

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“COMPARACIÓN DE LAS COMUNIDADES ÍCTICAS EN EL RIO
HARDY Y EL ESTUARIO DEL RIO COLORADO A TRAVÉS DEL
HIDROPERIODO DEL 2008”**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA

ALEJANDRA CALVO FONSECA

DIRECTOR

DR. JORGE RAMIREZ HERNANDEZ

CODIRECTOR

DR. OSVEL HINOJOSA HUERTA

Mexicali, B. C.

ENERO 2010

RESUMEN

La composición Íctica del Rio Hardy y el estuario del Rio Colorado se determino mediante comparaciones de los índices ecológicos y sus relaciones con las características del hábitat en diferentes regímenes hidrológicos influenciados con la construcción de un dique conocido como el tapón en la zona del riñón en el RH, la entrada de las mareas y la descarga de la planta de tratamiento las Arenitas de Mexicali, BC. al caudal principal.

El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos del tapón y las descargas de aguas tratadas de las arenitas en la parte baja del RH sobre el hábitat acuático mediante la comparación de la composición íctica bajo el efecto de la marea y el hidroperiodo. Para concretar lo anterior se delimitaron zonas de estudio, motivados por las posibles diferencias en la calidad de agua, específicamente RHUP (Rio Hardy aguas arriba), RHDO (Rio Hardy aguas abajo) y el DREN (Principal descarga de agua al sistema).

El diseño experimental está basado en mediciones sistemáticas (referidas como monitoreos) de dos tipos según su ocurrencia: mensuales y estacionales. Las mediciones sistemáticas mensuales se realizaron durante un año desde el mes de enero del 2008 hasta Diciembre del 2009 y las Mediciones Sistemáticas Estacionales se realizaron en 4 visitas a cada uno de los 41 sitios de las 3 zonas monitoreadas (RHUP, RHDO y DREN); la visita 1 fue en marzo y abril, la visita 2 en mayo y junio la vista 3 en julio y la visita 4 en octubre y diciembre, que para su comparación fueron divididos en temporada húmeda (marzo, abril y mayo) y en temporada de estiaje (junio, julio, octubre y diciembre). En total en los monitoreos mensuales y estacionales se capturaron 1602 organismos y una biomasa total en kg de 351.6193; en 17 especies y 11 familias, de las cuales 5 fueron especies nativas y 12 especies exóticos. En general en cuanto a la biomasa por zona, encontramos una diferencia significativa mayores en RHDO con una media de 3096.976 g (r^2 de 0.2752, $p=0.0022$ $F=7.21$) seguidos del DREN con una media de 1830.55 g y por último el RHUP con una media de 1241.55 g. En cuanto a la visita por zona hubo diferencias significativas en donde la visita 1 (meses de primavera) presento la mayor parte de organismos capturados en RHDO (r^2 de 0.2815, $F=7.44$ y $p=0.0019$). Las comparaciones del antes y después de la PTAR las Arenitas, arrojaron diferencias significativas en cuanto a conductividad eléctrica SpC (mS/cm) con una media en el monitoreo del 2005 de 19.19 mS/cm contra 7.78 mS/cm del monitoreo del 2008 (r^2 de 0.2438, $F=5.80$ y $p=0.0269$). En lo que se refiere a la abundancia total también hubo diferencias significativas con una r^2 de 0.6137, $F=12.71$ y $p=0.0073$ con mas organismos en el monitoreo 2008, con una media de 45 organismos contra 4.20 organismos del monitoreo del 2005. Se concluye entonces con los datos obtenidos que la presencia del tapón en la zona no representa un efecto negativo a la conectividad de especies marinas/estuarinas en RHUP y DREN, más bien la detección de las especies están supeditadas a la temporalidad y el régimen hidrológico. Otro aspecto importante son los aportes de la PTAR las arenitas al RH y su relación con la disminución de los valores en la salinidad y conductividad eléctrica, sugiriendo mejor calidad para la recuperación de humedales.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCION.....	8
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	14
3 ANTECEDENTES.....	15
3.1 SISTEMA HIDROLÓGICO EN DELTA DEL RC Y SU RELACIÓN CON LA COMUNIDAD ICTICA.....	15
3.2 FLUJOS DE AGUA EN EL DELTA DEL RIO COLORADO.....	21
3.2.1 Sistema Hidrológico del Rio Colorado.....	21
3.2.2 Sistema Hidrológico del Río Hardy.....	26
3.2.3 El Tapón como un Proyecto de Restauración en el RH.....	27
3.2.4 Sistemas de Retorno Agrícola.....	29
3.2.5 Asignaciones de Flujo al Delta del RC: Plantas Tratadoras de Aguas Residuales.....	32
3.3 ESTUARIO.....	33
3.4 COMUNIDAD ÍCTICA EN EL RIO HARDY Y ESTUARIO DEL RC.....	34
3.5 TIPIFICACIÓN DE DATOS.....	38
3.6 ANALISIS ESTADÍSTICO.....	40
3.6.1Herramientas Estadísticas.....	40
4 METODOLOGIA.....	42
4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	42
4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	45
4.2.1 Mediciones Sistemáticas.....	45
4.2.1.1 Mediciones sistemáticas mensuales.....	45
4.2.1.2 Mediciones Sistemáticas Estacionales.....	46
4.3 REGISTRO DE DATOS COLECTADOS EN CAMPO.....	50
4.4 CAPTURA DE DATOS Y PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO.....	51

5. RESULTADOS.....	52
5.1 VARIABLES FISICOQUIMICAS.....	52
5.1.1 Mediciones Sistemáticas Mensuales.....	52
5.1.2 Mediciones Sistemáticas Estacionales.....	53
5.2 CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS.....	55
5.2.1 Comparación entre Nivel de Agua y Abundancia de Peces.....	56
5.2.2 Variación Anual de la Profundidad del Espejo de Agua.....	58
5.3 CARACTERISTICAS DEL HABITAT.....	60
5.3.1 Cobertura Vegetal.....	60
5.4 ICTIOFAUNA.....	62
5.4.1 Muestreo mensual de peces en el RHUP.....	63
5.4.2 Medición sistemática estacional de peces en el RHUP, RHDO y DREN.....	67
5.5 Similitud de especies piscícolas en el RHUP, RHDO y DREN.....	75
5.6 COMPARACIÓN DE ÍNDICES ÍCTICOS ANTES Y DESPUÉS DE LA PTAR LAS ARENITAS.....	79
5.7 COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE PECES CON EL ANÁLISIS CANÓNICO DE CORRESPONDENCIA.....	84
6. DISCUSION.....	87
6.1 Medición Sistemática Estacional.....	87
6.2 Mediciones Sistemáticas Mensuales.....	91
6.3 Composición Íctica.....	93
6.3.1 Comparación de la Comunidad Íctica antes y después de la PTAR Las Arenitas.....	94
7. CONCLUSIONES.....	95
8. RECOMENDACIONES.....	96
9. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	98

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. El delta del rio Colorado, tomado y modificado de Cohen y Henges, (2001).....	9
FIGURA 2. Flujos históricos en el delta del Rio Colorado, desde 1905 hasta 2000. En donde se muestra los flujos variables, principalmente por la construcción de la presa Hoover que inicio en los 1930's y repetido en 1963 a 1981 para el vaciado del agua en el lago Powell detrás de la presa Glen Canyon.(Tomada de Hyun, 2006).....	23
FIGURA 3. Zonas de prioritarias de conservación que dan origen a los humedales del Delta del Río Colorado. (Tomado de Hinojosa-Huerta, 2007).....	25
FIGURA 4. El Tapón en el RH al sur del área conocida como “El riñón”. Vista aérea. (Foto por Hyun, 2006). (Mapa modificado de Hinojosa Huerta, 2005).....	28
FIGURA 5. Los 41 Sitios de monitoreo en puntos en amarillo en el RH y el estuario del RC (2008).....	44
FIGURA 5-A. Representación esquemática del programa de mediciones sistemáticas. DREN: Dren Ayala; RHUP: aguas arriba de El Tapón; RHDO: aguas abajo de El Tapón.....	49
FIGURA 6. Se muestra los valores en promedio de las variables fisicoquímicas por zona...53	
FIGURA 7. Se presenta los promedios en los niveles de agua por cada visita a las zonas muestreadas. Se hicieron a través de regletas localizadas arriba del tapón y abajo del tapón, en el Rio Hardy, Así como también se presenta un comparativo en los promedios del nivel de agua en cm. en cada visita por cada zona implicada (RHDO-RHUP).....	55
FIGURA 8. Se presenta un grafico con la relación abundancia de especies monitoreadas y promedio del nivel de agua en la zona del Tapón. La zona de influencia del tapón en Invierno es menos frecuentada por la ictiofauna. Los valores de mayor número de individuos fueron precisamente en los meses de primavera.....	56
FIGURA 9. Se muestra la relación entre la visita que se represento por el promedio de nivel de agua de las sitios rio arriba del tapón (RHUP) y rio abajo del tapón (RHDO) con respecto a la abundancia en las salidas estacionales (4). La visita 1 (marzo y abril), la visita 2 (mayo y junio) la 3 (julio) y 4 (octubre y diciembre).....	57
FIGURA 10. Profundidades de espejo de agua en m por mes en promedio por cada sitio muestreado, RH aguas arriba RHUP1 y zona de influencia Ecocampo (RHUP3-RHUP4) y RHDO1 correspondiente aguas abajo del Tapón.....	59

FIGURA 11. Gráficos de la Cobertura Vegetal en porcentaje en cada sitio de monitoreo sistemático estacional en RHUP, RHDO y DREN en el 2008.....	60
FIGURA 12. Se muestran las especies encontradas en el tapón RHUP1 para cada mes, con sus valores en frecuencia es decir el número de veces que la especie fue encontrada durante las 12 visitas, la abundancia y peso en kg, así como también los valores promedio en longitud y peso, la biomasa total y la riqueza por visita. Empezando desde enero hasta diciembre del 2008.....	63
FIGURA 13. Peso promedio en porcentaje por especie por cada zona.....	69
FIGURA 14. Longitud promedio en porcentaje por especie en las zonas muestreadas.....	70
FIGURA 15. Riqueza y abundancia de RHUP, RHDO Y DREN con todos sus puntos de muestreo en las 4 visitas.....	72
FIGURA 16. Comparativo de la biomasa y abundancia en los meses húmedos y de estiaje en las tres zonas monitoreadas. Los datos están expresados en CPUE kg/h y CPUE organismos/h respectivamente.....	74
FIGURA 17. Comparación de la riqueza de especies en RHUP y RHDO antes (2005) y después (2008) de las arenitas.....	80
FIGURA 18. Comparación del peso promedio en RHUP y RHDO antes (2005) y después (2008) de las arenitas.....	81
FIGURA 19 Comparación de la abundancia promedio antes y después de las arenitas en RHUP.....	82
FIGURA 20. Comparación de abundancia total en RHUP en el monitoreo antes y después de las arenitas.....	83
FIGURA 21. Composición íctica en las tres zonas estudiadas: RHUP, RHDO y DREN....	84
FIGURA 22. Composición íctica con las variables abióticas. (Salinidad, pH y Oxígeno disuelto).....	85
FIGURA 23. Composición íctica en relación a la vegetación de las zonas estudiadas (RHUP, RHDO y DREN).....	86

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Especies de peces registradas en la cuenca del bajo rio colorado, según el informe presentado ante la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (Varela et al., 1998).....	16
TABLA 2. Balance Hídrico de los drenes hacia el Golfo de Santa Clara en los años de Muestreo Icticos en el RH. (CONAGUA, Oficina de Ingeniería de Riego, Figueroa Vargas, 2009)	30
TABLA 3 . Abundancia y Origen (Nativa o Exótica) de las especies monitoreadas en el RH y RC, (Hinojosa-Huerta, 2007).....	37
TABLA 4. Coordenadas geográficas de la zona RHUP.....	42
TABLA 5. Coordenadas geográficas de la zona RHDO.....	43
TABLA 6. Coordenadas geográficas de la zona DREN.....	43
TABLA 7. En la Zona conocida como el tapón en el Rio Hardy se tomó mediciones de las variables fisicoquímicas. La visita 1 corresponde al mes de Enero y así sucesivamente. El mes de Julio no fue muestreado por mantenimiento del equipo.....	52
TABLA 7-A. Se presenta el grafico de las variables fisicoquímicas en el sitio el tapón en el RHUP, como parte del monitoreo sistemático mensual en el 2008. En la visita 6 correspondiente a junio no se registro ningún dato por el mantenimiento del equipo.....	53
TABLA 8. Total de abundancia, dominancia relativa y acumulativa, origen de las especies incluyendo todos los individuos colectados en los monitoreos mensuales y estacionales...62	
TABLA 9. Indice de similitud (índice jaccard/morisita-horn) visitas (12) en el tapón rio Hardy aguas arriba (RHUP).....	65
TABLA 10. Ictiofauna en las 3 zonas de estudio rio Hardy aguas arriba (RHUP), rio Hardy aguas abajo (RHDO) y en el Dren, con las abundancias totales.....	67

TABLA 11.Composicion íctica en las 4 visitas en RHUP, RHDO Y DREN. 1, 2, 3,4 son las salidas de RHUP, 5, 6, 7,8 son las salidas RHDO y 9, 10,11 y 12 son las salidas del DREN.....76

TABLA 12. Composición íctica en las 4 visitas. Visita 1 (marzo-abril) visita 2 (mayo-junio), visita 3 (julio) y visita 4 (octubre-diciembre).....78

TABLA 13 .Composición íctica en las tres zonas: 1 corresponde a RHUP, 2 a RHDO y 3 al DREN.....78

1. INTRODUCCION

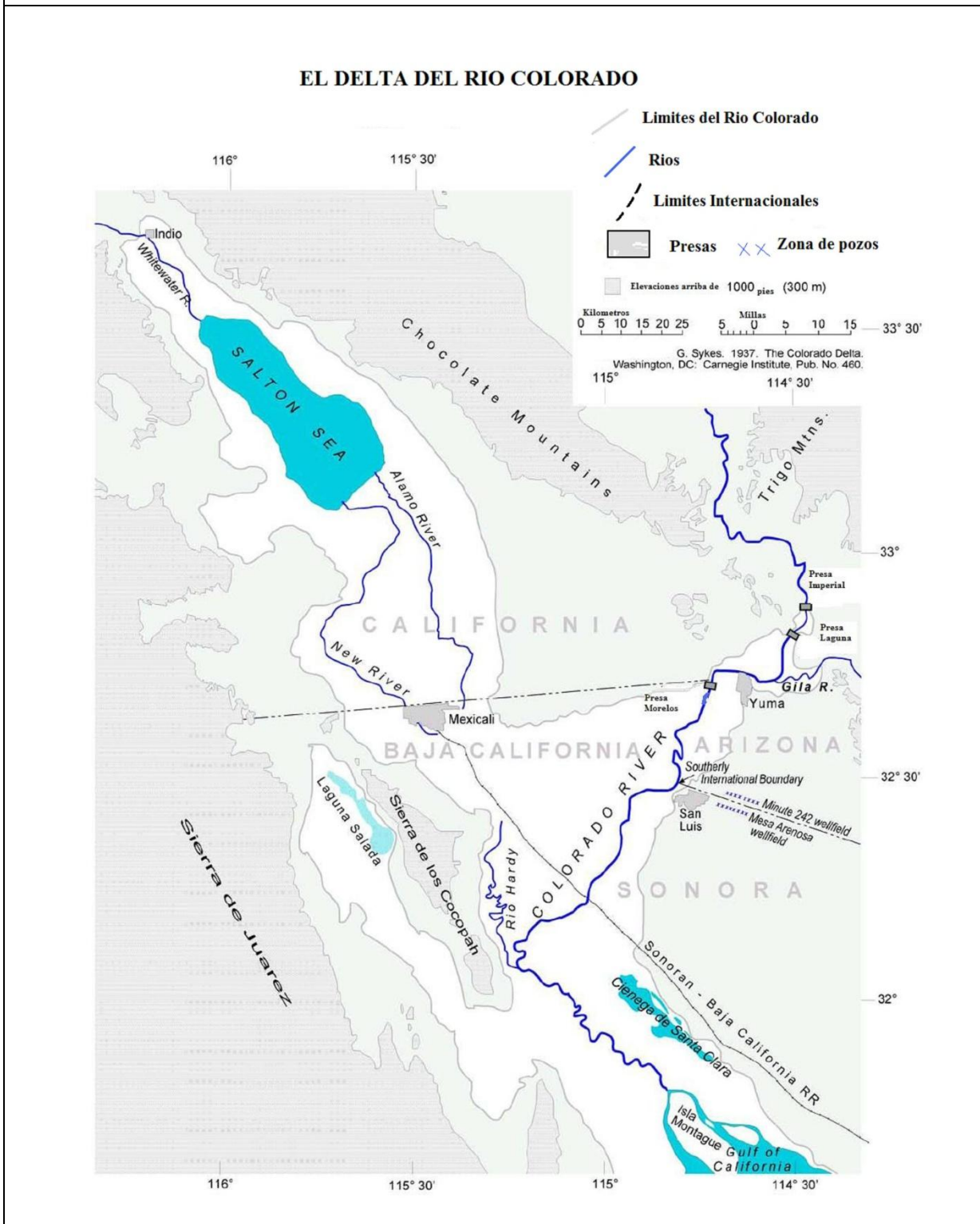
El delta del Río Colorado (RC) cuenta con un área de aproximadamente 8 450 kilómetros cuadrados (Figura 1). Limita al norte con las sierras Chocolate, en territorio americano y al sur con el Golfo de California y sierra de las Pintas en terreno mexicano; al oriente con la sierra Gila en el Estado de Arizona y al poniente con la sierra Cucapá. (Ramírez Hernández, 2006). El agua de este río está regulada y utilizada principalmente para la agricultura; las principales cosechas son trigo, alfalfa, algodón y hortalizas. (Valdés Casilla et al., 1998).

Actualmente, la parte baja del delta del RC está localizada entre los estados de Baja California y Sonora, México; lo que hoy comprende el valle agrícola de Mexicali y San Luis Río Colorado. Esta zona agrícola cubre un área de 250,000 ha de las cuales 208,000 ha cuentan con derechos de agua para riego, conformados en el Distrito de Riego No. 14 (Valdés Casilla et al., 1998).

El delta del RC es uno de los ecosistemas más ricos a nivel mundial, que mantiene una gran diversidad biológica, sosteniendo a numerosas especies marinas y terrestres (Valdés Casilla et al., 1998). Así, por ejemplo en relación a la avifauna, se ha registrado un total de 371 aves migratorias y 300,000 especies de aves acuáticas migratorias invernantes (Hinojosa Huerta et al., 2007), es un importante corredor ripario para aves migratorias neotropicales en peligro de extinción como el mosquero saucero (*Empidonax traillii extimus*), 2 especies marinas en peligro que habitan en el Alto Golfo la totoaba (*Tototoaba macdonaldi*) y la vaquita marina (*Phocoena sinus*) (García Hernández et al., 2001). Esto ha permitido el uso de sus recursos naturales, facilitando el desarrollo de distintas actividades económicas. En tiempos históricos, el delta del RC cubría más de 781,060 ha que consistían en humedales de agua dulce, agua salobre e intermareales, que sustentaban la riqueza de flora y fauna. La presencia de un flujo continuo de agua dulce, sedimentos y nutrientes hacia el desembocadura del RC, favoreció la creación de un complejo sistema de humedales que ofrecía alimento y sitios de anidación para diversas aves y hábitat para la reproducción, alimento y crianza para muchos peces y crustáceos de importancia biológica, ecológica y económica, de aquí dependen especies como

el camarón, las curvinas (*Cynoscion*, spp), el chano (*Micropogonias megalops*) y la totoaba (*Totoaba macdonaldi*). (Valdés Casilla et al., 1998).

FIGURA 1. El delta del río Colorado, tomado de Cohen y Henges, (2001).



Los humedales a lo largo y ancho de los continentes han sufrido pérdidas alarmantes. Por ejemplo se ha calculado que se han perdido un 95% de los humedales del Valle de California (Zedler, 1988) el mismo caso lo comparte la costa americana del pacífico con un 50% total de pérdidas de humedales (Helmers, 1992).

Actualmente la cuenca baja del delta del RC ha cambiado drásticamente, ya que las áreas de humedales se han reducido hasta un 80% en los últimos 80 años. (Valdés-Casillas et al., 1989).

El caso de las pérdidas de humedales en el delta del RC y de otros muchos lugares es producto del mal manejo de los recursos, sobretodo de las prácticas con la administración del agua (Hinojosa Huerta et al., 2005)

En la década de los 1970's y 1980's, el medio periodístico y científico del mundo consideraba al delta del RC como un "ecosistema muerto" sin embargo el delta empezó a recobrar vida. Desde 1980 hasta 1998 el delta ha recuperado unas 60, 000 ha de humedales y vegetación riparia, debido a flujos accidentales provenientes de los Estados Unidos, pérdidas administrativas de los sistemas de irrigación y hasta por el drenaje agrícola. Estos últimos aunque, son temporales, altos en salinidad y contienen algunos contaminantes de origen agrícola han permitido que se recuperen ciertas zonas del delta. (Valdés-Casillas et al., 1989).

Lo que hoy comprende los humedales del delta del RC incluyen, el corredor ripario, el río Hardy (RH), la Ciénega de Santa Clara, los humedales El Doctor, La laguna del Indio y los humedales de la zona intermareal del Alto Golfo de California. Estos humedales son vitales para muchas especies que migran o pasan el invierno, como sucede con muchas aves, o proveen sitios para alimento y crianza de algunas variedades de peces estuarinos o sirven como hábitat para especies endémicas y protegidas como es el caso del pez cachorrito del desierto (*Cyprinodon macularius*). (Glenn et al., 2001).

El RC es controlado por más de 80 presas lo que ha causado un efecto devastador en el ambiente, que incluye modificaciones en los canales del río, en el balance de los sedimentos,

temperatura del agua, flujos, composición de distintas poblaciones de peces, aves y demás biodiversidad. Por estos cambios drásticos en la calidad y cantidad de agua, muchas de las especies que hoy abundan son exóticas, como el caso del pino salado (*Tamarix ramosissima*), o la facilidad con que ha resultado la introducción de más de 50 especies de peces, desde el comienzo del siglo pasado. Esta combinación ha causado que se reduzcan las poblaciones nativas. Aun bajo estas condiciones, la composición íctica de la cuenca baja del delta del RC es todavía única en Norteamérica ya que cuenta con 75% de las 32 especies reconocidas como endémicas. (Varela et al., 1998)

Los cambios de flujos de agua dulce y de nutrientes hacia el mar ha reducido críticamente el hábitat para algunas especies importantes en la pesquería; concretamente se ha visto una relación con el declive de las capturas de camarón. La pesquería en el delta es de suma importancia económica, social y cultural ya que la tribu Cucapá, única etnia de la zona, vive de esa actividad, al igual que otras muchas comunidades de la región. (Valdés-Casillas et al., 1998). Las principales pesquerías son el camarón (*Lithopenaeus*, spp), la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) y el chano norteño (*Micropogonias megalops*). Estas últimas dos junto con la totoaba son especies endémicas y dependen de los flujos del RC. (Rowell et al., 2005. En la parte de agua dulce del delta, las capturas importantes incluyen lobina (*Micropterus salmoides*), carpa (*Cyprinus carpio*), lisa (*Mugil cephalus*), bagre (*Ictalurus*, spp) y tilapia (*Tilapia*, spp). Salvo la lisa, las especies de peces anteriores son exóticas pero han sido aprovechadas por el comercio local.

En México, una parte considerable del delta del RC se encuentra dentro del área protegida Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y el del Delta del RC; también tiene denominaciones por sus sitios de importancia internacional para la conservación de los humedales como SITIO RAMSAR, es también un AICA (área importante para la conservación de las aves), y sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad decretado por la Comisión Nacional del Biodiversidad (CONABIO)), así como parte de la Red Hemisférica Reservas para las Aves Playeras (WHSRN, 1998, Valdés-Casillas et al., 1998).

A pesar de los impactos negativos, el delta se ha rehusado a desaparecer; las mejoras creadas por los flujos de agua dulce a los humedales del delta como los que ocurrieron en las inundaciones de 1997 y eventos parecidos han sido significativos sobre todo para la recuperación de vegetación nativa.

La restauración en el delta del RC no solo ha llamado la atención de investigadores y a agencias de gobierno, sino que también a los mismos pobladores y organizaciones no gubernamentales, que han creado oportunidades de restauración. Uno de esos proyectos exitosos fue elaborado por vecinos del Río Hardy (RH) y organizaciones no gubernamentales, el proyecto consistió en la construcción del Tapón, una estructura hecha a base de costales de arena y reforzada con rocas localizada en la zona conocida como “El Riñón” del RH; donde los niveles de agua se incrementaron permitiendo la revegetación de especies nativas y la recuperación de aves emblemáticas de la región, como es el caso del Palmoteador de Yuma (*Rallus longirostris yumanensis*, Hinojosa-Huerta et al., 2005).

Las condiciones impuestas por los aportes de agua salada por las mareas del Golfo de California, o bien, de agua dulce durante los eventos de mayor volumen de riego o escurrimientos extraordinarios en el RC, conocidos como hidroperiodo son muy importantes para el mantenimiento de los ecosistemas, debido que crean condiciones físicas y químicas únicas que influyen en la composición del suelo, acumulación de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, y en la riqueza y composición de especies .(Angeler et al.,2003)

En este trabajo generamos información para el análisis del efecto sobre las comunidades ícticas de las barreras artificiales en el río que alteran el hidroperiodo natural y la conectividad del RC con el Golfo de California, así como el aporte de agua residual tratada de la Planta de las Arenitas al lecho del RH

En cuanto a la definición de hidroperiodo en este trabajo, entenderemos que se refiere a la duración, frecuencia, profundidad y estación de inundación provenientes de flujos de agua dulce y mareas. (Smith y Smith, 2001)

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los efectos del Tapón y las descargas de aguas tratadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Arenitas sobre el hábitat acuático del Río Hardy, mediante la comparación de la composición de la comunidad íctica bajo el efecto de la marea y el hidroperiodo.

2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

El objetivo general responde a las siguientes cuestiones:

- ¿Cómo utilizan las comunidades de peces a los humedales a través del tiempo, de acuerdo a los niveles y calidad de agua?
- ¿Qué tanto existe la conectividad entre estuario-río?
- ¿Cómo varía la composición de la comunidad íctica por zona según el factor temporal (mareas y migraciones de peces)?
- ¿Qué efectos tiene en la composición íctica el Tapón del Río Hardy (aguas arriba y aguas abajo)?

Esto con lleva a plantear los siguientes objetivos particulares:

- ❖ Determinar la conectividad del Río Hardy y el estuario durante el hidroperiodo y la influencia del Tapón sobre el caudal.
- ❖ Determinar los efectos del Tapón y la descarga de aguas tratadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de las Arenitas.
- ❖ Comparar los atributos ecológicos de las diferentes zonas estudiadas en los diferentes regímenes hidrológicos.
- ❖ Determinar los índices ecológicos en cuanto a la relaciones de hábitat y de la comunidad de peces.

3. ANTECEDENTES

3.1 SISTEMA HIDROLÓGICO EN DELTA DEL RC Y SU RELACIÓN CON LA COMUNIDAD ÍCTICA.

El delta del RC fue alguna vez uno de los estuarios de río desértico más importantes del mundo: casi 8,000 km² de humedales, un hábitat para aves migratorias y especies marinas exclusivas de la región, y el santuario de comunidades indígenas que pescaban en el río y practicaban la agricultura por inundación. Hoy en día el delta ha perdido en gran medida su superficie original, sus bosques exuberantes han sido reemplazados por vegetación exótica y tolerante a condiciones de agua y suelo salobres. Debido a la sobreexplotación de los recursos pesqueros, así como el deterioro del suelo por la falta de los desbordamientos del río, el estilo de vida de los pueblos indígenas de la región también se ha visto alterado (Faulkner, 1999); Otras comunidades pesqueras como la del Golfo de Santa Clara, San Felipe, Puerto Peñasco y demás comunidades deltaicas mexicanas que también dependen cultural y económicamente de la pesca (Valdés-Casillas et al., 1988) también se han visto afectadas.

En 1935, el flujo anual del RC era aproximadamente de $>600 \text{ m}^3/\text{s}$ y contribuía con más del 50% del total de agua dulce que ingresaba al Golfo de California. (Arias Patrón, E., 2005) Desde la perspectiva de los pescadores, la reducción del flujo al mar ha tenido efectos sobre todo en las pesquerías del camarón (Arias Patrón, E., 2005). Por ejemplo estos cambios drásticos en los aportes de agua dulce al sistema estuarino provocan modificaciones en: los procesos físicos de transporte de larvas y postlarvas al área de disponibilidad de alimento, la temperatura y la salinidad (Galindo, 2003).

La disminución en los últimos cincuenta años de las especies nativas de peces en la cuenca baja del Río Colorado en los Estados Unidos ha sido bien documentada (Rinne y Miller, 2006) Los estudios han encontrado que los principales factores en la disminución de las poblaciones de peces nativos han sido la reducción y modificación de flujos. Esto sugiere que

en la porción mexicana han ocurrido procesos similares.

Son nueve especies dulceacuícolas conocidas en la cuenca baja del RC, y ocho especies han sido registradas en las aguas en la región deltaica: cuatro especies de Cyprinidae, dos especies de Catostomidae, y una especie de Cyprinodontidae y una especie de Poeciliidae. (Tabla 1). Dentro de las especies marinas registrados en las aguas dulceacuícolas o salobres del delta del Río Colorado se incluyen 38 especies (Varela et al., 1998).

A consecuencia de los graves impactos que cambiaron físicamente y biológicamente al delta, todos los peces nativos de agua dulce han sido eliminados o se han vuelto extremadamente raros. (Hastings y Findley, 2007)

TABLA 1. Especies de peces registradas en la cuenca del bajo Río Colorado (Varela et al., 1998)

ESPECIE	FAMILIA	ESTATUS
<i>Dorosoma petense</i>	Clupeidae	Vicaria Exótica
<i>Lile stolifera</i>	Clupeidae	Vicaria Nativa
<i>Cyprinus carpio</i>	Cyprinidae	Primaria Exótica
<i>Gila elegans</i>	Cyprinidae	Primaria Extirpada
<i>Gila robusta</i>	Cyprinidae	Primaria Extirpada
<i>Ptychocheilus lucius</i>	Cyprinidae	Primaria Extirpada
<i>Cyprenella lutrensis</i>	Cyprinidae	Primaria Exótica
<i>Xyrauchen texanus</i>	Catostomidae	Primaria Extirpada
<i>Catostomus latipinnis</i>	Catostomidae	Primaria Extirpada
<i>Ameiurus natalis</i>	Ictaluridae	Primaria Exótica
<i>Ameiurus melas</i>	Ictaluridae	Primaria Exótica
<i>Pylodictis olivaris</i>	Ictaluridae	Primaria Exótica
<i>Ictalurus punctatus</i>	Ictaluridae	Primaria Exótica
<i>Cyprinodon macularius</i>	Cyprinodontidae	Secundaria Nativa
<i>Gambusia affinis</i>	Poeciliidae	Secundaria Exótica
<i>Poecilia latipinna</i>	Poeciliidae	Secundaria Exótica
<i>Micropterus salmoides</i>	Centrarchidae	Primaria Exótica

<i>Lepomis cyanellus</i>	Centrarchidae	Primaria Exótica
<i>Lepomis gulosus</i>	Centrarchidae	Primaria Exótica
<i>Lepomis macrochirus</i>	Centrarchidae	Primaria Exótica
<i>Pomoxis annularis</i>	Centrarchidae	Primaria Exótica
<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	Centrarchidae	Primaria Exótica
<i>Oreochromis niloticus</i>	Cichlidae	Secundaria Exótica
<i>Oreochromis mozambicus</i>	Cichlidae	Secundaria Exótica
<i>Tilapia zilli</i>	Cichlidae	Secundaria Exótica
<i>Tilapia sp.</i>	Cichlidae	Secundaria Exótica
<i>Elops affinis</i>	Elopidae	Eurihalina Nativa
<i>Mugil cephalus</i>	Mugilidae	Eurihalina Nativa
<i>Mugil curema</i>	Mugilidae	Eurihalina Nativa
<i>Colpichthys hubbsi</i>	Atherenidae	Eurihalina Nativa
<i>Gillichthys mirabilis</i>	Gobiidae	Eurihalina Nativa

La definición del status esta bajo el criterio de Valera-Romero et al (1990)

Peces primarios.- Todas aquellas especies que están casi exclusivamente restringidas al ambiente dulceacuícola

Peces secundarios.- Especies fundamentalmente dulceacuícolas pero que poseen la capacidad de tolerar aguas marinas o de menor salinidad y pueden cruzar amplias barreras marinas.

Peces vicarios.- Especies con afinidades marinas pero que habitan o están confinados a las aguas dulces.

Peces Eurihalinos.- Son las especies capaces de vivir en un amplio rango de concentración de sales. (Lagler et al., 1962)

De todas las especies nativas solo persiste el pez cachorrito del desierto (*Cyprinodon macularius*) teniendo como hábitats clave dentro delta del Río Colorado los estanques de aguas residuales de la Geotérmica de Cerro Prieto, lagunas adyacentes del canal Wellton – Mohawk, los humedales de Estación el Doctor y las lagunas someras de la Ciénega de Santa Clara, sobre todo en la parte Este frente al Ejido La Flor del Desierto, en donde Varela y colaboradores (1988) encontraron una amplia fluctuación espacio-temporal en la distribución y abundancia de las poblaciones de *C. macularius*. El estudio anterior concluye que la población de esta especie está condicionada con la periodicidad y el volumen de los flujos de

agua vertidos a la porción mexicana de la cuenca del Río Colorado.

La Totoaba (*Totoaba macdonaldi*) es uno de los peces más conocidos y más grandes en el norte del Golfo de California. Este Scianido de vida estuarina fue alguna vez abundante en toda la región del Alto Golfo y delta del Río Colorado. (Hastings. y Findley, 2007). Esta especie es endémica del Alto Golfo de California y ocupa el tope en la cadena trófica. La totoaba desova desde Enero a Junio, y busca las condiciones estuarinas en la boca del Río Colorado para este propósito.

Los años de mayores capturas observadas fueron en 1938 y 1942, pero después declinó precipitadamente. Este declive se vino principalmente por la pesca inmoderada, especialmente porque redes agalleras operaban durante la época de reproducción y accidentalmente en la pesca de camarón, atrapaban juveniles con las redes de arrastre. Otra de las causas fue el impacto negativo de la construcción de presas río arriba, que redujeron los flujos de agua dulce al estuario, donde se da la crianza de las totoabas. En 1976 la totoaba fue promulgada como especie en peligro de extinción por la Convención Internacional para las Especies en Peligro de Extinción (CITES, Hastings y Findley, 2007).

En tiempos previos de la era de las presas y canalizaciones, el Río Colorado mantenía zonas de estuario de más o menos 4000 km² y sitios de mezcla que se extendían por aproximadamente 55 km de la boca del río y los efectos de la eliminación de estos flujos al estuario han tenido impactos negativos en la recuperación de especies marino-estuarinas como la totoaba (Rowell et al., 2008).

La mezcla del río con aguas marinas origina zonas altamente productivas a nivel de ecosistemas, ya que son áreas de crianza y de desove de importancia biológico-ecológica. Algunas especies que usan los canales alrededor de la Isla Montague hasta río arriba del Hardy son: la totoaba la curvina golfina y el Camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*). (Román-Rodríguez, 2006).

Actualmente, una de las especies de mayor interés comercial es la curvina golfina, la cual durante los meses de febrero a mayo se agrupan en cardúmenes y suben río arriba para su reproducción, situación que es aprovechada por los pescadores del Golfo de Santa Clara, Puerto Peñasco Sonora y San Felipe.

Los flujos de agua dulce al estuario han sido correlacionados con el incremento de la abundancia de postlarvas de camarón (Aragón Noriega, 2000). Se han reportado datos sobre la captura comercial del camarón, en el período de 1957 a 1979 y fueron también asociados a las fluctuaciones de aporte de agua dulce al estuario. (Galindo, 2003). Robins y colaboradores (2006) han documentado la relación entre los flujos de agua dulce en los sistemas estuarinos con el incremento de la productividad primaria, dando lugar a una mayor disponibilidad de alimento y por consiguiente a un aumento de biomasa. De igual forma McDougall (2004) reporta altas tasas de crecimiento en hábitats donde hay flujos y disponibilidad de agua dulce. Rowell y colaboradores (2005) reportan que los flujos de agua dulce dentro de los sistemas estuarinos han mostrado una respuesta positiva al reclutamiento de larvas o juveniles, como por ejemplo en la curvina (*Cynoscion othonopterus*).

En otras especies y sistemas riparios se ha observado que el hidroperíodo provoca cambios en el comportamiento de los peces, como por ejemplo en la trucha café (*Salmo trutta*, cita). Con esto se ha observado que los niveles de agua son determinantes para la estabilidad de un hábitat, incluyendo sus características físicas (profundidad, velocidad del agua), cambios químicos, y el sustrato disponible, que a su vez son fundamentales para la estructura en la comunidad de peces (Schlosser, 1985, Medeiros y Maltchik, 2001). La reproducción y el reclutamiento de peces pueden también ser afectados negativamente en relación a los flujos de agua dulce dentro de los sistemas riparios y estuarinos. (Schlosser et al., 2000).

En los sistemas riparios la relación entre las comunidades de peces y las pulsaciones con flujos altos de agua genera hábitat, mejorando las condiciones de distribución para las comunidades de peces. (Saint-Paul., et al.2000).

Los niveles de agua y la calidad de ésta son factores determinantes para el desarrollo de las comunidades ícticas. La evaluación de la composición de la ictiofauna y su relación de ésta con el medio, puede ser la manera más directa de medir la salud de los humedales y una herramienta útil para un mejor manejo del agua. (Karr y Chu, 1999)

La importancia de los flujos de agua en los sistemas estuarinos y su relación con diversas especies ya han sido documentadas previamente, tanto de especies de vegetación como *Distichlis palmeri* (Valdés-Casillas et al., 1988), moluscos como *Mulinia coloradoensis* (Rodriguez et al., 2001) y peces como la curvina (*Cynoscion othonopterus*, Rowell et al., 2005)

Muchas de las especies que se comercializan actualmente dependen de estos sistemas acuáticos, es por ello que algunos estados de Estados Unidos de América, como ejemplo; Texas han justificado los requerimientos mínimos de los flujos de agua en los sistemas estuarinos. Los aportes de agua dulce al cauce del RC fomentan tanto el reclutamiento de especies de peces y de invertebrados, como de vegetación nativa y aves, es por ello que existe la necesidad la necesidad de estudiar más a detalle las influencias estacionales del hidropериодо en el delta, para saber los requerimientos mínimos de las comunidades ícticas.

La disminución de agua dulce a la zona riparia y estuarina, ha provocado la sedimentación, principalmente en las zonas más bajas, así como la desconexión entre el sistema de agua dulce continental y el salino marino. Esto incide negativamente en las comunidades ícticas, por los cambios de las variables fisicoquímicas, el aumento de sólidos suspendidos, el estancamiento del agua y la consiguiente pérdida de oxígeno. Gelwick y colaboradores (2001) reportan correlaciones entre la estructura y ensamblaje de peces (diversidad y abundancia) con parámetros fisicoquímicos como el oxígeno disuelto y salinidad. La disminución de flujos y sedimentación reducen el número de especies, y crean problemas de reproducción y crianza en algunos peces, así como la fragmentación de los lugares de posible anidación, incrementándose la mortalidad en larvas; afectando también a la conectividad entre ambos ecosistemas (Menher et al., 2005; Sawyer, 2004).

Por otra parte, la reducción de los flujos de agua ha tenido un efecto significativo en los niveles de salinidad, que se refleja en el crecimiento de algunas especies, como la lisa (*Mugil cephalus*) y el bocón (*Micropterus salmoides*), porque la energía es usada para la osmoregulación y no para el crecimiento (Cardona 2000, Peer et al., 2006).

3.2 FLUJOS DE AGUA EN EL DELTA DEL RIO COLORADO

3.2.1 Sistema Hidrológico del Río Colorado

A principios del siglo XX, el delta del RC estuvo abierto a la navegación, y algunos botes de vapor viajaban desde la ciudad de Yuma en el Estado de Arizona, EUA hasta el Golfo de California, a través del delta; gracias a un tratado comercial que ceso en 1877, cuando el ferrocarril llegó al delta al valle de Mexicali. En los primeros años del siglo XX, agricultores del Valle de Mexicali empezaron a irrigar sus campos agrícolas y el Valle prosperó a pasos agigantados. La población empezó a aumentar y las necesidades del agua fueron incrementándose también; no sólo para México si no para los Estados Unidos. (Valdés-Casillas et al., 1988). Esta necesidad binacional provocó acuerdos y decisiones en materia de asignaciones y suministro de volúmenes de agua.

El volumen de agua proveniente del Río Colorado es captada a nueve diferentes estados, de los cuales siete se encuentran en Estados Unidos y dos en México, localizados en una cuenca de aproximadamente $632,000 \text{ km}^2$. La asignación para el uso de esta agua obedece a un tratado binacional, llamado Tratado de Aguas Internacionales; firmado el tres de febrero de 1944 en Washington, en donde se acordó la cantidad de agua regulada para los tres ríos fronterizos; Río Tijuana, Bravo y Colorado. En este tratado se establece el volumen de agua del Río Colorado para México, que es de 1.5 millones de acres pies (maf) ($1 \text{ acre pie} = 1233.48 \text{ m}^3$) lo que equivale a $1,850.234 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. Este volumen más el agua del acuífero del Valle de Mexicali y la Mesa Arenosa (719 y $197 \text{ Hm}^3/\text{año}$) ($1 \times 10^6 \text{ m}^3 = 1 \text{ Hm}^3$) abastece $207,935$ hectáreas de tierras agrícolas distribuidos en el Distrito de Riego 014, a la población de Mexicali y el Valle de Mexicali en Baja California, a la ciudad de San Luis Río

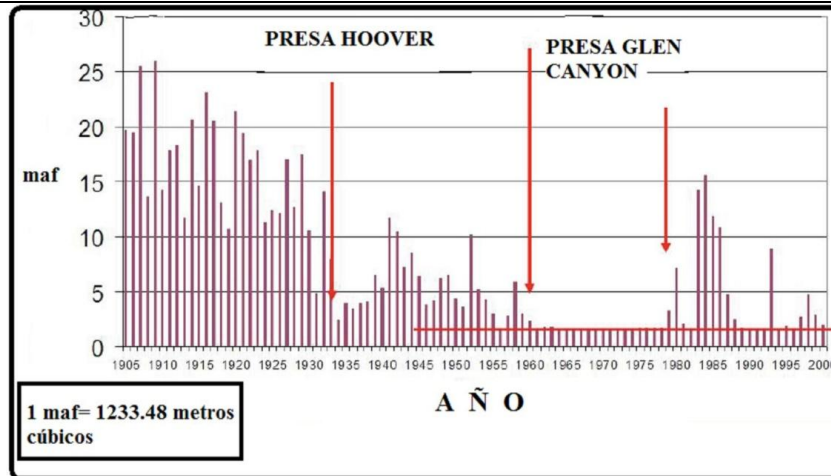
Colorado, Sonora y a través del acueducto Río Colorado–Tijuana, a las ciudades de Tijuana y Tecate en Baja California (Ramírez Hernández, 2006)

Para el uso y repartición del agua del RC se empezaron a construir presas y derivaciones y el cauce interrumpe su recorrido en distintos puntos desde las montañas de Colorado y Wyoming (2,300 km) hasta la Isla Montague en el Golfo de California por más de 10 presas principales y otras 80 más pequeñas, para uso agrícola y urbano (Valdés-Casillas et al., 1988)

La construcción de una de las presas más colosales y tecnológicas como la de Hoover en 1930, traza la etapa moderna e innovadora para la cuenca del RC del lado norteamericano y transformante en términos ecológicos para la parte sur de la cuenca baja del RC; sobre todo porque se requirieron aproximadamente seis años para llenar en su totalidad el vaso de almacenamiento “Lago Mead” y durante todo ese tiempo, el agua no llegó al delta. Este evento se repitió en el caso de la presa Glen Canyon y su Lago Powell. Las presas y el control de sus flujos son manejados por el Buró de Reclamación, agencia estadounidense. (Valdés-Casillas et al., 1988, Figura 2).

Las entregas de agua a México, se hacen a través de la presa derivadora José M. Morelos, que inició sus operaciones en 1950, en donde se distribuye el agua a través de un canal central, que a su vez se divide para los distritos de riego de Mexicali y San Luis Río Colorado. El cauce del RC se extiende unos 153 km desde la Presa José M. Morelos hacia el Golfo de California. Los primeros 97 km están confinados entre dos bordos para el control de inundaciones, área conocida como corredor ripario. (Zamora-Arroyo et al., 2005)

FIGURA 2. Flujos históricos en el delta del Río Colorado, desde 1905 hasta el 2000 (Tomada de Hyun, 2006)



Los escurrimientos excedentes del RC cuando son muy grandes se encausa hacia el propio Río Colorado o bien a la red de drenaje para disminuir la salinidad del suelo e inducir la infiltración del acuífero. Esta situación fortuita induce a que el acuífero se mantenga en equilibrio y que el sistema estuarino del delta del RC tenga los aportes de agua que benefician a la vida silvestre. (Ramírez Hernández, 2006)

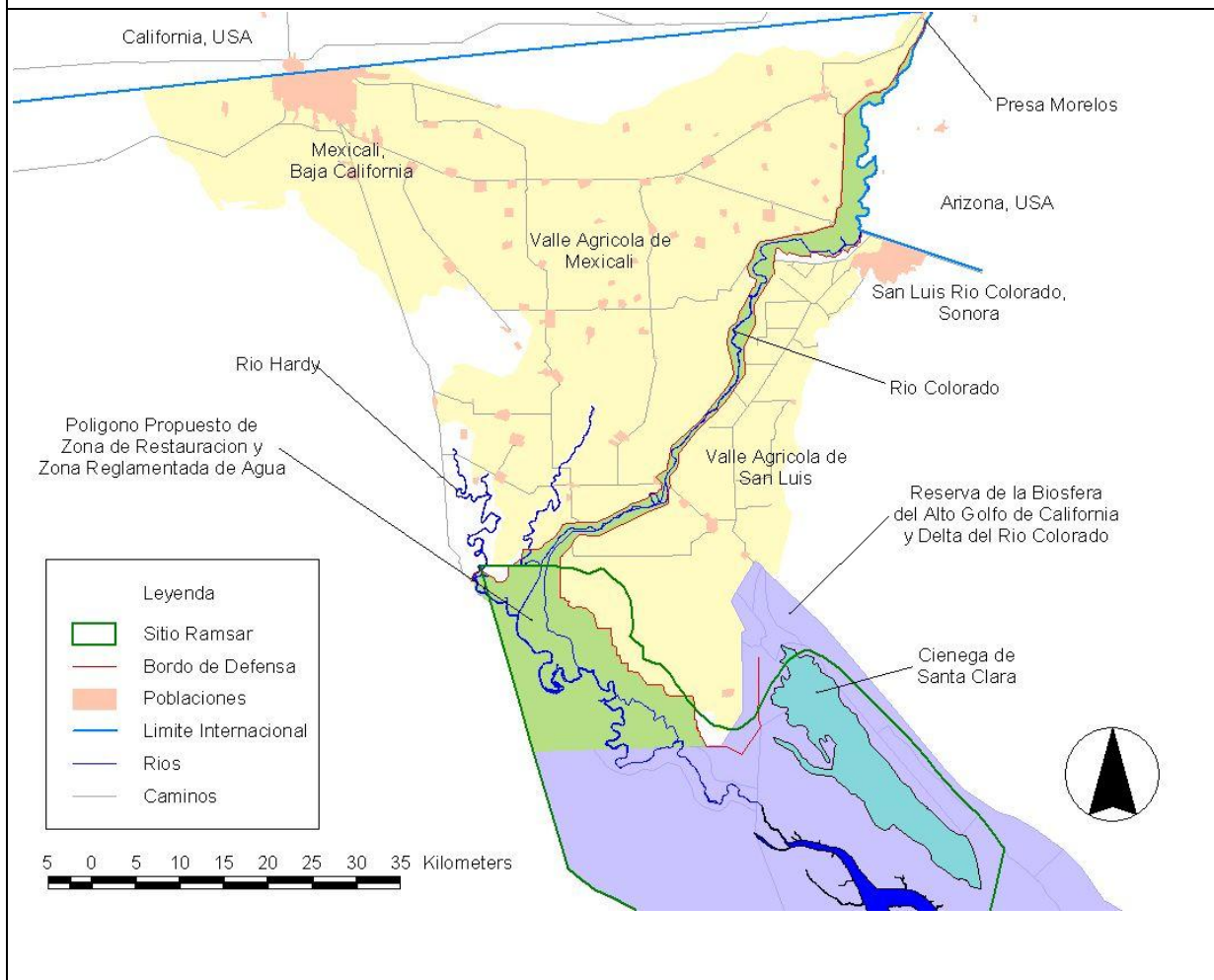
En este contexto, en los meses de Enero-Abril y de Agosto-October de 1997, los flujos de agua se acercaron a los $400 \text{ Hm}^3/\text{año}$ con un promedio diario de $126 \text{ m}^3/\text{s}$, inundando un área de aproximadamente 60,000 ha, hubo tal exceso que llegó hasta la Laguna Salada y alcanzó el Golfo de California. Este flujo continuó hasta principios de 1998, (Valdés-Casillas et al., 1998).

Estas fuentes de agua incorporadas al sistema del RC sostienen la vegetación formando áreas de humedales y restaurando ciertas zonas riparias (a lo largo del cauce natural del RC)

provocando la germinación de bosques nativos de sauces y álamos, así como también fomentan la dinámica de los sedimentos, lavan las sales para que el agua del corredor ripario pueda mantenerse con una salinidad de 1.4 partes por mil y aclaran los sedimentos de contaminantes (Zamora-Arroyo et al., 2001).

Estos humedales formados por las distintas fuentes ya mencionadas anteriormente, son las áreas ribereñas a lo largo del RC desde la frontera hasta el delta de unas 33 mil ha; los humedales del Rio Hardy y RC donde el área de su confluencia es cambiante y dependiente de los flujos estacionales de la agricultura de unas 9,600 ha aproximadamente; los humedales intermareales de unas 8 mil ha alimentados por el influjo de las mareas altas y por último la Ciénega de Santa Clara, considerando el mayor de los humedales del desierto sonorense con unas 20,000 ha formando vastas lagunas y planicies lodosas. Los humedales de la Estación el Doctor formada principalmente de manantiales naturales con cerca de 750 ha; los humedales del Indio alimentados por agua de retorno agrícola de SLRC de 1,900 ha. (Valdés-Casillas et al., 1998). Todas estas zonas han propiciado hábitat de todavía un alto valor ecológico para el RC mexicano, tan es así que son sitios de conservación de designaciones Internacional como el RAMSAR y Reserva de la Biosfera (Figura 3)

FIGURA 3. Zonas de prioritarias de conservación que dan origen a los humedales del Delta del Río Colorado. (Tomado de Hinojosa-Huerta, 2007)



3.2.2 Sistema Hidrológico del Río Hardy

El Río Hardy, que históricamente fue un tributario del RC, tiene a su vez dos afluentes El Mayor y Pescaderos. La influencia del flujo del RH tiene una longitud de 50 km que va desde las lagunas formadas por el canal de drenaje del campo geotérmico de Cerro Prieto, llamado “Dos Tubos” hasta la confluencia con el RC. (Ramírez Hernández, 2006). El Hardy y la conexión con el RC, conforma una cuenca de más de 35 mil ha. (Figura 3, Valdés-Casillas et

al., 1998). Los humedales de esta zona tributaria y de confluencias empezó a formarse en los años de la construcción de la presa Hoover en 1930 cuando las constantes inundaciones crearon un represo natural que bloqueo el flujo de agua hacia el Golfo de California, creando lo que hasta ahora se conoce como humedales del RH y RC pero con cambios en su extensión por la dinámica de los flujos de agua año con año (Glenn et al. 1996).

La región deltaica controlada para la agricultura descrita anteriormente, ha sido modificada en una serie de canales y drenes manejados en orden de cumplir con los requisitos de esta actividad productiva. Actualmente diecisiete drenes agrícolas fluyen desde el valle de Mexicali, conduciendo un volumen anual aproximado 63.3 Hm^3 . El área del RH y la confluencia con el RC ha tenido diversos cambios significativos en cuanto a su volumen por la influencia por los ciclos agrícolas y los escurrimientos excedentes del RC, por ejemplo de 1947 a 1983 los humedales formados por este complejo sumaban 18 mil ha, y eran alimentados por pozos geotérmicos de la Planta Geotérmica de Cerro Prieto de la CFE y agua residual agrícola. Los flujos excedentes ocurridos en 1983 permitieron inundar un área de 63 mil ha. (Valdés-Casillas et al., 1998).

El RH es un cauce permanente que transporta aproximadamente 7.4 a 13.6 Hm^3 de agua de drenaje agrícola al año. Los flujos actuales en el RH varían a lo largo del año según los patrones estacionales de riego; la parte alta del río presenta una profundidad constante durante todo el año entre 1 a 3 metros. La calidad de agua en el RH es uno de los aspectos críticos, en el caso de la salinidad delimita el crecimiento de la vegetación nativa, no obstante es un corredor importante para aves acuáticas y canoras; al igual que otras especies importantes del estuario del RC como algunos peces diadromos y crustáceos de importancia comercial. (Zamora-Arroyo et al., 2005)

Ha habido planes de acción en cuanto a la restauración en el RH, además del llamado dique o Tapón, los dragados y desmontes, la reforestación en algunos campos del RH y recientemente las negociaciones con la CESPM para asegurar flujos de agua de la planta tratadora de aguas residuales “Las Arenitas” que descarga en el dren Cucapá y finalmente al RH, en donde se

tiene estimado podría aportar hasta $0.4811 \text{ m}^3/\text{s}$ (17 pies cúbicos por segundo) muy parecido a lo que recibe el RH en lo que se refiere al ciclo agrícola. (Zamora-Arroyo et al., 2005)

Así pues el RH es una mezcla de aguas de origen residual, agrícola y marina, por acción de las mareas (Pronatura Noroeste, 2007), esto ha permitido que el RH sea sitio importante de apostaderos para aves migratorias, hábitat para aves acuáticas residentes, mamíferos y peces. (Hinojosa-Huerta, 2005).

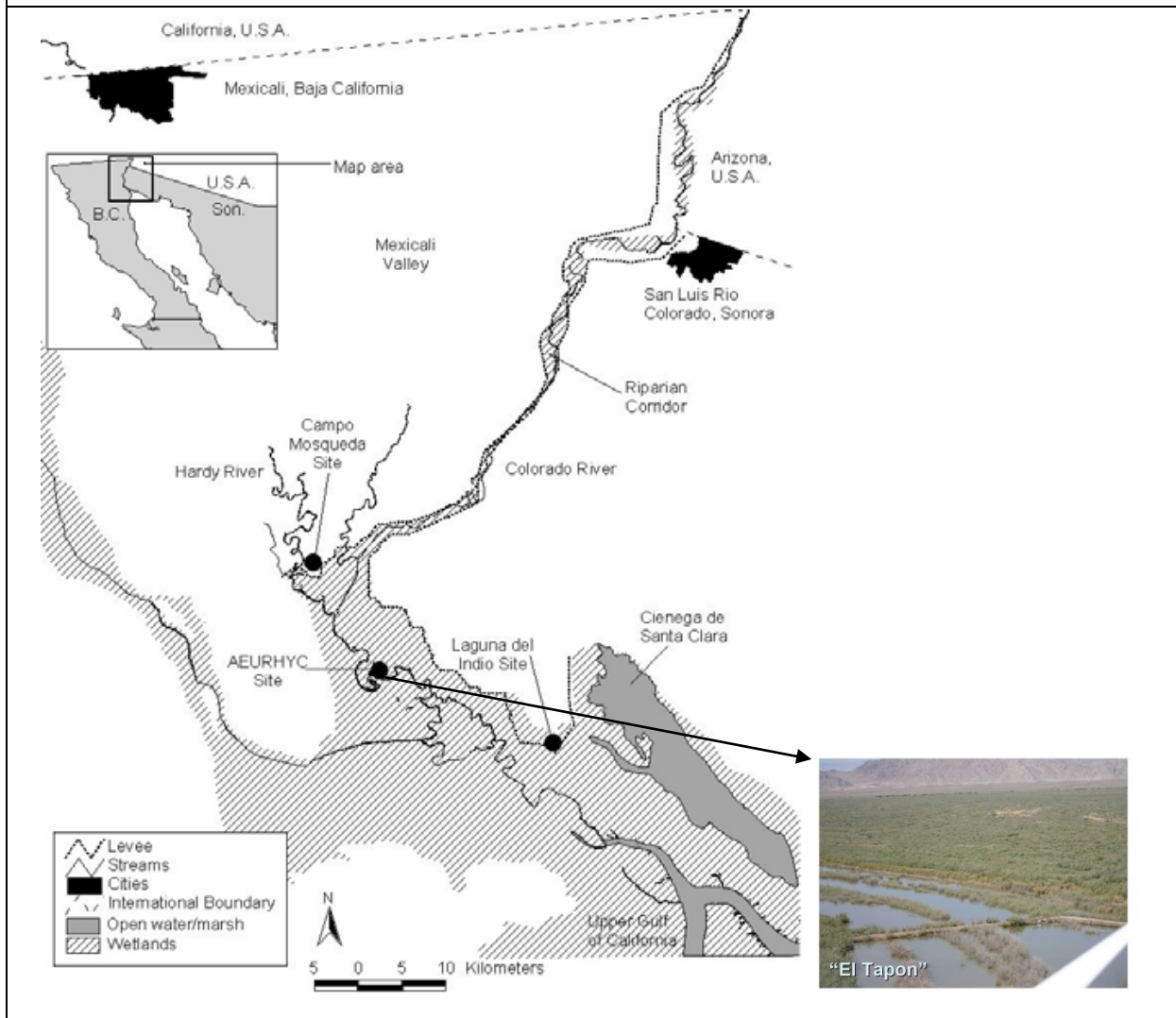
3.2.3 El Tapón como un Proyecto de Restauración en el RH

La persistencia de la riqueza biológica del delta del RC aun en los impactos antropomórficos ha provocado acciones de restauración, esto también con las observaciones obtenidas de las comunidades locales así como también de la información de investigación biológica con distintas asociaciones en el ámbito de conservación ambiental.

Siguiendo el tenor de recuperación de humedales del delta del RC se construyo El tapón, un dique de retención para ayudar a manejar los niveles de agua con el fin de restaurar algunos sitios, enriqueciendo la flora y fauna nativa. Es un proyecto que nació con la iniciativa de la Asociación Ecológica de Usuarios de los Ríos Hardy y Colorado (AEURHYC), la cual ha estado laborando en la zona desde 1999, con la misión de conservar y restaurar ambos el rio Colorado y el Río Hardy está integrada principalmente con comunidades locales (Zamora-Arroyo et al., 2005)

El Tapón se localiza en el sur del área conocida como el Riñón en el RH, (Figura 4) con las coordenadas en UTM NAD 27 (671199,3547289). El Tapón ha ayudado a incrementar el nivel de agua en ciertas zonas hasta un metro de profundidad, con esto se crearon las condiciones para inundar 405 hectáreas secas beneficiando a las actividades de ecoturismo, acuacultura y otras actividades recreativas. (Zamora-Arroyo et al., 2005)

FIGURA 4. El Tapón en el RH al sur del área conocida como “El riñón”. Vista aérea.
(Foto por Hyun, 2006. Mapa de Hinojosa Huerta, 2005)



Después de las inundaciones de 1983 hasta 1989, el Delta recibió flujos extraordinarios al sistema, principalmente a los humedales del Hardy/Colorado, creciendo el área inundable hasta 66,400 hectáreas. Debido a que no hay grandes flujos los humedales han disminuido 2000 hectáreas, con una cobertura vegetal dominada principalmente por pino salado. (Glenn, et al., 1996)

3.2.4 Sistemas de Retorno Agrícola

Los sistemas de captura de drenaje agrícola son otra fuente importante para agua para el Delta del RC, y permite el drenado hacia vertederos localizados en todo el valle agrícola de Mexicali y San Luis Río Colorado.

La red de irrigación del valle de Mexicali tiene una longitud de 2,902 km, y cuenta con 17 drenes que descargan en gran medida al RH. Estos drenes cargan un volumen anual de 63.3 Hm³ con un total de 70,000 toneladas de fertilizantes por año y 400,000 litros de insecticidas por año. (Valdés-Casillas et al., 1998). Aunque estas aplicaciones de fertilizantes e insecticidas no tienen un registro controlado, seguían recomendaciones según el tipo de suelo y planta a cultivar, por ejemplo en el caso de las hortalizas las aplicaciones era de dos, con dosis de 120 a 200 kg de nitrógeno por hectárea, en las hortalizas se utilizaba hasta 350 kg/ha de nitrógeno y 100 de fosforo kg/ha. Para las dosis de insecticidas se realizaban 4.6 aplicaciones por ha. (Ramírez Hernández, 2006)

El promedio de salinidad en los drenes es de 3,400 partes por millón (ppm) el cual no es óptimo para la mayoría de las especies nativas del corredor ripario, sin embargo los drenes han mantenido ciertos índices ecológicos favorables para algunas especies de flora y fauna (Valdés-Casillas et al., 1998).

Los flujos de agua resultantes de drenes agrícolas en cuanto a cantidad ha sido de utilidad para crear hábitat, la interrogación seria en la calidad de esta agua, sobre todo con los niveles de selenio que afecta en la sobrevivencia por ejemplo de algunas aves y otras especies. (Valdés-Casillas et al., 1998).

Son siete los drenes de retorno agrícola que encausan las aguas hacia el Golfo de Santa Clara a través del RH dando aportes constantes en los meses de marzo a junio en lo que comúnmente se conoce como año agrícola. (CONAGUA, Oficina de Ingeniería de Riego,

2009), en donde el dren Ayala transporta uno de los mayores flujos al sistema sobre todo en el mes de mayo (Tabla 2).

El dren Ayala transporta un flujo anual promedio de 16 Hm³ (0.5 m³/s) que fluye a las planicies de inundación del RC de la zona intermareal, creando zonas de hábitat para flora y fauna, así como también oportunidades de proyectos productivos como la agricultura biosalina en ejidos como el Ejido Luis Encinas Johnson y el Ejido Indiviso aledaños a la zona de confluencia de este dren. (Pronatura Noroeste, 2007)

TABLA 2. Balance hídrico de los drenes hacia el Golfo de Santa Clara en los años de muestreo ícticos en el RH. (CONAGUA Oficina de Ingeniería de Riego; Figueroa Vargas, 2009)

		Volumen	Volumen
MES	DREN HACIA EL GOLFO DE STA.CLARA	2005 m ³	2008 m ³
ABRIL	D.MENOR UNO	31276.8	206928
	D.SONORA	1291248	869356.8
	D.SANTA CLARA	526089.6	324864
	D.CAIMAN	2270073.6	2475360
	D.CARRANZA	395625.6	275616
	D.PLAN DE AYALA	1945036.8	806112
	D.2 TUBOS	5270.4	101260.8
MAYO	D.MENOR UNO	1899820.8	283910.4
	D.SONORA	1046044.8	753753.6
	D.SANTA CLARA	700876.8	264988.8
	D.CAIMAN	1239235.2	2192313.6
	D.CARRANZA	3700828.8	64108.8
	D.PLAN DE AYALA	1545696	172368
	D.2 TUBOS	No dato	No dato
JUNIO	D.MENOR UNO	79488	184550.4
	D.SONORA	437961.6	597801.6
	D.SANTA CLARA	458006.4	279244.8
	D.CAIMAN	103220.8	1894492.8
	D.CARRANZA	219888	26524.8
	D.PLAN DE AYALA	1122854.4	764208
	D.2 TUBOS	No dato	650246.4
JULIO	D.MENOR UNO	369446.4	8553.6
	D.SONORA	666748.8	754358.4

	D.SANTA CLARA	271382.4	281836.8
	D.CAIMAN	1481241.6	1748131.2
	D.CARRANZA	165369.6	53740.8
	D.PLAN DE AYALA	1309478.4	855014.4
	D.2 TUBOS	No dato	1520899.2
AGOSTO	D.MENOR UNO	207964.8	NI
	D.SONORA	389664	696729.6
	D.SANTA CLARA	309139.2	292636.8
	D.CAIMAN	1141084.8	1549065.6
	D.CARRANZA	35856	67651.2
	D.PLAN DE AYALA	1262736	605059.2
	D.2 TUBOS	6825.6	1579564.8
SEPTIEMBRE	D.MENOR UNO	63417.6	15206.4
	D.SONORA	332812.8	782438.4
	D.SANTA CLARA	403833.6	240710.4
	D.CAIMAN	1042675.2	1545696
	D.CARRANZA	184032	7862.4
	D.PLAN DE AYALA	1215561.6	428457.6
	D.2 TUBOS	No dato	1285200
OCTUBRE	D.MENOR UNO	178934.4	3110.4
	D.SONORA	358128	628473.6
	D.SANTA CLARA	376185.6	245721.6
	D.CAIMAN	919123.2	1208131.2
	D.CARRANZA	190512	6652.8
	D.PLAN DE AYALA	1357948.8	214963.2
	D.2 TUBOS	43891.2	939686.4
	PROMEDIOS	740056.356	654331.098

3.2.5 Asignaciones de Flujo al Delta del RC: Plantas Tratadoras de Aguas Residuales.

Las aguas negras tratadas y no tratadas son otra fuente de agua para el Delta. El sistema de drenaje de San Luis Río Colorado libera anualmente 13 Hm^3 de agua al cauce del RC.

Existen algunos datos sobre las descargas de aguas negras de Mexicali, como el Río Nuevo, con un flujo de aproximadamente de 49 Hm^3 anuales. Recorre 35 km desde Mexicali hasta el Salton Sea en el Valle Imperial en California, Estados Unidos. (Zamora-Arroyo et al., 2005)

El Río Nuevo se conoce como uno de los cauces superficiales más contaminados. Con el objeto de sanear este Río se acordó la construcción de una planta tratadora de aguas residuales (PTAR), llamada Mexicali II “Las Arenitas” que depurará parte del agua que se vertía al Río Nuevo y trasvasará el agua saneada en la cuenca hidrológica del RH. (Zamora-Arroyo et al., 2005)

La PTAR las arenitas, forma parte del sistema de saneamiento Mexicali II, que inició su construcción en 1999 por iniciativa binacional, y concluyó en el 2007. (http://www.quiminet.com/nt9/nt_U%25EB%25AC%25B0%2528%2528%2585%2560.htm). Esta planta se encuentra ubicada en la carretera a San Felipe km.29 y cuenta con un área de 600 ha, con una capacidad de 880 Lps. El tratamiento de estas aguas lo conducen por un sistema de lagunas aireadas (4), por lagunas de facultativas (8) y de maduración (4). El flujo de agua tratada lo conduce al dren denominado dos tubos que descarga al RH. (<http://www.cespm.gob.mx/plantasresiduales.html>).

Todo este proceso está a cargo la Comisión Estatal de Servicios Públicos Municipales (CESPM), un organismo descentralizado del estado de Baja California con recursos y personalidad jurídica. (Ramírez Hernández, 2006).

La planta tratadora las Arenitas, (CESPM) mediante convenios se ha comprometido a transferir el 30% del agua tratada hacia el Río Hardy, el cual equivale a $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua dulce y con una salinidad menor a 1000 ppm. (Zamora-Arroyo et al., 2005).

Estas asignaciones de flujos de agua dulce al sistema permitirá una mejora en la calidad de agua, en lo que se refiere a bajar los niveles de salinidad, lavar contaminantes y sedimentos; esto permitiría tener una vegetación de propia de galería, fomentar la restauración como un sistema ecológico funcional. (Pronatura Noroeste, 2007)

3.3 ESTUARIO

Se considera como el estuario del delta del RC a la zona que abarca desde 16 km río arriba de la confluencia del los Ríos Hardy y Colorado hasta 48 Km debajo de la desembocadura de éste en el Alto Golfo de California. Esta región es muy productiva, en cuanto al uso de las diferentes especies; hábitat para la cría de invertebrados, peces y crustáceos de valor comercial y alimento para las aves migratorias. (Zamora-Arroyo et al., 2005).

La desembocadura del RC, se le conoce como un sitio en donde existe un alto hidrodinamismo (amplias mareas y fuertes corrientes) y alta productividad primaria. El régimen de mareas dentro de la región del Alto Golfo, se presenta en ciclos diurnos y semidiurnos, registrando variaciones en el nivel del mar de 6.95 m en San Felipe y hasta de 10 m en el Estuario del RC. Estas enormes variaciones del nivel del agua dan origen a corrientes de mareas con velocidades de 0.21 m/s a largo de la costa de Sonora y 0.89 m/s en la costa de Baja California. (Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar, 2001)

Este tipo de régimen, es considerado uno de los más espectaculares, ya que ocasionan enormes áreas intermareales de hasta 5 km de ancho y se ha llegado a registrar mareas con velocidades de 3 a 4 m/s. (Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar, 2001).

La reducción de flujos de agua dulce al estuario ha permitido que se formen bloques de arena y sedimentos en el cauce del RC hacia la desembocadura del Golfo de California y estas

barras arenosas no permiten que estas aguas se mezclen para originar el ecosistema fértil que puede llegar a ser un estuario. (Zamora-Arroyo et al., 2005).

Las necesidades de este tramo fecundo ya han sido identificadas, ya que se ha relacionado los flujos de agua dulce a este sistema con las etapas postlarvales de camarón café y azul (*Farfantepenaeus californiensis* y *Litopenaeus stylirostris*), en mayo a junio; de la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) y de otros moluscos y crustáceos. (Zamora-Arroyo et al., 2005).

3.4 COMUNIDAD ÍCTICA EN EL RIO HARDY Y ESTUARIO DEL RC

Es sin duda bien conocido, la perdida de la gran mayoría de especies dulceacuícolas en el Delta del RC, como por ejemplo la carpa gigante del Colorado (*Ptychocheilus lucius*), la carpa elegante (*Gila elegans*); especies que estuvieron enlistadas como especies en peligro de extinción por la entonces SEDESOL en 1994, la carpita afilada (*Plagopterus argentissimus*) y el matalote jorobado (*Xyrauchen texanus*) por mencionar algunos. (Miller, et al.2005)

En la actualidad en algunos humedales de agua dulce se puede encontrar el pupo del desierto (*Cyprinodon macularius*) única especie dulceacuícola endémica existente en el Delta del RC, concentrado en áreas con aguas someras, compitiendo por espacio y alimento por el pez mosquito (*Gambusia affinis*) y es depredado por el bocón (*Micropterus salmoides*), ambas especies exóticas.

Estudios sobre la abundancia del pupo del desierto (*Cyprinodon macularius*) comprueban el uso de lagunas adyacentes a drenes y canales de retorno agrícola, como son las zonas del canal Wellton-Mohawk con 520 organismos y en los estanques de manejo de aguas residuales de la geotérmica de Cerro Prieto con 2087 organismos (Valera-Romero, et al., 1998).

En el estudio de Varela, et al., 1998 hace una marcada referencia a la presencia de poblaciones exóticas que ocasionan el desplazamiento de *Cyprinodon macularius* y se registra una fluctuación espacio-temporal en la distribución y abundancia de las poblaciones,

muchas veces ligadas a los niveles de agua que se reflejan en la disponibilidad de hábitats marginales para el pez cachorrito del desierto.

Referente a la estructura de la composición íctica particularmente de RH y RC, Hinojosa Huerta (2007) reportó las diferencias significativas entre las estaciones, siendo más abundantes en verano con mas individuos capturados por visita y por sitio y decrecían en invierno ($p = 0.06$, $F = 2.52$) y hubo también diferencias significativas en cuanto a los índices ecológicos, en términos de riqueza, abundancia y biomasa.

Cabe mencionar que los sitios muestreados corresponden a cinco puntos hacia el norte de la estructura hídrica conocida como el tapón y cinco puntos hacia el sur de la misma, y se hicieron visitas estacionales, ocho en total; de tal manera que permitió hacer una comparación entre sitios y entre zonas. Teniendo arriba del tapón 8.9 individuos por sitio por visita en promedio, mientras que en la zona hacia el sur del tapón se registro 45.92 organismos por sitio por visita.

Reportando más organismos RH abajo del tapón con un promedio de abundancia por visita por sitio de 37 organismos ($p = 0.02$, $t = 2.94$, $df = 8$) acrecentándose en primavera; cuando el promedio de organismos por visita por sitio fue de 96.6 ($p = 0.01$, $t = 3.03$, $df = 8$).

Hinojosa (2007) reporto que en general, la abundancia aumentaba en RH abajo del tapón con una r^2 de 0.61 $p < 0.007$ con 113 peces por sitio por visita. El total de la biomasa obtenida fue mayor en RH arriba del tapón con 372 g por sitio por visita, pero no fue estadísticamente significativa ($p=0.5$). La riqueza fue similar en ambas zonas, en RH arriba del Tapón fue de 14 y RH abajo del Tapón fue de 17.

En cuanto a las variables fisicoquímicas, en la conductividad eléctrica hubo diferencias significativas en las zonas, ya que en valores promedios fue mayor en RH abajo del Tapón con 26.11 mS/cm y en RH arriba del Tapón fue de 8.17 mS/cm

En dicho estudio reportó un total de 25 especies monitoreadas en el RH y en el RC; de las cuales 10 especies corresponden a especies nativas y 15 especies corresponden a especies exóticas (Tabla 3).

Hinojosa Huerta 2007 encontró que la composición íctica de exóticos fue más grande en el RH arriba del tapón y en el RH abajo del tapón encontró más especies nativas marino/estuarinos. La mayoría de estos organismos diadromos fueron identificados al sur a 20 km del tapón, zona con influencia de las descargas de los drenes de retorno agrícola.

Especies marino/estuarinos fueron detectados río arriba del dique el tapón, tales como: *Dorosoma petenense* y *Elops affinis* pero no en abundancias significativas. La distribución de especies como *Mugil cephalus*, *Elops affinis*, *Opisthonema libertate*, *Micropterus salmoides* y *Gambusia affinis* a lo largo del RH, sugiere que el tapón como tal no es una barrera física para el paso de los organismos, pudiera haber otras causas (sedimentación, salinidad) lo que podría provocar efectos negativos en la conectividad.

TABLA 3 .Abundancia y Origen (Nativa o Exótica) de las especies monitoreadas en el RH y RC (Hinojosa-Huerta, 2007).

ESPECIE	ABUNDANCIA TOTAL	ORIGEN
<i>Gillichthys mirabilis</i>	1181	Nativo
<i>Mugil cephalus</i>	560	Nativo
<i>Gambusia affinis</i>	225	Exótico
<i>Cyprinus carpio</i>	196	Exótico
<i>Dorosoma petenense</i>	129	Exótico
<i>Lepomis cyanellus</i>	123	Exótico
<i>Lepomis macrochirus</i>	64	Exótico
<i>Micropterus salmoides</i>	47	Exótico
<i>Poecilia latipinna</i>	44	Exótico
<i>Tilapia spp.</i>	40	Exótico
<i>Elops affinis</i>	37	Nativo
<i>Ictalurus punctatus</i>	19	Exótico
<i>Micropogonias megalops</i>	12	Nativo

<i>Pomoxis annularis</i>	12	Exótico
<i>Opisthonema libertate</i>	10	Nativo
<i>Cynoscion xanthulus</i>	8	Nativo
<i>Ameiurus natalis</i>	6	Exótico
<i>Cynoscion golfina</i>	5	Nativo
<i>Symphurus atricauda</i>	5	Nativo
<i>Ameiurus nebulosus</i>	2	Exótico
<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	2	Exótico
<i>Achirus mazatlanus</i>	1	Nativo
<i>Gobionellus sagittula</i>	1	Nativo
<i>Ameiurus catus</i>	1	Exótico
<i>Roccus saxatilis</i>	1	Exótico

La distribución de la lisa cabezona, *Mugil cephalus* en el delta ocupa el segundo lugar en abundancia del total de las especies monitoreadas en el Río Colorado y el RH, esta como otras especies detectadas de valor comercial parecen tener una respuesta positiva a la descarga de agua del dren Ayala (Hinojosa-Huerta, 2007). En otros estudios sobre peces catádomos se ha estimado que los factores como el nivel de agua y la temperatura son determinantes en la migración. (Schubart, 1943; Godoy, 1959).

3.5 TIPIFICACIÓN DE DATOS

El estudio de las comunidades posee ciertas características que definen su estructura física y biológica y que pueden variar en espacio y tiempo. Para analizar la comunidad de peces en el presente estudio se desglosó su estructura en algunas características ecológicas (Smith y Smith, 2001, Boyd et al., 1986) de los cuales tenemos:

- ❖ **Abundancia:** Infiere al tamaño de una población que se expresa en número de animales por unidad de esfuerzo (comúnmente en tiempo). Es muy utilizada para monitorear sitios establecidos, comparar poblaciones o especies de diferentes sitios e inferir a partir de las diferencias impactos por diversos factores como puede ser, el uso de suelo. Se puede expresar esta característica de la comunidad, contando todos los individuos de cada especie en cada sitio de muestreo dentro de una comunidad y

determinando en qué porcentaje contribuye cada uno al conjunto de la comunidad. Este último se conoce como abundancia relativa.

- ❖ **Densidad:** Infiere al tamaño de una población, que se expresa en número de organismos por unidad de área. Esta variable es utilizada más comúnmente para estudiar especies amenazadas, en peligro o para especies utilizadas en aprovechamientos cinegéticos y pesca deportiva, (Boyd et al.,1986)
- ❖ **Riqueza:** Permite hacer inferencias en las características de una comunidad, expresado en una lista de especies en un mismo tipo de hábitat. Esta variable es utilizada para hacer comparaciones entre sitios. (Boyd et al.,1986).
- ❖ **Coeficientes de Similitud:** Expresado en índices generalmente entre 0 y 1, en donde el uno se relaciona como valores idénticos, mientras que el cero se relaciona con comunidades totalmente diferentes. Es una variable donde permite comparar la estructura de una población en diferentes sitios. Al describir una comunidad, luego de análisis y muestreos, nos lleva a comparar con otras en el mismo o diferentes tiempos. Esto nos conllevará a demostrar la similitud y disimilitud entre las áreas muestreadas y por ende, la heterogeneidad ambiental en la cual se asienta la comunidad. (Boyd et al.,1986)

Entre los más conocidos tenemos:

-Índice de Jaccard (Ij) : (índice cualitativo) Presencia o ausencia de especies

$Ij = c / a + b + c * 100$ c: # de especies en ambas muestras

a: # de especies en la muestra 1

b: # de especies en la muestra 2

-Índice Morisita-Horn (Índice cuantitativo) Se compara abundancia relativa

Entre los taxa de dos comunidades

$$MH = \frac{2\sum(a_i \times b_i)}{(d_a + d_b) aN \times bN}$$

Donde a_i : num. De individuos de la especie i en el sitio o muestra a

b_i : num. De individuos de la especie i en el sitio o muestra b

bni: número de individuos de la especie i en el sitio o muestra b

aN: número total de individuos en el sitio a

bN: número total de individuos en el sitio b

(<http://relascmex.files.wordpress.com/2008/06/anexo-n-indicies-bioticos-11-10-2006.pdf>)

3.6 ANALISIS ESTADÍSTICO

Para describir las muestras se usaron los parámetros de población (media, varianza y desviación estándar), del mismo modo se utilizaron procedimientos de modelos estadísticos que fueron utilizados en el estudio ictico del RH y RC de Hinojosa-Huerta y colaboradores (2007), en donde se expresa la relación de una población con su hábitat.

3.6.1 Herramientas Estadísticas

- ❖ **Análisis de varianza ANOVA:** Es una colección de modelos estadísticos y procedimientos asociados, en el cual la varianza participa en ciertos componentes debido a diferentes variables explicativas. Este análisis sirve para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos. El término de análisis de varianza se refiere a un procedimiento analítico en el cual la variación total de respuestas medidas se subdividen en componentes que pueden ser atribuidos a una fuente reconocible y que se pueden utilizar para poner a prueba diferentes hipótesis de interés (Milton, 1980).
- ❖ **Regresión :** Implica desarrollar una ecuación, en el cual el valor promedio de una variable al azar de particular interés puede ser estimado basado en el conocimiento de valores asumidos de una o más variables. El análisis de regresión encuentra la ecuación de la recta que mejor describe la relación entre las dos variables, es decir está basada en ecuaciones de predicción. (Johnson y Kuby, 2008)
- ❖ **Correlación:** Implica medir la fuerza de una relación lineal entre una variable x y el promedio de una variable al azar. Puede contestar a una correlación positiva, negativa, sin correlación alguna y con alguna correlación pero no lineal. La correlación es positiva cuando y tiende a aumentar y negativa cuando y tiende a disminuir. Si los

pares ordenados (x,y) tienden a seguir una trayectoria de línea recta, hay una correlación lineal. (Johnson y Kuby, 2008)

- ❖ Coeficiente de determinación: Es un método utilizado para evaluar la fuerza en la relación lineal que existe entre x y y , en regresión o correlación. Y se expresa en r^2 . En el cual explica la relación lineal entre las variables. (Johnson y Kuby, 2008)

$r^2 = \text{Variación de } y \text{ debido a la linealidad} / \text{total de la variación en } y$
(Milton, 1992).

4. METODOLOGIA

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la parte baja del RH, el RC y el estuario del RC. En este trabajo se considera como RH desde su nacimiento cercano a las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico de Cerro Prieto hasta la desembocadura en el Golfo de California, considerando como RH al cauce después de su confluencia con el RC. Con fines descriptivos en este trabajo el área de estudio se dividió en tres zonas representativas (Figura 5)

- ❖ RHUP: arriba de “El Tapón”. Este tramo de río incluye el RH, la confluencia con el RC hasta el repeso conocido como “El Tapón”, en donde se eligieron 15 sitios de muestreo.(Tabla 4)

TABLA 4. Coordenadas geográficas de la zona RHUP

RIO HARDY AGUAS ARRIBA RHUP		
UTM NAD 27		
X	Y	CLAVE
671199	3547289	RHUP1
671098	3545872	RHUP2
669666	3545302	RHUP3
669244	3547375	RHUP4
670583	3548882	RHUP5
668575	3549403	RHUP6
666793	3551297	RHUP7
666239	3553263	RHUP8
665473	3554922	RHUP9
663420	3555647	RHUP10
662118	3557125	RHUP11
662300	3558572	RHUP12
662910	3560454	RHUP13
662636	3561134	RHUP14
661341	3561477	RHUP15

- ❖ RHDO: abajo de “El Tapón”. Este tramo abarca desde el represo “El Tapón” hasta el estuario del RC. En este tramo se eligieron 11 sitios de muestreo.(Tabla 5)

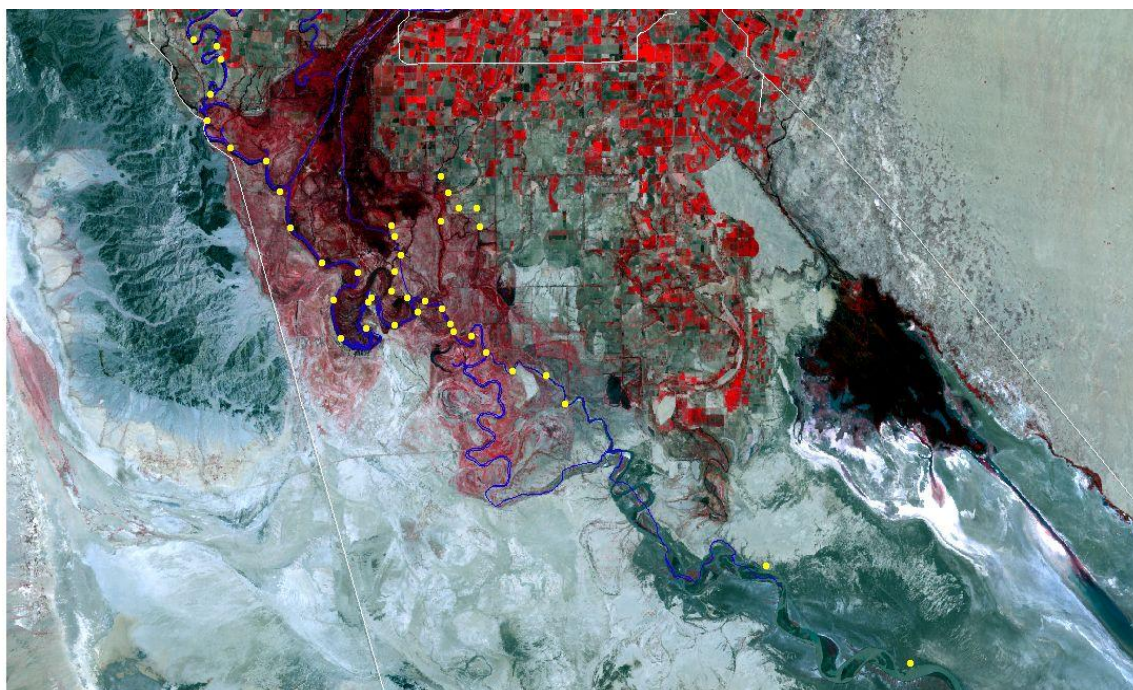
TABLA 5. Coordenadas geográficas de la zona RHDO		
RIO HARDY AGUAS ABAJO		RHDO
UTM NAD 27		
X	Y	CLAVE
671392	3547519	RHDO1
672689	3546048	RHDO2
673982	3546766	RHDO3
675972	3545677	RHDO4
676984	3545467	RHDO5
677852	3544561	RHDO6
679313	3543544	RHDO7
681220	3543337	RHDO8
682267	3541748	RHDO9
693597	3533002	RHDO10
701740	3527687	RHDO11

- ❖ DREN: en el Dren Ayala. El Dren Ayala confluye con el cauce principal del RC aguas abajo de El Tapón. Contiene aguas de desecho agrícola con características diferentes. En este tramo se eligieron 15 sitios de muestreo. (Tabla 6)

TABLA 6. Coordenadas geográficas de la zona DREN

DREN		DREN
UTM NAD 27		
X	Y	CLAVE
675799	3546094	D1
675328	3546939	D2
674421	3547347	D3
673410	3547517	D4
672475	3547895	D5
672654	3548913	D6
673014	3549848	D7
672702	3550807	D8
672515	3551405	D9
675316	3551686	D10
675278	3554116	D11
675704	3553193	D12
676291	3552366	D13
677290	3552388	D14
677473	3551369	D15

FIGURA 5. Los 41 Sitios de monitoreo en puntos en amarillo en el RH y el estuario del RC (2008)



Los puntos en amarillo representan los sitios de monitoreo íctico a lo largo del RH y el estuario del RC, colindando con la montaña Cucapá en la parte izquierda de la imagen y en la parte derecha de la imagen en zonas de color rojo representa las zonas de cultivo del valle agrícola de Mexicali y San Luis Rio Colorado. La vegetación de la zona de muestreo está dominada por pino salado (*Tamarix ramosissima*), algunas plantas emergentes como tule (*Typha domingensis*), carrizo (*Phragmites australis*), junco (*Scirpus americanus*) y algunos manchones de trigo gentil (*Distichlis palmerii*) en las zonas con influencia de las mareas.

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

4.2.1 Mediciones Sistemáticas

Las mediciones sistemáticas (referidas como monitoreos) realizadas fueron de dos tipos según su ocurrencia: mensuales y estacionales.

4.2.1.1 Mediciones sistemáticas mensuales. Las mediciones sistemáticas mensuales se realizaron durante un año desde el mes de enero del 2008 hasta Diciembre del 2008.

a) Objeto: Estas mediciones se aplicaron para determinar las relaciones entre los índices icticos y el factor temporal en un área específica bajo el supuesto de la influencia de flujos de agua salada de mar debido a la elevación del nivel del mar durante las mareas vivas (hidroperiodo). Las fechas de medición fueron durante la marea viva (luna llena o luna nueva) de cada mes, para determinar el efecto de las mareas sobre el RH y la estructura denominada El Tapón con sus atributos ícticos. (Diagrama 5-A)

b) Sitios de Medición: Para este proceso se utilizó un solo sitio aguas arriba de El Tapón.

c) Procedimiento de captura. El arte de pesca utilizado fue una red agallera de 100 m de longitud y de tipo trasmallo de 2, 3 ½ y 4 cm. de luz de malla. Se colocó en la entrada del vertedero en el área del Tapón durante 3 horas coincidiendo con las mareas vivas. Las diferentes dimensiones de luz de malla permitieron la captura de peces de distintos tamaños.

d) Parámetros cuantificados

- ❖ *Mediciones ícticas.* Se realizaron biometrías ícticas; tomando la longitud total y el peso de cada pez capturado. La hoja de campo contiene los siguientes datos: Sitio de muestreo, arte de pesca, código de la especie (Las 2 primeras sílabas del nombre científico de la especie), longitud, peso, horas (esfuerzo: hrs-red), visita que corresponde al mes, fecha y observaciones.
- ❖ *Parámetros físicoquímicos.* Se registraron las variables físicoquímicos por medio de un dispositivo portátil Hydrolab-Hach Company (Quanta Water Quality Monitoring System). La hoja de campo contenía los siguientes datos: sitio, hora, fecha, visita, temperatura, conductividad del agua, oxígeno disuelto, pH, profundidad, salinidad en PSS o partículas sólidas suspendidas y porcentaje de oxígeno disuelto.
- ❖ *Variaciones del nivel de espejo de agua.* Se registraron los valores del nivel de agua (sensores que miden la presión hidrostática de la columna de agua a intervalos de tiempo regulares de forma automática y almacenan estos datos en un dispositivo de almacenamiento digital “data logger”; los dispositivos utilizados son de marca HOB0 modelo U20). Se colocaron 2 medidores automáticos de nivel, aguas arriba de El Tapón y 2 aguas abajo de El Tapón. La altura registrada en el medidor automático fue referida a la elevación de la regleta ubicada junto al nivel automático. Estos valores se graficaron con el software del medidor de nivel que mide la presión del agua (Psi) y el hidropериодо (mareas y entrada de agua dulce al sistema) convirtiéndolo a metros con las mediciones de las regletas referenciadas a un banco de nivel.

4.2.1.2 Mediciones Sistemáticas Estacionales. Los monitoreos estacionales que se realizaron fueron en 4 visitas a cada uno de los 41 sitios de las 3 zonas monitoreadas (RHUP, RHDO y DREN); la visita 1 fue en marzo y abril, la visita 2 en mayo y junio la vista 3 en julio y la visita 4 en octubre y diciembre, que para su comparación fueron divididos en temporada húmeda (marzo, abril y mayo) y en temporada de estiaje (junio, julio, octubre y diciembre). Se escogieron esos meses ya que en monitores previos (2005) son los mejores para obtener un

mayor número de individuos. Siguiendo las fechas de mareas vivas y mareas muertas, para cada estación.

Objeto: El estudio se efectuó en tres zonas clasificadas representativas de los humedales del delta, 1) El RH arriba del Tapón o RHUP 2) el RH río abajo del Tapón o RHDO y el 3) dren Ayala o DREN. Estas mediciones se aplicaron para determinar las relaciones entre los índices icticos y el factor temporal estacional es decir primavera, verano, otoño e invierno, así como también relacionado con el hidroperiodo, es decir el influjo de las mareas, el flujo de agua proveniente de PTAR las arenitas y el flujo de las descargas agrícolas. Las fechas de medición serán durante la marea viva (luna llena o luna nueva) de cada mes en cuestión. (Ver diagrama 5-A)

b) Sitios de Medición. Indica los sitios, según el diagrama corresponden a 41 sitios divididos en tres zonas de estudio comparativo RHUP, RHDO y DREN.

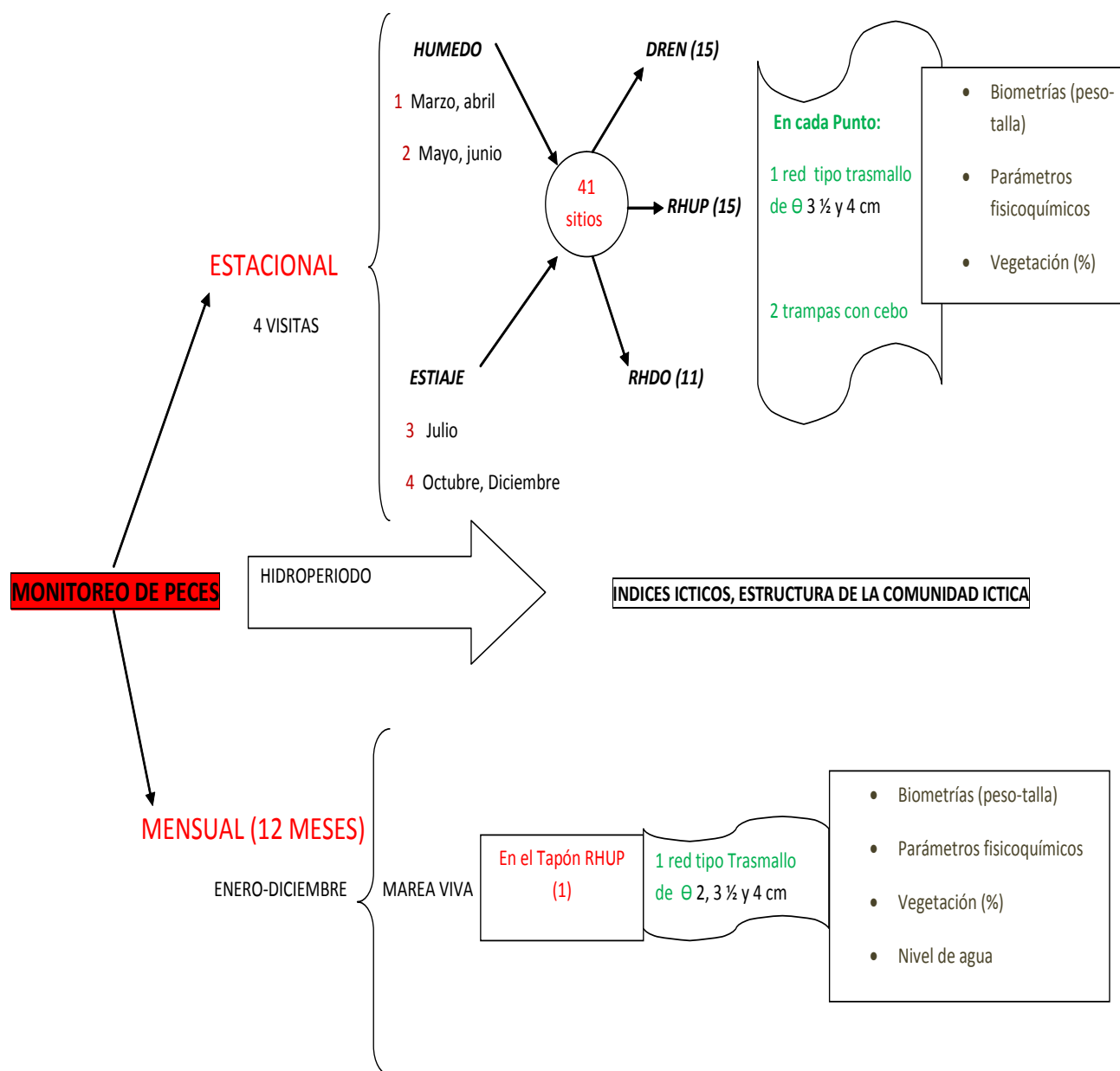
c) Procedimiento de captura. El arte de pesca utilizado fue una red agallera de 100 m de longitud y de tipo trasmallo de 2, 3 ½ y 4 cm. de luz de malla. Se colocó una en cada sitio a lo ancho del cauce, durante 3 horas coincidiendo con las mareas vivas. Las diferentes dimensiones de luz de malla permitirán la captura de peces de distintos tamaños. Así como también se utilizaron dos trampas minowtraps con cebo, en este caso tortillas de harina; colocadas una en la margen izquierda y otra en la margen derecha del río. El tipo de embarcación que se uso tiene de 7 m de eslora y con un motor de 8 HP.

d) Parámetros cuantificados

- ❖ *Mediciones ícticas.* Se realizaron biometrías icticas; tomando la longitud total y el peso de cada pez capturado. La hoja de campo contiene los siguientes datos: Sitio de muestreo, arte de pesca, código de la especie (Las 2 primeras silabas del nombre científico de la especie), longitud, peso, horas (esfuerzo/hrs-red), visita que corresponde al mes, fecha y observaciones.

- ❖ *Parámetros fisicoquímicos.* Se registraron las variables fisicoquímicos a través de un dispositivo portátil Hydrolab-Hach Company (Quanta Water Quality Monitoring System). La hoja de campo contenía los siguientes datos: Sitio, hora, fecha, visita, temperatura, conductividad del agua, oxígeno disuelto, pH, profundidad, salinidad en PSS o partículas solidas suspendidas y porcentaje de oxígeno disuelto.
- ❖ *Variaciones del nivel de espejo de agua.* Se registraron los valores del nivel de agua (sensores que miden la presión hidrostática de la columna de agua a intervalos de tiempo regulares de forma automática y almacenan estos datos en un dispositivo de almacenamiento digital “data logger”; los dispositivos utilizados son de marca HOB0 modelo U20). Estos medidores automáticos del nivel del agua se colocaron 2 aguas arriba de El Tapón y 2 aguas abajo de El Tapón. La altura registrada en el medidor automático fue referida a la elevación de la regleta ubicada junto al nivel automático. Estos valores se graficaron con el software del medidor de nivel que mide la presión del agua (Psi) y el hidroperiodo (mareas y entrada de agua dulce al sistema) convirtiéndolo a metros con las mediciones de las regletas referenciadas a un banco de nivel.
- ❖ *Porcentaje (%) de Vegetación.* Referido a la cobertura de vegetación dominante en sitio de muestra en cada visita.

FIGURA 5-A. Representación esquemática del programa de mediciones sistemáticas. DREN: Dren Ayala; RHUP: aguas arriba de El Tapón; RHDO: aguas abajo de El Tapón.



En total se llevaron a cabo mediciones en 41 sitios. Todas las especies colectadas se identificaran hasta especie, reportando su origen (Nativo o Exótico), los atributos ecológicos de las comunidades de peces: Abundancia, Riqueza y Biomasa. El numero de sitios (41) fue estimado con los datos estadísticos arrojados con el proyecto de “Evaluación Rápida de los Efectos del Tapón en la comunidad íctica” del 2006 (Hinojosa-Huerta, 2007). Con un intervalo de confianza del 95%. Con la formula general de:

$$n=4z^2 s^2/q^2$$

Donde:

- ❖ **n:** numero de muestra
- ❖ **z:** valor 1.96
- ❖ **s²:** varianza
- ❖ **q:**el intervalo final deseado

Entonces quedaría:

$$n= 4 (1.96)^2 1093.45 /400$$

Para:

$$n=42$$

Finalmente se hicieron las mediciones en 41 sitios ya que ya que algunos sitio no fue posible colocar los aparejos de pesca y por difícil acceso.

4.3 REGISTRO DE DATOS COLECTADOS EN CAMPO.

Todos los datos de campo se colectaron en formatos de campo en los que se indicaba:

- ❖ **DATOS GENERALES:** sitio, fecha, hora, miembros de la brigada, visita, condiciones ambientales y observaciones.
- ❖ **DATOS DE CAPTURA:** esfuerzo de pesca, artes utilizadas.
- ❖ **DATOS DE LOS INDIVIDUOS.** Numero de organismos, longitud y peso.
- ❖ **DATOS FISICOQUIMICOS.** pH, OD (oxigeno disuelto), conductividad eléctrica, temperatura, %OD, Salinidad en partículas solidas suspendidas (PSS)
- ❖ **DATOS HIDROLÓGICOS.** Nivel de agua en cm.
- ❖ **COBERTURA VEGETAL** en porcentaje para cada especie registrada

Los datos a procesar son:

1. Biometrías
 - ❖ Longitud total (mm) con un ictiometro de 100 cm.
 - ❖ Peso (gr.) con una balanza de 2.5 Kg. Y 0.1 g de sensibilidad..
2. Mediciones del Hábitat a través del dispositivo portátil reportado anteriormente.
 - ❖ Conductividad eléctrica (mS/cm)
 - ❖ Profundidad (cm) con regletas colocadas en RHUP (2) y RHDO (2).
 - ❖ Oxígeno disuelto (mg/L)
 - ❖ pH
 - ❖ Temperatura (°C)
 - ❖ Registros en de los medidores de nivel en RHUP y RHDO
3. Mediciones de la cobertura vegetal. Se utilizaron son los sitios de muestreo, en donde se hace una caracterización a groso modo por medio de porcentajes de cada especie vegetal encontrada.

4.4 CAPTURA DE DATOS Y PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO

Todos los datos de campo se colectaron electrónicamente en hojas Excel (los listados de datos se presentan en el Anexo 1 después se exportaron a MS ACCESS para utilizarlos en diferentes software estadísticos, Arc View versión 3.2 y JMP IN (SAS Institute). Versión 3.2.6. Aplique regresiones para ver las relaciones entre los atributos de índices icticos y el ANOVA para comparar las diferencias entre las zonas y las visitas.

Para evaluar la composición íctica entre las diferentes zonas (RHUP, RHDO y DREN), use el análisis de correspondencia canonical (CCA), con CANOCO 4.53 (Ter Braak y Smilauer, 2002). Este tipo de análisis estadístico está basado en análisis de regresión en espacios multivariados, en donde se incorpora la respuesta de las variables fisicoquímicas para explicar la composición íctica por los parámetros fisicoquímicos (Leps y Smilauer, 2003).

Para comparar las comunidades de peces entre sitios, se uso el índice Jaccard, como indicador cualitativo de la similitud entre los grupos; y el índice Morisita-Horn, se utilizó como indicador cuantitativo de la similitud entre grupos. El Software que se utilizó para los índices comparativos entre sitios fue el EstimateS 7.5 (Collwell, 2005)

Para la estandarización de datos en biomasa de especies se utilizó el esfuerzo realizado expresado en CPUE (captura por unidad de esfuerzo) en donde toma valores de horas/red y biomasa por sitio (kg)

5. RESULTADOS

5.1 VARIABLES FISICOQUIMICAS

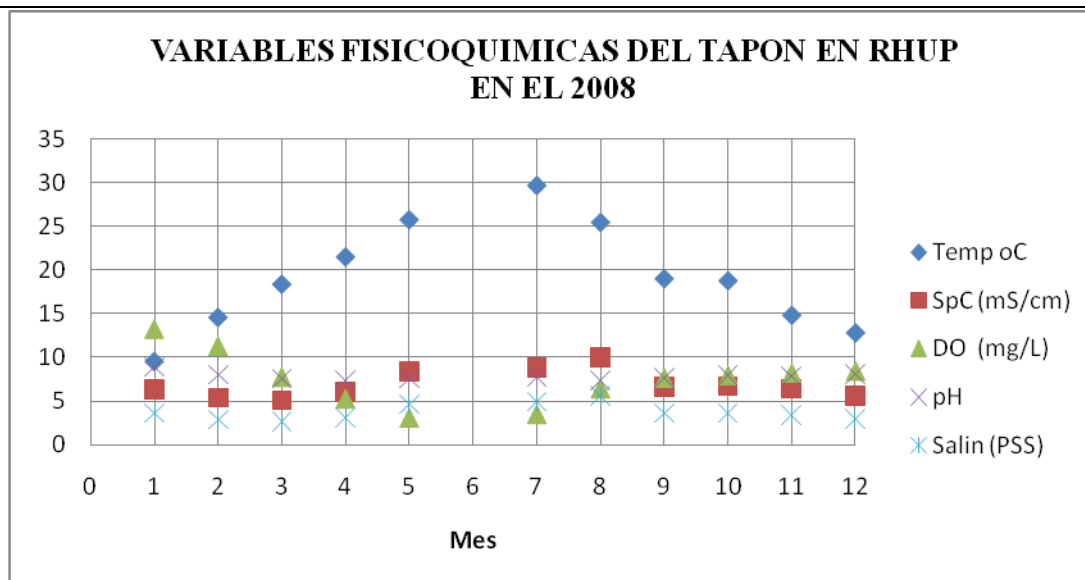
5.1.1 Mediciones Sistemáticas Mensuales

En la Tabla 4 se muestra las variables fisicoquímicas en los monitoreos mensuales en el área de El Tapón en el Rio Hardy a lo largo de 12 meses; en donde hubo cierta tendencia a ser diferente en los valores de OD y OD% propios de los cambios en el tiempo en relación con la Temperatura. (Ver Tabla 7) y también se muestra un grafico de las variables fisicoquímicas por mes siguiendo la misma secuencia numérica por mes de la tabla 7, en donde se observa la relación de la temperatura con el oxígeno disuelto; a mayor temperatura menor OD, así como también se observa mayores niveles de conductividad eléctrica en los meses de verano particularmente en los meses de julio y agosto. (Ver tabla 7-A)

TABLA 7. En la Zona conocida como el tapón en el Rio Hardy se tomó mediciones de las variables fisicoquímicas. La visita 1 corresponde al mes de Enero y así sucesivamente. El mes de Julio no fue muestreado por mantenimiento del equipo.

						DO% (fijado al 110%)	
VISITA	Temp oC	SpC (mS/cm)	DO (mg/L)	pH	Salin (PSS)		FECHA
1	9.54	6.34	13.2	8.89	3.6	106.6	23-ene-08
2	14.56	5.38	11.26	8.03	2.86	99.8	20-feb-08
3	18.34	5.07	7.74	7.59	2.7	40.8	23-mar-08
4	21.45	6.06	5.26	7.35	3.11	38.9	20-abr-08
5	25.69	8.42	3.08	7.56	4.67	29	19-may-08
6	no dato	no dato	no dato	no dato	no dato	no dato	18-jun-08
7	29.59	8.85	3.5	7.79	4.95	33	18-jul-08
8	25.38	9.96	6.4	7.35	5.6	86.7	15-ago-08
9	18.97	6.65	7.62	7.61	3.61	98.2	15-sep-08
10	18.74	6.69	7.93	7.97	3.63	86	27-oct-08
11	14.81	6.39	8.19	7.87	3.42	89.9	24-nov-08
12	12.81	5.57	8.41	8.09	2.97	89.9	10-dic-08

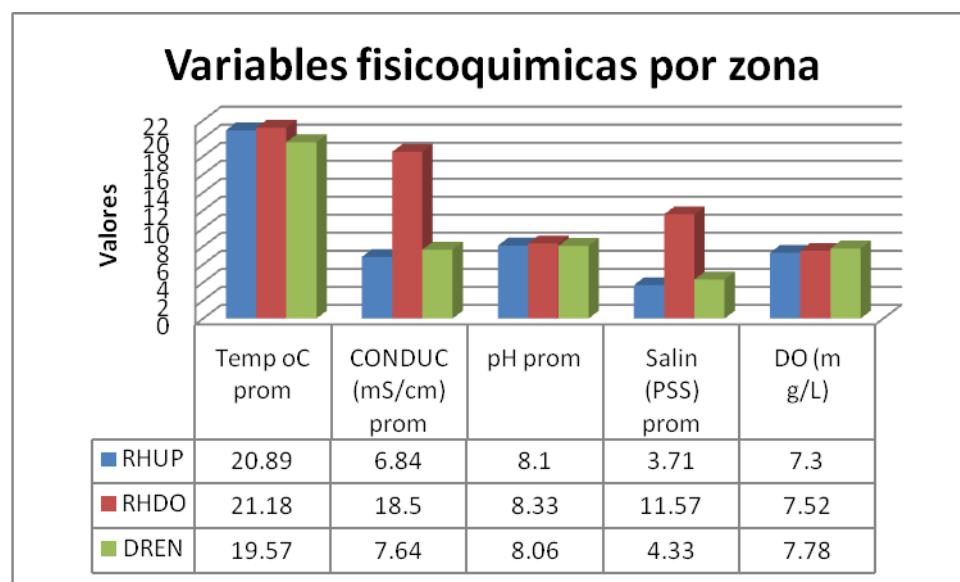
TABLA 7-A. Se presenta el grafico de las variables fisicoquímicas en el sitio el tapón en el RHUP, como parte del monitoreo sistemático mensual en el 2008. En la visita 6 correspondiente a junio no se registro ningún dato por el mantenimiento del equipo.



5.1.2 Mediciones Sistemáticas Estacionales

Las variables fisicoquímicas través de cada zona de muestreo reflejo que la zona del Rio Hardy aguas arriba y el dren son muy similares y difiere de la zona del Rio Hardy aguas abajo principalmente por la salinidad. (Figura 6).

FIGURA 6. Se muestra los valores en promedio de las variables fisicoquímicas por zona.



Aunque existen diferencias significativas en cuanto a temperatura promedio de las vistas por zona con un r^2 de 0.435 y $p < .0001$ del DREN con menores registros de temperatura promedio que RHUP y RHDO.

En cuanto a conductividad eléctrica (SpC (mS/cm) con una r^2 de 0.165 y $p = 0.0320$ el RHDO presento los mayores niveles de salinidad, con promedio de 18.379 y el DREN con 8.022 y por último el RHUP con 6.681.

En el caso del pH también hubo diferencias significativas con una r^2 de 0.236 y $p = 0.0059$ el RHUP presento los valores más altos, con una media de 7.9830, seguidos del DREN con 7.982 y el RHDO con 8.305.

En relación a la disposición de Oxígeno OD en porcentaje no hubo diferencias significativas y con ciertas tendencias a tener mejor cantidad de Oxígeno en RHDO con una media de 87.8136 después el DREN 86.0643 y el RHUP con 80.5507.

En cuanto a cada visita por zona, también se observaron diferencias entre cada visita, en el caso de la temperatura en la visita 2 (mayo-junio) se observaron diferencias significativas (r^2 de 0.2818 y una $p = 0.0216$) con temperatura más bajas en la zona del DREN con una media de 23.02° C, seguidas de RHUP con una media de 23.95°C y temperaturas más altas en RHDO con una media de 24.59°C. En la visita 4 (Octubre-Diciembre) también hubieron cambios significativos por zona, (r^2 de 0.44086 y $p = 0.001$) en donde la zona del DREN presento la temperatura media más baja de 18.02 °C, siguiendo el RHUP con temperatura media de 19.4540 y el RHDO con temperatura media de 20.0345 °C.

En relación a la conductividad eléctrica (SpC (mS/cm) en todas las visitas RHDO siempre fue el valor más grande con una media de 16.66 para la visita 1 (marzo-abril), el DREN con una media de 7.03 y RHUP con 5.69; (r^2 de 0.1428 y $p = 0.0535$). En la visita 2 (mayo-junio) el RHDO registro los valores más altos, con una media de 20, seguidos de RHUP con una media de 8.61 y el DREN con una media de 7.46 (r^2 de 0.2028 y $p = 0.0135$). La misma tendencia ocurrió en la visita 4 (Octubre-Diciembre) (r^2 de 0.1582 y $p = 0.0379$) en el RHDO,

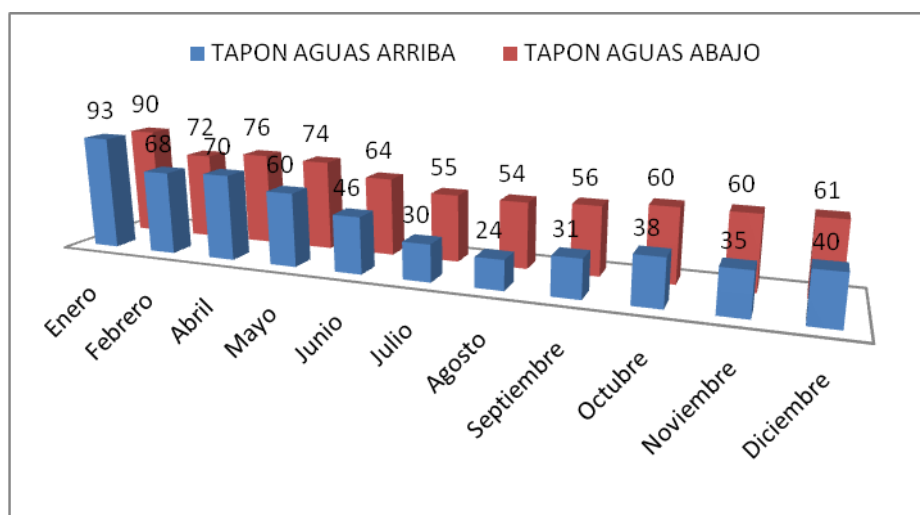
con una media de 18.01, siguiéndole el DREN con una media de 8.79 y para RHUP una media de 6.21.

En los valores de pH se encontraron diferencias significativas para la visita 2 (mayo-junio) con una r^2 de 0.3201 y una $p=0.0007$ ya que la zona del DREN tuvo mayores niveles de pH, con una media de de 8.38, mientras que el RHUP presento 8.55 y el RHDO obtuvo 8.60 y en la visita 4 (Octubre-Diciembre) con una r^2 de 0.3543 y $p=0.0002$ los valores cambiaron significativamente para el RHUP con una media de 7.55 para el DREN con una media de 7.72 y el RHDO con una media de 8.20.

En el caso del OD% en las zonas hubieron cambios significativos en la visita 4(Octubre-Diciembre) (r^2 de 0.2739 y $p=0.0023$) con los valores más grandes en porcentaje se presento en el DREN, teniendo una media de 108.25%, después el RHDO con 105.48% y por último RHUP con una media de 80.98%.

5.2 CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

FIGURA. 7 se presenta los promedios en los niveles de agua por cada visita a las zonas muestreadas. Se hicieron a través de regletas localizadas arriba del tapón y abajo del tapón, en el Rio Hardy, Así como también se presenta un comparativo en los promedios del nivel de agua en cm. en cada visita por cada zona implicada (RHDO-RHUP)



En la figura 8, se presenta los niveles en promedio del agua en cm del Tapón aguas arriba (RHUP) y el Tapón aguas abajo (RHDO) como en las zonas donde se colocaron regletas.

Registrando los niveles más bajos durante el verano en los meses de julio, agosto y septiembre. Los niveles de agua más altos del RHUP para el 2008 coincidieron con las avenidas del flujo de agua provenientes de la PTAR las Arenitas y con la influencia del ciclo agrícola (Marzo-Junio), para el RHDO los niveles de agua se comportaron con un incremento por las causas anteriores y así como también el influjo de las mareas.

5.2.1 Comparación entre Nivel de Agua y Abundancia de Peces.

En los siguientes gráficos se presenta una comparación entre los niveles promedio del nivel de agua en las regletas localizadas arriba y abajo del Tapón, para la visita estacional, la abundancia fue la suma del número de individuos en las zonas RHUP y RHDO y no se tomo en cuenta el DREN.

FIGURA 8. Se presenta un grafico con la relación abundancia de especies monitoreadas y promedio del nivel de agua en la zona del Tapón. La zona de influencia del tapón en Invierno es menos frecuentada por la ictiofauna. Los valores de mayor número de individuos fueron precisamente en los meses de primavera

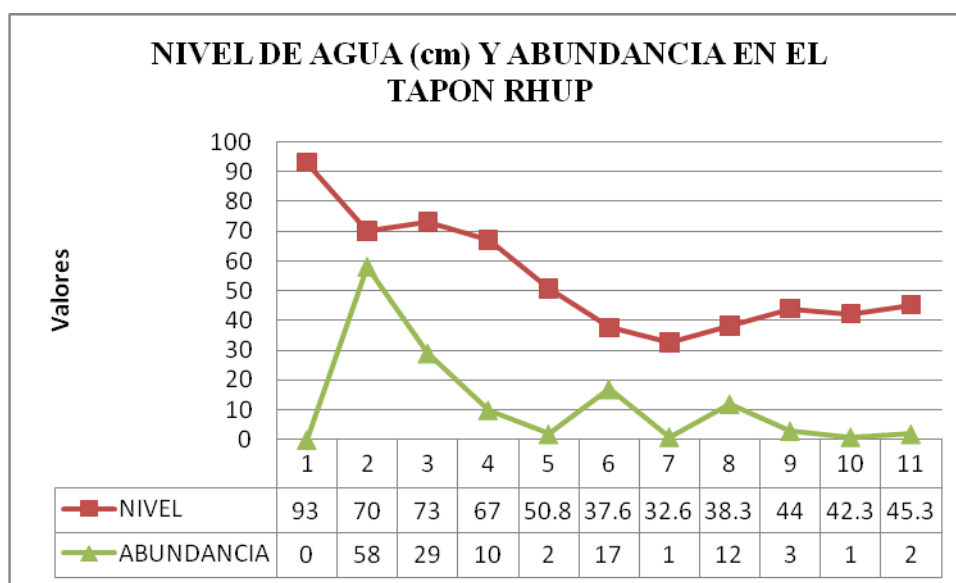
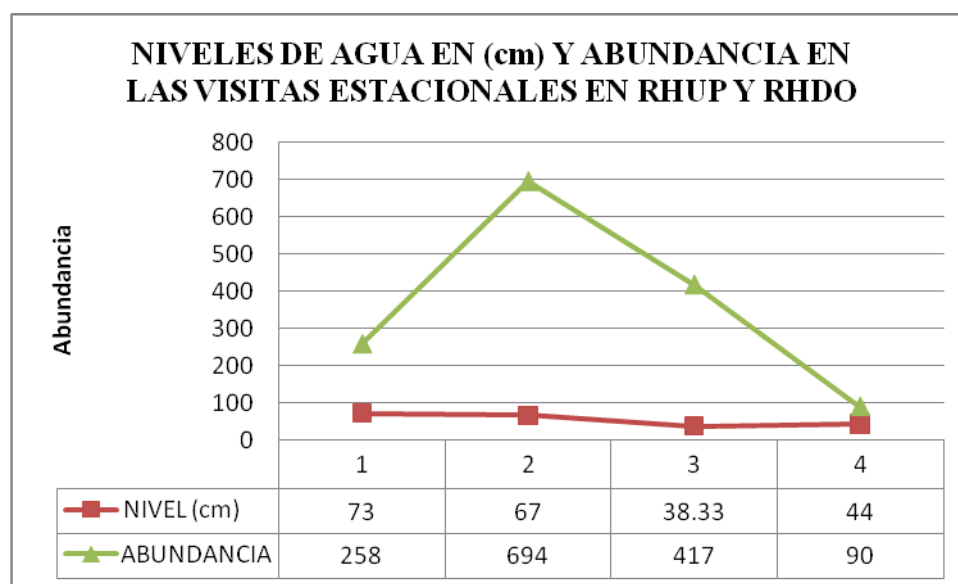


FIGURA 9. Se muestra la relación entre la visita que se represento por el promedio de nivel de agua de las sitios rio arriba del tapón (RHUP) y rio abajo del tapón (RHDO) con respecto a la abundancia en las salidas estacionales (4). La visita 1 (marzo y abril), la visita 2 (mayo y junio) la 3 (julio) y 4 (octubre y diciembre).



La comparación se hace en números totales de organismos para cada visita sumando el número de individuos capturados por cada sitio en dos zonas: (RHUP) RH aguas arriba y (RHDO), RH aguas abajo. Los promedios fueron obtenidos de las regletas localizadas en “Ecocampo” (RHUP3-RHUP4), RHUP1, RHDO1 y RHDO8.

Para el monitoreo estacional, como se muestra en la figura 9, se representa en el eje de la x el nivel de agua en promedio de cada visita. Con un mayor número de especies en visita 1 (marzo-abril) y la visita 2 (mayo-junio) con 698 organismos y en la visita 3 (julio) con 241 organismos y en la visita 4 (octubre y diciembre) con solo 48 organismos.

5.2.2 Variación Anual de la Profundidad del Espejo de Agua.

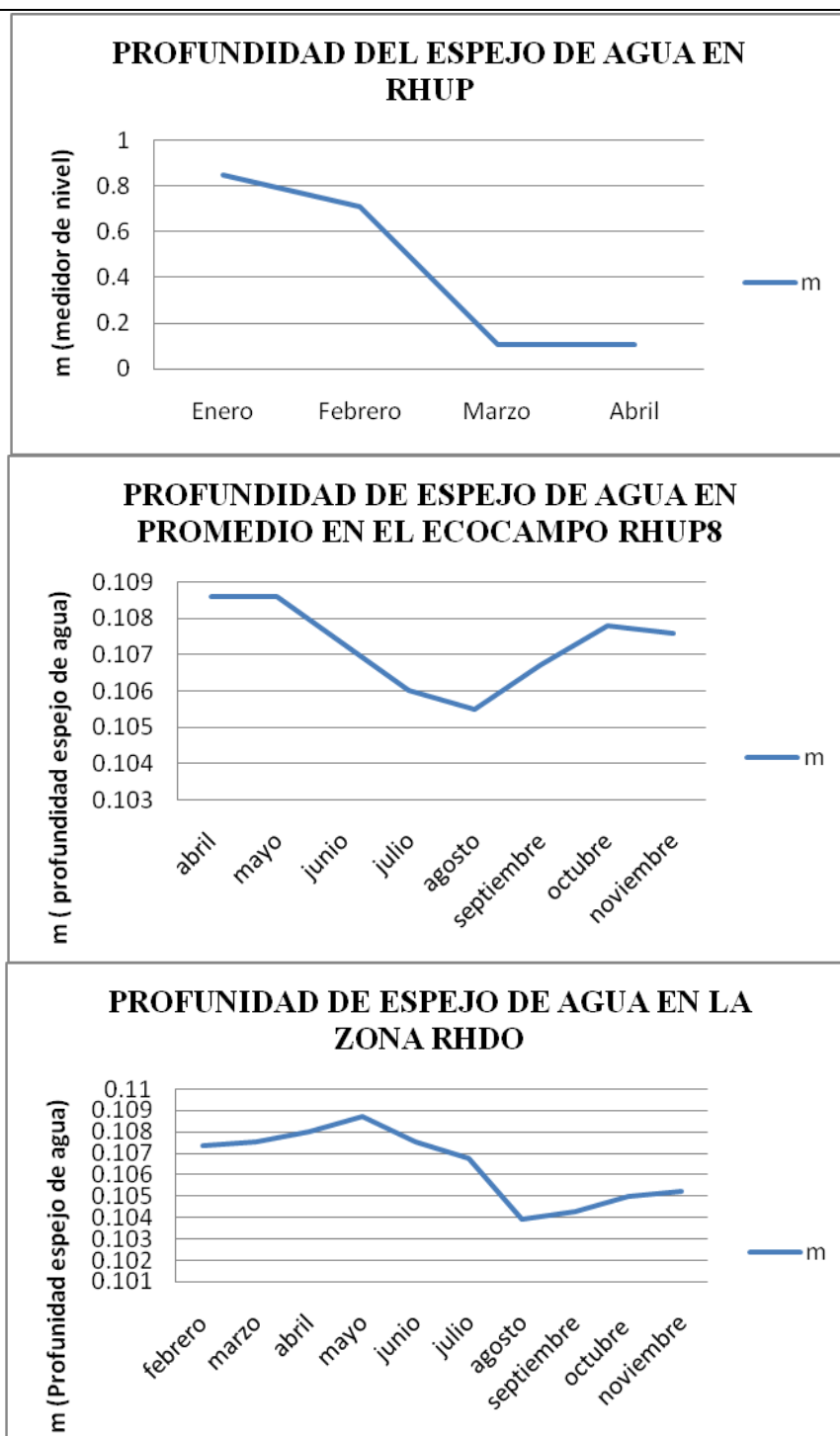
Los sensores de nivel se colocaron arriba y abajo del rio Hardy, el primero se colocó en RHUP1 arriba del Tapón desde enero hasta abril, después se colocó en la zona de influencia RHUP3-RHUP4 en el sitio de restauración conocido como el “Ecocampo” desde Abril a Noviembre y en la zona de Rio Hardy aguas abajo en la zona de Influencia de RHDO1 desde Febrero a Noviembre.

Las mediciones de cada cambio en el nivel de agua en los sitios donde se colocaron los sensores se registraron a cada 10 minutos, aunque se hizo un promedio por mes para ver los cambios en el nivel de agua en PSI que es una unidad de presión que equivale a una libra por pulgada cuadrada, cuyo 0 es la presión ambiente equivalente a 1 atmosfera es decir 15 PSI.

En el caso de RHUP los valores más altos en PSI fueron en los meses de Enero-Febrero con 120.26 PSI (0.8448 m) y 101.029 PSI (0.7103 m) respectivamente, siendo Abril el mes más bajo en PSI con 15.389 (0.1081 m) y en Marzo fue de 15.459 PSI (0.1086 m). Para el “Ecocampo” los meses de abril y mayo fueron los meses de mayor nivel de agua para la zona con 15.454 PSI (0.1086 m) en promedio y el mes de menor nivel fue en agosto con 15.007 PSI (0.1055 m).

Para el RHDO los niveles más altos en promedio PSI fue mayo con 15.46 PSI (0.1086 m), abril con 15.361 PSI (0.107 m) y marzo con 15.298 PSI (0.1075 m) y los meses con menor nivel fue agosto con 14.77 PSI (0.1039 m) y Septiembre con 14.83 PSI (0.104 m). (Ver Figura 10)

FIGURA 10. Profundidades de espejo de agua en m por mes en promedio por cada sitio muestreado, RH aguas arriba RHUP1 y zona de influencia Ecocampo (RHUP3-RHUP4) y RHDO1 correspondiente aguas abajo del Tapón

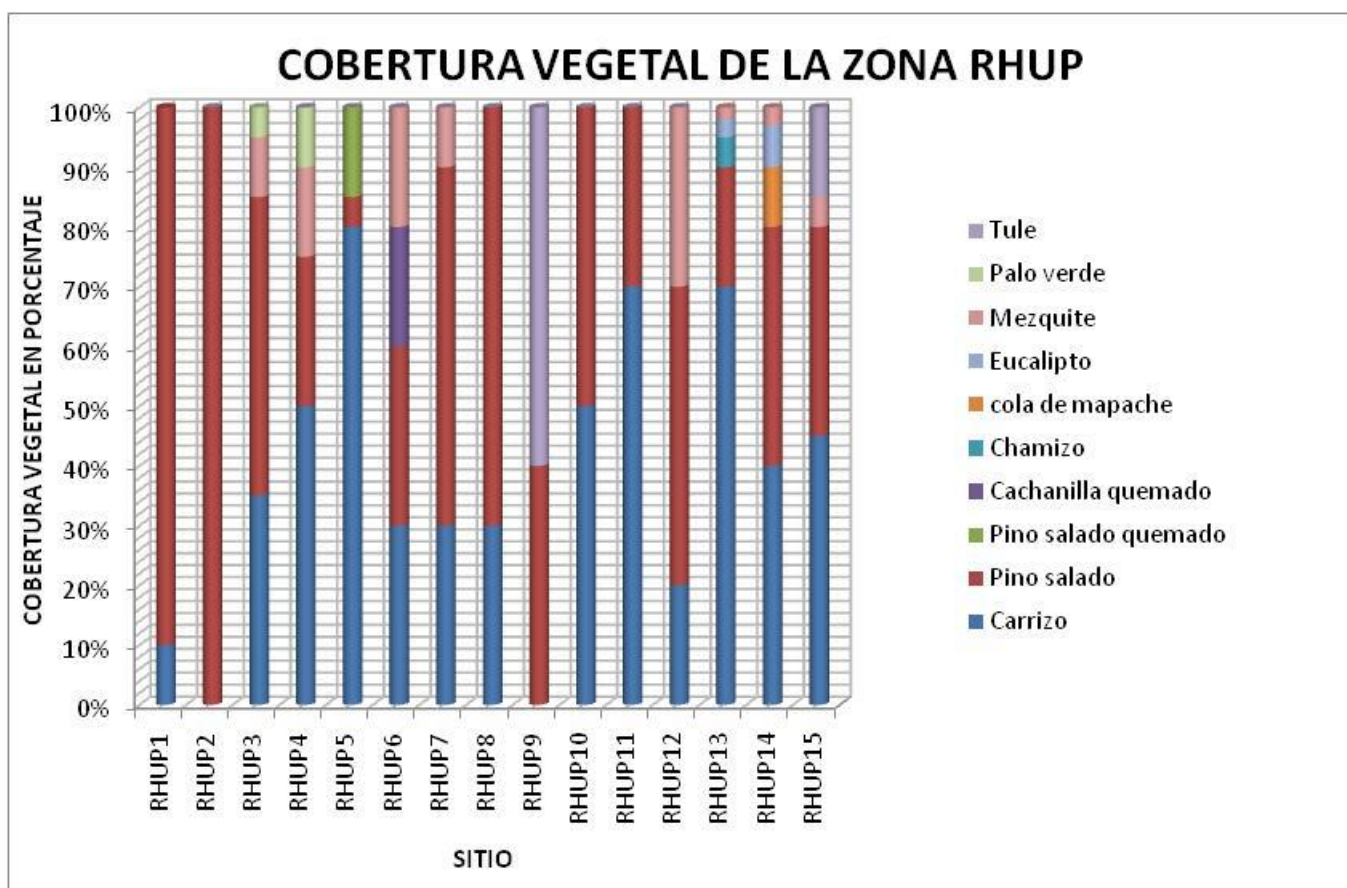


5.3 CARACTERISTICAS DEL HABITAT

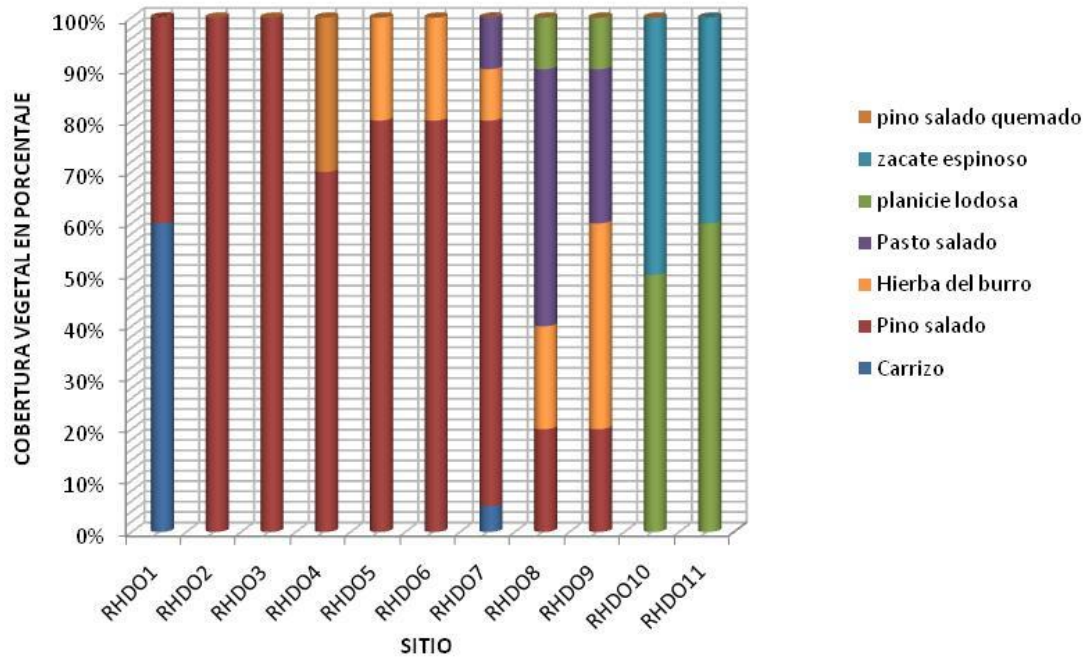
5.3.1 Cobertura Vegetal

En cada sitio se hizo una estimación en porcentaje de la cobertura vegetal, como se muestra en la figura 11. Las claves de los sitios RHUP corresponden a la Zona Río arriba del tapón, RHDO corresponde a la Zona Río abajo del Tapón y D corresponde a la Zona dren Ayala y su confluencia.

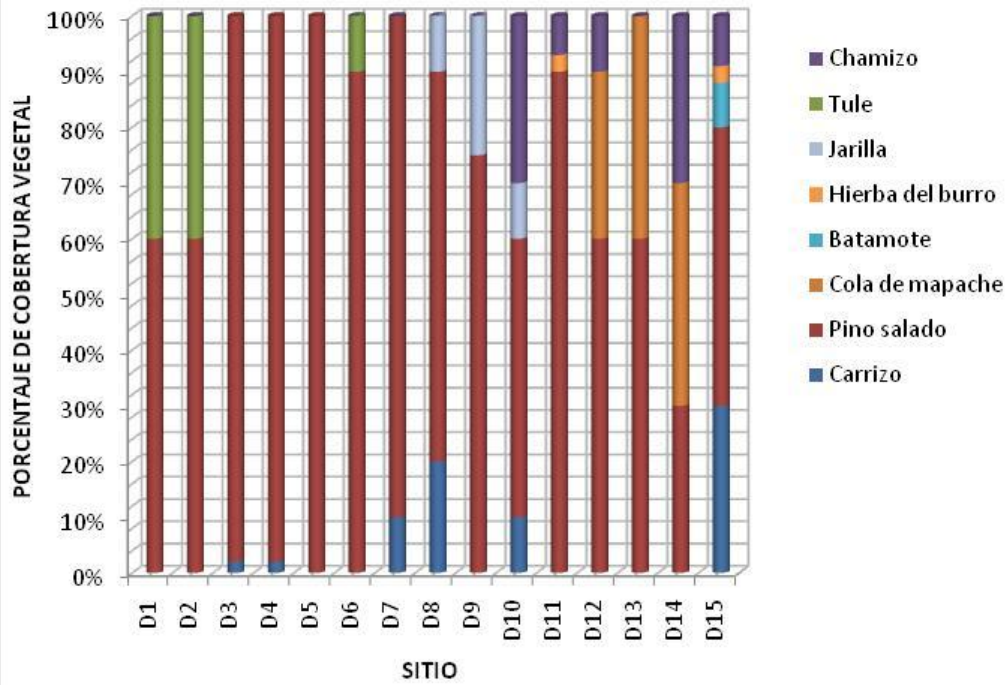
FIGURA 11. Gráficos de la Cobertura Vegetal en porcentaje en cada sitio de monitoreo sistemático estacional en RHUP, RHDO y DREN en el 2008



COBERTURA VEGETAL DE LA ZONA RHDO



COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA DREN



5.4 ICTIOFAUNA

En total en los monitoreos mensuales y estacionales se capturaron 1602 organismos y una biomasa total en kg de 351.6193; en 17 especies y 11 familias, de las cuales 5 fueron especies nativas y 12 especies exóticos.

En donde la mayor especie reportada fue la lisa (*Mugil cephalus*) con 814 individuos distribuidos en las tres zonas RHUP, RHDO y DREN, la menor cantidad de peces que se capturaron en los monitoreos sistemáticos estacionales, fueron los correspondientes a un solo organismo de bagre blanco (*Ictalurus catus*) y un (*Pomoxis nigromaculatus*) capturados en la zona del DREN y un solo individuo de *Anchoa Walkerii* capturado en RHDO. (Ver tabla 8)

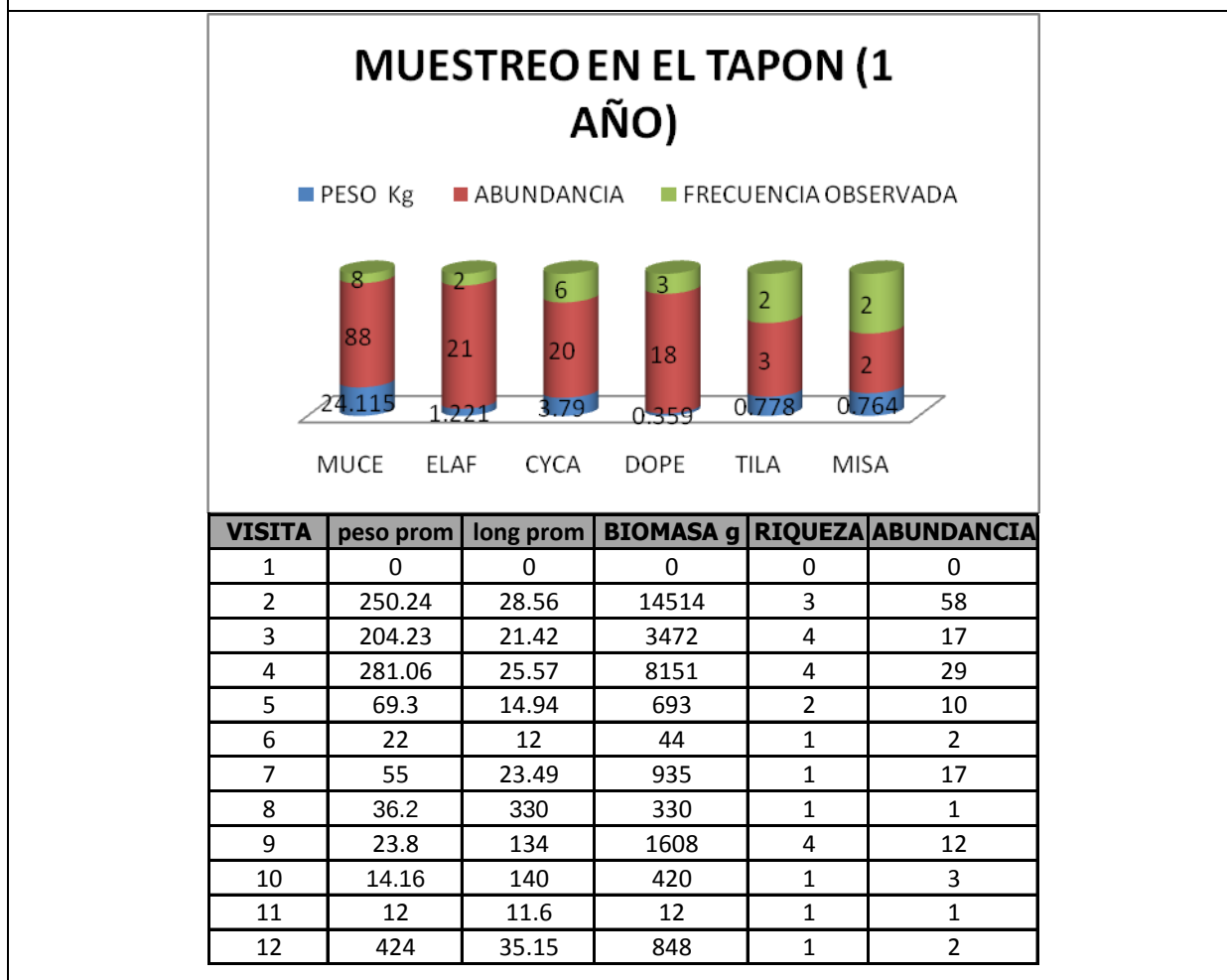
TABLA 8.Total de abundancia, dominancia relativa y acumulativa, origen de las especies incluyendo todos los individuos colectados en los monitoreos mensuales y estacionales.

CODIGO	ESPECIE	FAMILIA	ORDEN	ABUNDANCIA	DOMINANCIA RELATIVA	DOMINANCIA ACUMULATIVA	ORIGEN
MUCE	<i>Mugil cephalus</i>	Mugilidae	Mugiliformes	814	50.81148564	50.81148564	NATIVO
CYCA	<i>Cyprinus carpio</i>	Cyprinidae	Cypriniformes	251	15.66791511	66.47940075	EXOTICO
CYLU	<i>Cyprinella lutrensis</i>	Cyprinidae	Cypriniformes	160	9.987515605	76.46691635	EXOTICO
ELAF	<i>Elops affinis</i>	Elopidae	Elopiiformes	101	6.304619226	82.77153558	NATIVO
GAAF	<i>Gambusia affinis</i>	Poeciliidae	Cyprinodontiformes	93	5.805243446	88.57677902	EXOTICO
CYGO	<i>Cynoscion golfina</i>	Sciaenidae	Perciformes	37	2.309612984	90.88639201	NATIVO
TILA	<i>Tilapia</i>	Cichlidae	Perciformes	31	1.935081149	92.82147316	EXOTICO
GIME	<i>Gillichthys mirabilis</i>	Gobiidae	Perciformes	29	1.810237203	94.63171036	NATIVO
POLA	<i>Poecilia latipinna</i>	Poeciliidae	Cyprinodontiformes	26	1.622971286	96.25468164	EXOTICO
MISA	<i>Micropterus salmoides</i>	Centrarchidae	Perciformes	21	1.310861423	97.56554307	EXOTICO
DOPE	<i>Dorosoma petenense</i>	Clupeidae	Clupeiformes	20	1.248439451	98.81398252	EXOTICO
LEMA	<i>Lepomis macrochirus</i>	Centrarchidae	Perciformes	9	0.561797753	99.37578027	EXOTICO
LECY	<i>Lepomis cyanellus</i>	Centrarchidae	Perciformes	4	0.24968789	99.62546816	EXOTICO
POAN	<i>Pomoxis annularis</i>	Centrarchidae	Perciformes	3	0.187265918	99.81273408	EXOTICO
ICCA	<i>Ictalurus catus</i>	Ictaluridae	Siluriformes	1	0.062421973	99.87515605	EXOTICO
PONI	<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	Centrarchidae	Perciformes	1	0.062421973	99.93757802	EXOTICO
ANWA	<i>Anchoa Walkerii</i>	Engraulidae	Clupeiformes	1	0.062421973	100	NATIVO

5.4.1 Muestreo mensual de peces en el RHUP.

El muestreo mensual se llevo a cabo durante 12 meses, con un total de 36 horas de esfuerzo con 152 organismos con un total de 31.027 Kg de biomasa. La especie más abundante durante todos los muestreo fue la lisa (*Mugil cephalus*) con 88 individuos capturados, seguido del machete (*Elops affinis*) con 21 individuos, la carpa (*Cyprinus carpio*) con 20 individuos, la sardina maya (*Dorosoma petenense*) con 18 organismos, la Tilapia (*Tilapia*, sp.) con 3 individuos y por último la lobina (*Micropterus salmoides*) con 2 organismos durante todo el año de muestreo en cada mes de marea alta. (Ver Figura 12)

FIGURA 12. Se muestran las especies encontradas en el tapón RHUP1 para cada mes, con sus valores en frecuencia es decir el número de veces que la especie fue encontrada durante las 12 visitas, la abundancia y peso en kg, así como también los valores promedio en longitud y peso, la biomasa total y la riqueza por visita. Empezando desde enero hasta diciembre del 2008.



Las especies más frecuentadas en el área de influencia del tapón, son organismos tolerantes a los distintos cambios de las variables fisicoquímicas, aunque fue frecuentada en ciertos meses por la lobina (*Micropterus salmoides*) obedeciendo a ciertos rangos compartidos en temperatura (14.56°C en Febrero y 18.97°C en Septiembre), conectividad eléctrica (5.38 mS/cm-6.65 mS/cm) y con %OD de 99.8% en febrero y 98.2%.

El caso del machete (*Elops affinis*), las visitas fueron durante los meses de las mareas más altas del año, y generalmente esta especie marina sube río arriba para su crianza, refugio y alimento. Estos meses fueron Julio, Agosto y Septiembre, siendo julio el principal mes de la mayor parte de las detecciones del machete río arriba, con un total de 17 individuos de los 21 capturados. Otra especie estuarina /marina fue la sardina maya (*Dorosoma petenense*), que se capturo principalmente en marzo y abril con 17 individuos y una captura en noviembre.

No hubo diferencias significativas en biomasa, riqueza, o abundancia, ni en relación con las variables fisicoquímicas; pero entre las visitas realizadas hubieron patrones distintos entre cada una de ellas en cuanto a su composición íctica, haciendo la comparación cualitativa (índice Jaccard) y cuantitativo (índice Morisita-Horn), (ver tabla 9). Donde se muestra cada vista y los valores de cada índice suprimiendo el mes de enero (visita 1) porque no hubo capturas. Se observaron las visitas más distintas en los meses correspondientes a abril y agosto con un índice Jaccard de 0.167 y un índice Morisita-Horn de 0.098 con una sola especie compartida. Y los meses más parecidos en cuanto la composición fue la del mes de septiembre y noviembre con un índice de Jaccard de 1 y un índice de Morisita-Horn de 0.98 con las mismas especies encontradas y compartidas.

Demostrando que la zona influenciada del tapón es una zona dinámica y utilizada por 7 familias de peces de las 11 encontradas en las 3 zonas muestreadas, río Hardy aguas arriba, río Hardy aguas abajo y Dren, reforzando con las conclusiones del estudio de la composición de peces en el río Hardy, Hinojosa-Huerta O.2007 que la estructura dique que se construyó con fines restaurativos acentúa las diferencias en el cauce principal del Hardy pero, y que no es el principal factor de diferencia de las características del hábitat y de estructura entre río

Hardy aguas arriba y rio Hardy aguas abajo; sugiriendo que no es una barrera física para el tránsito de las especies icticas y que existen otras vías de conectividad.

TABLA 9.Indice de similitud (índice jaccard/morisita-horn) visitas (12) en el tapón rio Hardy aguas arriba (RHUP)

Primera Muestra	Segunda muestra	Sps. Primera muestra	Sps. Segunda muestra	Sps. Compartidas	Prueba de Jaccard	Prueba deMorisita-Horn
1	2	0	1	0	0	0
1	3	0	4	0	0	0
1	4	0	5	0	0	0
1	5	0	5	0	0	0
1	6	0	3	0	0	0
1	7	0	2	0	0	0
1	8	0	2	0	0	0
1	9	0	2	0	0	0
1	10	0	5	0	0	0
1	11	0	2	0	0	0
1	12	0	2	0	0	0
2	3	1	4	1	0.25	0.036
2	4	1	5	1	0.2	0.229
2	5	1	5	1	0.2	0.185
2	6	1	3	1	0.333	0.452
2	7	1	2	1	0.5	0.923
2	8	1	2	1	0.5	0.368
2	9	1	2	1	0.5	0.986
2	10	1	5	1	0.2	0.67
2	11	1	2	1	0.5	0.935
2	12	1	2	1	0.5	0.992
3	4	4	5	3	0.5	0.568
3	5	4	5	3	0.5	0.737
3	6	4	3	3	0.75	0.14
3	7	4	2	2	0.5	0.045
3	8	4	2	1	0.2	0.014
3	9	4	2	2	0.5	0.16
3	10	4	5	4	0.8	0.347
3	11	4	2	2	0.5	0.319
3	12	4	2	1	0.2	0.036
4	5	5	5	5	1	0.952

4	6	5	3	3	0.6	0.263
4	7	5	2	2	0.4	0.267
4	8	5	2	1	0.167	0.098
4	9	5	2	2	0.4	0.31
4	10	5	5	3	0.429	0.469
4	11	5	2	2	0.4	0.411
4	12	5	2	2	0.4	0.295
5	6	5	3	3	0.6	0.32
5	7	5	2	2	0.4	0.244
5	8	5	2	1	0.167	0.079
5	9	5	2	2	0.4	0.285
5	10	5	5	3	0.429	0.517
5	11	5	2	2	0.4	0.416
5	12	5	2	2	0.4	0.232
6	7	3	2	2	0.667	0.727
6	8	3	2	1	0.25	0.183
6	9	3	2	2	0.667	0.475
6	10	3	5	3	0.6	0.64
6	11	3	2	2	0.667	0.485
6	12	3	2	1	0.25	0.462
7	8	2	2	1	0.333	0.361
7	9	2	2	1	0.333	0.934
7	10	2	5	2	0.4	0.79
7	11	2	2	1	0.333	0.909
7	12	2	2	1	0.333	0.934
8	9	2	2	1	0.333	0.373
8	10	2	5	2	0.4	0.6
8	11	2	2	1	0.333	0.364
8	12	2	2	1	0.333	0.373
9	10	2	5	2	0.4	0.744
9	11	2	2	2	1	0.98
9	12	2	2	1	0.333	0.988
10	11	5	2	2	0.4	0.809
10	12	5	2	1	0.167	0.698
11	12	2	2	1	0.333	0.945

5.4.2 Medición sistemática estacional de peces en el RHUP, RHDO y DREN.

Se capturaron y procesaron un total de 1450 organismos de 17 especies con una biomasa de 320.59 Kg durante las 4 visitas, la primera visita entre los meses de marzo y abril, la visita 2 entre mayo y junio, la visita 3 en julio y la visita 4 en octubre y diciembre; en 41 sitios río Hardy aguas arriba, río Hardy aguas abajo y dren. (Ver tabla 10).

En total se muestrearon 7980 horas red/trampas con un CPUE en biomasa de 0.04021 Kg/h y en abundancia 0.8170 orgs./h. Por zona RHDO obtuvo un CPUE en biomasa de 0.0170 Kg/h y 0.0622 orgs./h, el DREN un CPUE en biomasa de 0.0137 Kg/h y 0.0580 orgs./h y en RHUP un CPUE en biomasa de 0.0093 Kg/h y 0.0614 orgs./h.

TABLA 10. Ictiofauna en las 3 zonas de estudio río Hardy aguas arriba (RHUP), río Hardy aguas abajo (RHDO) y en el Dren, con las abundancias totales.

CODIGO	ESPECIE	FAMILIA	RHUP ABUNDANCIA	RHDO ABUNDANCIA	DREN ABUNDANCIA	TOTAL
MUCE	<i>Mugil cephalus</i>	Mugilidae	179	280	267	726
CYCA	<i>Cyprinus carpio</i>	Cyprinidae	76	63	92	231
CYLU	<i>Cyprinella lutrensis</i>	Cyprinidae	123	3	34	160
GAAF	<i>Gambusia affinis</i>	Poeciliidae	69	7	17	93
ELAF	<i>Elops affinis</i>	Elopidae	2	53	25	80
CYGO	<i>Cynoscion golfina</i>	Sciaenidae	0	37	0	37
GIME	<i>Gillichthys mirabilis</i>	Gobiidae	0	29	0	29
TILA	<i>Tilapia</i>	Cichlidae	27	0	1	28
POLA	<i>Poecilia latipinna</i>	Poeciliidae	2	16	8	26
MISA	<i>Micropterus salmoides</i>	Centrarchidae	4	4	11	19
LEMA	<i>Lepomis macrochirus</i>	Centrarchidae	3	4	2	9
LECY	<i>Lepomis cyanellus</i>	Centrarchidae	4	0	0	4
POAN	<i>Pomoxis annularis</i>	Centrarchidae	1	0	2	3
DOPE	<i>Dorosoma petenense</i>	Clupeidae	0	0	2	2
ICCA	<i>Ictalurus catus</i>	Ictaluridae	0	0	1	1
PONI	<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	Centrarchidae	0	0	1	1
ANWA	<i>Anchoa Walkerii</i>	Engraulidae	0	1	0	1

En general en cuanto a la biomasa por zona, encontramos una diferencia significativa con una r^2 de 0.2752, $p= 0.0022$ $F=7.21$, mayores en RHDO con una media de 3096.976 g, seguidos del DREN con una media de 1830.55 g y por último el RHUP con una media de 1241.55 g.

En cuanto diferencias por visita por zonas, en la visita 1 correspondientes a los meses marzo y abril los cambios fueron significativos en comparación con la visita 2 (mayo-junio), visita 3 (julio) y la visita 4 (octubre y diciembre), en donde la r^2 fue de 0.3092 una $p=0.0009$ y una $F=8.5062$ con una media para RHDO de 4208.73 g, seguido de RHUP con una media 1267.02 g y para el DREN una media de 1079.60 g. Para la visita 2 no hubo diferencias en cuanto a biomasa por zona aunque hubo tendencias a haber más biomasa en el RHDO y DREN.

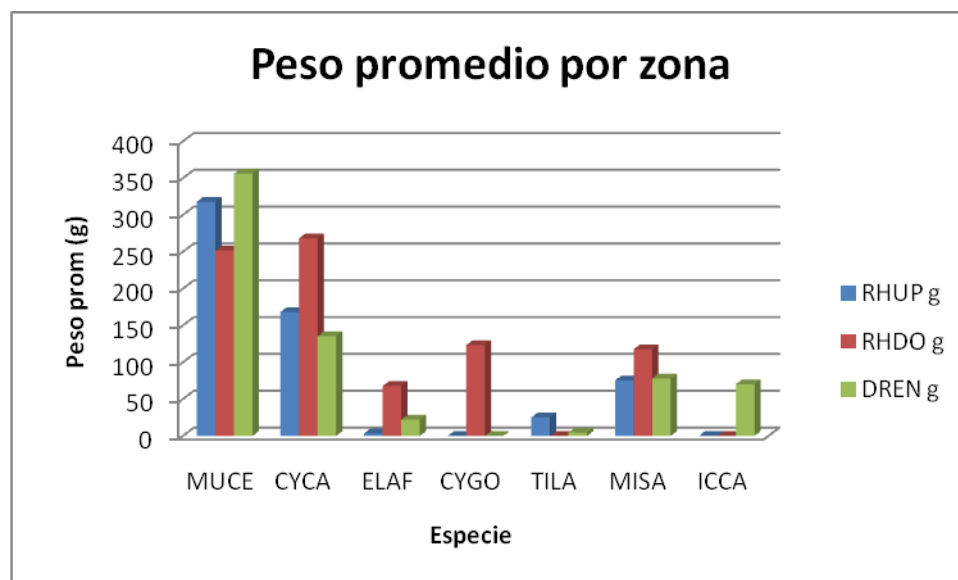
En la vista 3 (julio) no hubo diferencias significativas entre las zonas pero si cierta tendencia a concentrarse la biomasa en RHDO y DREN, inclusive teniendo los valores más grandes en biomasa media por zona y por visita, con 4274.64 g 2427.00 g respectivamente y 1223.00 g en RHUP con una r^2 de 0.1411 y una $p=0.0555$. En la visita 4 (octubre y diciembre), se obtuvieron las menores capturas y no hubieron cambios significativos en las zonas muestreadas, pero si cierta tendencia a ser mayores en el DREN con una media de 648.93 g, seguidos del RHUP con una media de 564.180 g y por último en RHDO con una media de 116.00 g

Los pesos promedios por especie por zona en todas las visitas, hubieron algunas diferencias marcadas para algunas especies (ver Figura 13), en el caso de *Cyprinella lutrensis* los individuos fueron mayores en peso promedio en RHUP con una media de 1.186, en el DREN con una media de 0.5493 g y en el RHDO con una media de 0.060 g con una r^2 de 0.1939, $F=4.57$ y $p=0.166$.

En el caso de *Elops affinis* los registros de mayor peso promedio fue para RHDO con una media de 67.78 g seguidos del DREN con una media de 22.10 g y por ultimo RHUP con una media de 3.46 g. con una r^2 de 0.4367, $F=14.73$ y $p< 0.0001$. Los individuos de *Gambusia affinis* se encontraron de mayor peso promedio en RHUP con una media de 0.5286 g a

diferencia del DREN y RHDO con una media de 0.009 g, con una r^2 de 0.147, $F=3.29$ y $p=0.0480$.

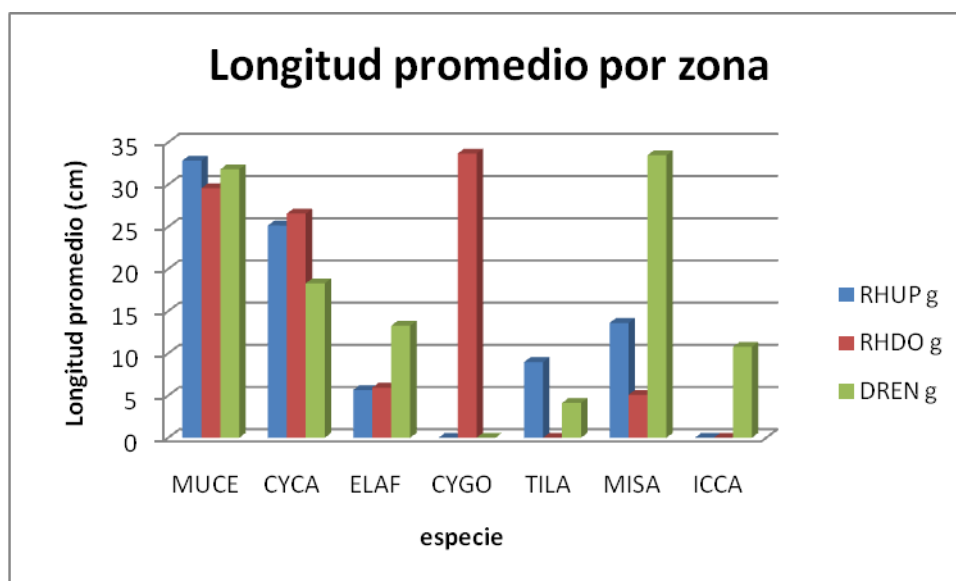
FIGURA 13. Peso promedio en g por especie por cada zona



En relación a la longitud de los individuos por visita en cada zona muestreada (ver Figura 14), en la visita 1 (marzo-abril) no hubieron diferencias significativas pero si ciertas tendencias a encontrar especies de mayor tamaño en el RHDO con una media de 24.25 cm, seguidos del DREN con una media de 18.04 cm y por último RHUP con una media de 17.04 cm.

En la visita 2 (mayo-junio) siguió el mismo patrón concentrándose las especies de mas tamaño en RHDO con una media de 22.72 cm, seguido del DREN con una media de 22.07 cm y en RHUP con una media de 13.98 cm. En la visita 3 (julio) se presento el mismo patrón de las visitas anteriores para el RHDO una media de 21.97 cm, para el DREN una media de 19.78 cm y en el RHUP una media de 13.30 cm. En la visita 4 (Octubre-Diciembre) tiende a hacer diferente entre las otras visitas, aunque no fueron significativos, para el RHUP con una media 15.24 cm, seguido de DREN con una media de 13.64 cm y 3.44 cm para RHDO.

FIGURA 14. Longitud promedio por especie en las zonas muestreadas



En el Río Hardy aguas arriba (RHUP-15 puntos de monitoreo) se capturaron 490 organismos de 11 especies con una biomasa de 74.92 kg en las 4 visitas, en Río Hardy aguas abajo (RHDO-11 puntos de monitoreo) se capturaron 497 organismo de 11 especies diferentes con una biomasa de 136.26 Kg, para el dren (DREN-15 puntos de monitoreo) se procesaron 463 organismos de 13 especies con una biomasa de 109.85 kg. (Ver Figura 15) en el cual se puede observar por punto monitoreado en cada zona el número de especies registradas y la abundancia en el total de las visitas.

En términos de abundancia y riqueza de especies, no hubieron diferencias significativas en cuanto abundancia promedio en las zonas estudiadas, aunque se mostro una tendencia a haber más organismos promedio en RHDO con una media de 11.29 individuos, seguido de RHUP con una media 8.16 organismos y el DREN con 7.71 organismos.

Si hubieron diferencias significativas para cada visita, en la visita 1 (marzo-abril) la mayor cantidad de organismos fue para el RHDO con una media de 12.54 organismos seguido de

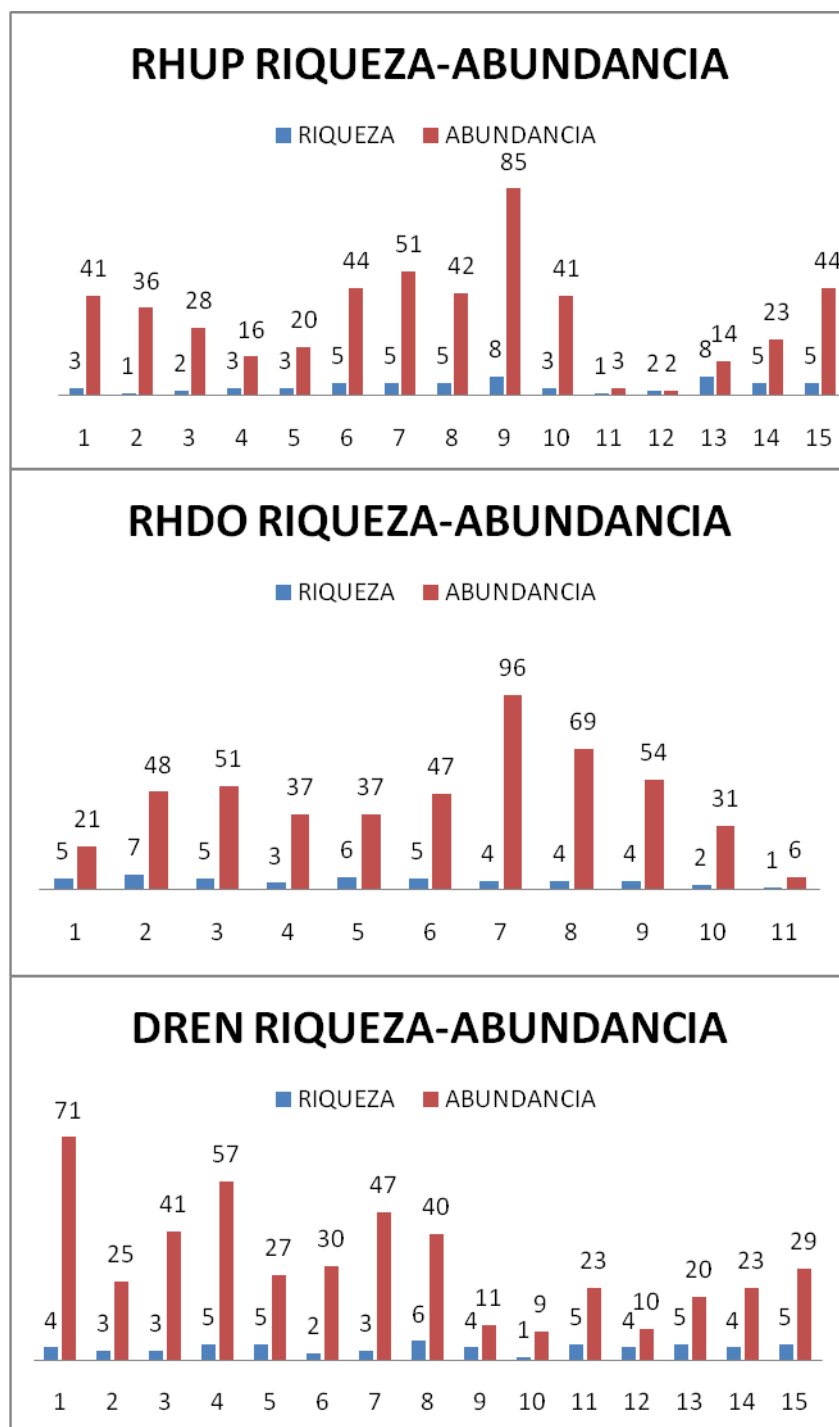
RHUP con una media de 4.66 organismos y por último DREN con una media de 4.06 organismos, con una r^2 de 0.2815, $F=7.44$ y $p=0.0019$.

En el caso de la visita 2 (mayo-junio) hubieron mas peces pero sin tener diferencia significativa en RHUP con una media de 20.33 organismos, después RHDO con una media de 16.00 organismos y el DREN con una media de 14.86 organismos, para la visita 3 (julio) si hubieron diferencias significativas en las zonas muestreadas con una r^2 de 0.2096, $F=5.03$ y $p= 0.0114$, teniendo RHDO el mayor numero de organismos con una media de 16.09 individuos, seguido del DREN con una media de 9.73 organismos y el RHUP con una media de 4.26 organismos.

En la visita 4 (octubre-diciembre) no hubieron diferencias significativas con cierta tendencia a haber más organismos en RHUP con una media de 2.80 individuos seguido del DREN con una media de 2.20 organismos y por último el RHDO con 0.54 organismos.

En cuanto a la riqueza de especies en las zonas monitoreadas, no hubo diferencias significativas en relación a las visitas pero cierta tendencia a ser más visitada por diferentes especies en el RHDO con una media de 4.18 seguido del DREN Y RHUP con una media de 3.93 especies; en general se encontraron 13 especies en el DREN y 11 especies en RHUP y RHDO.

FIGURA 15. Riqueza y abundancia de RHUP, RHDO Y DREN con todos sus puntos de muestreo en las 4 visitas.



Se hizo un comparativo en cuestión de los meses húmedos (visita 1 y 4) y los meses de estiaje (visita 2 y 3) con respecto a la biomasa y abundancia (Ver Figura 16).

La biomasa en los meses húmedos tuvo una diferencia significativa en relación a las zonas muestreadas en donde RHDO se obtuvo una media de 8.086 kg el DREN con una media de 4.246 kg y RHUP con una media de 3.179 Kg con una r^2 de 0.284315, $F=7.5480$ y $p=0.0017$.

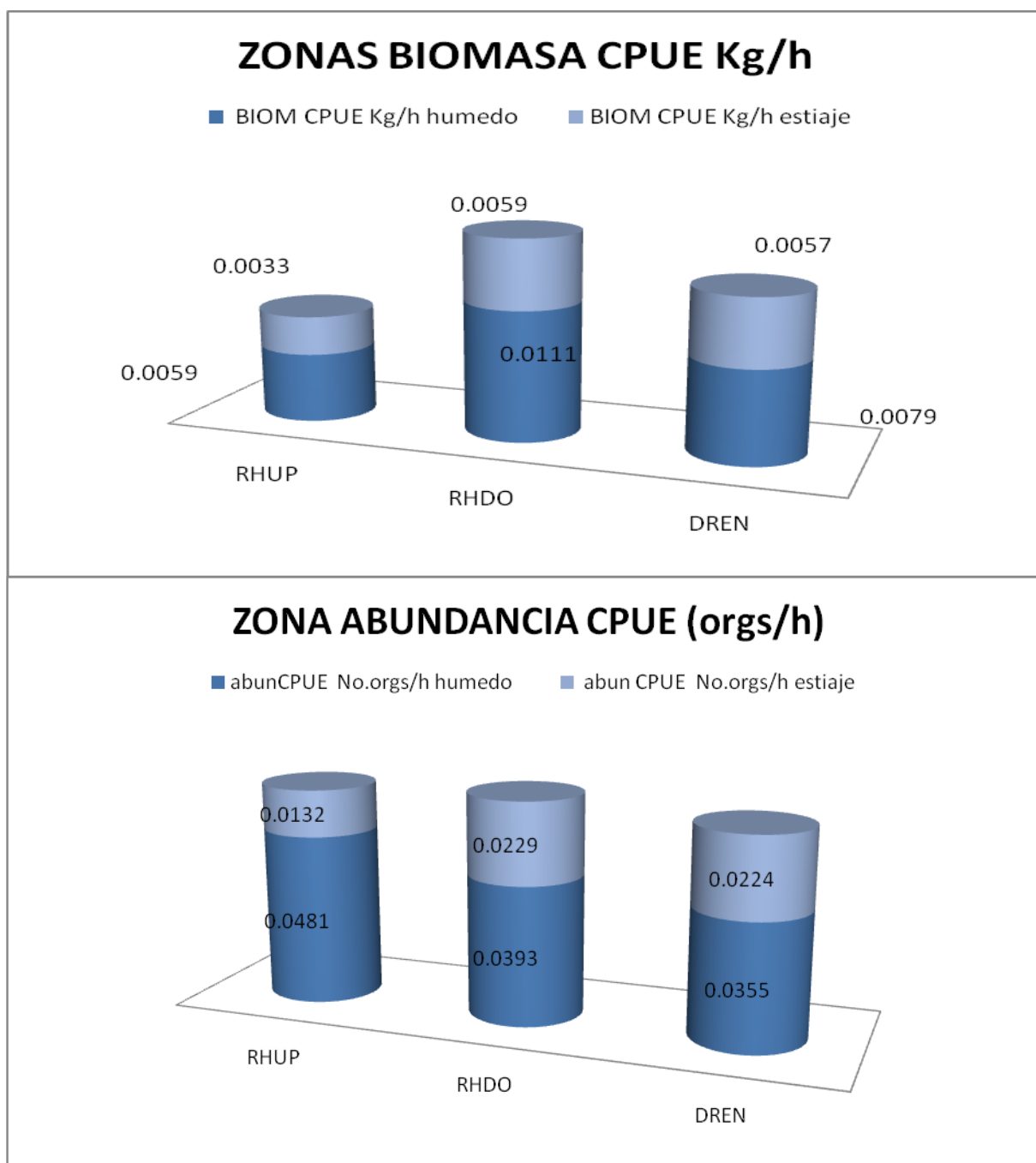
Para los meses de estiaje, en la biomasa tendió a ser mayor en el RHDO con una media de 4.301 kg, seguido del DREN con una media de 3.0759 kg y por último el RHUP con una media de 1.787 kg.

En cuanto a la abundancia en los meses húmedos y de estiaje no hubo diferencias significativas pero si mostraron cierta tendencia a ser mayor en los meses húmedos en el RHDO con una media de 28.54 organismos, seguido del RHUP con una media de 25.6 organismos y el DREN con una media de 18.93 organismos, en los meses de estiaje la tendencia volvió a ser mayor en el RHDO con una media de 16.63 organismos, seguido del DREN con una media de 11.93 organismos, por último el RHUP con una media de 7.0667 organismos.

En relación de la riqueza no hubo diferencias significativas, hubo una ligera tendencia en los meses húmedo en registrarse el mayor número de especies en DREN con una media de 2.93 especies, para el RHDO una media de 2.72 especies y para el RHUP una media de 2.53 especies.

En los meses de estiaje se presentaron más especies en RHDO con una media de 2.90, seguido del DREN con una media de 2.66 especies y por último el RHUP con una media de 1.93 especies.

FIGURA 16. Comparativo de la biomasa y abundancia en los meses húmedos y de estiaje en las tres zonas monitoreadas. Los datos están expresados en CPUE kg/h y CPUE organismos/h respectivamente.



5.5 Similitud de especies piscícolas en el RHUP, RHDO y DREN

En cuanto a las comparaciones en la riqueza de especies para los monitoreos sistemáticos estacionales tomando en cuenta la temporalidad (húmedo y estiaje) no hubo diferencias significativas; de las 14 especies en total, el índice de Jaccard (cualitativo) fue de 0.647 y el índice Morisita-Horn (cuantitativo) fue de 0.879.

En las comparaciones entre zonas por visita hubo diferencias significativas en la visita 2 RHUP con la visita 4 de RHDO obtuvo un índice Jaccard de 0.222 y un índice Morisita-Horn de 0.445 con 2 especies compartidas.

En la visita 4 de RHUP con la visita 2 de RHDO fueron distintas con un índice Jaccard de 0.25 y un índice de Morisita-Horn de 0.351 con solo 3 especies compartidas.

Así como también en la visita 4 de RHUP con la visita 3 del DREN con un índice Jaccard de 0.273 y un índice de Morisita-Horn de 0.344 con 3 especies compartidas de las 7 observadas.

En la visita 2 del RHUP con la visita 4 del DREN hubo diferencia significativa con un índice Jaccard de 0.333 y un índice de Morisita-Horn de 0.438 con 3 especies compartidas de las 7 observadas en RHUP y 5 en DREN, también hubieron diferencias en la visita 4 del RHUP y la visita 3 del RHDO con un índice Jaccard de 0.333 y un índice Morisita-Horn de 0.263 con 4 especies compartidas de las 7 en RHUP y 9 de RHDO. (Ver tabla 11)

TABLA 11.Composicion íctica en las 4 visitas en RHUP, RHDO Y DREN. 1, 2, 3,4 son las salidas de RHUP, 5, 6, 7,8 son las salidas RHDO y 9, 10,11 y 12 son las salidas del DREN.

Primer Muestra	Segunda muestra	Sps. Primera muestra	Sps. Segunda muestra	Sps. Compartidas	Prueba de Jaccard Classic	Prueba de Morisita-Horn
1	2	4	7	3	0.375	0.506
1	3	4	7	3	0.375	0.995
1	4	4	7	3	0.375	0.349
1	5	4	7	3	0.375	0.979
1	6	4	8	3	0.333	0.987
1	7	4	9	4	0.444	0.709
1	8	4	4	3	0.6	0.857
1	9	4	7	3	0.375	0.918
1	10	4	8	4	0.5	0.95
1	11	4	7	2	0.222	0.967
1	12	4	5	2	0.286	0.921
2	3	7	7	5	0.556	0.492
2	4	7	7	4	0.4	0.181
2	5	7	7	3	0.273	0.464
2	6	7	8	6	0.667	0.527
2	7	7	9	5	0.455	0.394
2	8	7	4	2	0.222	0.445
2	9	7	7	4	0.4	0.712
2	10	7	8	6	0.667	0.687
2	11	7	7	5	0.556	0.485
2	12	7	5	3	0.333	0.438
3	4	7	7	4	0.4	0.389
3	5	7	7	2	0.167	0.984
3	6	7	8	4	0.364	0.984
3	7	7	9	5	0.455	0.743
3	8	7	4	2	0.222	0.856
3	9	7	7	2	0.167	0.917
3	10	7	8	4	0.364	0.943
3	11	7	7	4	0.4	0.98
3	12	7	5	4	0.5	0.941
4	5	7	7	4	0.4	0.346

4	6	7	8	3	0.25	0.351
4	7	7	9	4	0.333	0.263
4	8	7	4	3	0.375	0.324
4	9	7	7	4	0.4	0.341
4	10	7	8	5	0.5	0.345
4	11	7	7	3	0.273	0.344
4	12	7	5	3	0.333	0.376
5	6	7	8	5	0.5	0.966
5	7	7	9	6	0.6	0.759
5	8	7	4	4	0.571	0.9
5	9	7	7	4	0.4	0.894
5	10	7	8	4	0.364	0.917
5	11	7	7	3	0.273	0.962
5	12	7	5	2	0.2	0.95
6	7	8	9	7	0.7	0.724
6	8	8	4	3	0.333	0.858
6	9	8	7	4	0.364	0.946
6	10	8	8	6	0.6	0.967
6	11	8	7	5	0.5	0.961
6	12	8	5	3	0.3	0.896
7	8	9	4	4	0.444	0.753
7	9	9	7	4	0.333	0.695
7	10	9	8	6	0.545	0.713
7	11	9	7	5	0.455	0.833
7	12	9	5	4	0.4	0.782
8	9	4	7	3	0.375	0.838
8	10	4	8	3	0.333	0.865
8	11	4	7	2	0.222	0.847
8	12	4	5	1	0.125	0.808
9	10	7	8	5	0.5	0.982
9	11	7	7	4	0.4	0.907
9	12	7	5	2	0.2	0.841
10	11	8	7	5	0.5	0.926
10	12	8	5	3	0.3	0.848
11	12	7	5	3	0.333	0.948

En la comparación de la composición íctica entre las visitas en general no hubo diferencias significativas, aunque si hubo una tendencia ligera a ser diferente la visita 1 con la visita 4 con un índice Jaccard de 0.4 y un índice Morisita-Horn de 0.744 con 6 especies compartidas con 11 especies de la visita 1 y 10 especies de la visita 4. (Ver tabla 12)

TABLA 12. Composición íctica en las 4 visitas. Visita 1 (marzo-abril) visita 2 (mayo-junio), visita 3 (julio) y visita 4 (octubre-diciembre)

		Sps.	Sps.		Prueba	Prueba
Primera	Segunda	Primera	Segunda	Sps.	de	de
Muestra	muestra	muestra	muestra	Compartidas	Jaccard	Morisita-Horn
1	2	11	11	8	0.571	0.863
1	3	11	13	8	0.5	0.925
1	4	11	10	6	0.4	0.774
2	3	11	13	10	0.714	0.808
2	4	11	10	8	0.615	0.677
3	4	13	10	9	0.643	0.776

En términos de la composición de la comunidad íctica por zonas, no hubo ninguna diferencia significativa entre RHUP, RHDO y el DREN, salvo una tendencia a ser diferente RHUP contra el RHDO con un índice Jaccard de 0.571 y un índice de Morisita-Horn de 0.767. (Ver tabla 13)

TABLA 13. Composición íctica en las tres zonas: 1 corresponde a RHUP, 2 a RHDO y 3 al DREN.

		Sps.	Sps.		Prueba	Prueba
Primera	Segunda	Primera	Segunda	Sps.	de	de
Muestra	muestra	muestra	muestra	Compartidas	Jaccard	Morisita-Horn
1	2	11	11	8	0.571	0.767
1	3	11	13	10	0.714	0.849
2	3	11	13	8	0.5	0.969

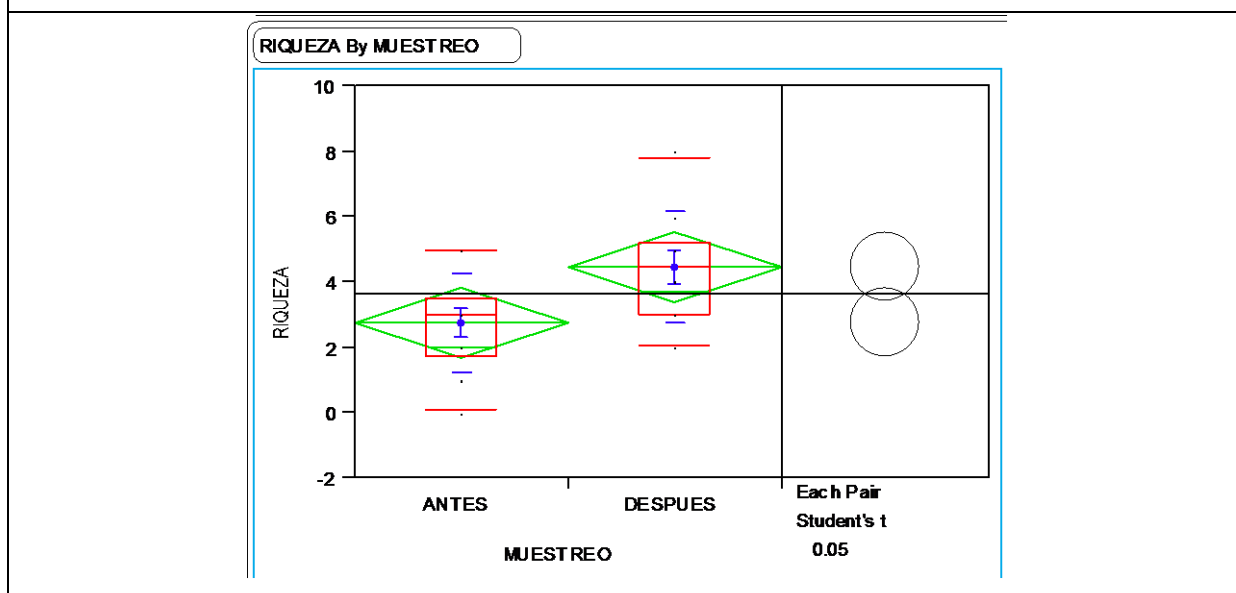
5.6 COMPARACIÓN DE ÍNDICES ÍCTICOS ANTES Y DESPUÉS DE LA PTAR LAS ARENITAS

Se hizo un comparativo con los datos obtenidos durante el monitoreo del 2005 en el río Hardy, se analizaron los mismos puntos de la zona RHUP y RHDO y se escogieron aproximadamente las mismas fechas antes del desemboque de la planta de tratamiento de las arenitas al río Hardy, correspondientes a la salida 1 (octubre); la salida 5 (marzo); salida 6 (junio) y salida 8 (julio) de las 8 salidas del monitoreo previo contra las 4 visitas del monitoreo del 2008, visita 1 (marzo y abril), la 2 (mayo-junio), la 3 (Julio) y la 4 (octubre y diciembre) así como también se escogieron el mismo número de artes de pesca (una red y dos trampas por sitio).

Comparando abundancia promedio en las zonas RHUP y RHDO antes y después de la planta de tratamiento las arenitas no hubo diferencia significativa, mostrando mayor número de organismos después de las arenitas con una media de 12.10 organismos y antes de la planta de tratamiento las arenitas una media de 9.80 organismos, así mismo en el promedio total no hubieron diferencias significativas, hubo una ligera tendencia a incrementarse más organismos después de las arenitas con una media de 41.20 organismos contra 39.20 organismos del monitoreo antes de las arenitas.

En cuanto a la riqueza hubieron diferencias significativas entre monitoreos antes y después de la planta de tratamiento, con una r^2 de 0.2310, $F=5.40$ y $p=0.0319$, teniendo mayor número de especies después de las arenitas con 4.50 especies y antes con 2.80 especies. (Ver Figura 17)

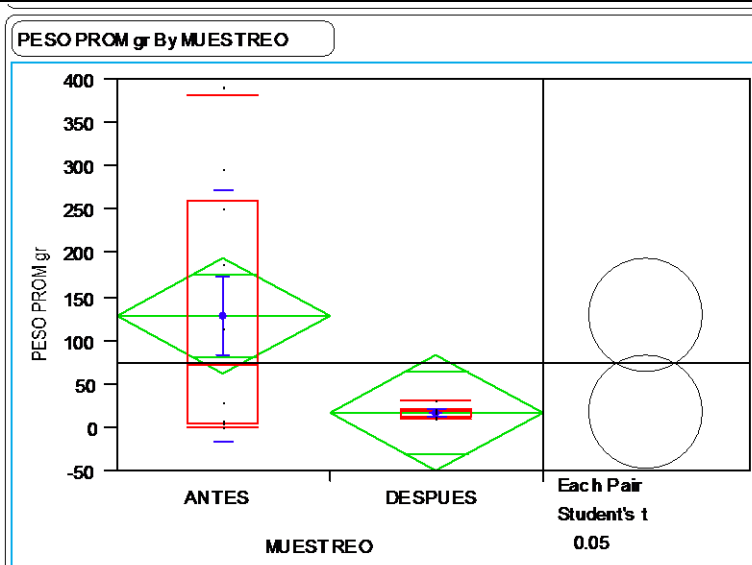
FIGURA 17. Comparación de la riqueza de especies en RHUP y RHDO antes (2005) y después (2008) de las arenitas.



En cuanto a la longitud promedio no hubo ninguna diferencia significativa, tan solo cierta tendencia a haber organismos más grandes en el 2008 con una media de 19.16 cm contra 13.38 cm del monitoreo del 2005.

En el caso del peso promedio si hubieron diferencias significativas con una r^2 de 0.2439, $F=5.80$ y $p=0.0269$, siendo mayor en el monitoreo del 2005 con una media de 128.80 g contra 18.49 g en el monitoreo del 2008. (Ver Figura 18).

FIGURA 18. Comparación del peso promedio en RHUP y RHDO antes (2005) y después (2008) de las arenitas.



En el caso de las variables fisicoquímicas, también hubo algunas diferencias significativas como en el caso de la temperatura promedio con una r^2 de 0.5906, $F=25.77$ y $p<0.0001$, con una media en el 2005 de 23.54°C contra 20.51°C del 2008.

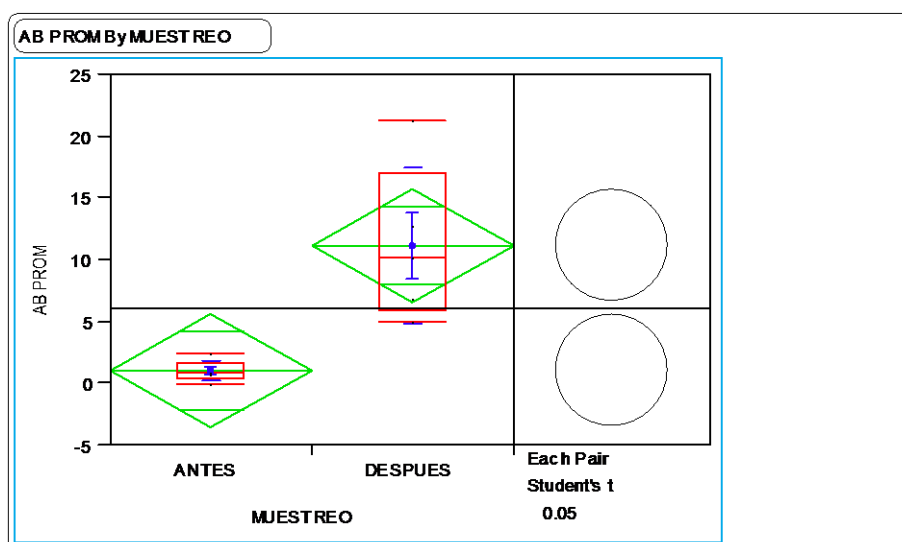
En el caso de la conductividad eléctrica SpC (mS/cm) la diferencia fue significativa con una r^2 de 0.2438, $F=5.80$ y $p=0.0269$ con una media en el monitoreo del 2005 de 19.19 mS/cm contra 7.78 mS/cm del monitoreo del 2008.

En el caso del Oxígeno Disuelto (mg/L), no hubo diferencias significativas pero si cierta tendencia a tener más oxígeno disuelto en el monitoreo del 2008 con una media de 7.43 mg/L contra 6.67 en el monitoreo del 2005.

En el caso del pH no hubieron diferencias significativas para las zonas en los años comparados, con una media para el monitoreo del 2005 de 7.95 y para el monitoreo del 2008 una media de 8.04.

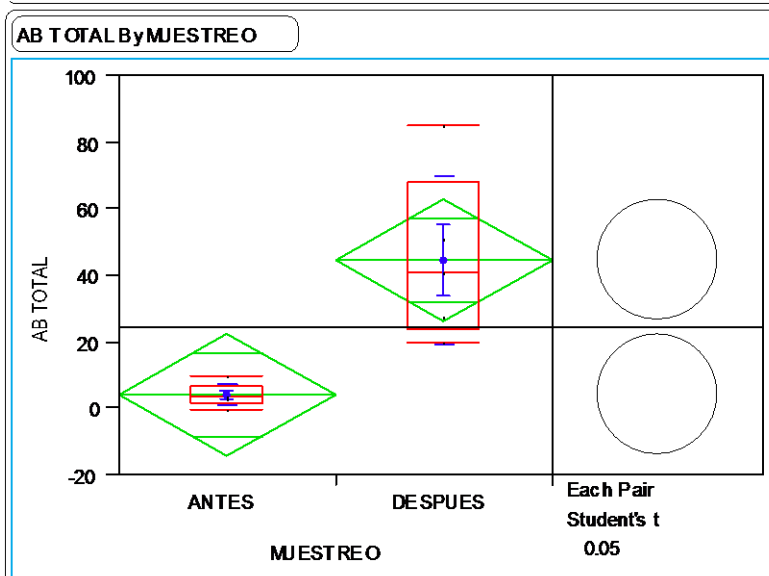
En el comparativo de los índices icticos solo para el RHUP en el monitoreo del 2005 y en el 2008, los resultaron también mostraron diferencias significativas, en el caso de la abundancia promedio con una r^2 de 0.6137, $F=12.71$ y $p=0.0073$, con mas organismos en el monitoreo del 2008 con una media de 11.2500 contra 1.05 organismos para el monitoreo del 2005. (Ver gráfico 19)

FIGURA 19. Comparación de la abundancia promedio antes y después de las arenitas en RHUP.



En lo que se refiere a la abundancia total también hubo diferencias significativas con una r^2 de 0.6137, $F=12.71$ y $p=0.0073$ con mas organismos en el monitoreo 2008, con una media de 45 organismos contra 4.20 organismos del monitoreo del 2005. (Ver Figura 20)

FIGURA 20. Comparación de abundancia total en RHUP en el monitoreo antes y después de las arenitas



En el caso de la longitud promedio no hubieron datos significativos se presentaron muy similares con una media para antes de la arenitas de 16.65 cm y en el monitoreo del 2008 una media de 16.43.

En cuanto a las variables fisicoquímicas también hubo efectos de manera significativa, como en el caso de la temperatura promedio con una r^2 de 0.97, $F=232.70$ y $p<.0001$, con una media de 24.6°C para el monitoreo del 2005 contra 20.03°C del monitoreo del 2008.

En la conductividad eléctrica SpC (mS/cm) o milisiemens/centimetro también hubo cambios significativos con una r^2 de 0.980768, $F=407.9640$ y $p<.0001$ con una media para el monitoreo del 2005 de 8.99000 mS/cm contra 6.66000 mS/cm del monitoreo del 2008.

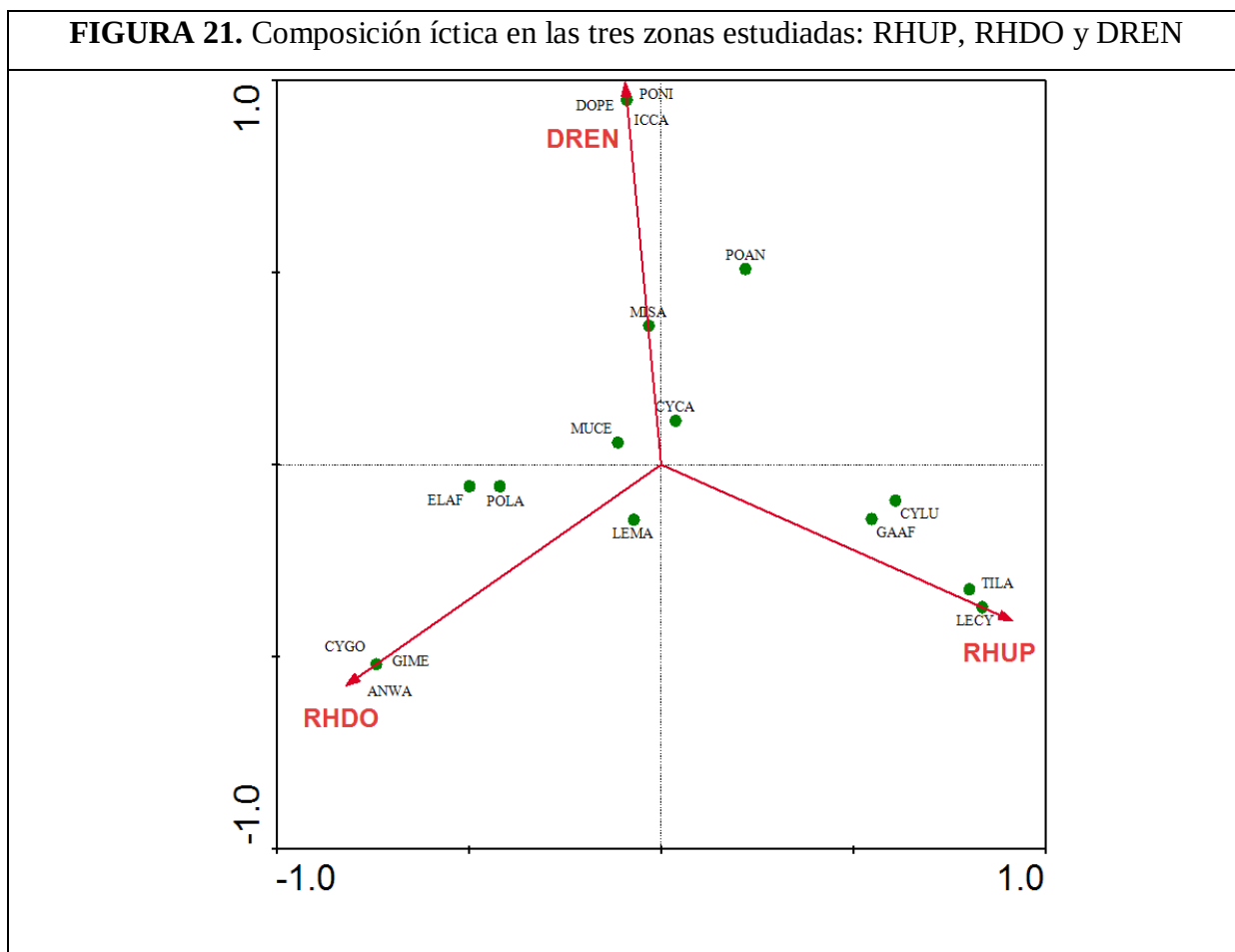
En el oxígeno disuelto (mg/L) también hubo diferencias significativas con respecto a los monitoreos realizados antes y después de la planta de tratamiento las arenitas, con una r^2 de

0.636405, $F=14$ y $p=0.0057$, con una media para el monitoreo del 2005 de 4.99 contra 7.45 mg/L del 2008.

En el caso del pH se comportaron muy similares con una media para el monitoreo del 2005 de 7.73 contra 7.77 del monitoreo del 2008.

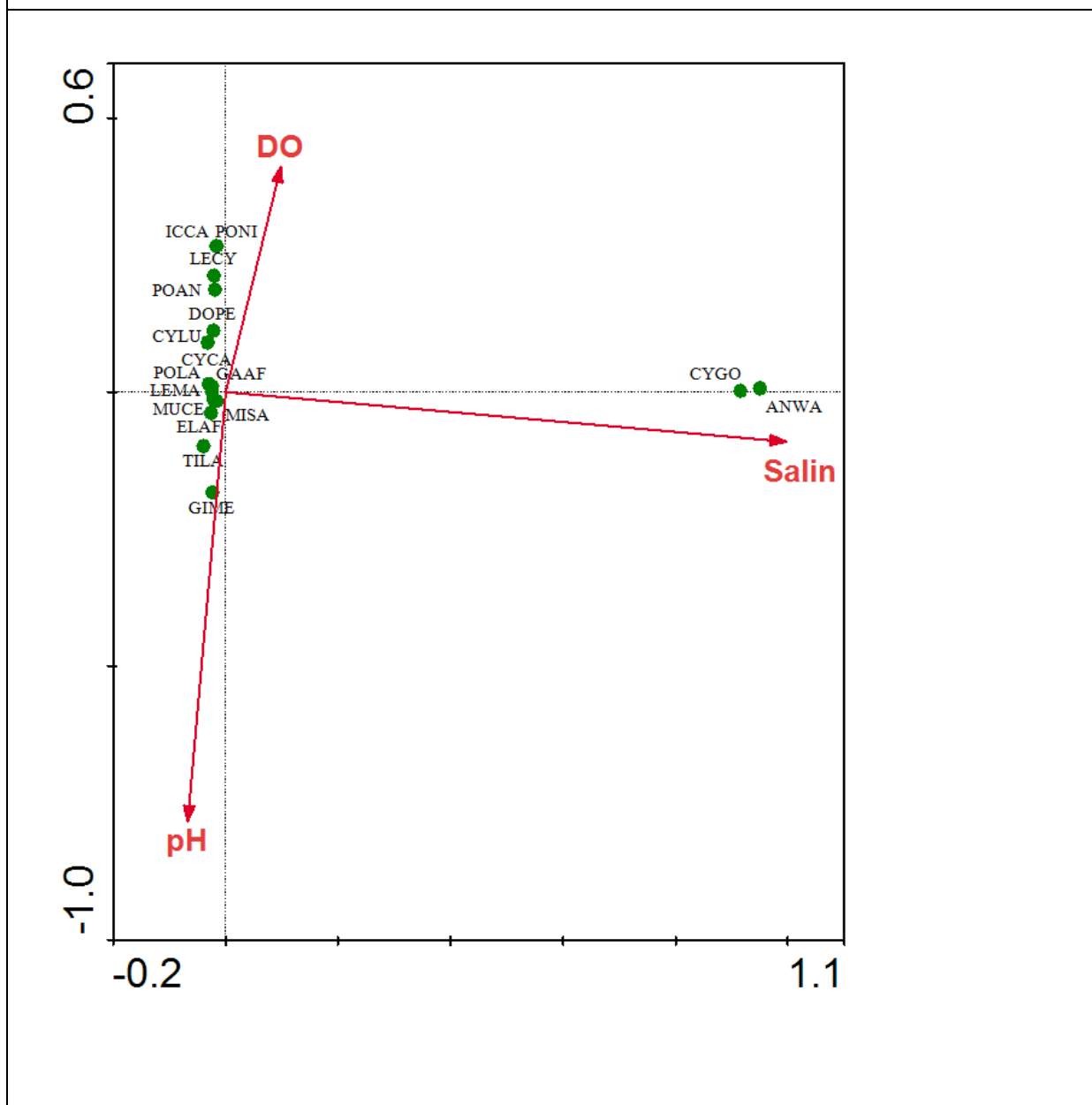
5.7 COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE PECES CON EL ANÁLISIS CANÓNICO DE CORRESPONDENCIA

Para explicar la comunidad de peces en relación a las zonas, la vegetación y los factores abióticos, todo el modelo en su conjunto, y en cuanto a las variables fisicoquímicas (oxígeno disuelto, pH y salinidad). El análisis de comunidad por zona fue significativamente distinta ($F_{3,41} = 3.503$, $p < 0.001$, $r^2 = 0.63$) es decir, el tipo de zona explica el 63% de la variación en la composición de la comunidad de peces. (Ver figura 21)



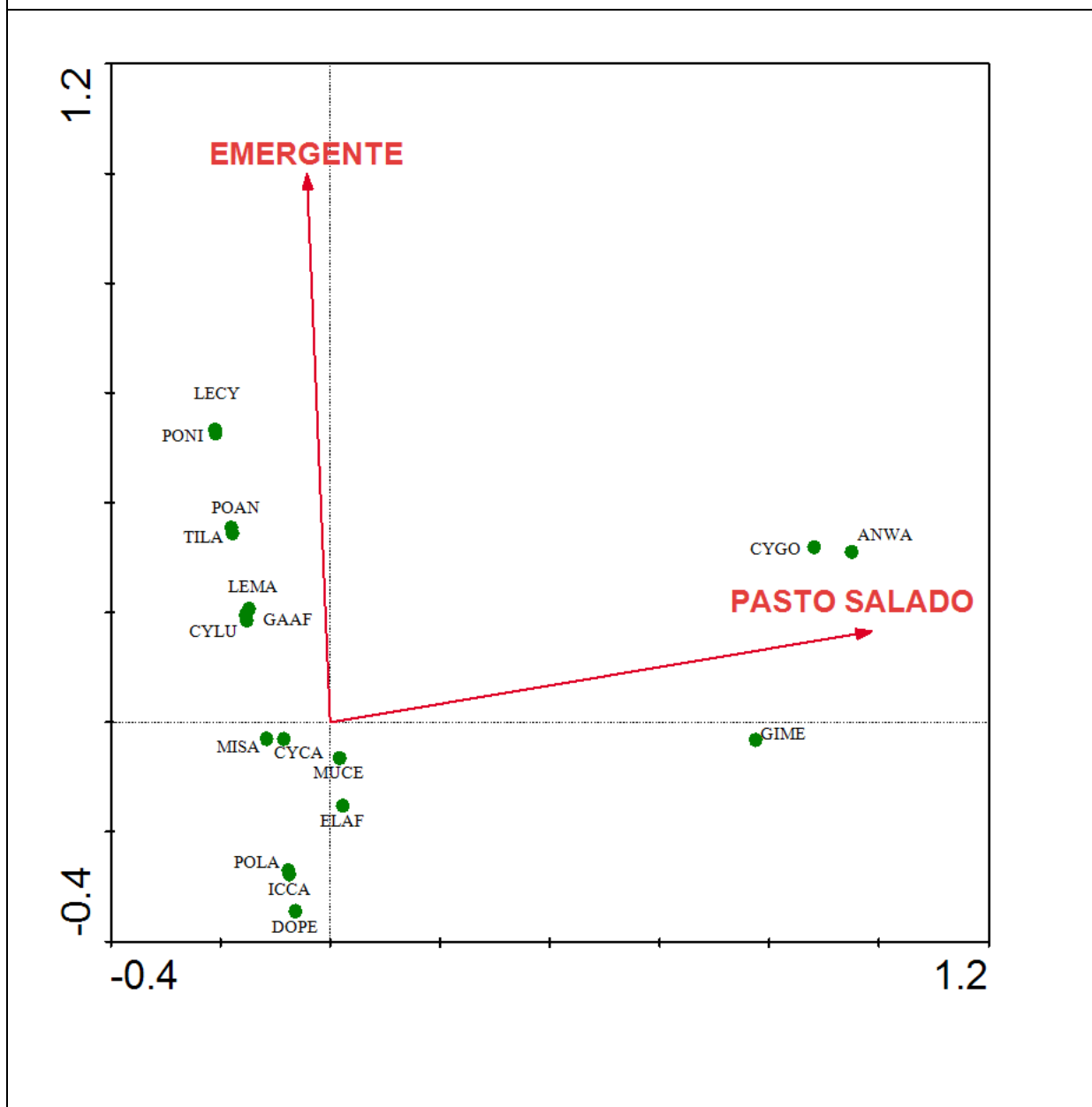
La relación de las variables fisicoquímicas analizadas (Oxígeno disuelto, pH y salinidad) con la comunidad íctica responde básicamente al patrón de las zonas en donde el modelo en su conjunto es $F_{3,41} = 2.46$, $p < 0.001$, $r^2 = 0.62$. En donde la Salinidad es el eje más significativo ($F = 17.32$, $p < 0.0001$), seguido del pH ($F = 1.718$, $p = 0.895$), por último DO ($F = 1.660$, $p = 0.10$). (Ver figura 22)

FIGURA 22. Composición íctica con las variables abióticas. (Salinidad, pH y Oxígeno disuelto)



Para el caso de la vegetación de las 3 zonas estudiadas, las 2 variables significativas son pasto salado y vegetación emergente (tule-carrizo) En su conjunto, el modelo es $F_{3,41} = 3.234$, $p < 0.0035$, $r^2 = 0.58$. Pasto es el eje más significativo ($F = 6.092$, $p < 0.001$), luego vegetación emergente ($F = 3.134$, $p = 0.003$). Las variables de la vegetación también siguen las zonas y la salinidad. (Ver figura 23)

FIGURA 23. Composición íctica en relación a la vegetación de las zonas estudiadas (RHUP, RHDO y DREN)



6. DISCUSION

6.1 Medición Sistemática Estacional

Los tributarios de ríos, son de gran valor ecológico por ofrecer hábitat para crianza de numerosas especies, tal es el caso de la comunidad íctica del RH, para las comparaciones de las poblaciones ícticas dividimos los sitios en 3 regiones representativos del Delta del RC: Rio Hardy arriba, rio Hardy abajo y dren Ayala.

Esta consideración se tomo en cuenta por los flujos de agua provenientes de los distintos drenes del valle de Mexicali y San Luis RC y la existencia del tapón, estructura que construyo en 2001 con la iniciativa de los comuneros de la zona para el incremento de nivel de agua en las zonas próximas a los campos turísticos.

Para los monitores estacionales se finalizó hasta la fecha con un esfuerzo estandarizado de 7980 horas red/trampas horas en los 41 sitios en las cuatro visitas, con un total de 1450 organismos que representan 320.59 Kg de biomasa (ver tabla 10) y CPUE en biomasa de 0.04021 Kg/h y en abundancia 0.8170 orgs./h. Por zona RHDO obtuvo un CPUE en biomasa de 0.0170 Kg/h y 0.0622 orgs./h, el DREN un CPUE en biomasa de 0.0137 Kg/h y 0.0580 orgs./h y en RHUP un CPUE en biomasa de 0.0093 Kg/h y 0.0614 orgs./h. (Ver figura 16)

El RH aguas abajo registró no solo la mayor cantidad de organismos (497) si no también en biomasa con 136.26 kg en todas las visitas realizadas, y en donde cabe mencionar hubieron menos cambios drásticos en los niveles hidrométricos que en el rio Hardy aguas arriba, resultando menos stress para la comunidad íctica (Figura 7). Aunque para ambas zonas el mes de menores valores en el nivel de agua fue en Agosto y el mes de Enero fue el mes con más cantidad de agua para cada zona.

En la prueba estadística ANOVA con respecto a la abundancia por visita hubieron cambios significativos demostrando lo anterior para las visitas 1(marzo-abril), 2 (mayo-junio), y 3 (julio) en la vista 4 (octubre-diciembre) fue la visita con menos capturas y en donde la mayor

abundancia se inclino hacia el rio Hardy aguas arriba, después el Dren y por último el rio Hardy aguas abajo, en estas fechas son cuando los niveles de agua aumentan en el rio. En términos de la biomasa por zona arrojaron los mismos resultados que con los de la abundancia, es decir el rio Hardy aguas abajo (RHDO) obtuvo los mayores valores con 3096.97 kg, seguidos del DREN con 1830.55 g y por ultimo RHUP con 1241.55 (p=0.0022).

Las especies más representativas de las zonas muestreadas y en las 4 visitas fueron la lisa (*Mugil cephalus*) con el 51% de todas las capturas, la carpa (*Cyprinus carpio*) con el 16%, el shinner rojo (*Cyprinella lutrensis*) con el 10%, el pez mosquito (*Gambusia affinis*) y el machete (*Elops affinis*) con el 6% de las capturas. (Ver tabla 8), en donde los hábitos tróficos de las especies comprenden desde los dentrívoros (*Mugil Cephalus*), los omnívoros como la carpa (*Cyprinus carpio*), insectívoros como el pez mosquito y el shiner rojo y finalmente piscívoros como el machete (*Elops affinis*).

Cuatro de las 17 especies diferentes especies capturadas son nativas del RC, son especies estuarinas-marinas que suben aguas arriba para alimentarse, reproducirse o para la crianza. Estas especies nativas son el *Mugil Cephalus*, *Elops affinis*, *Cynoscion golfina*, *Gillichthys mirabilis* y *anchoa walkerii*.

La presencia de peces nativos como la lisa y el machete en los sitios aguas arriba indican una conexión que está limitada a la acción de las mareas más altas y la acción de los vientos y a las migraciones propias de la especie para su reproducción, crianza y alimento. Ambas especies nadan en cardúmenes.

Las variables fisicoquímicas través de cada zona de muestreo reflejo que la zona del Rio Hardy aguas arriba y el dren son muy similares y difiere de la zona del Rio Hardy aguas abajo principalmente por la salinidad, otro característica abiótica con diferencias significativas en las zonas fue la temperatura, en donde la zona más fresca fue en el DREN (p=0.0001), seguida de RHUP y RHDO, posiblemente debido a la infiltración de aguas subterráneas y el tipo de vegetación, presentando al DREN con una media de 23.02° C, RHUP con una media de 23.95°C y en RHDO con una media de 24.59°C.

Los niveles de agua medidos por las regletas ubicadas dos Rio Hardy arriba y dos Rio Hardy abajo, no reflejaron diferencias significativas con la abundancia de la comunidad íctica, aunque muestra una tendencia a ser superior en número en los meses de primavera (Marzo, Abril y Mayo).

Hubo diferencias significativas en cuanto a la visita relacionada concretamente con la riqueza, abundancia y biomasa en CPUE número de individuos/hora. Estas diferencias fueron observadas en los meses correspondientes a la primavera o visita 1 (marzo y abril) e influenciadas en visita 2 (mayo-junio). La abundancia y riqueza de especies en las 3 zonas estudiadas explicadas en los días húmedos y de estiaje no arrojan cambios significativos pero si con cierta tendencia a tener los valores un poco mejor, que es en el DREN, en donde no influye en la abundancia y la biomasa. (Ver gráficos 16).

Curiosamente, los puntos de monitoreo en cada zona con más riqueza y abundancia, son sitios con confluencia del RC y en zonas de restauración, por ejemplo (en el RHUP, en los puntos del 6 al 10, en RHDO del 6 al 9 y en el DREN el 1, 2 y 8. (Ver figuras 5 y 15, los puntos en el mapa se leen del tapón al sur si es RHDO y si es RHUP del tapón al norte).

En los atributos ecológicos por zonas hubo diferencias significativas, en donde el Rio Hardy aguas abajo tiende a ser mayor en cuanto biomasa; con lo correspondiente a la riqueza el dren y lo referente a la abundancia, en donde mayores organismos se observaron fue en el rio Hardy aguas abajo aunque no fueron cifras significativas.

En cuanto a las comparaciones en la riqueza de especies para los temporales no hubo diferencias significativas de las 14 especies en total en el comparativo de meses húmedo y estiaje, el índice de Jaccard (cualitativo) fue de 0.647 y el índice Morisita-Horn (cuantitativo) fue de 0.879.

En la comparacion de la composición íctica entre las visitas en general no hubo diferencias significativas, mas una tendencia ligera a ser diferente la visita 1 con la visita 4 con un índice

Jaccard de 0.4 y un índice Morisita-Horn de 0.744 con 6 especies compartidas con 11 especies de la visita 1 y 10 de la visita 4. (Ver tabla 12)

En términos de la composición de la comunidad íctica por zonas, no hubo ninguna diferencia significativa entre RHUP, RHDO y el DREN, salvo una tendencia a ser diferente RHUP contra el RHDO con un índice Jaccard de 0.571 y un índice de Morisita-Horn de 0.767. (Ver tabla 13)

En las comparaciones entre zonas por visita hubo diferencias significativas en la visita 2 RHUP con la visita 4 de RHDO obtuvo un índice Jaccard de 0.222 y un índice Morisita-Horn de 0.445 con 2 especies compartidas

La tendencia de los peces en ciertas épocas del año es en permanecer en zonas con condiciones estuarinas como la zona RHDO es decir Rio Hardy aguas abajo, principalmente por la acción limitada de las mareas y a la influencia de los drenes agrícolas sobre el río. Aunque incipiente ha sido la entrada de agua dulce al sistema, ha sido de vital importancia para mantener la comunidad íctica.

Los atributos ecológicos como la riqueza, abundancia y biomasa tomada por CPUE kg/hrs de la población íctica en la zona de estudio muestran diferencias sutiles pero no significativas en cuanto las zonas. La riqueza y abundancia favorecen al dren y al Rio Hardy aguas abajo, mientras que la biomasa es mayor en el Rio Hardy aguas arriba.

6.2 Mediciones Sistemáticas Mensuales.

En el caso de los monitoreos mensuales en el Tapón no hubo diferencias significativas en cuanto a la visita y los atributos ecológicos de las comunidades icticas. En los niveles de profundidad en el tapón muestra una clara ventaja en los principios de la primavera y con niveles mayores registrados en las regletas.

Las especies más comunes en el tapón son similares a lo que mostré con las especies por zona y monitoreo estacional, siendo la más común la lisa (*Mugil cephalus*), el machete (*Elops affinis*), carpa común (*Cyprinus carpio*), la sardina maya (*Dorosoma petense*), tilapia (*tilapia, sps.*) y lobina (*Micropterus salmoides*)

Este estudio muestra similitud con el trabajo realizado en el 2005 en lo que se refiere a mayores niveles de abundancia (45.92 individuos por sitio por zona) en Rio Hardy aguas abajo y mayor biomasa promedio por sitio por zona (1753.47 kg) en Rio Hardy aguas arriba. (Hinojosa Huerta, O., 2007)

Así, también Hinojosa Huerta (2007) reporto un total de 25 especies monitoreadas en el RH y en el RC; de las cuales 10 especies corresponden a especies nativas y 15 especies corresponden a especies exóticas.

A diferencia de las 18 especies totales reportadas en este estudio; 14 especies exóticas y cuatro especies nativas, detectadas en la zona, las anteriores origen estuarino-marino.

Es posible que el uso de artes de pesca utilizados en el trabajo previo a este, haya incrementado las probabilidades de detección y captura de más especies.

Es preciso recalcar la importancia que reside los bajos flujos de agua en el sistema estuarino aunado con la formación de una barra de arena que impide la conexión entre rio-estuario.

La sedimentación dentro de sistemas lacustre y estuarinos es sin duda un factor influyente en el cambio de hábitat, en la química del agua y por lo consiguiente en la comunidad de peces, ya que hay relación en cuanto a sitios para el desove y tiene incidencia en la muerte de larvas y en la visibilidad para buscar alimento. (Sawyer, 2004)

Los niveles de agua dulce son determinantes para la migración de especies catádromos, es por ello la necesidad de mantener ciertos flujos dentro de los sistemas estuarinos ya que son sitios de crianza y alimento para este tipo de especies.

El hidroperiodo en esta zona basado en la influencia de las mareas, el aporte de los drenes agrícolas y la temporalidad, determinan las condiciones de las variables fisicoquímicas que inciden en la productividad del humedal, nutrientes y por lo consiguiente la composición de las especies ícticas.

Es conveniente mencionar que abajo del Tapón confluye la descarga del Dren Ayala, posiblemente generando resultados óptimos para las comunidades ícticas al igual que la descarga de agua de la planta de tratamiento las arenitas. Lo anterior es justificado por los resultados obtenidos en ambos trabajos en donde refleja una clara diferencia aunque no significativa del uso de hábitats con niveles mayores de agua dulce, como lo es el río Hardy aguas arriba y el dren, esto en función de biomasa.

Esto deja por hecho que los niveles de agua dulce son determinantes para la migración de especies catádromos, es por ello la necesidad de mantener ciertos flujos dentro de los sistemas estuarinos ya que son sitios de crianza y alimento para este tipo de especies. El hidroperiodo en esta zona basado en la influencia de las mareas, el aporte de los drenes agrícolas y la temporalidad, determinan las condiciones de las variables fisicoquímicas que inciden en la productividad del humedal, nutrientes y por lo consiguiente la composición de las especies icticas.

6.3 Composición Íctica

En la correspondencia canónica, los tres vectores ilustran las tres zonas estudiadas (RHUP, RHDO y DREN) en donde el 63% es lo que obedece la variación en la composición de la comunidad de peces. ($F_{3, 41} = 3.503$, $p < 0.001$, $r^2 = 0.63$. Ver Figura 22. Las especies relacionadas al RHUP son el shiner rojo (*Cyprinella lutrensis*), pez mosquito (*Gambusia affinis*), Tilapia (*Tilapia spp.*) y mojarrita verde (*Lepomis cyanellus*).

Las especies relacionadas con DREN son la lisa (*Mugil Cephalus*), sardina maya (*Dorosoma petenense*), el crappie negro (*Pomoxis nigromaculatus*), el bagre blanco (*Ictalurus catus*), lobina (*Micropterus salmoides*), Mojarrita plateada (*Pomoxis annularis*), carpa (*cyprinus carpio*) y lisa (*Mugil cephalus*).

Las especies que están relacionadas al RHDO son Mojarrita de arete (*Lepomis macrochirus*), Molly (*Poecilia latipinna*), el machete (*elops affinis*), curvinan del golfo (*Cynoscion golfina*) y chupalodo (*Gillichthys mirabilis*)

También se explica con las variables (salinidad, pH y DO fijado) En su conjunto, el modelo es $F_{3,41} = 2.46$, $p < 0.001$, $r^2 = 0.62$ y el más significativo fue la salinidad. Gran parte de las especies monitoreadas son introducidas y generalmente son más tolerantes a las condiciones de DO y pH. (Ver Figura 22)

En el caso de la vegetación se tomaron 2 variables (pasto salado y vegetación emergente) también siguió el patrón de las zonas y de la salinidad, el modelo es $F_{3, 41} = 3.234$, $p < 0.0035$, $r^2 = 0.58$. El pasto salado fue el más significativo ($F = 6.092$, $p < 0.001$), luego vegetación emergente ($F = 3.134$, $p = 0.003$). Para esta también sigue la zona y salinidad. (Ver Figura 23)

6.3.1 Comparación de la Comunidad Íctica antes y después de la PTAR Las Arenitas.

Se hizo un comparativo de los sitios para cada zona en el Rio Hardy antes y después de la planta de tratamiento de las arenitas, este desemboque de agua hacia el sistema ha permitido que los niveles en agua aumenten y los de la salinidad bajen, desde de 19.19 mS/cm del 2005 contra 7.78 mS/cm del monitoreo del 2008, los niveles de oxígeno disuelto no tuvieron cambios significativos pero si cierta tendencia a tener mayores niveles después de las arenitas, esto permitió que la comunidad íctica resultara beneficiada, lo refleja los datos de índices icticos en el Figura 19 se muestra la abundancia promedio en el los monitoreos del rio Hardy habiendo mas organismos después de la planta de tratamiento de las arenitas, el mismo caso para la abundancia total (ver Figura 20), aunque en el peso sucedió lo contrario en el monitoreo del 2005 se capturaron peces más grandes. (Ver Figura 18).

La entrada de agua de la planta de tratamiento de las arenitas al rio Hardy ha permitido que el número de especies dentrivoras e insectivoras estén relacionadas a la zona del rio Hardy aguas arriba, como lo son las lisas (*Mugil cephalus*) y el Shinner rojo (*Cyprenella lutrensis*), y el aporte de agua dulce al rio Hardy aguas abajo indujo a otras especies más dulceacuícolas como las carpas (*Cyprinus carpio*) a ampliar su rango de distribución, trasladarse aun más abajo del tapón en el rio Hardy en puntos monitoreados, y los góbidos como es el caso del chupalodo *Gillichthys mirabilis* hayan decrecido las capturas que la salidas organizadas en el 2005.

7. CONCLUSIONES

- ❖ Las diferencias en cuanto a las características de la población de peces en las tres zonas monitoreadas tienden a ser diferentes en los meses monitoreados y existe una relación directa con las entradas de agua dulce al sistema RH y estuario del RC, es decir el hidropериodo.
- ❖ El uso de hábitats de las especies según la temporada de año expresa en cuanto su número de especies y número de individuos. Siendo los meses de primavera de mayor numero de individuos en RHDO.
- ❖ La Lisa (*Mugil Cephalus*) fue capturada en todos los sitios, pero se capturo un número significativamente mayor de individuos en el Rio Hardy aguas abajo (RHDO); seguido del sitio DREN. En el estudio previo (Hinojosa-Huerta, 2005) arrojó el mismo resultado.
- ❖ La presencia omnipresente de *Mugil Cephalus* en todos los sitios de muestreo y el número de esta refleja la calidad del agua de la zona, rica en nutrientes y productoras de microalgas y detritus.
- ❖ Detección de especies marinas como el machete (*Elops affinis*) tanto en Rio Hardy aguas arriba (RHUP) como en el DREN, después de la mareas más altas en el año que fueron en Julio y Agosto.
- ❖ La importancia de los aportes de la PTAR las arenitas y su relación con la disminución de los valores en la salinidad y conductividad eléctrica. Aunque otras variables de la calidad de agua originaron manchones de eutrofización y niveles de oxigeno disuelto muy elevados en comparacion con las mediciones de Hinojosa-Huerta en 2007. La influencia de del agua de la PTAR en el cauce aumentaron el rango de distribución de *Cyprinus carpio* hacia RHDO más al sur que lo mostrado en el monitoreo realizado en el 2005 y la disminución de la presencia de *Gillichthys mirabilis*.

- ❖ La presencia de *Mugil Cephalus*, *Elops affinis*, *Dorosoma petenense* refiere la conectividad del RHUP-RHDO-DREN, supeditado a la temporalidad y el régimen hidrológico.
- ❖ La biomasa y abundancia en RHUP y RHDO presentaron una respuesta directa a los niveles de agua en el sistema, mientras que en el DREN se mantuvo constante o sin ninguna diferencia marcada a los ciclos agrícolas o mareas.
- ❖ La variable físico química que marca la diferencia en la composición íctica fue la salinidad.

8. RECOMENDACIONES

- ❖ Estudio de correlación entre perfiles hidrológicos (velocidad y profundidad de cada punto) del río con los índices icticos.
- ❖ En términos de conservación, asegurar flujos continuos de agua dulce principalmente en verano, cuando los niveles de agua decrecen para beneficio de las especies que se reprodujeron en primavera, y la vigilar las descargas de las aguas provenientes de la planta de tratamiento de las Arenitas, donde se garantice calidad y cantidades acordadas.
- ❖ Hacer un plan de restauración en términos de vegetación para los drenes y un uso más controlado del agua en ellos, ya que se observaron variantes en ellos, por la construcción de tapones temporales en algunas zonas, que desvían su cauce. A mi parecer, los drenes son la pieza clave para mantener las comunidades icticas.
- ❖ Obras de manejo hidrológico en el estuario y en algunos puntos RHUP, como dragado, desazolve y vertedores respectivamente.

- ❖ Vigilancia en cuanto al tiempo y uso de redes, así como también la calendarización de tiempos para pesca sostenible para las especies de interés comercial.

9. BIBLIOGRAFIA CITADA

- ❖ Aragón Noriega, E.A., (2000) Ecología del Reclutamiento del Camarón azul *Lithopenaeus stylirostris* (stimpson, 1987) en el Alto Golfo de California. Tesis de Doctorado en Ecología Marina, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, B.C. p.117
- ❖ Argent.D.G. y R.F.Carline, (2004) Fish Assemblage Changes in Relation to Watershed in Land Use Disturbance. *Aquatic Ecosystem health and management* 7:101-114
- ❖ Arias Patrón, E.2005.Plan de acción para uso eficiente de agua dulce en el Golfo de California. Reporte técnico final para WWF.64
- ❖ Boyd J.A., A.Y. Cooperider y H.R.Stuart, (1986) Inventory and Monitoring of Wildlife Habitat.Us.Dept.Inter.Bur.Land Manage. Service Center Denver, Co. 858 pp.
- ❖ Colwell, R.K., (2005) EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates
- ❖ Comisión Nacional del Agua, (2009) Oficina de Ingeniería de Riego. Entrevista Ing. José Melesio Figueroa Vargas.
- ❖ Philip A.Hastings y L.Lloyd Findley Dry Borders: Great Natural resources of the Sonoran Desert, (2007) Editado por University of Utah Press. 364:376
- ❖ Faulkner T., (1999) “Grupos Comunitarios marcan la agenda para la Conservación del Delta del Río Colorado”, *Borderlines* 52 volumen 7, número 1.
- ❖ Galindo-Bect, M., E. Glenn, H. Page, K. Fitzsimmons, L. Galindo-Bect & J. Hernández-Ayon, and R. Petty, (2003) Penaeid Shrimp Landings in the Upper Gulf of

California in Relation to Colorado River Freshwater Discharge. Fishery Bulletin 98: 222-225.

- ❖ Garcia Hernandez, J., K.A.King., A.L.Velasco.E.Shumilin.,M.A.Mora y E.P.Glenn.(2001) Selenium, selected inorganic elements, and organochlorine pesticides in bottom material and biota from the Colorado river delta. Journal of Arid Environments. Academic Press.U.K.49:65-89
- ❖ Gelwick. F.P. & R.Y.Li, (2001). The relationship of Environmental Factors to Spatial and Temporal Variation of Fish Assemblage in a Floodplain River in Texas, USA. Ecology of Freshwater Fish 14:319-330.
- ❖ Glenn, E.P.,F.Zamora, P.L.Nagler, M.Briggs,W.Shaw y K.Flessa.(2001).Ecology and Conservation Biology of the Colorado River Delta, Mexico. Journal of Arid Enviroments. Academic Press. U.K. 49:5-15
- ❖ Glenn, E.P., C. Lee, R.Felger, y S.Zengel, (1996) Effects of Water Management on the Wetlands of the Colorado River Delta, México. Natural Resources Journal 32:817-824.
- ❖ Hastings A.P. y L.Findley. (2007). Dry Borders, Great Natural Reserves of the Sonoran Desert. University of Utah Press.USA.789:364-376.
- ❖ Hinojosa-Huerta, O., M. Briggs, Y. Carrillo-Guerrero, E. P. Glenn & M. Lara-Flores, M. Román, (2005) Community-based Restoration of Desert Wetlands: The Case of the Colorado River Delta. Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191
- ❖ Hinojosa-Huerta, O., (2007) Final Report: Assessment of the Effects of el Tapón on the Ichthyofauna of the Hardy River. Reporte Presentado al Sonoran Institute por Pronatura Noroeste.San Luis Río Colorado, Sonora México.

- ❖ Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar, 15 de agosto del 2001. Actualización.
- ❖ Jones Bruce, (1986) Inventory and Monitoring of Wildlife Habitat. Editado por Cooperrider Allen Y., R.J. Boyd y H.R. Stuart. Denver, Colorado. USA. 858:14-18
- ❖ Johnson R. y P. Kuby. 2008. Estadística Elemental: Lo esencial. 10ª edición. Editorial Cengage Learning. 725:86, 93, 162, 146, 174, 278, 279
- ❖ Karr, J.R. & E.W. Chu, (1999) Restoring Life in Running Waters: Better Biological Monitoring. Island Press. Covelo. Ca
- ❖ Lagler, K.F., Bardach J.E., Miller R.R. y May Passino D.R. (1962). Ichthyology. 2 edition. John Wiley & Sons. USA. 506:259
- ❖ Lemly, A.D., R.T. Kingsford, y T.R. Thomson, (2000) Irrigated Agriculture and Wildlife Conservation: Conflict on a Global Scale. Environmental Management 25: 485-512.
- ❖ Lepš, J. and P. Šmilauer, (2003) Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- ❖ Meador, M.R. & W.E. Kelso, (1990) Growth of Largemouth Bass in Low Salinity Environments. Trans. Am. Fish. Soc. 119:545-552.
- ❖ Medeiros, E.S.F. & L. Maltchik, (2001) Fish Assemblage Stability in an Intermittently Flowing Stream from the Brazilian Semiarid Region. Austral Ecology 26:156-164
- ❖ McDougall, A., (2004) Assessing the Use of Sectioned Otoliths and Other Methods to Determine the Age of the Centropomid Fish Barramundi (*Lates calacarifer*) (Bloch), using known-age Fish. Fisheries Research 67:129-141

- ❖ Mehner, T., M.Diekmann, R.Lemcke & U.Bramick, (2005) Composition of Fish Communities in German Lakes as related to Lake Morphology, Trophic State, Shore Structure and Human-use Intensity. *Freshwater Biology* 50:70-85

- ❖ Miller, Robert Rush, W. L. Minckley, and Steven Mark Norris, (2005) *Freshwater Fishes of Mexico*. Published in association with the Museum of Zoology, University of Michigan. 652 p.

- ❖ Milton S.J.(1980) *Statistical Methods in the Biological and Health Sciences*. 2 edición. McGraw-Hill.USA. 526:286

- ❖ Noriega, A., (2000) *Ecología del Reclutamiento del Camarón Azul (Litopenaeus stylirostris (Stimpson, 1987) en el Alto Golfo de California*. Tesis de Doctorado en Ecología Marina, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, B.C.117p

- ❖ Ramírez Hernández, J. (2006) *Una visión de la problemática ambiental de Mexicali y su Valle: Elementos para su gestión*. Mexicali Baja California: Universidad Autónoma de Baja California.

- ❖ Robins.J., D.Mayer., J.Stauntan-Smith.I.Halliday.,B.Sawyer & M.Sellin, (2006)Variable growth rates of the tropical estuarine fish barramundi *Lates calcarifer* (Bloch) Under Different Freshwater Flow Conditions. *Journal of Fish Biology* 69:379-391

- ❖ Ramsar Convention Bureau, (1998) Ramsar Convention Bureau. Internet: www.iucn.org/themes/ramsar/about_infopack-2e.htm

- ❖ Robins.J., D.Mayer., J.Stauntan-Smith.I.Halliday.,B.Sawyer & M.Sellin, (2006) Variable growth rates of the tropical estuarine fish barramundi *Lates calcarifer* (Bloch) Under Different Freshwater Flow Conditions. *Journal of Fish Biology* 69:379-391

- ❖ Rodríguez, C. A., K. W. Flessa & D.L. Dettman, (2001) Effects of Upstream Diversion Of Colorado River Water on the Estuarine Bivalve Mollusk *Mulinia coloradoensis*. *Conservation Biology* 15: 249-258.

- ❖ Rowell, K., K.W. Flessa, D.L. Dettman, & M. Román, (2005) The Importance of Colorado River Flow to Nursery Habitats of the Gulf Corvina (*Cynoscion othonopterus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 62: 2874-2885

- ❖ Saint-Paul, U., J. Zuanon., M.A.V.Correa., García., N.N. Fabre., U.Berger & W.J.Junk., (2000) Fish Communities in Central Amazonian white and Blackwater Floodplains. *Environmental Biology of Fishes* 57:235-250

- ❖ Sawyer,A.J., P.M.Stewart., M.M.Mullen., T.P.Simon & H.H.Bennet.Aquatic, (2004) Influence of Habitat, Water Quality and Land Use on Macro-Invertebrate and Fish Assemblage of Southeastern Coastal Plain Watershed, USA.*Ecosystem Health and Management* 7(1):85-99

- ❖ Schollosser, I., (1985) Flow Regime, Juvenile Abundance and the Assemblage Structure of Stream Fishes.*Ecology* 66:1484-1490.

- ❖ Smith R.L. y T.M. Smith. (2001) *Ecología*.4ª Edición. Editorial Pearson. Madrid.664: 304-307, 615.

- ❖ Schlosser,I.J., J.D.Johnson., W.L.Knotek & M.Lapinska, (2000) Climate Variability and Size-Structured Interactions Among Juvenile Fish Along a Lake-Stream Gradient.*Ecology* 4:1046-1057

- ❖ Ter Braak, C.J.F. and P. Šmilauer, (2002) CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, NY

- ❖ Valdés-Casillas, C., E.P.Glenn, O. Hinojosa-Huerta, Y. Carrillo-Guerrero, J. García-Hernández, F. Zamora-Arroyo, M.Muñoz-Viveros, M. Briggs, C.Lee, E.Chavarría-Correa, J.Riley, D.Baumgartner, and C.Cogdon, (1998) Wetland management and Restoration in the Colorado River Delta: The first Steps. Guaymas, Sonora, Mexico: CECARENA-ITEMS campus Guaymas.

- ❖ Valera-Romero, A., Juárez-Romero, Lourdes y Campoy-Favela, J.1990.Los Peces Dulceacuícolas de Sonora. Manuscrito preliminar del Área de Ecología Acuática en el Centro Ecológico de Sonora. Hermosillo, Sonora.

- ❖ Valera R.A.,G.Ruiz Campos.,L.M.Yapiz Velásquez & J.Alaniz García, (2002) Distribution, Habitat and Conservation Status of Desert Pup Fish (Cyprinodon macularius) in the Colorado River Basin, Mexico. Reviews in Fish Biology and Fisheries.12:157-165.

- ❖ Zamora-Arroyo, F., P.L.Nagler., M.Briggs., D.Radtke., Rodríguez.,J.Garcia., C.Valdes.A.Huete & E.P.Glenn, (2001) Regeneration of Native Trees in Response to Flood Releases From United States into the Delta of Colorado River, México. Journal of Arid Environments 49:49-64.

- ❖ Zamora-Arroyo, F., J. Pitt, S. Cornelius, E. Glenn, O. Hinojosa-Huerta, M. Moreno.,J. Garcia, P. Nagler, M. de la Garza, y I. Parra, (2005) Conservation Priorities in the Colorado River Delta Mexico and the United States. Reporte preparado por Sonoran Institute, Environmental Defense, University of Arizona, Pronatura Noroeste Dirección de Conservación Sonora, CIAD and WWF.

- ❖ Zedler, J., (1998) Salt Marsh Restoration: Lessons from California, In: J. Cairns, editor. Rehabilitating damaged ecosystems, volume 1. Boca Raton, FL: CRC press; 123-138.
- ❖ (Plan de Municipal de Desarrollo Rural Sustentable del Sur del Valle de Mexicali, Baja California, PRONATURA NOROESTE, 2007)
- ❖ (<http://www.educared.net/primerasnoticias/hemero/2004/abril/natu/lago/lago.HTM>)
- ❖ (http://www.quiminet.com/nt9/nt_U%25EB%25AC%25B0%2528%2528%2585%2560.htm).
- ❖ (<http://www.cespm.gob.mx/plantasresiduales.html>)
- ❖ (<http://www.planetaazul.com.mx/www/2007/03/17/se-inaugura-la-planta-de-tratamiento-las-arenitas-con-lo-que-mexicali-tratara-sus-aguas-residuales-al-100/>)
- ❖ (<http://relascmex.files.wordpress.com/2008/06/anexo-n-indicies-bioticos-11-10-2006.pdf>)