneros: *Achnanthes spp.*, (identificada en los Ríos Grande de Añasco y Yagüez)

Gomphonema spp. (Río Grande de Añasco y Guanajibo) y *Surirella spp.* (en los 3 Ríos de estudio). Y a los géneros *Navicula, spp.* *Nitzschia spp.* (en los 3 Ríos de estudio) y *Pinnularia spp.* (en los Ríos Guanajibo y Grande de Añasco) altamente tolerantes a la contaminación. Andrade (2009) encontró que *Scenedesmus spp.* predomina en aguas residuales. Fue identificada en los Ríos Guanajibo y Grande de Añasco. Se concluye

entonces que los 3 Rios de estudio se identificaron especies asociadas a una mala calidad de agua.

Según el índice de Diversidad de Shannon, los ríos de estudio se caracterizaron por ser de corrientes mesotróficas a eutróficas (You et al., 2005). Las concentraciones promedio de amonia, nitrato y oxigeno reflejaron que la calidad de agua era regular o dudosa (Sagastizado, 2001), Tomada de Cubillo (1990, CDIAT, Venezuela).

Existe la probabilidad que haya relación entre la cantidad promedio de nutrientes (amonia, fosfato y nitrato) y el número de individuos en cada Río; según resultados de la correlación de Spearman. No se encontró diferencia significativa entre el total de individuos por Rio y por estación durante los 6 meses de muestreo. No existe diferencia significativa entre las poblaciones de los 3 Ríos según los resultados de ANOVA.

Tanto la actividad ganadera, la agricultura y la humana son fuentes de producción de compuestos de fosforo, nitrógeno y amonia y estas a su vez afectan la calidad del agua de los Rios al perturbar su entorno. Este estudio debe servir de punto de partida para que se evalúen los estándares establecidos y se integren el factor biológico en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. Se recomienda coleccionar perifiton en las épocas de mayor precipitación (mayo-octubre) para poder conocer las especies que predominan durante esta época. Llevar a cabo estudios cuantitativos para determinar la biomasa del perifiton en las cuencas.

BIBLIOGRAFIA

Allan, J. 1995. **Stream Ecology: structure and function of running Waters**. Chapman and Hall.

Almeida, S.F. 2001. “**Use of diatoms for freshwater quality evaluation in Portugal**.” *Limnetica*. 20 (2): p. 205 – 213.

Andrade Charity, Vera AlexandraCardenas Carmen y Morales Ever. **Biomass production of microalga *Scenedesmus sp.* with wastewater from fishery**. Rev. Tec. Ing Univ. Zulia v. 32 n.2 Maracaibo. Ago 2009

Araya E., Toro, J. y Shuster J., 2003. **Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados como bioindicadores en el río Maipo**. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, XVI Congreso, Santiago, Chile.

Azim, M., Verdegem, M., Van Dam A. y Beveridge M. 2005. **Periphyton: Ecology, Exploitation and Management**. CABI Publishing.

Barbour, M. T. Gerritsen, J., Snyder, B y Stribling, J. 2002. **Rapid Bioassessment Protocols for use in stream and Wadeable Rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and Fish**, 2nd ed. EPA 841 – B – 99 – 002. USEPA, office of water.

Barquero Chavarria, Ana; 1999. **Utilización de las diatomeas (Chrysophyta y Bacillariophyceae) como indicadores de contaminación de los rios Macho y Bermudez**. Tesis Universidad Nacional de Costa Rica.

Bellinger, E. y Sigee, D; 2010, Wiley – Blackwell. **Freshwater Algae: identification and use as bioindicators**. Wiley – Blackwell.

Biggs, B. 1989. **Biomonitoring of organic pollution using periphyton, South Branch, Canterbury, New Zealand**. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1989, Vol. 23: 263-274.

Biggs, B. y Kilroy, C (2000). **Stream Periphyton Monitoring Manual**. 1ra ed. NIWA Christchurch.

Biro I. y Cupsa D. 2007, **The structure of the periphytic algae community from the Petea River on artificial substrates**. *Biharean Biologist*. V 1: 29-34.

Cleckner, L.B., Gilmore C., Hurley J., y Krabbenhoft, D. 1999. **Mercury Methylation in Periphyton of the Florida Everglades**. *Limnology and Oceanography*. V 44(7): 1815-1825.

Colón Ortiz, L.; Gualtero Leal, D.; Seguí Crespo, D. y Santos flores, C. 2006. **Algas epicontinentales comunes en P.R.** 1ra ed., Publicaciones AFAMAC.

Cox, T., Simon N. y Newland L., 1999. **“Copper, lead, mercury and zinc in periphyton of South Florida Ecosystem”**. *Toxological and Env. Chemistry* V 70: 259-274.

Cubillos, A. 1990.” **Calidad del agua y control de la contaminación**”. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT); Mérida, Venezuela. Serie Ambiente y Recursos renovables. p. 121.

Cüneyt, Nair. 2010.” **The Application of diatom indices in the upper Porsuk Creek Kütahya Turkey**”. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol II: p. 31 – 36.

Danger M., Lacroix G. y Oumarou C. 2008. **Effects of food-web structure on periphyton stoichiometry in eutrophic lakes: a mesocosm study**. *Freshwater Biology*. V 53, no. 10: 2089-2100.

Deliz Quiñones, K. 2005. **Water quality assessment of a tropical freshwater marsh using aquatic insects**. Tesis UPR Recinto de Mayagüez.

Deniseger J. Austin A., Carter J. y Lucey W. 1986. **Periphyton communities in a pristine mountain stream above and below heavy metal mining operations**. *Freshwater Biology*, V 16, NO. 2: 209-218.

Descy, JP y Coste, M.1991. **“A test of method for assessing WQ base don diatoms”**. **International Vereinigung fuer Theoretische and Angewandthe**. *Limnologie (IVTLAP)*. Vol. 24: p. 2112-2116.

Escobar Ramos, P. (2010). **Comunidad de macroinvertebrados acuáticos y la Calidad Biológica de 4 ríos de P.R.** Tesis UPR. Recinto de Mayagüez.

Fernández V. y Esteves F. 2003. **The use of indices for evaluating the periphyton community in two kinds of substrate in Imboassica Lagoon, Río de Janeiro, Brazil**. *Brazilian Journal of biology*. V 63: 233-243.

Gary, N. y Corigliano M. 2004. **La estructura del perifiton y de la deriva algal en arroyos serranos**. *Limnética* 23 (1-2): 11-24.

Gonzalo, M.; Alcalá E. y Solá C. 2004, **Efecto de la contaminación minera sobre el perifiton del río Guadamar**. *Limnetica* 23 (3-4): 315-330.

Gualtero Leal, D. 2007. **Composición y abundancia de las algas bióticas de 5 sistemas lóticos de P.R.** Tesis UPR. Recinto de Mayagüez

Guías de reforestación para las cuencas hidrográficas de P. R. 1998. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

Greenberg, A., Clesceri, L. y Eaton, A., 1992. **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater**. 18 ed. American Public Health Association.

Hidalgo-Estrada N., Castilla- Adame Il., Jardon Romero JP.,Castro Mejia G.,2018. **Evaluación de la calidad del agua a través del índice pampeano en diatomeas**. Revista digital del Departamento del Hombre y su Ambiente. ISSN: 2007-5782; vol 1(15): 29-35.

Horne, A. y Goldman C. 1994. **Limnology**. 2da ed. McGraw Hill.

Horner R., Welch E., Seely M. y Jacoby J. 1990. **Responses of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration**. *Freshwater Biology*. V 24. No. 2: 215-232.

Hunter D. y Hunter R. 1983. **Bioenergetic and Community Changes in Intertidal Aufwuchs Grazed by Littorina Littorea**. *Ecology*, V 64, no. 4: 761-769.

Kendall C. y Simón N. 2004. **“Cycling and Speciation of Mercury in the food chain of South Florida”**: USGS, Florida.

Konsti, M.K., K.D. Zimmer, B. R. Herwig, M.Z. Hanson, J.A. Younk, and M.G. Butler, 2007. **Effects of Macrophytes, Nutrients, and Fish on periphyton Abundance in Shallow Lakes**. *Third International Water Conference, International Water Institute*, Grand Forks, March 13-15.

Leland, H. 1984. **Effects of copper on species composition of periphyton in a Sierra Nevada, California Stream**. *Freshwater Biology*. V 14, No. 3: 281-296.

Leland H. y Carter J. 1985. **Effects of copper on production of periphyton, nitrogen fixation and processing of leaf litter in a Sierra Nevada, California, stream**. *Freshwater Biology*. V 15, No. 2: 155-173.

Middleton, R.; 2010.**Cattle access affects periphyton community structure in Tennessee farm ponds**. Master Thesis University of Tennessee.

Mosisch T., Bunn S. y Davies P.2001 **The relative importance of chading and nutrients on algal production in subtropical streams**. *Freshwater Biology*. v. 46, no. 9: 1269-1278.

Needham, J. y Needham P.1962. **A guide to the study of Fresh-Water Biology**. 5ta ed. Holden-Day, Inc.

Newman M. y McIntosh A. 1989. **Appropriateness of aufwuchs as a monitor of bioaccumulation.** Environmental Pollution. V60 (1-2): 83-100.

Nielsen, T.; Funk, W.; Gibbons, H. y Duffner, R. 1984. **A comparison of periphyton growth on artificial and natural substrates in the upper Spokane River.** Northwest Science. V 58, no. 4.

Padilla Zapata, E. (2007). **Estudio sobre las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el río Guanajibo.** Tesis UPR: Recinto de Ciencias Médicas.

Palmer, C.M., Tarzwell C. y Walter h. 1962. **Algae in Water Supplies, An Illustrate Manual on the identification, Significance and Control, of Algae in Eater Supplies,** Public Health Service Publication No. 657.

Palmer, G. 1969. **A composite rating of algae toleratig organic pollution.** Journal of Phycology. Vol. 5: p. 78 – 82.

Presscott, G. W. 1979. **How to know the freshwater algae.** The Picture Key Nature Series Company Publishers. 3ra ed.

Rivera, M. 1987. **Cambios ecológicos en el perifiton del Río Hondo, Mayagüez, P.R., atribuidos a la contaminación orgánica.** Tesis UPR, Recinto de Mayagüez.

Ramakrishnan, N. 2003. **“Bio-Monitoring Approaches For Water Quality Assessment In Two Waterbodies At Tiruvannamalai, Tamil Nadu India”** in Martin J. Bunch, V. Madha Suresh and T. Vasantha Kumaran, eds., Proceedings of the Third International Conference on Environment and Health, Chennai, India: Department of Geography, University of Madras and Faculty of Environmental Studies, York University. Pages 374 – 385.

Rodriguez L. y Bicudo D. 2001 **Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná River floodplain, Brazil.** Revista Brasileira de Botanical. v:24, no 3: 235-248.

Ruperto Cintrón, J. 2008. **Benthic macroinvertebrates as bioindicators of wáter quality in the Yagüez river,** Mayagüez, P. R. Tesis UPR. Recinto de Mayagüez.

Sagastizado, M., 2001. **Impacto del uso de la tierra sobre la calidad del agua en la Cuenca del Río Talnique, El Salvador.** Tesis Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Costa Rica.

Schuwirth N., Kuhni, M. y Schweizer. 2008. **A mechanistic model of benthos community dynamics in the River Sihl, Switzerland.** Freshwater Biology. v 53, no 7:1372-1392.

Sumner W. y Fisher S. 1979. **Periphyton production in Fort River, Massachusetts.** Freshwater Biology. v 9, no 3: 205-212.

Tapia Larios, C. 2007. **Variación espacial y temporal del fitoplancton en la bahía de Mayagüez, P.R.** Tesis UPR, Recinto de Mayagüez.

Tollet, R. W. Bryan, B. W., y Bryan, V. F., 2002, **Effects of hardened low-water crossing on stream habitat water quality, and periphyton in four streams at the Fort Polk Military reservation**, Vernon Parish, October 1998 through November 1999: US. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 02-4291, p.70.

Tollet, R.W., y Fendick, R.B. Jr., 1998, **Water-quality data and descriptions of biota for selected watersheds of the Limited Use Area, Vernon Ranger District, Kisatchie National Forest, Louisiana**, September 1996 through, March 1997: US. Geological Survey Open-File Report 98-163, p. 240.

U.S. Environmental protection Agency, 2004. **Ambient Water Quality Criteria Recommendations Information supporting the development of state and trival nutrient criteria. Lakes and Reservoirs in nutrient Ecoregion II.** EPA 822 – 13 -00 – 007 US EPA, Washington, DC.

USGS Water Resources Data. 1994. **Definition Terms.** USGS, California.

Vilches, Carolina; Casco Maria y Giorgi Adonis; 2016; **El perifiton como indicador de contaminacion difusa: El caso de la Cuenca superior del Rio Reconquista (Buenos Aires, Argentina).** ISSN 0373-580 X. Bot. Asoc. Argent. Bot 51 (4): 579-595.

Wehr, J. y Sheath, R. 2003. **Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification.** Academic Press.

Weitzel, R. 1979. **Methods and Measurements of Periphyton communities: A Review.** American Society for Testing and Materials.

Wu, J. 1999. **“A generic index of diatom assemblejes as bioindicator of pollution in the Keelury River of Taiwan”.** Hidrobiología. V. 397: p. 79 – 87.

You, J.; Zheng, H; Duan, J.2005. **Research on Aquatic Ecology Indexes of Three Typical Water Areas in Tianjin.** Tianjin Environmental Protection Technique Development Center, China.

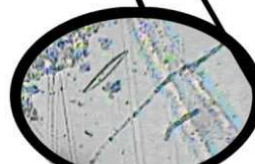
APENDICE

Apéndice 1 Géneros identificados en la estación 1 del Río Grande de Añasco

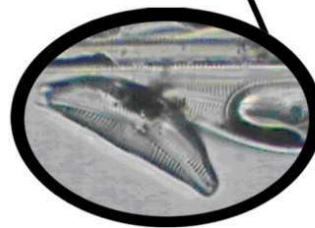
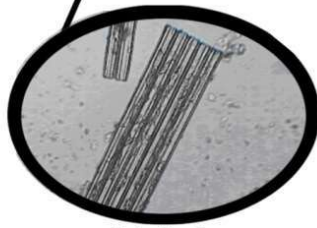
Río Grande de Añasco
Punto RGA1
Salto Curet (Carr. 425, Maricao)
18.1 grados N y 66.6 grados W.



Cocconeis

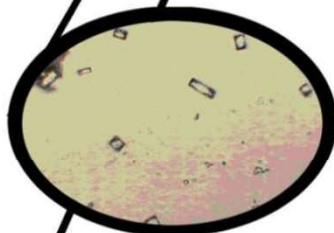


Navicula

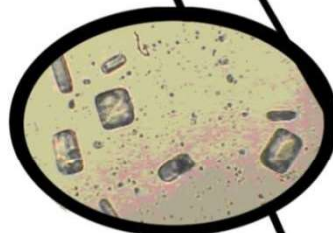


Apéndice 2 Algunos de los géneros identificados, río Grande de Añasco, estación 2.

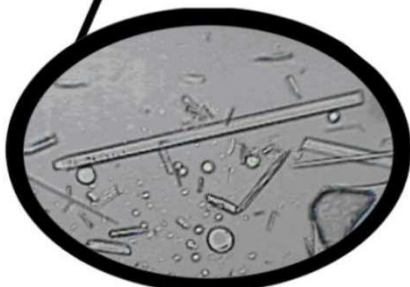
Río Grande de Añasco
Punto RGA2
Bo. Guasio (Carr. 119, Las Marías)
18.3 grados N y 67.0 grados W



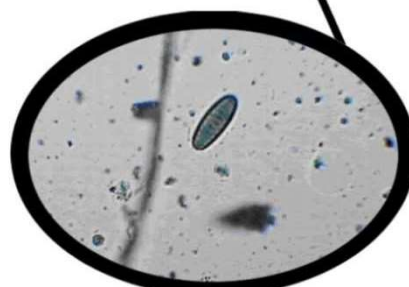
Melosira



Cyclotella



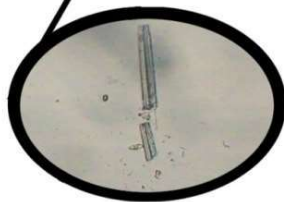
Synedra



Surirella

Apéndice 3 Algunos de los géneros identificados río Grande de Añasco, estación 3.

**Río Grande de Añasco
Punto RGA3
Bo. Ovejas (Carr. 430, Añasco)
18.3 grados N y 67.1 grados W**



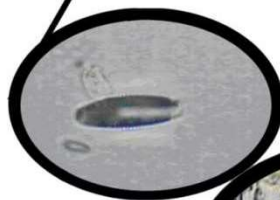
Synedra



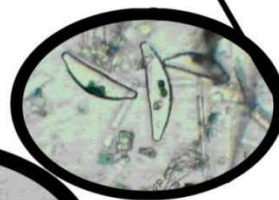
Navicula

Apéndice 4 Algunos géneros identificados en la estación 1 del Río Yagüez

**Río Yagüez
Punto RY1
(Carr. 119, Km. 20, Las Marías)
18.2 grados N y 67.0 grados W**



Surirella



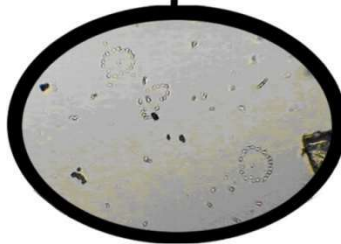
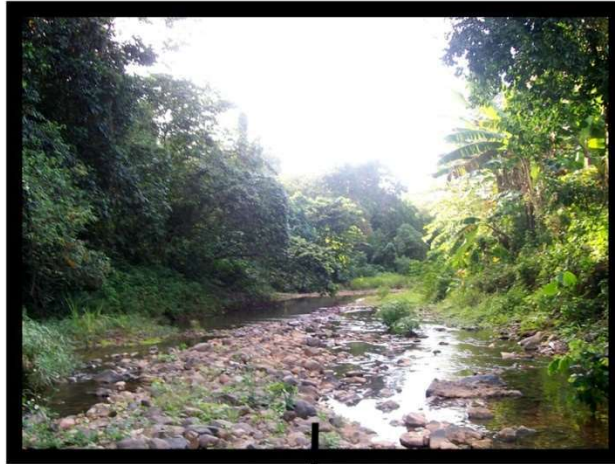
Cymbella



Navicula

Apéndice 5 Algunos géneros identificados en la estación 2 del Río Yagüez

**Río Yagüez
Punto RY2
(Carr. 106, Mayagüez)
18.2 grados N y 67.1 grados W**



Pediastrum

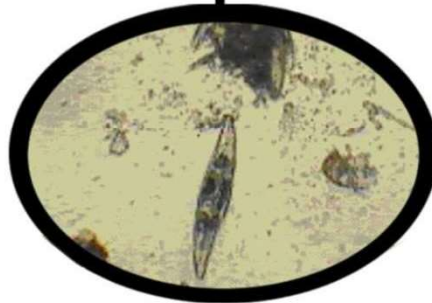
Apéndice 6 Algunos géneros identificados en la estación 3 del Río Yagüez

Río Yagüez

Punto RY3

Bo. El Seco (Mayagüez)

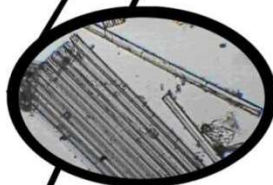
18.1 grados N y 67.1 W



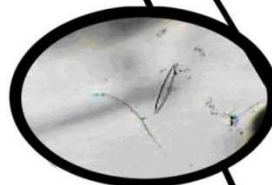
Gyrosigma

Apéndice 7 Algunos géneros identificados en la estación 1 del Río Guanajibo

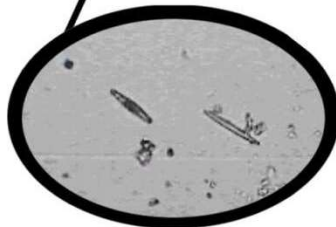
**Río Guanajibo
Punto RG1
(Carr. 364, Sabana Grande)
18.1 grados N y 66.6 W**



Tabellaria



Navicula



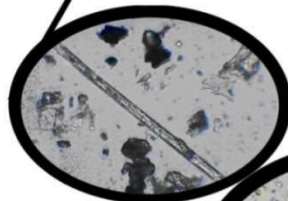
Nitzschia



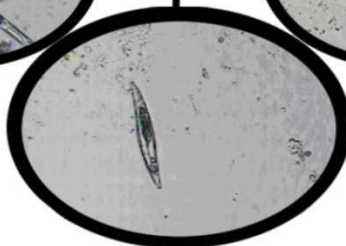
Cocconeis

Apéndice 8 Algunos géneros identificados en la estación 2 del Río Guanajibo

**Río Guanajibo
Punto RG2
El Cotto (Carr. 347, Km. 3, San German)
18.1 grados N y 67.1 grados W**



Synedra



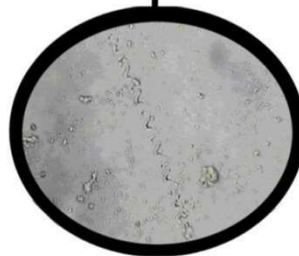
Gyrosigma



Cymbella

Apéndice 9 Algunos géneros identificados en la estación 3 del Río Guanajibo

**Río Guanajibo
Punto RG3
(Carr. 100, Cabo Rojo)
18.1 grados N y 67.1 grados W**



Spirogyra

Apéndice 10 Índice de Contaminación de Palmer

Género	Palmer's Pollution Index
<i>Melosira varians</i>	1
<i>Gomphonema parculum</i>	1
<i>Navícula cristocephala</i>	3
<i>Nitzschia palea</i>	3
<i>Nitzschia acicularis</i>	3
<i>Nitzschia crystpcephala</i>	3
<i>Synedra ulna</i>	3
<i>Cyclotella menenghiana</i>	1
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	2
<i>Scenedesmus obliques</i>	4
<i>Closterium spp.</i>	1
<i>Oscillatoria chlorina</i>	5
<i>Euglena</i>	5