

El Colegio de la Frontera Sur

Dinámica de la Calidad de agua y variación estacional de los nutrientes en los ríos Vado Ancho y Despoblado en Chiapas, México.

TESIS

Presentada como requisito parcial para optar el grado de
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Por

Esmeralda Erendira Mendoza-Flores

2015

DEDICATORIA

Este trabajo y todos los proyectos que he y habré de emprender, se lo dedico a mi equipo favorito: DIOS y FAMILIA.

A ti mi gran amigo, que andas en todo lugar conmigo, que juntos de la mano caminamos para emprender cualquier cosa, me proteges y eres mi confidente, TE AMO DIOS, no existen palabras para expresarte mi gratitud y amor por ti. A mis padres, por darme la confianza y libertad para que labrara mi propio camino, sin importar distancias, siempre están conmigo, sin limitaciones, brindando su apoyo y amor para que realice lo que me hace feliz.

Una especial dedicatoria a mi compañero y amigo de generación †Carlos III, (extrañando siempre tu jovial actitud y tu “ esme, esmeraldita, ya estate quieta esme”) por ser un excelente Biólogo a caracterizar el paisaje para cuando te alcancemos, no te preocupes compa, con mi culminación ambos seremos M en C.

A mis hermanos, tener confidentes y cómplices en lo bueno y en lo malo es el regalo divino más extraordinario sin comparación alguna, A ti Rafael Mauricio Mendoza Flores, porque me inspiras y ambos me dan fuerza, les dedico este trabajo. A mi abuelito Gregorio Flores Ramírez (Goyito), porque nunca se dejó caer, por sacar de la nada un todo, por esas manos toscas y rasposas resultado del gran ejemplo de trabajo y esfuerzo, pero que acariciaban el rostro tan suave y dulce, por haberme dado siempre su bendición antes de marcharme a cualquier lugar, por sus bromas, sonrisas y las charlas más sabias.

A las mujeres de mi familia; no existe ningún grado académico que abarque todo lo que ustedes hacen, son mis leonas, dóciles hacia los que aman, pero súper aguerridas y protectoras cuando así se necesita, siempre firmes, nunca doblegadas. El orgullo de ser mujer es gracias a ejemplos como los de ustedes.

Abuelita hermosa, Lucrecia Ramírez Flores (mi tita de leche), yo no sé dónde cabe tanta bondad, que gran ejemplo de humanidad, la admiro mucho, no espera que alguien le diga que hacer, lo que sabe lo ha aprendido por usted misma, es ejemplo de inteligencia, iniciativa y paciencia, gracias por su dulzura, alegría y amor.

A mis tías: Monica Flores Ramírez, sin importar las circunstancias siempre un ejemplo de fortaleza y entereza. Tía Clara Flores Ramírez, no hay limitaciones en usted, la tolerancia hacia con todos sus sobrinos es admirable, el amor y cuidado que nos da, la llevan a ser como una madre, a ti mi dulce ángel, te dedico este trabajo.

A ti Berenice Amneris Mendoza Flores, mi súper hermana, mi ejemplo en dedicación, constancia y profesionalismo, como siempre lo he dicho y sin temor a errar, la medicina es la mejor profesión, le tengo todo mi respeto y admiración, Solo grandes personas como tú, son capaces de ejercerlo, gracias por ser tú mi hermana. Te quiero!!!

A ti te dedico mi ser, todo lo bueno que pueda yo hacer, doy gracias a DIOS porque me dio mi mayor tesoro, a ti MAMÁ , que eres mi ejemplo en INTELIGENCIA, FORTALEZA, ENTERESA y AMOR, de ti aprendí el valor del

TRABAJO, el andar de arriba-abajo eso sin duda lo herede de ti, eres mi guerrera indomable, lo das todo por quienes amas, gracias, porque me sostienes y levantas ante mis miedos y errores, me alientas a realizar mis sueños que son los tuyos, gracias por ser el cerebro y espina dorsal del hogar, por brindar ese bienestar para emprender los sueños, gracias a ti, mis hermanos y yo somos muy felices, porque con tu sola presencia es la alegría de todos. A ti, que eres mi máximo, el ser de mi existencia, la razón por lo que puedo seguir adelante.

“ya no tengo que buscar, en ti he encontrado todo, en ti, se purifica mi corazón... TE AMO MAMI !!!” ...para María Gregoria Flores Ramírez.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por dar el subsidio de la beca 255229.

A mi *alma máter*, la Facultad de Ciencias Marinas (FCM), por TODO, en tus aulas encontré una familia, la del oceanólogo, me recibiste cuando aún tenía 17, crecí contigo, me guiaste y preparaste a nivel personal y profesional, para darme seguridad en atreverme a mi siguiente reto... “El Colegio de la Frontera Sur” (ECOSUR) y decirme un hasta luego.

A ECOSUR, un ambiente completamente distinto al conocido, ciudad, gente, mentalidad, pero igual de hermoso e interesante de haberlo vivido, gracias por la oportunidad de haber cursado el postgrado, no solo profesional, sino también personal, contigo funde mi tercera familia... la “ECOSUREÑA”, tú te has robado otro cachito de mi corazón. Gracias por tus enseñanzas.

Al Dr. Cristian Tovilla Hernández, Dr. Ricardo Bello Mendoza, Dra. Laura Carrillo Bibriezca, Dra. Dulce María Infante Mata, M.C. Javier Francisco Valle Mora, M.C. Gamaliel Mejía Gonzáles, y el M.C. Emilio Ismael Romero Berny, quienes conformaron mi Comité Tutorial y Sinodales, les estoy inmensamente agradecida por su comprensión, apoyo y soporte académico para finalizar este trabajo.

Al Q.F.B. Juan Jesús Morales López, por su apoyo en la obtención de reactivos y asesoría en el uso del HACH.

Un especial agradecimiento al Dr. Martín Hernández Ayón y la Dra. Marcela Alejandra Cornejo D'Ottone, por sus comentarios hacia el uso del Sigma Plot.

Al Dr. Cristian Tovilla, por ser un excelente tutor, brindar la confianza, apoyo y todo lo necesario para realizar este trabajo, pero sobre todo, gracias por ser amigo, al preocuparse que tuviese lo necesario en mi crecimiento académico, empeño tiempo y compartió conocimientos, consejos y experiencias profesionales que hicieron de las salidas de campo además del objetivo de este trabajo, un viaje donde se formaron anécdotas divertidas y de aprendizaje que implicó el trabajar en una reserva ecológica, gracias por siempre estar pendiente de mí y soportar mis travesuras.

Al equipo de trabajo de Manejo de Zona Costera, (Virginia Ercita de la Cruz Montes, Gerardo de la Cruz Montes alias "Yayo", Felipe Ovalle Estrada y Juan Carlos de la Presa Pérez alias "Charly") por brindarme el apoyo técnico en campo y su amistad. La labor que desarrollan dentro de la Reserva La Encrucijada, social y ecológico, es admirable. El haber sido parte de este equipo "superpoderoso de manglareños" ha sido el mejor maestro durante el postgrado.

A la gente tan hermosa de Barra de Zacapulco, por su amable y cálida hospitalidad, en particular a los señores Rosalia Montes Sosa y Daniel de la Cruz Trinidad, por recibirme en su casa y hacer de mi estancia durante los muestreos muy agradables y divertidos.

A la M en C. Roció Gómez Ortega y el M en B. Eduardo Ramos Santiago, su experiencia en la zona de estudio, hicieron de sus consejos la mejor orientación ante un terreno desconocido, principalmente a ti Roció por tu apoyo técnico en algunas salidas de campo, pero sobre todo, que junto con Amanda la amistad que forjamos fue lo mejor del postgrado, ustedes son mi familia chiapaneca.

A mi generación de Tapachula y Chetumal en particular Ángeles, Chayes, Rosby y Samuel, con ustedes el postgrado fue demasiado divertido. Al personal que labora en ECOSUR Tapachula por su cariño y amabilidad que hicieron de mi estancia un lugar confortable para dedicarme a la maestría.

A la Sra. Rosalba Morales Pérez, por su amabilidad y apoyo logístico durante mi estancia en ECOSUR Tapachula.

A la Lic. Beatriz, por su tiempo, asesoría y apoyo para hacer todos los trámites correspondientes para culminar mi titulación.

A mis padres por la ayuda financiera para culminar los trámites necesarios a mi titulación.

A mis amigos y colegas de mi (FCM), por desvelarse conmigo, sin importar zona horaria, las distancias se acortaron con un skype e hicieron de mis madrugadas en el laboratorio más amenas.

A mi gran amiga Elizabeth, por sus consejos y apoyo en tiempos difíciles y siempre estar conmigo.

"Manglar...vigía del tiempo y el espacio...el de la eterna fronda, borracha de sol y verde embelesada...hasta ti llegó simiente de la tierra, expresada en sedimentos y nutrientes. El mar te legó la sal de una marea y del cielo el fragor de una tormenta...soldados, fieles custodios de la playa, tan bella...". de mi hermosa Encrucijada- Cristian Tovilla-Hernández, 1998

"Andando lugares y conociendo gente, se hace uno prudente, viajar enriquece". Miguel de Cervantes S. XV.

"luna-océano... de la sal está hecha mi sangre y de agua mi vida, de ti soy, océano de vida. Tu que riges mi movimiento, ¿a dónde me llevarán ahora mis sueños, luna querida?". Esmeralda Erendira M-F. 2015

"En el descifrar de la vida, nunca nadie sabe realmente lo que quiere, solo hazla interesante, ese es el verdadero valor de la misma...VIVE, SUEÑA Y DISFRUTA". EE.M-F.

INDICE

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	9
3. Metodología.....	13
3.1 Área de estudio.....	13
3.2 Muestreo.....	21

3.3 Diseño Experimental.....	25
3.4 Análisis de Laboratorio.....	25
3.5 Análisis de Datos.....	26
3.6 Presentación de Resultados.....	28
4. Resultados y Discusiones.....	29
4.1 Análisis Multivariados.....	29
4.1.1 Análisis de Componentes Principales.....	29
4.1.2 Análisis de Cúmulos.....	42
4.1.3 Magnitud de la variabilidad de los nutrientes.....	49
5. Conclusiones.....	78
6. Bibliografía.....	80
7. Anexos.....	86

Lista de Tablas y Figuras

Tab.1 Estaciones de muestreo.....	23
Tab.2 Análisis de Componentes Principales por Variable.....	30
Tab.3 Estaciones asociadas a los cúmulos del Análisis por Cúmulos.....	47
Fig.1 Estaciones de muestreo acorde al río.....	12
Fig.2 Estaciones de muestreo acorde a la vegetación.....	23
Fig.3 Precipitación pluvial media histórica en el Estado de Chiapas 2012.....	24

Fig.4 Diagrama de distribución de Solidos Suspendidos-Turbidez-Oxígeno disuelto.....	33
Fig.5 Diagramas de distribución de Carbono Orgánico Total-Oxígeno Saturado-Conductividad.....	40
Fig.6 Diagrama Temperatura-pH-Salinidad.....	43
Fig.7 Gráfico de dispersion de los componentes principales 1 y 2.....	46
Fig.8 Diagrama del Analisis de Componentes Principales.....	53
Fig.9 Variabilidad de concentración de los componentes del NID, durante la temporada de secas.....	55
Fig.10 Variabilidad de concentración del PO_4^- , durante la temporada de secas.....	56
Fig.11 Variabilidad de concentración entre los componentes del NID y PO_4^- , durante secas.....	60
Fig.12 Variabilidad de concentración de los componentes del NID, durante la temporada de transición.....	67
Fig.13 Variabilidad de concentración de los componentes del NID, durante la temporada de lluvias.....	70
Fig.14 Variabilidad de concentración del PO_4^- , durante la temporada de transición.....	73
Fig.15 Variabilidad de concentración del PO_4^- , durante la temporada de lluvias.....	74
Fig.16 Variabilidad de concentración entre los componentes del NID y PO_4^- , durante la temporada de transición.....	77

Fig.17 Variabilidad de concentración entre los componentes del NID y PO_4^- .
durante lluvias.....78

RESUMEN

En años recientes, los ríos de Chiapas han sido descritos como contaminados, la gran presión antrópica en el cambio de uso de suelo o rectificación de cauce, y los problemas que se derivan de las cargas de materia orgánica y sedimento, tienen efecto directo en la productividad del sistema lagunar de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Con el objetivo de inferir la importancia de la vegetación en mejorar la calidad de agua, en este trabajo, se caracterizó la dinámica de la calidad de agua y los nutrientes, a lo largo de dos de los principales ríos que desembocan en la zona núcleo de La Encrucijada: el río Vado Ancho (río control) y el Despoblado (río problema).

El diseño experimental se basó en el concepto del espiral de nutrientes, apoyado en la comparación entre dos sistemas fluviales con características similares, monitoreados durante las temporadas definidas como secas, transición y lluvias.

Los resultados dados por los análisis multivariados y diagramas de distribución de los parámetros medidos, demostraron que existió diferencia de calidad de agua entre ríos, ante la presencia del agua residual y los posibles cambios de vegetación determinados por las estaciones ubicadas en este trabajo, mostró que existió similitud entre ríos ante el gradiente en decremento de los nutrientes dentro de la zona del manglar.

La calidad de agua en la mayoría de las estaciones en ambos ríos resultó fuera de los límites máximos permisibles para la preservación de flora y fauna de agua dulce y estuarios.

Palabras clave. Calidad de agua, espiral de nutrientes, manglares, análisis multivariados, Reserva de la biosfera la Encrucijada

1. INTRODUCCIÓN

Una **Región Hidrológica** está integrada por cuencas hidrológicas continuas, las cuales son áreas naturales que captan el agua procedente desde la Sierra Madre hacia los ríos o arroyos (Rodríguez-Espinoza, 2006). Las características estructurales de las cuencas cuentan con un amplio espectro de vegetación ribereña con propiedades físicas y biológicas (Camacho-Rico *et al.*, 2006).

Rzedowski (1978), describe la **vegetación ribereña** como aquella que se desarrolla a lo largo de corrientes de agua permanentes o semipermanentes, generalmente formadas por árboles de hoja perenne, decidua o parcialmente decidua, con una altura de 4-40 m. Estas comunidades se encuentran entre los 0 y 2,800 m.s.n.m., y comúnmente su distribución es espaciada e irregular.

A lo largo del territorio de la cuenca se lleva a cabo parte del ciclo hidrológico, la composición y estructura de la vegetación ribereña, condicionan tanto los procesos ecosistémicos como las condiciones biológicas de los cuerpos de agua (Camacho-Rico *et al.*, 2006), por ello cualquier alteración en la estructura y composición de la cobertura vegetal, así como los procesos de degradación de suelos debidos al sellamiento de la superficie por urbanización, alteran irremediablemente las condiciones de infiltración, escurrimiento, percolación y evo transpiración del agua, modificando los parámetros ecológicos que determinan las variaciones en las importaciones y exportaciones de sedimentos, nutrientes y compuestos químicos que desembocan en las lagunas costeras y posteriormente al mar (Cotler-Ávalos *et al.*, 2010).

Las **lagunas costeras**, condicionan la dinámica del sistema estuarino por el encuentro de dos masas de agua: la del mar y la del río, confiriéndole características de aguas salobres, que permiten la interacción de ecosistemas como el manglar, manantiales y vegetación acuática sumergida, que permiten brindar entre otras funciones, la de servir como sitios de crianza de muchas especies (peces, crustáceos, moluscos), y la capacidad de exportar los excedentes de producción de materia orgánica que fertilizan al mar adyacente, contribuyendo así a la productividad y biodiversidad regional (Contreras-Espinoza, 1998, Herrera-Silveira y Morales-Ojeda 2010).

En las lagunas costeras el aporte de sales minerales como el fósforo y nitrógeno por los ríos, tienen gran importancia ya que alteran la productividad del sistema, al ser determinantes en cambiar las variaciones de los ciclos biogeoquímicos y por ende modifican el estado trófico brindando un aumento en el proceso de eutrofización, cuyo efecto en la proliferación de biomasa demanda un exceso de oxígeno, que deriva en la anoxia y muerte de varias especies como los peces, los cuales son el sustento de las comunidades pesqueras locales (Contreras-Espinoza, 1998; Crossland *et al.*, 2005; Lanza-Espino *et al.*, 2008). Por tanto, es muy importante el conocimiento de la calidad de agua que los ríos aportan en el sistema lagunar.

La **calidad de agua**, tiene un significado amplio, ya que está en función del uso concreto que se vaya a hacer de ella (Senamhi, 2008), sin embargo, un concepto generalizado puede definirse como “una medida crítica de las propiedades químicas y biológicas de los sistemas acuáticos que dependen del mantenimiento de una calidad

de agua específica para poder sostener procesos bioquímicos necesarios para la vida de plantas y animales” (García *et al.*, 2009).

Si bien el término de calidad de agua es variable, para los usos más importantes y comunes del agua, existen una serie de requisitos recogidos en normas específicas, basados tradicionalmente en las concentraciones de diversos parámetros físico-químicos, que reflejan la función física y biológica del medio acuático con el que tiene interacción (García *et al.*, 2009; Senamhi, 2008). Estos parámetros principales son:

a) Físicos: sabor, olor, color, turbidez, conductividad y temperatura.

b) Químicos: pH, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, sólidos en suspensión, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, amoníaco, sulfuros, hierro, manganeso, metales pesados, gases disueltos como dióxido de carbono, materia orgánica como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) o la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

c) Biológicos: Bacterianos (presencia de bacterias coliformes, indicadoras de contaminación fecal y otras como Salmonellas); presencia de virus; comunidades de macro invertebrados bentónicos (son indicadores de buena calidad del agua en función de las especies más o menos tolerantes a la contaminación que aparezcan) (Senamhi, 2008).

Los parámetros físicos se pueden medir fácilmente y constituyen una manera de clasificar posibles factores de estrés para la salud del sistema acuático. Los químicos y biológicos, ayudan a caracterizar la calidad de agua y a determinar los posibles impactos en la vida acuática y en seres humanos (García *et al.*, 2009). De esta forma la medición de algunos de esos parámetros estándar permite inferir la dinámica funcional del sistema y tener una aproximación en comprender la heterogeneidad entre ríos. (Valdez y Vázquez-González 2003; Senamhi, 2008; Sabater *et al.*, 2009).

La vegetación, es un componente elemental en los ecosistemas fluviales que influyen en la variación de la calidad del agua, al determinar la dinámica de los nutrientes, ya que se ha demostrado su importancia fundamental en el intercambio y retención de material, a través de una exportación neta de detritus y un cambio significativo de nitrógeno, particularmente el papel que desempeñan los manglares, entre los humedales y la zona costera (Campoblanco-Díaz y Gomero-Torres 2000; Flores-Verdugo *et al.*, 2000; Jones *et al.*, 2001; Martí y Sabater 2009).

Los **bosques de manglar**, están constituidos por especies arbóreas, capaces de soportar frecuentes períodos de inundación y elevadas salinidades gracias a sus características biológicas (pneumatóforos y raíces aéreas que les permiten oxigenar la zona radicular de los sedimentos anóxicos), a su capacidad reproductiva de viviparidad (permite germinar aún y cuando éste todavía se mantiene prendido a la planta), a su capacidad de dispersión, mecanismos de balance y exclusión de sal (a partir de la transpiración cuticular, secreción de glándulas excretoras de sal en la superficies de las hojas y por pérdida de hojas) (Yáñez-Arancibia 1998; Travieso-Bello, 2005; CONABIO 2009; Gómez-Aguilar 2013).

Las características fisiológicas de los manglares mencionadas, permiten que se desarrollen en las líneas costeras y en zonas generalmente cercanas a las desembocaduras de los ríos y canales de agua dulce, confiriéndoles elevada importancia en los servicios ambientales que brindan como: Hábitat natural y refugio de diversas especies (aves marinas migratorias y endémicas), mantenimiento, crecimiento, desarrollo y zona de protección de pesquerías (peces, crustáceos, moluscos y pequeños mamíferos), como barrera natural de protección que contiene la erosión de

vientos y mareas, así como cuerpo receptor de aguas continentales, áreas de descanso, recreación y ecoturismo (CONABIO 2009; Gómez-Aguilar, 2013).

La ubicación de los manglares ligando el ambiente marino-costero, como cuerpo receptor de aguas continentales, ayuda a mejorar el mantenimiento de la calidad del agua de los estuarios, purificándola, ya que sus sedimentos anaerobios tienen la capacidad de atrapar nutrientes inorgánicos, metales pesados y plaguicidas, sin afectar a los árboles, por ello se consideran como las plantas naturales de tratamiento de agua, sin embargo, existen limitaciones en las investigaciones con respecto a controlar la calidad de agua, debido a la generalización conceptual que se tiene de los manglares ribereños en el ciclo del nitrógeno similar a los ecosistemas de los marismas (Travieso-Bello 2005; Escobar *et al.*, 2008).

La funcionalidad de los manglares en el intercambio del nitrógeno, debe de tomar en cuenta que el flujo de nutrientes puede variar entre los distintos tipos de manglares: de franja, ribereños, y de cuenca; así como a lo largo del año, entre secas y lluvias, los cuales dependen de factores como el geográfico, la geomorfología y la hidrología (Valiela, 1983; Tovilla-Hernández, 1998; Escobar *et al.*, 2008). Es por eso que en la actualidad es poco conocido el intercambio de nutrientes entre los manglares y el agua que ingresa y egresa de ellos, por medio de los arroyos, ríos, esteros y otros efluentes, por lo que aún faltan investigaciones para poder definir el papel de los manglares en el ciclo de nutrientes en los ecosistemas estuarinos (Wang *et al.*, 2010).

El concepto **espiral de nutrientes**, es el proceso por el cual se puede inferir la funcionalidad de la vegetación en el intercambio de material, ya que su fundamento se define a partir del hecho que el ciclo de nutrientes en un sistema fluvial no ocurre en un mismo tramo, sino que se cierra aguas abajo, de forma que la retención biótica se

puede llegar a cuantificar en unidades de longitud, a través de los dos compartimentos fluviales: la biota y la columna de agua (Boveri, 2005; Martí y Sabater, 2009).

La vegetación se relaciona a través de esos dos compartimentos fluviales, la biota está asociada al tipo de vegetación presente en cada tramo del sistema, la cual a su vez depende del clima que determinan los organismos presentes en la columna de agua capaces de realizar el metabolismo de la materia (Boveri, 2005; Sabater *et al.*, 2009; Martí y Sabater, 2009). Por tanto, la distancia de asimilación indica la eficiencia de retención relativa al flujo del nutriente (Martí y Sabater, 2009).

Este trabajo no cuantifico el espiral de nutrientes, sino que, infirió a partir del fundamento del concepto mismo, así como de los antecedentes de estudio metodológicos y conceptuales, que se mencionan más adelante y estableció un trabajo de estudio cuyo fundamento se basó en la comparación de dos ríos con características similares con respecto a la vegetación presente, y diferentes posibles impactos antropogénicos como cambio de uso de suelo y presencia de aguas residuales, como lo son el río Vado Ancho y el río Despoblado en la región de Chiapas México, en base a los siguientes criterios para el desarrollo del trabajo.

Preguntas de trabajo: ¿La calidad de agua y concentración de nutrientes varía en función al cambio de vegetación natural, mejorando sus condiciones al entrar a una vegetación de manglar en los ríos Vado Ancho y Despoblado?, o por lo contrario ¿los cambios de uso de suelo e impactos antropogénicos como las descargas de aguas residuales ejercieron un efecto distinto entre ríos?

Hipótesis: la dinámica de la calidad de agua y nutrientes son distintos en los ríos Vado Ancho y Despoblado, debido a las diferencias de estado de conservación de la vegetación natural e impacto antropogénico, y favorece sus condiciones ante la vegetación de manglar.

Objetivo general: caracterizar la variabilidad de la dinámica de la calidad de agua y nutrientes en función al estado de conservación de la vegetación natural e impactos antropogénicos como cambio de uso de suelo y presencia de aguas residuales en los ríos Vado Ancho y Despoblado, Chiapas México.

Preguntas específicas:

- ¿Cómo varían los factores de la calidad de agua y nutrientes en función a la época del año?
- ¿Qué magnitud alcanza la variabilidad de la dinámica de la calidad de agua y nutrientes entre vegetaciones?

Objetivos específicos:

- Determinar la variabilidad de la calidad de agua y nutrientes entre las diferentes estaciones de año que se presentan en la región de Chiapas México.
- Determinar el gradiente de concentración de la calidad de agua y nutrientes acorde al cambio de vegetación.

La relevancia de este trabajo, se entiende por brindar información de la cual no se tienen antecedentes con respecto a la calidad de agua de dos de los principales ríos

que desembocan en la zona núcleo de la Encrucijada (Vado Ancho y Despoblado), también supone ser, si no el primer, uno de los pocos trabajos, en aportar un panorama detallado con respecto a la dinámica de nutrientes que tienen dichos sistemas, y la forma en como varían acorde a la temporada de acuerdo a los casos particulares en presencia o ausencia de presión antrópica en las que están sometidos. De tal forma, que da referentes en la región en el que se analice la inferencia de la variabilidad de la dinámica de nutrientes al cambio de vegetación.

En el área de estudio, este trabajo toma importancia por aportar información de ríos que pertenecen a la Región Hidrológica 23 de la costa de Chiapas, zona en donde se registran fenómenos catastróficos que ocurren en forma periódica: en la parte alta de erosión y deslizamiento de laderas; en la parte baja; inundaciones y azolvamientos, problemas que repercuten en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, área donde desembocan dichos ríos (Spillecke y Werner 2012).

La Reserva de la Biosfera la Encrucijada, además de las problemáticas naturales, se ha visto de igual forma gravemente deteriorada por los efectos antrópicos exteriores; como el cambio de uso de suelo y modificación de los cauces de ríos, la descarga de efluentes con alta carga de materia orgánica y nutrientes por las ciudades y pueblos ubicados en el margen de los ríos, incluso agroquímicos provenientes de las áreas agropecuarias, han tenido efectos en la productividad del sistema, en cada una de las micro cuencas estudiadas (Tovilla-Hernández 1998; Calva-Benítez *et al.*, 2006). Por lo que la documentación referente a la funcionalidad de dos de los principales sistemas fluviales que convergen en la zona núcleo de la Reserva, con respecto a los

cambios en la dinámica de la calidad de agua y en particular de los nutrientes, podrían ser consideradas en futuras toma de decisiones.

1. ANTECEDENTES.

Los esfuerzos para investigar el flujo de materia orgánica y nutrientes desde los manglares han sido muchos, sin embargo, son muy pocos los estudios que han medido el flujo de nutrientes entre los arroyos/ manglares y estuarios (Wang *et al.*, 2010). Algunos de ellos en donde consideran los flujos de entrada y salida del agua, son:

- Tripathy *et al.*, (2005), en el río Godavari (el segundo río más largo de la India), la bahía Kakinada y dentro del estuario Andhra Pradesh, India, donde el diseño experimental constó en ubicar estaciones repartidas entre la bahía, el estuario y el río, antes y dentro de la zona del Manglar. Los resultados mostraron una relación Si: N: P (29: 4: 1), dentro de la zona de manglar lo que indicó un enriquecimiento de estos nutrientes a través de insumos externos antropogénicos. En general, las estaciones dentro de la zona de manglar registraron una calidad de agua con altas concentraciones de nutrientes comparadas con las estaciones dentro de la bahía y en el estuario, lo cual indicó que los ecosistemas de manglar son una fuente de nutriente muy importante para los ecosistemas adyacentes.

- Wang *et al.*, (2010), reportaron la calidad del agua de un estuario con manglares, en Zhangjiang Fujian, China, durante los períodos de inundación y refluo. Los sitios de muestreo se localizaron antes, cerca, dentro y fuera de la zona del manglar. Concluyeron que los manglares en el estuario de Zhangjiang pueden atrapar los nutrientes a un ritmo de 90.5 g N/m²/año, 2.2 g TP/m²/año, y 13.7 g C/m²/año en

forma de Carbono Orgánico Disuelto y Carbono Orgánico Particulado a una tasa de 81.8 g / m²/año, y que sus resultados apoyan la hipótesis de que el mantenimiento de la calidad del agua del estuario de manglares se produce durante los períodos de inundación.

- Satheeshkumar y Khan (2012), determinaron la calidad de agua del manglar en la costa de Pondicherry, India, en base a los métodos del Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Cúmulos (AC). El estudio determinó los parámetros fisicoquímicos del agua y características de los sedimentos del manglar durante Septiembre de 2008 a Diciembre de 2010. El pH, temperatura, salinidad, sedimento (arena-limo-arcillosa) y materia orgánica, indicaron una correlación de $p < 0,01$. En tanto el AC, clasificó las estaciones en cuatro grupos (pre-monzón, monzón, pos monzón y verano), lo que indicó junto con el ACP, que la calidad del agua en las estaciones ubicadas en los manglares fue mala.

En México, el estudio de los manglares se ha centrado en la descripción en la distribución, cobertura y productividad de los manglares (Ramírez-García y Lot-Helgueras, 1994; Flores -Verdugo *et al.*, 1990; Tovilla-Hernández 1998; Suárez-Altamirano 2005), y son pocos y no tan recientes los trabajos que se refieren sobre productividad y balance biogeoquímico, donde el mayor porcentaje de trabajos reportados se ubican principalmente en el Golfo de México (Suárez-Altamirano 2005), los cuales se sitúan dentro del sistema estuarino y no con respecto a los flujos de entrada a dicho sistema (Herrera-Silveira 1994, 1995 y 1996; Herrera-Silveira y Comín 1995; Suárez-Altamirano 2005).

Caso particular en la Laguna de Términos, Campeche, México, donde se evaluó los manglares como determinante en el intercambio de componentes nitrogenados y de calidad de agua, a través de canales de flujo, monitoreado durante un período de 15 meses. Los resultados mostraron, que la franja de manglar en el Estero Pargo actuó como un sumidero de nitrógeno inorgánico y como una fuente de nitrógeno disuelto y particulado, en contraste con otros sistemas de manglares (Rivera-Monroy *et al.*, 1995).

En Chiapas, el papel de los nutrientes dentro del sistema lagunar, Contreras *et al.* (1996) ha realizado trabajo en las lagunas Buenavista, Carretas, Pereyra, Bobo, Cerritos, Chantuto-Panzacola, Teculapa, y Campón, en las cuales los nutrientes resultaron que no son una limitante para la productividad primaria, incluso los valores mínimos de concentración, son más elevados que los de sistemas similares como las zonas templadas, y sus variaciones estacionales de concentración son más amplias.

Gómez-Ortega (2013), evaluó la ecología del sistema lagunar Chantuto Panzacola, donde mostró que los nitratos (NO_3^-) fueron las formas nitrogenadas más abundantes aportando entre el 48.75% y el 92.32% del nitrógeno total inorgánico ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), seguido del amonio (NH_4^+) en abundancia, ésta aportó entre el 7.13% y el 49.45%. Los ortofosfatos (PO_4^{3-}) presentaron las mayores concentraciones en la temporada de lluvias, disminuyendo en la temporada de secas cuando se detectaron las salinidades más altas. El Índice del Estado Trófico de Carlson ubicó a las dos épocas climáticas en β Mesotrófico durante el estiaje y α Mesotrófico en lluvias, considerando que las estaciones de muestreo, ubicaron a lagunas como α Oligotrófico, en el caso de la Boca Barra, hasta α Eutrófico en el caso de las estaciones Chantuto y

Cerritos. El índice del TRIX ubicó al sistema en 6 - 8 con la calidad del agua pobre, altamente productiva y nivel trófico más alto.

Con respecto a la calidad de agua en los ríos de la zona de Soconusco Chiapas, ha sido reportada como sistemas fluviales en donde sobrepasan los niveles de 50 a 70 veces más de contaminación respecto a las condiciones de los que no presentan cargas de aguas residuales (Rodríguez-Espinoza, 2006).

La calidad de agua de los once ríos que conforman la región hidrográfica 23 de Soconusco Chiapas (Spillecke y Werner, 2012), pocos son los que han tenido seguimiento, como son: el Pijijapan, Coapa, Margaritas (Jiménez-Castellanos *et al.*, 2011), y el Cintalapa (Rodríguez-Espinoza, 2006), en donde se menciona con respecto a los tres primeros ríos, que los niveles de coliformes totales sobrepasaron los niveles establecidos para el agua como consumo humano en todos los ríos y las propiedades físico-químicas se mantuvieron dentro de los límites máximos permisibles, el monitoreo ambiental indicó pérdida de cobertura vegetal, mayor cantidad de peces omnívoros y poca presencia de fauna, ocasionado por la contaminación y cambio en el uso de suelo (Jiménez-Castellanos *et al.*, 2011).

El río Cintalapa, resulto deficiente en calidad de agua a partir de las estaciones después de las ciudades de Escuintla y Acapetahua e incluso existieron estaciones donde presentaron condiciones fisicoquímicas en los límites máximo permisible de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 (Rodríguez-Espinoza, 2006).

2. METODO

3.1 Área de estudio

“La Reserva de La Biosfera La Encrucijada, se localiza al sur del estado de Chiapas, entre los 14° 43' y 15°, 40'N y 92° 26' y 93° 20' O. Tiene una superficie de 144,868-15-87.5 hectáreas (ha), de las cuales 36,216-42-50 ha corresponden a dos zonas núcleo (La Encrucijada y Palmarcito) y 108,651-73-37.5 ha corresponden a la zona de amortiguamiento. La Encrucijada comprende parte de los Municipios de Pijijiapan, Mapastepec, Acapetahua, Huixtla, Villa Comaltitlán y Mazatán. La Reserva se comparte entre dos zonas económicas: la Istmo Costa y la Soconusco. Su límite al norte lo constituye la comunidad de Chocohuital en Pijijiapan y al Sur, en Mazatán, lo conforma la comunidad de Barra San Simón” (INE-SEMARNAP, 1999).

“La Reserva está influenciada por las cuencas media y alta, es decir, hasta la zona del parteaguas, quedando finalmente con los siguientes límites municipales: Pijijiapan, Mapastepec, Acacoyahua, Escuintla, Huixtla, Tuzantán, Huehuetán, y Tapachula” (INE-SEMARNAP, 1999).

“La hidrografía de la Reserva está constituida por 17 corrientes principales: Huixtla, Cintalapa, Vado Ancho, Comaltitlán, Coapa, Urbina, Pijijiapan, Margaritas, Novillero, San Nicolás, Cacaluta y Sesecapa, así como por diversos arroyos secundarios y terciarios que abastecen de agua dulce a las distintas lagunas tales como San Fernando, Buenavista, Carretas, Pereyra, Panzacola, Los Cerritos, Teculapa, El Campón y Chantuto; además de los esteros Hueyate, Palo Gacho, Salitral, Pampa

Honda, Castaño, El Coco, La Bolsa, La Barrita, Palmarcito, Palo Blanco, Las Brujas, Santiago y Chocohuital” (INE-SEMARNAP, 1999).

El área de estudio comprendió los ríos Vado Ancho y el Despoblado (Fig.1), los cuales se monitorearon hasta su desembocadura con la laguna costera y la bocabarra San Juan dentro de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México.

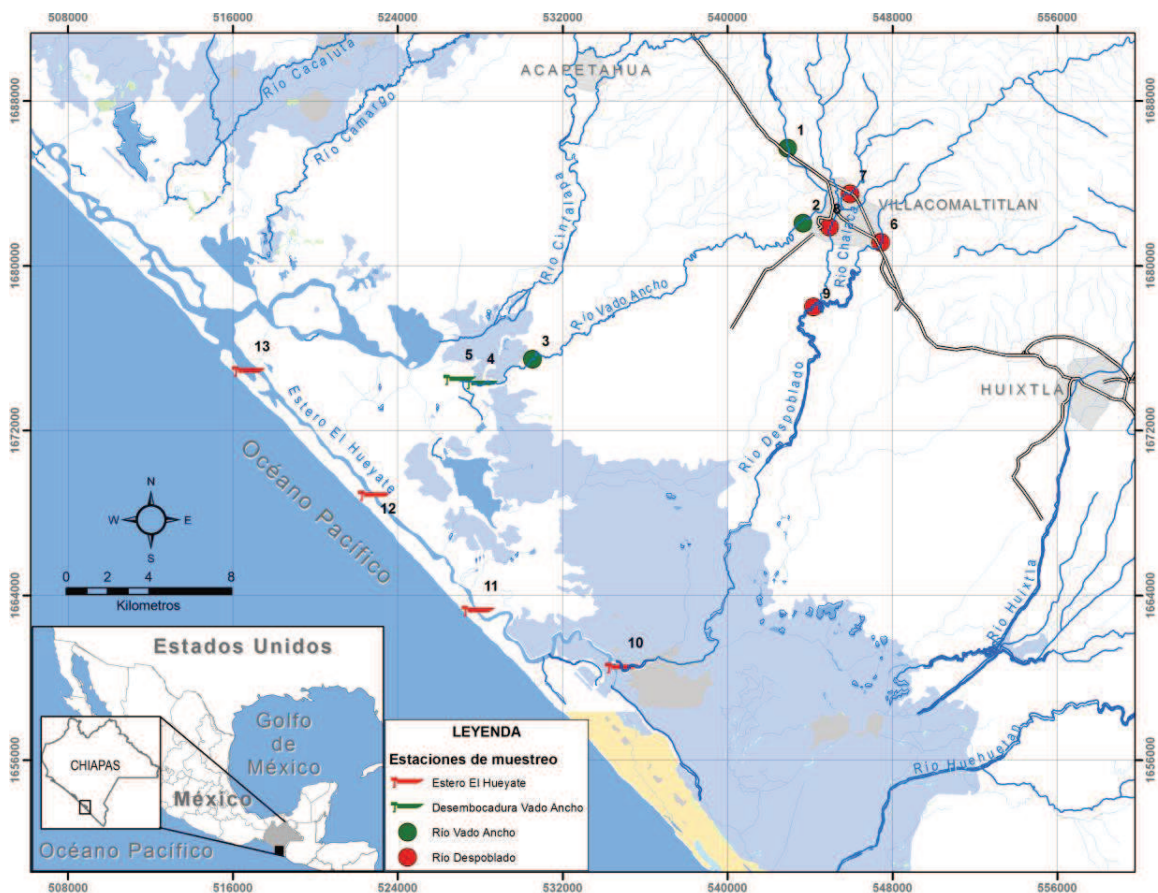


FIGURA 1. Estaciones de muestreo en los Ríos Vado Ancho definido como el Río Control y Río Despoblado definido como el Río Problema, las estaciones dentro del Río Chalaca fueron considerados dentro del Despoblado. Los símbolos en círculo significo el acceso a la estación por tierra, el símbolo de lancha signfico el acceso por embarcación, lo que indica que se refieren a las estaciones dentro de la Zona Núcleo de la Encrucijada.

RÍO VADO ANCHO

El Río Vado Ancho, tiene su origen en la Sierra de Soconusco, específicamente en el cerro San Juan, a una altitud de 2,800 m.s.n.m., dentro del municipio de Motozintla, estado de Chiapas. Corre del Nor-Este (NE) a Sur-Oeste (SO) recibiendo por ambas márgenes numerosas aportaciones de pequeñas corrientes que drenan las estribaciones del cañón que le sirve de cauce. Poco antes de su salida, pasa por la población el Triunfo, recibiendo en este tramo el nombre de río el Triunfo. Desde este sitio se inicia una amplia curvatura para cambiar su curso hacia el Sur-Este, llegando poco después al cruce de la carretera costera Arriaga-Tapachula, donde se ubica la estación hidrométrica Vado Ancho.

Después de este cruce, el río Vado Ancho continúa su desarrollo con dirección SE hacia la población Villa Comaltitlán antes Pueblo Nuevo; poco antes de éste lugar cambia su trayectoria hacia el SO, atraviesa la vía del ferrocarril Panamericano y 3 km aguas abajo de este sitio recibe por la margen derecha los caudales del río Nancinapa, continuando su recorrido a través de la planicie costera del pacífico para desembocar finalmente en La Laguna Tembladeras, la cual, en su parte Nor-Oeste se denomina Laguna del Viejo, con conexión con laguna Cerritos y Panzacola y cuya comunicación con el Océano Pacífico se realiza a través de la barra de Zacapulco y de la barra de San Juan.

Por dichas característica, este río ha sido definido como el Río Control (RC). La ubicación de este río no presenta poblaciones cercanas que realicen descargas puntuales de aguas residuales, lo que hace suponer un posible menor impacto por

cambio de uso de suelo. La trayectoria del cauce permitió cubrir la VR y VM, los cuales son los dos tipos de vegetación de interés en este trabajo.

RÍO DESPOBLADO

El Río Despoblado, nace en la Sierra de Soconusco muy cerca del Cañón Mecatal. Se distinguen toscamente cuatro tramos de recorrido: el primero de 11 kilómetros de largo con dirección Norte-Sur; el segundo de 8 kilómetros de longitud, de dirección Este-Oeste; el tercero de 16 kilómetros de longitud y dirección Norte-Sur que pasa por las inmediaciones de Villa Comaltitlán, donde se origina el cuarto tramo con dirección Norte-Suroeste con 19 kilómetros de recorrido hasta su desembocadura.

El Río Despoblado, se definió como Río Problema (RP), por las características de presión ambiental que mostró a lo largo de su recorrido:

1) A 550m aguas arriba del Puente Despoblado a la altura del Km 234+900 de la carretera costera Arriaga-Tapachula, municipio Villa Comatitlán, Chiapas, se extrajo material pétreo que inicio desde el 2008-2013. La extracción se realizó dentro del cauce del río, usando una retroexcavadora, se dragó una sección de 150m de longitud, el volumen total a extraer fue de $30,849.75\text{m}^3$ lo que fue equivalente a $6,169.95\text{m}^3$ anuales. La extracción se hizo sobre una superficie de $5,981.875\text{m}^2$ con la colindancias de 40m al Norte con cauce río Despoblado, 40m al Sur con el cauce río Despoblado, 150m al Este con cauce y barrote del río Despoblado y 150m al Oeste con cauce y barrote del río Despoblado, el tipo de material extraído fue arena en greña (50% de grava, 35% arena y 10% de limo y arcilla). El objetivo de dicho proyecto fue con fines de abastecer la industria de construcción.

2) El río Chalacas pertenece a la cuenca hidrológica del río Despoblado, el territorio que cubre incluye al municipio Villa Comaltitlán, mismo que desde el punto de vista económico se localiza en las regiones Económicas VII Sierra y VIII Soconusco (INEGI, 2000). Sobre dicho río se hacen las descargas de aguas residuales del poblado, además durante el tiempo de muestreo de este trabajo se estaban culminando el proyecto de obras de protección en los márgenes del río referido. El tramo del proyecto abarco únicamente espacios territoriales del municipio de Villa Comaltitlán, en una longitud de aproximadamente 6.3 kilómetros.

El río Chalacas se une con el Río Despoblado por debajo del poblado de Villa Comaltitlán, La trayectoria del cauce cubre los dos tipos de vegetación. El río desemboca al sistema lagunar a través de un trayecto largo de cobertura de manglar denominado “El Hueyate” que conecta directamente con la bocabarra. Las estaciones de muestreo además de cubrir los dos tipos de vegetación e impacto por cambio de uso de suelo, también permitió evaluar si existió o no variabilidad de concentración por una posible influencia de agua marina debido a la cercanía con la bocabarra San Juan.

VEGETACIÓN

“Los tipos de vegetación presentes en La Encrucijada son: manglar, zapotonal, popal, tular, selva mediana sub-perennifolia, selva baja caducifolia, vegetación flotante y sub-acuática, vegetación de dunas costeras y palmares” (INE-SEMARNAP, 1999).

Los tipos de vegetación definidas en este trabajo fueron tres la vegetación ribereña (VR), vegetación ribereña asociada al manglar (VR-M), y la vegetación de

manglar (VM), bajo los criterios de identificación mencionadas en la sección de muestreo.

La VR, típicamente consta de árboles caducifolios de los géneros *Populus*, *Taxodium*, *Salix*, *Alnus*, *Fraxinus* (Granados-Sánchez *et al.*, 2006). En el área de estudio, hacia la zona continental, generalmente está compuesta por selva mediana subperennifolia, entre las especies más comunes se encuentra el chicozapote (*Manilkara zapota*), cedro (*Cedrela odorata*), amates (*Ficus spp.*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), palma real (*Sabal mexicana*), coyol (*Acrocomia aculeata*), chocoquite (*Bursera simaruba.*), castaño (*Sterculia apetala*), ceiba (*Ceiba pentandra*), caobilla (*Swietenia humilis*), entre otras (INE-SEMARNAP, 1999), todas ellas identificables a lo largo de los transectos en este trabajo.

A lo largo de los transectos además de identificar las características antes mencionadas, también se hizo presente las características mencionado por INE-SEMARNAP (1999), donde se hallaron “recintos de la selva mediana mezclados con palmares y zonas diseminadas de este tipo de vegetación, por áreas agropecuarias, lo que hace suponer que años atrás esta selva cubría extensas áreas donde hoy sólo se pueden observar potreros”.

La VR, en la parte media y baja de la zona de estudio, está compuesta de zapotonales donde predomina el zapotón o zapote de agua (*Pachira acuatica*), así como palmares del palma real (*Sabal mexicana*) y la palma manaca (*Attolea preussii*), ésta última constituye los llamados “manacales”, se hizo presente en ambos ríos (RC y RP). En esta parte de la vegetación y en particular a lo largo del estero el Hueyate, fueron identificables Popales, como la especie dominante llamada Platanillo (*Thalia geniculata*), *Heliconia sp.*, *Calathea sp* y vegetación tipo Tulares, como el tule (*Typha*

dominguensis), así como especies consideradas parte del sotobosque como el *Acrostichum sp.*, (INE-SEMARNAP, 1999).

Hacia la parte costera la VR, está conformada por selva baja caducifolia, “las especies más comunes son, guamúchil (*Pithecellobium dulce*), huizache (*Acacia farnesiana*), sangre de perro (*Croton sp.*) y el mezquite (*Prosopis juliflora*) entre los más importantes” (INE-SEMARNAP, 1999).

En la zona costera, cuando la localización de los manglares empieza a tener mayor presencia ante la vegetación del tipo zapotonal, popales y tulares, la hizo ser definida para fines de este trabajo como la VR-M, considerando los criterios de muestreo, mencionados más adelante.

La VM, está conformada por: “el mangle rojo (*Rizophora mangle*) como el más abundante, el mangle negro o botoncillo (*Conocarpus erectus*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el madre sal (*Avicennia germinans*)” (INE-SEMARNAP, 1999).

Otro tipo de vegetación presente en la Encrucijada, es del tipo sub-acuática, vegetación de dunas y matorrales costeros asociados a la selva baja caducifolia. El primer tipo de vegetación fue evidente en la zona de estudio, principalmente en el estero el Hueyate, los segundos no fueron perceptibles durante los trayectos en este estudio, sin embargo se encuentran en la Reserva La Encrucijada.

En la vegetación sub-acuática, las especies más comunes son: “el lirio acuático (*Eichornea crassipes*), la ninfa o balona (*Nymphaea amplexa*), la oreja (*Pistia stratiotes*), el chichicastle (*Lemna aequinoctialis*)”. Entre las plantas herbáceas también son muy comunes los géneros: *Acrostichum*, *Cyperus*, aunque la literatura también hace

referencia de *Crinum* , *Paspalum* y *Ranunculus*, los cuales no fueron perceptibles durante los recorridos, en este trabajo (INE-SEMARNAP, 1999).

La vegetación de dunas y matorrales costeros, aunque no fueron perceptibles en las áreas de estudio, son vegetación presente en la Encrucijada.

La vegetación de las dunas son “las especies componentes por arbustos, hierbas plantas rastreras y algunas gramíneas que también invaden arenas de la playa, las especies más comunes son: *Canavalia rosae*, *Ipomoea pescaprae*, *Croton draco*, *Coccoloba barbadensis*; las gramíneas *Jouvea pilosa*, y *Sporobolus dominguensis*. Estas últimas forman manchones puros sólo compartiendo espacios con algunas especies rastreras de ciclo anual” (INE-SEMARNAP, 1999).

Matorrales costeros asociados a la selva baja caducifolia, “esta comunidad vegetal posee características particulares dado que en algunos sitios se comporta como un matorral costero con alturas de hasta 3m., donde abundan hierbas y arbustos de cobertura densa como *Cylindropuntia sp.*, *Paullinia sp.*, *Passiflora sp.*, y poblaciones extensas de chaco (*Acanthocereus pentagonus*) y *Bromelia pinguin*” (INE-SEMARNAP, 1999).

3.2 Muestreo

Las estaciones de muestreo acorde a la vegetación, o posible impacto por cambio de uso de suelo, se determinaron a partir de tres criterios:

El primer criterio con respecto a las áreas de uso de suelo y vegetación en el sitio de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica en La Encrucijada Chiapas para el 2010 (CONABIO, s.f)

El segundo criterio con respecto a Camacho-Rico *et al.*, (2006), quien menciona que es posible inferir los cambios de vegetación e impacto en las riberas a partir de las discontinuidades de distribución a lo largo del cauce, donde se evidencian una transición entre los sistemas terrestres y acuáticos, así como la ubicación de huertos o parcelas de cultivo ante extensas áreas de vegetación eliminadas, siempre y cuando se tenga conocimiento sobre el terreno de trabajo.

El tercer criterio, ligado a los dos anteriores, los puntos de muestreo se establecieron, bajo los reconocimientos previos en el área de estudio, por parte del Dr. Cristian Tovilla Hernández, se formó una red de trece estaciones fijas. Las estaciones 1-5 correspondieron el transecto del RC, las estaciones 6-13 conformaron el transecto del RP, de tal forma que se pudo inferir las similitudes entre ellas para realizar los siguientes comparativos:

- a) Estación 6,7 vs 1: estaciones de agua control, localizado en la parte alta, antes de la población.
- b) Estaciones 8-10 vs 2-3; estaciones con característica de VR, localizadas en la parte media de la cuenca.

- c) Estación 11 vs 4; son las estaciones consideradas como el punto de transición entre ambas vegetaciones (VR-M), localizadas en la parte baja de la cuenca.
- d) Estaciones 12 y 13 vs 5; estaciones que pertenecen a la VM, localizadas en la parte baja de la cuenca.

La localización de las estaciones de muestreo se muestra en la Tabla 1 y la Figura 2.

Tabla 1.-Estaciones de muestreo en los Ríos Vado Ancho, Despoblado y Chalaca

Río	Estación	Ubicación Río	Vegetación	Cx	Latitud "N"	Longitud "O"
Vado Ancho (Control)	1	Alta	VR	S/I agua control	15° 14' 49.67"	-92° 36' 0.76"
	2	Alta	VR	C/I	15° 12' 51.43"	-92° 35' 36.16"
	3	Media	VR	C/I	15° 9' 17.04"	-92° 42' 56.40"
	4	Baja	VR-M	S/I	15° 8' 37.29"	-92° 44' 18.99"
	5	Baja	VM	S/I	15° 8' 44.05"	-92° 44' 54.64"
Despoblado (Problema)	6	Alta	VR	S/I agua control	15° 12' 20.96"	-92° 33' 29.55"
Río Chalacas	7	Alta	VR	S/I agua control	15° 13' 37.55"	-92° 34' 19.62"
Río Chalacas	8	Alta	VR	C/I	15° 12' 45.03"	-92° 34' 52.74"
Río Chalacas	9	Media	VR	C/I	15° 10' 38.80"	-92° 35' 19.60"
	10	Media	VR	S/I	15° 1' 8.61"	-92° 40' 31.56"
	11	Baja	VR-M	S/I	15° 2' 38.64"	-92° 44' 24.74"
	12	Baja	VM	S/I	15° 5' 41.28"	-92° 47' 12.95"
	13	Baja	VM	S/I	15° 8' 57.56"	-92° 50' 37.65"

Las simbología se refiere al tipo de vegetación: Vegetación Ribereña (VR), Vegetación Ribereña asociado al manglar (VR-M) y Vegetación de Manglar (VM). Los sitios se clasificaron, de acuerdo a características (Cx) con respecto a un posible Impactado Fuerte (I/F), Impacto Moderado (IM), Sin Impacto (S/I).

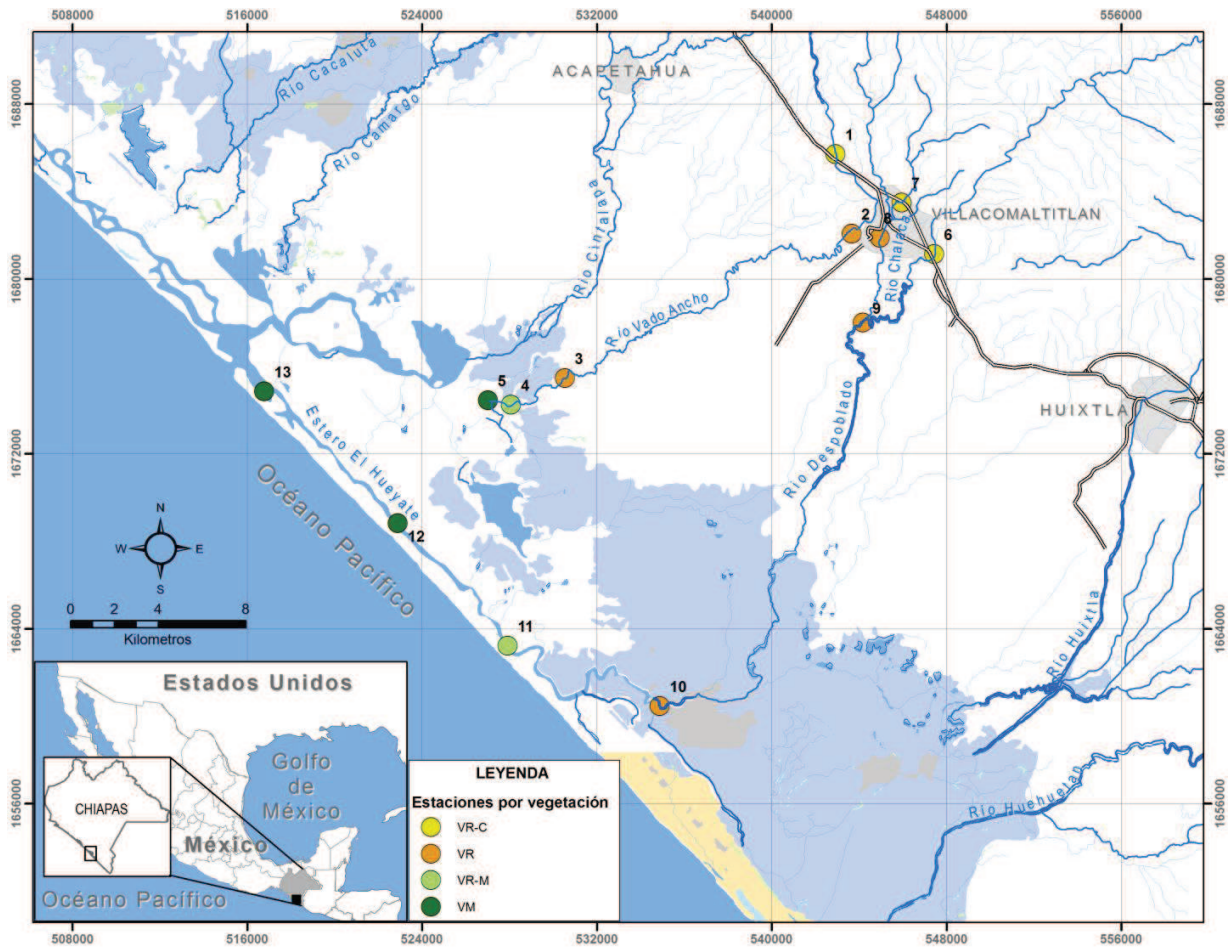


FIGURA 2. Estaciones de muestreo en los Ríos Vado Ancho, Despoblado y Chalaca, acorde al tipo de vegetación; Vegetación Ribereña (VR), Vegetación Ribereña asociada al manglar (VR-VM), Vegetación de Manglar (VM). La terminación –C, se refiere a las estaciones control (1 y 6).

Los muestreos se realizaron de abril a septiembre (excepto agosto) del 2012, dos veces al mes, de acuerdo al calendario de marea alta.

El mes de abril se muestreo en la última fecha de marea alta para que coincidiese con los 15 días después ya entrado el mes de mayo, así se obtuvo un monitoreo de tres muestreos consecutivos.

El mes de Junio se denominó como la temporada de transición entre secas y lluvias, debido a la presencia de la “canícula intraestival”.

La canícula intraestival es el fenómeno meteorológico que se hace presente en la región de Mesoamérica, y se refiere al descenso de precipitaciones en forma considerable e incremento de calor, debido a una mayor filtración de la radiación solar provocada por la escasez de nubosidad.

La canícula intraestival normalmente ocurre del 15 de julio al 15 de agosto, aunque las fechas no siempre son las mismas y la duración pueden variar. En gran parte del país la temporada de lluvias se presenta de Junio a Noviembre. La zona de estudio tuvo dos picos de máximas precipitaciones, el primero en junio y, el segundo en septiembre. Por esta razón el monitoreo en la temporada de lluvias se dividió en dos fechas, la primera en donde las precipitaciones tuvieron un declive pertenecientes a Julio y que se refieren al inicio de la canícula intraestival y, el segundo en el mes de Septiembre (Fig.3).

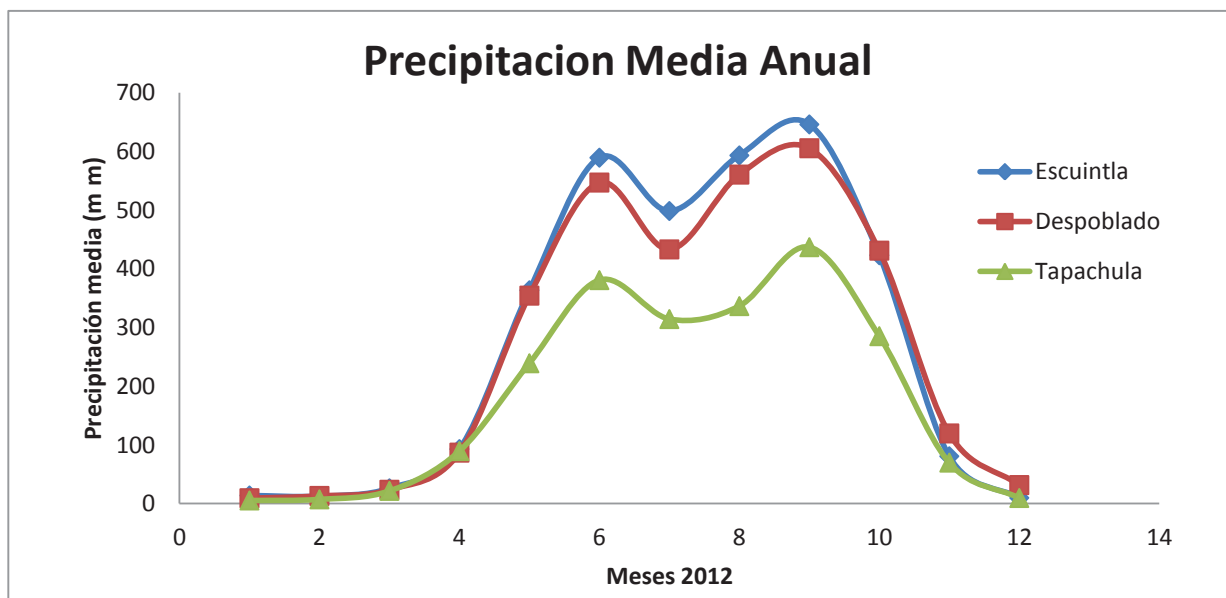


FIGURA 3. Precipitación pluvial media histórica en el Estado de Chiapas 2012.

3.3 Diseño Experimental.

El Factor 1; se refirió a la temporada, secas (Abril y Mayo), transición (Junio) y lluvias (Julio y Septiembre).

El Factor 2; se refirió a la zona de estudio y correspondió a los dos ríos.

El Factor 3; correspondió al tipo de vegetación. Se definieron tres tipos de vegetación; la vegetación ribereña (VR), la vegetación ribereña asociada al manglar (VR-M) y la vegetación de manglar (VM).

El Factor 4; se refirió a la ubicación de los puntos de muestreo acorde a un posible impacto antropogénicos.

3.4 Análisis de laboratorio

Las muestras de agua se colectaron en botellas de plástico y se preservaron en hielo. Las mediciones se realizaron en el laboratorio de Química Ambiental de El Colegio de la Frontera Sur Unidad Tapachula.

Los análisis de nutrientes se realizaron con ayuda del equipo HACH DR 890. La técnica previamente fue estandarizada en el Laboratorio de Química Ambiental de El Colegio de la Frontera Sur Unidad San Cristóbal, Chiapas México. Los métodos analíticos fueron:

- Nitrato-Método de Reducción de Cadmio (8039) de alto rango de 0 a 30.0 mg/L.
- Nitrito-Método de Diazonización (8507) de bajo rango de 0 a 0.350 mg/L.
- Amonio-Método de Salicilato (8155) de rango de 0 a 0.50 mg/L.
- Ortofosfatos- Método del Ácido Ascórbico (8048) de rango de 0 a 2.50mg/L.

- Sólidos Suspendidos- Método fotométrico (8006) de rango de 0 a 750 mg/L.

Los análisis se realizaron dentro de las 24 horas de su colección para NO_2^- -N y 48hrs para NO_3^- -N y PO_4^- . El NH_4^- se analizó de inmediato, después de su colección, e incluso en las estaciones que se hicieron en navegación, las mediciones fueron *in situ*.

La Temperatura, pH, Salinidad, OD, Oxígeno Saturado y Conductividad, se determinaron *in situ*, utilizando el equipo multiparamétrico YSI modelo CastAway.

En el laboratorio ECOSUR-Tapachula, se analizó el Carbono Orgánico Total (COT), con ayuda del Analizador Modelo TOC-V_{CSH}- Shimadzu, por el método oxidación catalítica por combustión (680°C), con detector de infrarrojos no dispersivos (NDIR).

La medición del PT, acorde a la técnica descrita en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001 y la Turbidez acorde a la técnica NMX-AA-038-SCFI-2001.

3.5 Análisis de datos

Análisis Multivariados.

El Análisis de Componentes Principales (ACP): Técnica multivariada clasificada como exploratoria y de reducción de dimensión, permite representar a los datos en una menor dimensión (dos o tres dimensiones de preferencia) en donde se pueden visualizar el comportamiento global de los datos originales.

El Análisis de Cúmulos (AC): permitió agrupar las observaciones, en base a una medida de similaridad o disimilaridad (distancia euclidiana) y utilizando el método de agrupación Ward, para formar los grupos o cúmulos. Las observaciones que se

encuentran dentro de un cúmulo, son similares u homogéneos, en base a la medida de similaridad o disimilaridad utilizada.

Gráficos.

Se determinó el promedio de los datos para generar los gráficos y caracterizar la dinámica de los parámetros medidos a lo largo de los transectos, para mostrar diferencia o similitudes en relación a la magnitud y variabilidad entre los ríos.

Los factores del diseño experimental permitieron clasificar a los datos en tres potenciales agrupaciones, de tal forma que el análisis a lo largo de los transectos, mostraron las semejanzas o diferencias para comprobar o refutar la hipótesis planteada.

- Análisis entre los tiempos de muestreo: se refiere a la magnitud de variabilidad de concentración en el lapso de 15 días que correspondieron al monitoreo acorde a la marea alta.

- Análisis entre las estaciones; se observó la magnitud de la variabilidad de concentración en las estaciones donde se definió el cambio de vegetación, a lo largo de los transectos.

- Análisis entre grupos; se refiere a la comparación de la magnitud de la variabilidad de concentración entre ríos. En este análisis se realizaron comparaciones entre las estaciones del río Vado Ancho vs las estaciones del río Despoblado, mencionados en la sección de muestreo.

2.6 Presentación de resultados

Los gráficos de distribución de los parámetros analizados se representó en dos formas; la primera con la escala propia de cada parámetro; este tipo de Gráfico permitió la visualización de la tendencia del comportamiento de los parámetros medidos entre las vegetaciones para cada río. La segunda representación de los datos fue a escala general, de esta forma permitió visualizar en promedio la tendencia general del comportamiento de los parámetros medidos y comparar entre ríos.

La distribución de los parámetros analizados se representó con ayuda del software SigmaPlot versión 12.5. Fundamento de la Anatomía de los gráficos:

- el SigmaPlot permite realizar comparación entre las variables que se desean analizar, ya que un mismo Gráfico puede contener de uno o más juegos de datos con sus sets de ejes, usando un sistema de coordenadas cartesiano específico ya sea en 2D, 3D, en forma de pastel o polar. La representación gráfica de los datos colocados en la hoja de cálculo, pueden ser en barras horizontales o verticales, los ejes son las escalas que determinan la posición de los puntos de datos del gráfico, de forma que cada eje contiene las marcas de graduación que indican el tipo de escala utilizada. Un eje puede utilizar una escala numérica lineal, las escalas no lineales tales como, logaritmo natural, y de probabilidad, o una escala de fecha / hora, de tal forma que los gráficos de 2D pueden tener múltiples conjuntos de ejes X e Y (SigmaPlot, 2002).

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Análisis Multivariados

4.1.1 Análisis de Componentes Principales (panorama general del comportamiento del sistema; rango de concentración de los parámetros medidos en comparación con los valores obtenidos por otros trabajos documentados).

Los resultados del ACP, mostraron un porcentaje bajo del 53.9 % de la varianza para explicar el comportamiento del sistema en función de los parámetros medidos (Tab.2), la cual se considera como no suficiente (Tab.2), ya que una regla general de los análisis multivariados, especifica aceptable a partir del 70%, de la varianza explicada, sin embargo, se tomaron en cuenta los análisis de datos en tres dimensiones, al encontrar resultados con interpretaciones biológicas, consideración que es aceptable en el ACP.

TABLA 2. Análisis de Componentes Principales por Variable. Los valores remarcados indican las cargas o pesos, que muestran la forma en que se construyen los componentes principales, y como contribuye cada variable dentro de cada componente.

	CP1	CP2	CP3	P
Temperatura	-0.19147119	0.0713289	0.42488705	8.84E-20
Salinidad	-0.09944268	0.01265569	-0.37062674	2.77E-04
pH	0.14204425	-0.52694637	0.59385902	1.53E-06
OD	0.58752863	-0.56725487	0.05323823	7.72E-12
Oxígeno. Saturado	0.43944743	-0.69786066	0.14600006	9.34E-13
Conductividad	-0.11162359	0.59404269	0.29884488	2.52E-12
NH ₄	0.45246373	0.32695871	-0.05108513	2.73E-04
NO ₂	0.54843289	0.19293471	-0.05764501	1.11E-03
NO ₃	0.59036765	0.55948329	0.09206865	1.19E-16
NT	0.69154613	0.60131681	0.04951189	3.34E-15
PO ₄	0.05736858	0.30208305	0.49842547	1.95E-02
PT	0.0879231	0.17848171	0.78698153	1.92E-03
TOC	-0.24839966	0.75927132	-0.14932662	9.84E-23
SS	0.70899321	-0.04240552	-0.15357459	1.18E-20
Turbidez	0.83208724	-0.02189224	-0.19445031	4.52E-27
Varianza	3.83	3.043	1.754	
Varianza %	23.94	19.017	10.965	
Varianza Acumulativa %	23.94	42.958	53.923	

Las interpretaciones biológicas de las que se derivan los análisis de datos del ACP (Tab.2), son acorde a las encontradas por las cargas o pesos que contribuyó cada variable dentro de cada componente para explicar el comportamiento del sistema, de tal forma que se encontró lo siguiente:

1) El CP1 tuvo la mayor variabilidad, lo cual es una característica del método.

Los parámetros físico-químicos, resultantes con mayor peso en la variabilidad explicativa fueron los compuestos nitrogenados, sólidos y oxígeno.

El hecho de haber resultado los compuestos del Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID: NH₄, NO₂, NO₃), los sólidos y el oxígeno, en el CP1 como principales variables explicativas en el comportamiento del sistema, encuentra su relación, debido a la

dependencia biológica de los dos primeros con el OD, debidos a los procesos de solubilidad de minerales, descomposición de materia orgánica y reacciones de óxido-reducción, que demandaron del oxígeno.

Oxígeno Disuelto (OD)

Acorde a las preguntas problema con respecto a la diferencia o similitud entre ríos y vegetaciones; existió una diferencia notable con respecto a la magnitud de concentración del OD entre vegetaciones y una similitud entre ríos en relación al rango de concentración promedio en la VR.

En el primer caso, el rango de concentraciones máximas alcanzadas durante las tres temporadas en la VR varió entre los 7.6-8.3 mg/L en el RC, y de 8.3-15.7 mg/L en el RP, mientras que en la VM varió de 5.8-11.3 mg/L en el RC y de 4.6-19.6 mg/L en el RP. En el segundo caso el rango de concentración promedio en la VR del RC fue de 4.8- 6.9 mg/L y en el RP fue de 5.2-6.5mg/L.

En ambos ríos los valores fueron coincidentes con el rango de concentración reportado en el río Cintalapa de 6-9 mg/L (Rodríguez-Espinosa 2006), y el promedio en los ríos Pijijiapan y Margarita de 6.5mg/L (Jiménez- Castellanos *et al.*, 2011), concentraciones que estuvieron dentro de los valores óptimos para la sobrevivencia de muchos de los organismos acuáticos (6.5mg/L) (Jiménez- Castellanos *et al.*, 2011).

Acorde a la pregunta problema con respecto a la diferencia en la variabilidad de concentración de los parámetros medidos, entre ríos durante las temporadas, la marco la VM, donde mostró diferencia en ambos ríos principalmente durante la temporada de transición y lluvias (Fig. 4): en el RP el promedio de la concentración del OD en la VM

por debajo de los 4.0 mg/L, sugiere que existió mayor demanda en los procesos de oxidación que en el RC, debido al aporte de material orgánico, concentraciones que fueron coincidentes con el incremento de los SS y turbidez, esta relación además de haberse hecho presente principalmente en la VM de ambos ríos, también fue coincidente en la Est.9 que fue el punto de unión entre los ríos Chalacas y Despoblado.

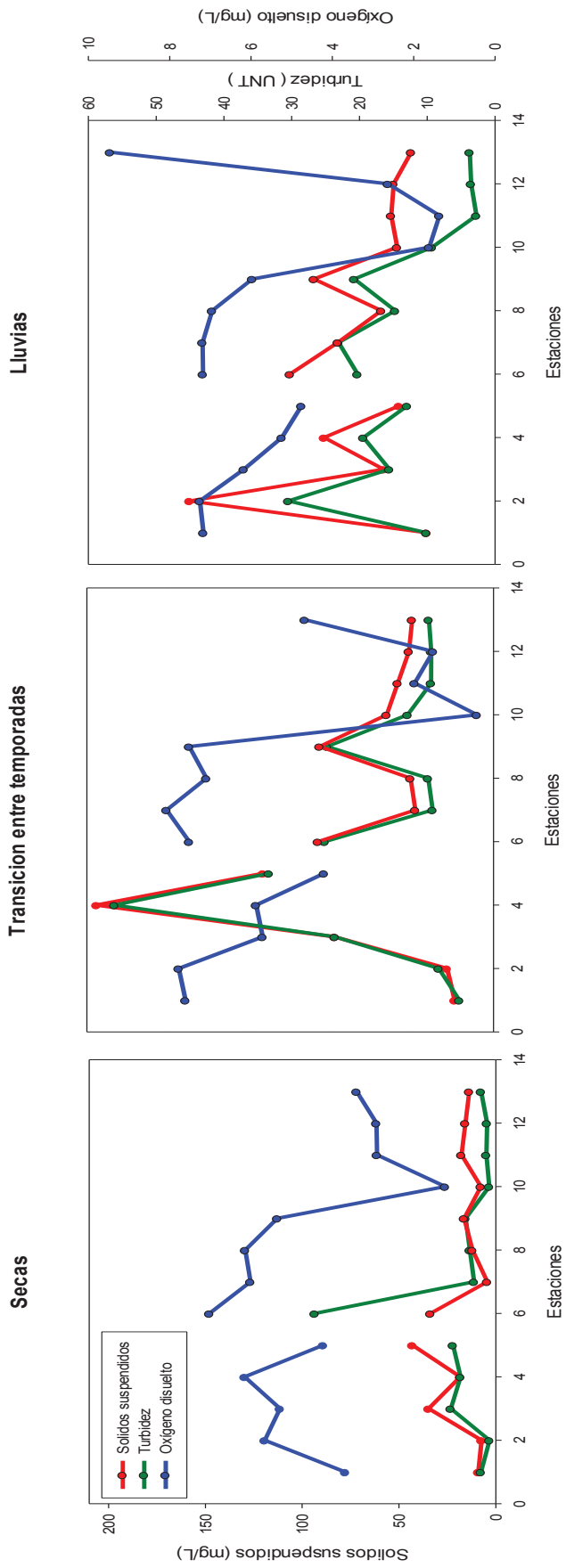


FIGURA 4. Gráfico de dispersión entre Sólidos Suspendidos-Turbidez-Oxígeno Disuelto. Las estaciones correspondientes al río Vado Ancho son 1-5 y Despoblado 6-13. Las concentraciones se refieren a los promedios entre cada temporada.

El decremento del OD ante el incremento de los SS, se relaciona bajo dos criterios biológicos que intervienen en el proceso de oxidación: 1) la gran cantidad de material suspendido hacen turbia las aguas que bloquean la luz solar y evita a las plantas acuáticas desarrollen el proceso de fotosíntesis, disminuyendo oxígeno y con ello bajarán los niveles de OD. 2) Ante un decremento de oxígeno las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reduce los niveles de OD aún más.

Los niveles de concentración de OD en la VM no fueron diferentes a las reportadas en las estaciones de la parte baja del río Cintalapa (2-6 mg/L), (Rodríguez-Espinosa 2006) y en el río Coapa (4mg/L), las cuales pueden ser aun adecuadas para la sobrevivencia de algunos organismos acuáticos, pero no para los peces (Jiménez-Castellanos *et al.*, 2011).

Sólidos Suspendidos (SS) y Turbidez

La relación de los SS y turbidez, durante las tres temporadas climáticas (Fig. 4), mostró semejanza entre ríos dentro de la VM, en el decremento al inicio de dicha zona y estabilidad de concentraciones dentro de la misma. La diferencia entre ríos se mostró con respecto al perfil de transporte de los SS a lo largo del transecto.

La variabilidad de concentración de los SS en los ríos se diferenció en función a la temporada; el RC al contrario del RP, registró mayor concentración promedio de SS, principalmente durante la temporada de transición y lluvias (Fig. 4), al igual que mostró la mayor variabilidad de concentración a lo largo del transecto en la VR, e incluso durante la temporada de secas y transición existió la condición de incremento de concentración en dirección VR a VM (caso particular el mostrado en la Est. 9, como

única estación del RP donde existió un incremento de concentración debido a la unión de las aguas del río Chalacas y Despoblado). Estas observaciones sugieren que el sistema fluvial del RC, tuvo una menor capacidad de amortiguar o disminuir las concentraciones que se acumularon a lo largo del trayecto, y fue hasta el cambio de vegetación, donde la concentración disminuyó.

Cabe señalar que las estaciones 4 y 11 definidas como los puntos de transición entre vegetación, no cumplieron con esta condición, fueron las estaciones 3 y 10 las que marcaron notablemente dicha caracterización, lo que sugiere que el cambio de vegetación notorio inició antes de las estaciones establecidas en el diseño experimental, ya que las estación 4 y 11 guardaron relación con respecto a la variabilidad de concentración en la mayoría de los parámetros químicos con las estaciones 5, 12 y 13 de la VM. De esta forma, se observó el cambio de concentración de SS se inició a partir de las estaciones 3 y 10 durante la temporada de secas y lluvias, que según los valores de concentración, sugieren haber sido los períodos de menor transporte y aporte de material a diferencia de la temporada de transición que fue el primer pico máximo de precipitación.

Las observaciones anteriores con respecto a la posible influencia de la vegetación en los cambios de concentración, se fundamenta por las siguientes tres observaciones, las cuales se conectan entre sí:

- a) Rodríguez-Espinoza (2006) y Spillecke y Werner (2012), hacen alusión que las principales diferencias entre las cuencas pertenecientes a la Región hidrológica 23, que incluyen los ríos estudiados en este trabajo y el río Cintalapa registrado por Rodríguez-Espinosa (2006), se derivan con respecto

al cambio de uso de suelo que se presentan a lo largo de dichas cuencas, ya que las características topográficas y de relieve son similares entre ellas.

b) La caracterización de los ríos mostró una diferencia notable entre ellos, acorde la variabilidad de concentración de SS a lo largo del transecto y los cambios abruptos dentro de la VM, lo que supone que de acuerdo a la conjetura mencionada en la observación anterior, la vegetación pudo influir en dichas variabilidades, ya que el perfil mostrado en el RP, hace suponer que una posible mayor longitud de cobertura de VM, ayudo a que se amortiguaran dichas cargas y fueran menores las concentraciones de entrada de los SS hacia el sistema lagunar, caso contrario en el RC.

c) Con respecto a la observación anterior, en la posible influencia de la VM en las concentraciones de SS ante la cobertura de vegetación, cabe mencionar que no existen datos específicos en porcentajes en cobertura de manglar entre dichos ríos (RC y RP), pero existe una determinación conceptual con respecto al río Cintalapa (Spillecke y Werner 2012), el cual se había hecho mención pertenece a la misma cuenca hidrográfica de los ríos estudiados en este trabajo.

Spillecke y Werner (2012) mencionan que el río Cintalapa presenta una gran presión antrópica debido a la construcción de un sistema de drenaje, encauzamiento del río, además en la parte baja de su cuenca la vegetación se encuentra alterada, debido a pastizales, agricultura nómada o áreas sin vegetación, características que pudieron influir en las concentraciones de SS las cuales fueron mucho mayores a los reportados en este trabajo para ambos ríos.

El RC, no presento las mismas características que el río Cintalapa y sin embargo el perfil en la variabilidad de SS a lo largo del transecto del RC se asemeja al Cintalapa presentado por Rodríguez-Espinoza (2006), lo que lo hace diferir del RP. Esta semejanza sugiere que en la parte baja del RC una posible inestabilidad de la vegetación permitió el deslizamiento de material como los SS fuesen más directos hacia el sistema lagunar, ya que al igual que el Cintalapa, ambos sistemas no fueron capaces de disminuir las concentraciones que se acumularon a lo largo del trayecto, sino hasta estar dentro de la VM.

Las concentraciones de los SS durante secas estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles para la protección de la vida acuática en ríos (40-60 mg/L) y estuarios (75-125 mg/L) que establece la norma NOM-001-ECOL-1996, y en los límites máximos durante la temporada de transición y lluvias, por lo que es pertinente considerar esta diferencia en la variabilidad de transporte de SS que existió entre ambos ríos, cuando existe un enriquecimiento de material que llega a desembocar hacia la laguna costera.

En lo referente a la turbidez, debido a que es una medida de transparencia del agua, era de esperarse que siguiese una tendencia de comportamiento similar a la de los SS, sin embargo ¿cuánto de ese material en suspensión está compuesto por microorganismos, materia orgánica o materia inorgánica, o de sedimento como las arcillas?, si los SS, resultaron que en determinadas estaciones y temporadas estuvieron en los límites máximos permisibles y el umbral de la turbidez reportada para agua de ríos (0-20 UNT), indico que no es agua pura, pero tampoco excesivamente contaminada (aunque en algunos casos se salió de este umbral de UNT), dando como resultado que la turbidez fuese mayor (Est. 6 en secas), a la par de los SS (como en la mayoría de las estaciones durante las tres temporadas), o bien disminuyera considerablemente con respecto a las demás temporadas definidas en el trabajo (VM en el RP durante lluvias).

COT, Oxígeno Saturado y Conductividad.

2) Una medida directa e indirecta que infiere que tipo de material es el observando en la tendencia del mencionado en los SS y turbidez, son el COT y conductividad.

El CP2 (Ta.2), mostró como el COT, oxígeno saturado y conductividad fueron los principales parámetros resultantes, acorde a las cargas o pesos, que contribuyeron en la variabilidad para explicar el comportamiento del sistema.

El COT y la conductividad encuentran su relación, en un aspecto general que tanto de la materia orgánica a la que se refiere el COT y que tanto de la materia inorgánica a la que se refiere la conductividad, estuvieron demandando del OD, para que los niveles de saturación estuviesen por debajo del 40%, clasificada como condiciones malas de oxigenación, o bien, se registraran en algunas otras estaciones dentro del umbral de %O₂ de saturación (40-100%), o cerca de los 110% de sobresaturación (Fig. 5). Ante esto, la relación de distribución de los parámetros, mostró que existió diferencia entre vegetaciones en ambos ríos; la saturación de oxígeno en la VR, sugiere que permitió se llevaran a cabo los procesos oxidativos de tal forma que la concentración de COT disminuyó, caso contrario en la VM, relacionándose con la cantidad de conductividad medida, cuyos valores en el RP, fueron mayores a los del RC y el río Cintalapa (Rodríguez-Espinoza 2006).

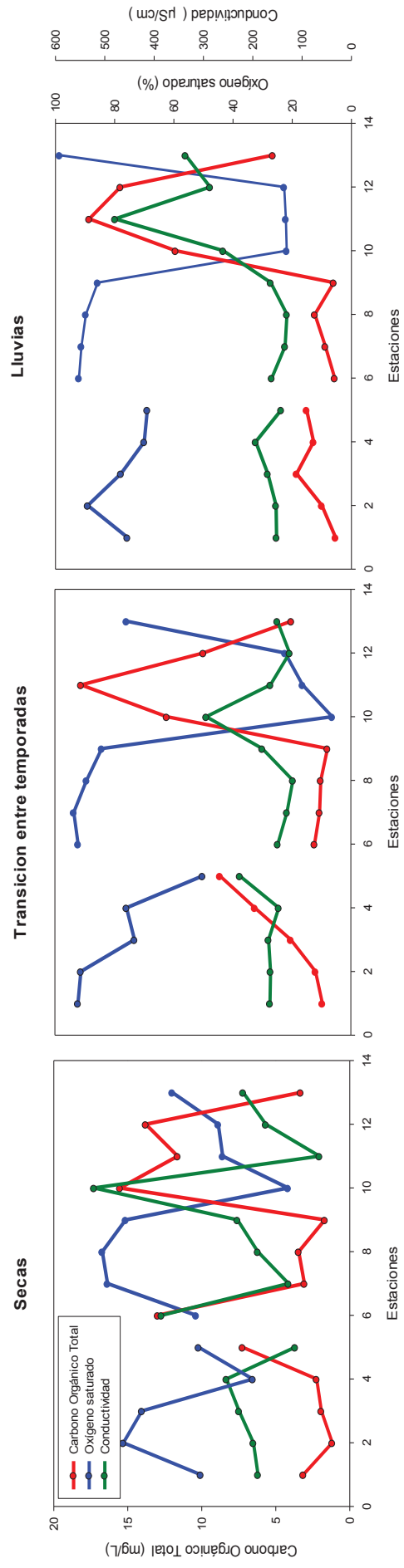


FIGURA 5. Diagramas de distribución del Carbono Orgánico Total-Oxígeno Saturado-Conductividad. Las estaciones correspondientes al río Vado Ancho son 1-5 y Despoblado 6-13. Las concentraciones se refieren a los promedios entre cada temporada.

El COT, diferencio entre ríos y a su vez entre vegetaciones, al ubicar en el RP, en la estaciones definidas como VR-M y VM, que sobrepasaron los 10mg/L establecidos para agua de ríos, excepto la Est.13, ubicada en la cercanías a la bocabarra, lo que indico la influencia del recambio de agua debida a las mareas, mostrando también una mayor oxigenación y un incremento en las especies inorgánicas denotadas por el aumento de conductividad.

La conductividad, mostro a diferencia del COT, una similitud entre ríos, al ubicar a algunas estaciones de la VR, dentro de la clasificación como aguas limpias ($<280\mu\text{S}/\text{cm}$), Las temporadas fueron las que diferenciaron entre ríos con respecto a la vegetación, ya que fue en el RP, que la tendencia de incremento que se dio durante las tres temporadas, a partir de las estaciones dentro del rio Chalaca, definidas con un posible impacto (C/I), alcanzaron su pico máximo en la VR-M, lo que hizo que entrara al umbral de clasificación como aguas poco contaminadas en secas ($280-430\mu\text{S}/\text{cm}$) y como contaminadas durante la transición de temporadas y lluvias ($430-600\mu\text{S}/\text{cm}$), esta penúltima categoría principalmente para todas las estaciones definidas como VM.

Cabe señalar que en ambos ríos durante las tres temporadas encontraron similitud en el descenso de conductividad al entrar al dominio de las estaciones VM.

3) Por último, el CP3 mostró que PO_4^- , PT, pH, temperatura y salinidad, fueron las últimas variables, para explicar el comportamiento del sistema en función de los parámetros que cuantificaron la calidad de agua, determinados en este trabajo, al ubicar su mayor carga o peso en la varianza explicativa, en el último componente del ACP (Tab.2). La interpretación biológica que se deriva de relación entre estas variables,

se debe de la dependencia de los elementos fosfatados con la temperatura, pH y salinidad, los cuales a su vez encuentran una relación entre ellos.

El valor cercano a cero de la salinidad, significó una influencia nula en su variabilidad con el resto de las variables (Tab.2). La relación de distribución entre la temperatura y pH hizo distinción entre ríos y vegetación, este último principalmente con respecto al pH (Fig. 6). La variabilidad de la temperatura fue semejante en ambos ríos en el incremento durante lluvias, lo que indicó la presencia de la canícula intraestival y se diferenció entre ríos por haber sido el RP en donde se registraron las mayores temperaturas. Aun así, los valores de temperatura no fueron diferentes a las reportadas en el río Cintalapa (Rodríguez-Espinoza 2006).

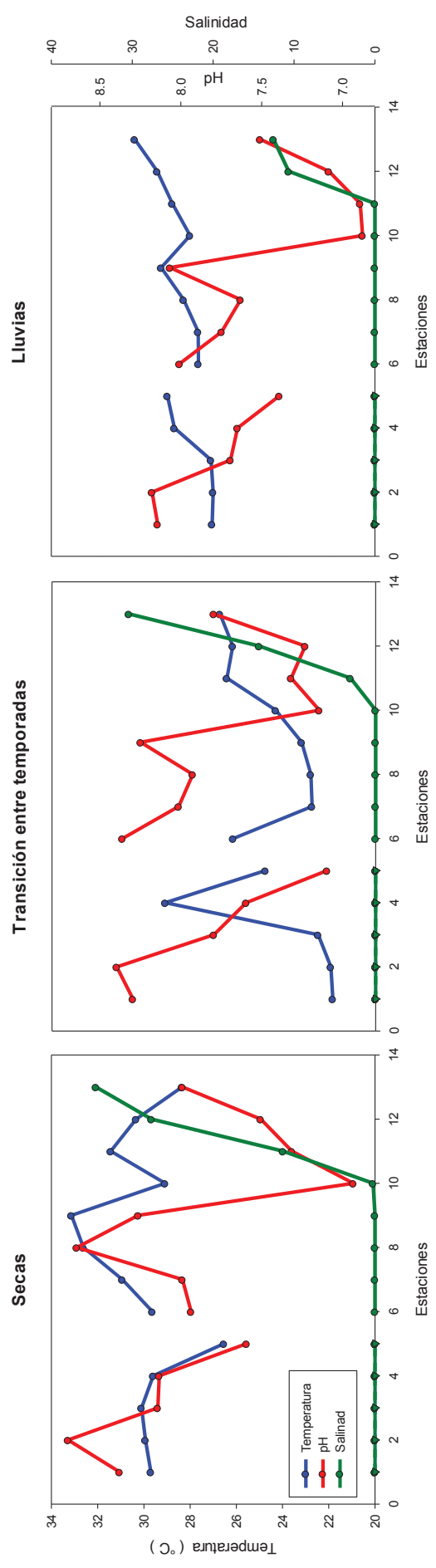


FIGURA 6. Diagrama Temperatura-pH-Salinidad en los ríos Vado Ancho (estaciones 1-5) y Despoblado (estaciones 6-13), los valores mostrados se refieren a los promedios entre cada temporada.

El pH por su parte, se diferenci6 entre vegetaciones y entre r6os, aunque mantuvo una relaci6n de neutro a alcalino, los valores de pH fueron mayores a los reportados en el Cintalapa (pH 7-8), en la parte de aguas arriba (Rodr6guez-Espinoza 2006), principalmente durante secas y la transici6n de temporadas.

Mientras que el pH >8, de aquellas estaciones denominadas como agua control (1 y 6), se debieran como producto mismo de las esorrent6as del agua natural, ya que si el agua que proviene de un r6o que atraviese una selva virgen, es de esperarse que sea ligeramente acida por los 6cidos f6lvicos y h6micos que se desprenden por la descomposici6n de la materia, es por eso de un rango de 6-8 de pH.

En aquellas estaciones caracterizadas con un posible impacto, que fueron la 2,8 y 9, debieron su incremento posiblemente por un efecto de actividad antropog6nica, aunque en diferente grado, ya que es en la estaci6n 2, donde al momento del muestreo se detect6 una descarga de agua proveniente de un cami6n (pipa de agua), personas lavando y una vegetaci6n no tan cercana a los m6rgenes del r6o, caracter6sticas que hacen suponer que existe una actividad antropog6nica aunque no tan marcada y documentada como en el RP.

Mientras que en el RP, las estaciones 8 y 9, con el pH >8, se infiere la influencia de agua residual por ser estaciones ubicadas por debajo del r6o Chalaca y en la uni6n entre Despoblado y Chalaca, respectivamente, esta inferencia debido a que las aguas residuales tienen la caracter6stica de tener un pH 6ptimo de 6.5-8.5 con m6ximo de 9, como fue en el caso del r6o Lerma, cuyas unidades de pH reportaron m6ximo de 9.4,

mínimo de 7.35 promedio de 8.17, al ser un río de fuerte impacto de aguas residuales debidos al riego agrícola (Lomelí-Meza 2009).

La diferencia de pH entre la VM en ambos ríos, se denoto por la influencia de la marea en aquellas estaciones más cercanas al sistema lagunar y la bocabarra, ya que encontró mayor similitud la Est.5 con las estaciones 10, 11 y 12 (Fig.6). Cabe señalar que los valores de pH en ambos ríos fueron mayores a los reportados por Rodríguez-Espinoza (2006) en el Cintalapa.

4.1.2 Análisis de Cúmulos (presencia o ausencia de los parámetros medidos en las diferentes secciones a lo largo de los transectos de los ríos analizados).

Martí y Sabater (2009) y Sabater *et al.*, (2009), mencionan si bien es cierto que que la heterogeneidad de los ríos es evidente, ya que marcan espacialmente su diferencia entre tramos de cabecera, medios y bajos, con una pendiente decreciente, mayor anchura de caudal y profundidad; también es cierto que esa heterogeneidad entre ríos puede llegar a converger, por las características físicas y químicas, como son el tipo de vegetación y cambio de uso de suelo, de acuerdo a la organización jerárquica que presentan las cuencas hidrológicas, es por eso que el dinamismo fluvial se puede expresar tanto en el espacio como en el tiempo.

Los resultados del AC, mostraron claramente dichas diferencias con respecto a la jerarquía de los ríos e igualdades con respecto a los constituyentes fisicoquímicos encontrados en cada tramo del sistema. La Figura 7, muestra como existió la división

en cuatro cúmulos con diferente nivel de significancia con respecto a la variabilidad de concentración de los parámetros medidos.

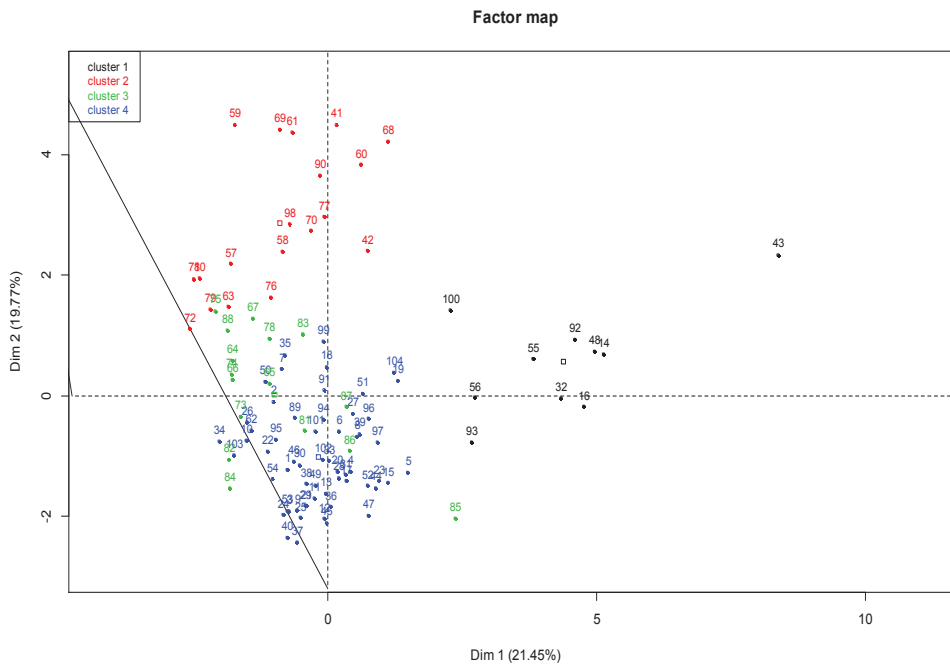


FIGURA 7. Gráfico de dispersión de los componentes principales 1 y 2, con los respectivos grupos obtenidos del Análisis de Cúmulos

La segregación de las observaciones en cúmulos, respondieron al primer cuestionamiento planteado en este trabajo, al mostrar que existió diferencia significativa entre vegetaciones y entre ríos con respecto a la presencia de los parámetros fisicoquímicos, siendo en el mayor de los casos el grupo de NID, NT, SS y turbidez que registraron su mayor variabilidad de concentración dentro de las estaciones de la VR, mientras que el grupo de OD, pH y oxígeno saturado, perteneció principalmente a las estaciones de la VM (Tab.3).

TABLA 3. Estaciones asociadas a los cúmulos del Análisis por Cúmulos.

Estaciones	1	2	3	4
	Temperatura y Salinidad (T)	OD, pH y oxígeno saturado (OD)	OD, pH y oxígeno saturado	NID, NT, SS y Trbz (N)
1				*
2				*
3		Mayo-II y Transición		OD (Secas) / P (Lluvias)
4				*
5		Mayo-II y Transición		*
6	Septiembre-II	Secas		Transición-Lluvias
7	Septiembre-II			P (Mayo-II y Transición)
8				P (Mayo-II y Transición) T (Mayo-II)
9	Septiembre			P (Mayo-II y Transición) T (Mayo-II)
10				*
11		Transición, Lluvias		
12		Transición, Lluvias	N (Secas y Transición)	
13			N (Abril y Mayo-I) P (Lluvias)	

El símbolo (*), se refiere que en dicho grupo se hizo presente la estación durante todas las fechas de muestreo, a menos que se indique en otro grupo. Las abreviaturas **N**, **P**, **OD** y **T**, así como la diagonal que los separa, hacen referencia al segundo y tercer grupo de los parámetros que tuvieron una variabilidad significativa de concentración después de los parámetros que definieron a los grupos correspondientes. El **P** el cual se refiere al grupo del PO₄⁻, PT, COT y conductividad, no fungió en ningún cúmulo como primer grupo. Las abreviaturas que siguen del nombre del mes, se refieren al primer y segundo tiempo de muestreo.

El cúmulo 4 se caracterizó por tener el mayor número de observaciones y registrar la combinación de la mayoría de los grupos. Los parámetros que registraron mayor significancia en la variabilidad de concentración y que definió a este grupo fueron los NID, NT, SS y turbidez, y en segundo orden de significancia el grupo del PO₄⁻, PT, COT, conductividad, OD, pH y oxígeno saturado. Este cúmulo junto con el 2 y 3 demostraron que existió diferencia con respecto a dichos parámetros fisicoquímicos

acorde a la vegetación y entre ríos, ya que la mayoría de las observaciones del cúmulo 4 pertenecieron a las estaciones de ambas vegetaciones en el RC, excepto durante la transición de temporada, donde las estaciones de la VM no pertenecieron a este cúmulo, mientras que en el RP, las estaciones que pertenecieron al cúmulo 4 fueron solo las de la VR. Por tanto, se marcó una diferencia entre ríos con respecto a la vegetación entre las temporadas (Tab.3).

La variabilidad de concentración de los componentes de NID, NT, SS y turbidez, en las estaciones de la cabecera de ambos ríos, sugiere que es debido al escurrimiento propio desde la parte alta de la cuenca, ya que antes de los puntos de muestreo que determinaron esta ubicación, no se presentan actividades antrópicas que pudiesen influir directamente sobre las concentraciones (Isasmendi *et al.*, 2007; IMTA s.f.). Lo que sugiere que el aporte fue significativo para el RC ya que durante las tres temporadas dichos parámetros registraron gran variación, mientras que en el RP, solo registraron mayor variabilidad durante la transición de temporadas y lluvias (Tab.3).

La mayor variación de concentración de los nutrientes registrada en las estaciones de la parte media de los ríos, se atribuye a que es la zona de la planicie donde la principal influencia en las escorrentías superficiales y subterráneas son debidas a las actividades agrícolas y de asentamientos humanos debido a que es la parte de la cuenca más productiva, por lo que los suelos son muy fértiles y se encuentran bajo un aprovechamiento intensivo (Rodríguez-Espinosa 2006; Spillecke y Werner, 2012), de esta forma no solo la variabilidad de concentración de los componentes del NID, NT SS y turbidez fueron significativos, sino que también se

hicieron presentes aunque en segundo término la variabilidad de los PO_4^- , PT, COT, conductividad y en tercer término la variación del OD, pH y oxígeno saturado (Tab.3).

Las estaciones del RC en la parte media de la planicie, al haber registrado una variabilidad significativa igual que la estación en la parte alta de la planicie con respecto a los parámetros NID, NT SS y turbidez, y en segundo término solo para la estación definida como transición entre vegetaciones (Est.3) la variación del PO_4^- , PT, TOC durante la temporada de lluvias, se atribuye principalmente a la influencia de las escorrentías debidas a la actividad agrícola. Los márgenes de la zona de ribera del RC a diferencia del RP, presentan en forma distribuida áreas de cultivos anuales (plátano, palma africana, cítricos, mango, otros), vegetación tipo selva alta perennifolia, que en su mayoría son actualmente de pastizales, arbustos y árboles grandes (Tovilla-Hernández 2010, Spillecke y Werner, 2012), que contribuyeron principalmente durante la temporada de lluvias en el incremento de arrastre de partículas y fluidos presentes en la zona ricos en nutrientes (Chiborga-Arroba 2010).

En el RP a diferencia del RC, la variación de concentración de los componentes del NID, NT SS y turbidez y principalmente de los PO_4^- , PT, COT y conductividad en las estaciones de la parte media de la cuenca, se atribuye por los asentamientos humanos y actividades agrícolas que se desarrollan sobre los ejes del río (Rodríguez-Espinosa 2006; Spillecke y Werner, 2012; Hernández-de la Cruz 2013), ya que fueron en las estaciones 7,8 y 9, donde se presentó dicha variabilidad, y estas se ubicaron sobre el río Chalacas y en unión con el río Despoblado, por consiguiente, supone que existió una marcada influencia sobre la variación de concentración debidas a los impactos que se dan en el agua y los márgenes del río Chalacas, principalmente a finales de la

temporada de secas y durante la transición de temporadas que se hizo significativa la variabilidad del PO_4^- , PT, COT y conductividad.

Además de la influencia de las vertientes directas de agua residual, otra característica que se diferencia del RC y pudo haber influido en la variación significativa de los parámetros mencionados, es el tipo de vegetación presente en esta parte del muestreo. El entorno inmediato en las márgenes del río Chalacas está integrado principalmente por cultivos más extensos de algunos frutales, cultivos industriales como la Palma Africana, y más hacia el exterior ya perteneciente al río Despoblado se localizan algunas plantaciones de cultivos agrícolas como el mango, cacao, caña de azúcar, banano y maíz y la ubicación de potreros (SEMARNAT 2002).

El tipo de vegetación presente aguas arriba, sugiere que en la estación 10, al contrario de las estaciones ubicadas dentro y después del río Chalacas, solo registró como significativa la variabilidad de concentración del NID, NT SS y turbidez, ya que a diferencia de dichas estaciones y de la Est.3 del RC, aunque sean similares en la constitución de la vegetación, fue evidente que en el RP a esta altura de la planicie, la mayor presencia de vegetación como elementos de selva mediana sub-caducifolia y riparíos, así como poblaciones de especies de manglares (IMTA s.f.; Hernández-de la Cruz 2013), no permitió que existiese un aporte significativo en la variabilidad de concentración de los fosfatos, materia orgánica, oxígeno y pH, por lo que mostró una diferencia notable entre estaciones al cambio de vegetación y entre ríos.

La segregación de las estaciones en los cúmulos 1, 2 y 3 permitió saber que existió diferencia significativa en la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos entre

vegetaciones durante las temporadas, ya que a diferencia del cúmulo 4, en estos grupos se ubicaron las estaciones de la VM, las cuales en su mayoría registraron en primer término la variabilidad de concentración significativa con respecto al oxígeno y pH, y en segundo término la variabilidad de concentración de los demás parámetros fisicoquímicos medidos.

La diferencia entre ríos en la VM, también se hizo evidente en la segregación dentro del grupo 3 y 4 al mostrar que el RC a diferencia del RP, siguió registrando como principal variabilidad de concentración significativa el NID, NT SS y turbidez, excepto durante la temporada de transición, mientras que en el RP se registró como significativa la variabilidad de concentración del oxígeno y pH durante las tres temporadas, lo que sugiere que en el RP se evidenció el comportamiento hidrológico sucedido en la parte baja de la cuenca. Al ubicarse en zona costera, donde se localizan los manglares y se da la desembocadura de los ríos al sistema lagunar, estas áreas de inundación funcionan como sistema de amortiguación del material que proviene río arriba, por lo que disminuye la variación de concentración de dicho material y en su caso funcionan como depósitos sedimentarios.

La diferencia de la variabilidad de concentración entre temporadas se hizo más evidente en esta parte de la planicie (VM), ya que existió mayor variabilidad de aparición de los diferentes componentes fisicoquímicos como significantes en el cambio de concentración, además de existir diferencia entre ríos con respecto a la VM, ya que al contrario del RP, las estaciones 4 y 5 marcaron una diferencia notable entre la temporada de transición con la de secas y lluvias al mostrar como primer variante significativo los cambios de temperatura, PT, PO_4^- COT y conductividad, al contrario de las estaciones 11,12 y 13 que registraron durante las tres temporadas, en primer

término como significativa la variabilidad de concentración del oxígeno y pH, y como segunda variabilidad significativa durante la temporada de secas y transición en la Est.12 y principios de secas en la Est.13 las concentraciones del NID, NT SS y turbidez, mientras que durante lluvias solo para la Est.13 fue significativa en segundo término la variabilidad de concentración del PO_4^- , PT, COT y conductividad.

4.1.3 Magnitud de la variabilidad de los nutrientes (cambios durante los tiempos de muestreo y a lo largo de los transectos).

En esta última sección de resultados y discusiones, los diagramas de la variabilidad de los nutrientes que se muestran más adelante, respondieron los últimos cuestionamientos planteados en este trabajo, en función de la magnitud de cambio en la concentración de los nutrientes, ya que mostraron que existió diferencia entre las estaciones y por ende entre las vegetaciones, con respecto a los tiempos de muestreo, durante y entre las temporadas, donde, de acuerdo al diagrama del ACP, la magnitud de la variabilidad de concentración de los nutrientes, fue significativa durante los tiempos de muestreo (en el lapso de 15 días), en relación al $\text{NO}_3\text{-N}$, NT, OD, SS y TOC, los cuales fueron mayores a la variabilidad del NH_4^- , $\text{NO}_2\text{-N}$, PO_4^- , PT y pH, dejando en ultimo termino la variabilidad de la temperatura y salinidad (Fig. 8).

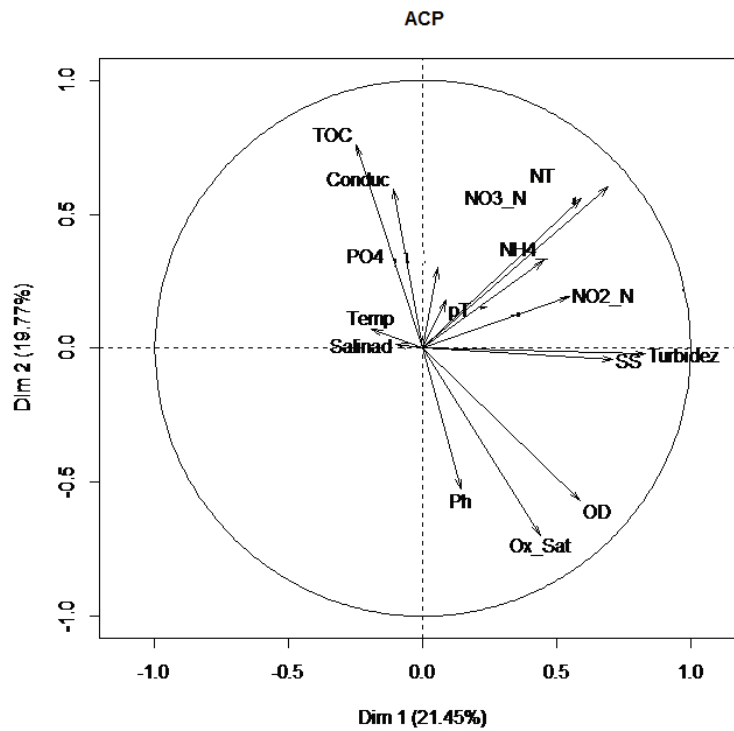


FIGURA 8. Diagrama del Análisis de Componentes Principales (ACP), de los dos primeros componentes principales.

La mayor variabilidad del NO₃-N ante el PO₄⁻ se entiende al considerar que el comportamiento del primero depende de las condiciones óxicas del sistema, ya que los procesos de descomposición cambian el estado de óxido-reducción de los nutrientes, mientras que los PO₄⁻, su variabilidad depende principalmente de la capacidad de retención por parte del sustrato (Molleván-Mendoza 2003; Boveri 2005).

En el análisis entre tiempos, la condición que caracterizó a la temporada de secas, fue el incremento de concentración de los $\text{NO}_3\text{-N}$ (Fig. 9) y PO_4^- (Fig. 10), en la mayoría de las estaciones, en el lapso de 15 días. Esta característica sugiere la influencia de las altas temperaturas, las cuales ayudan a acelerar el potencial de oxidación de las bacterias nitrobacter, que son encargadas de transformar los nitritos a nitratos, además también aumentan la evaporización, de tal forma que las máximas temperaturas que se registraron en ambas vegetaciones, pudo haber influido en la formación y retención de nutrientes (Fuentes y Massol-Deyá 2002).

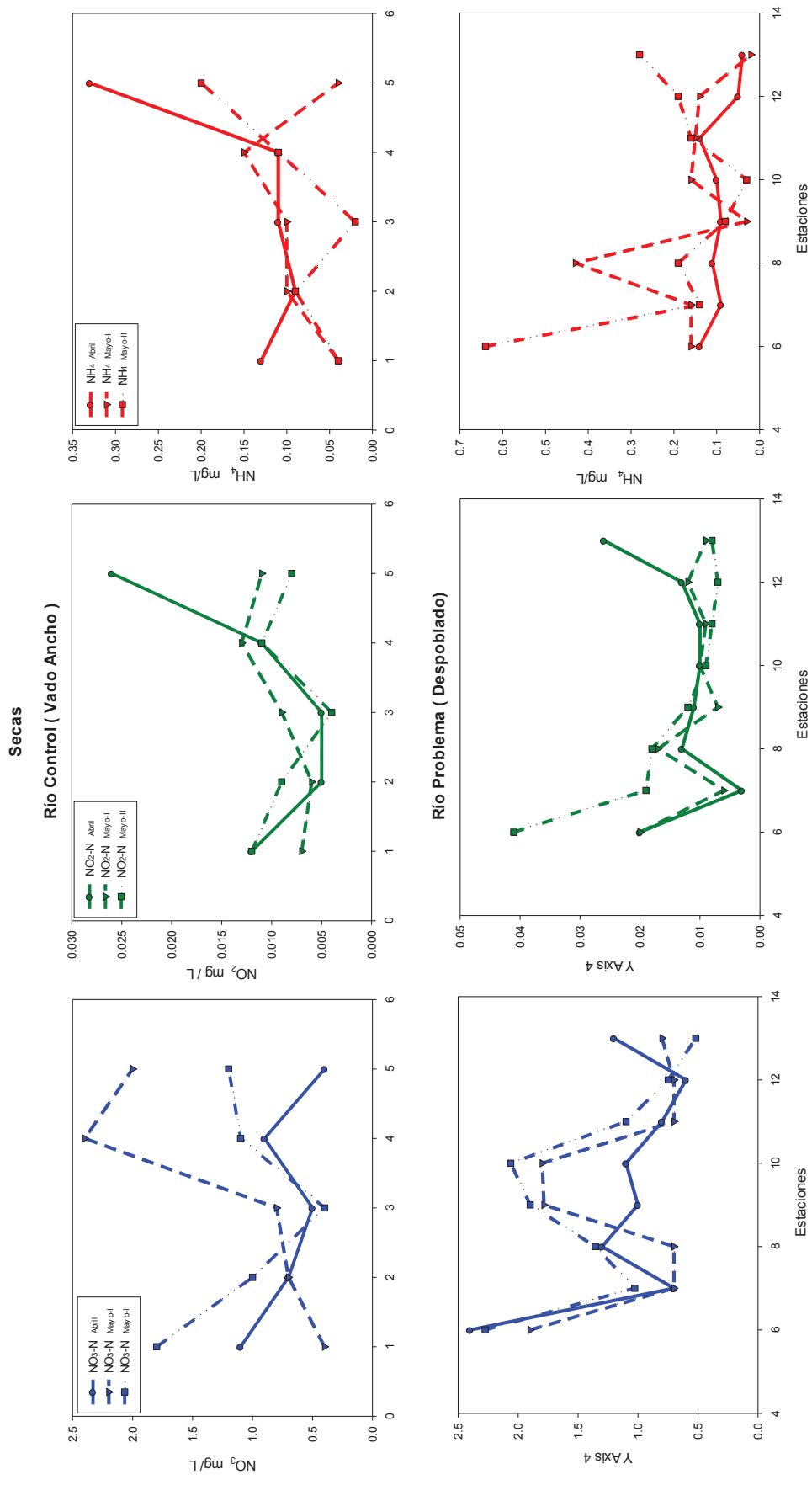


FIGURA 9. Variabilidad de concentración de los componentes del NID⁺, entre estaciones y los tiempos de muestreo durante secas, para los ríos Vado Ancho a) y Despoblado b). Las abreviatura I y II corresponde al primer y segundo muestreo.

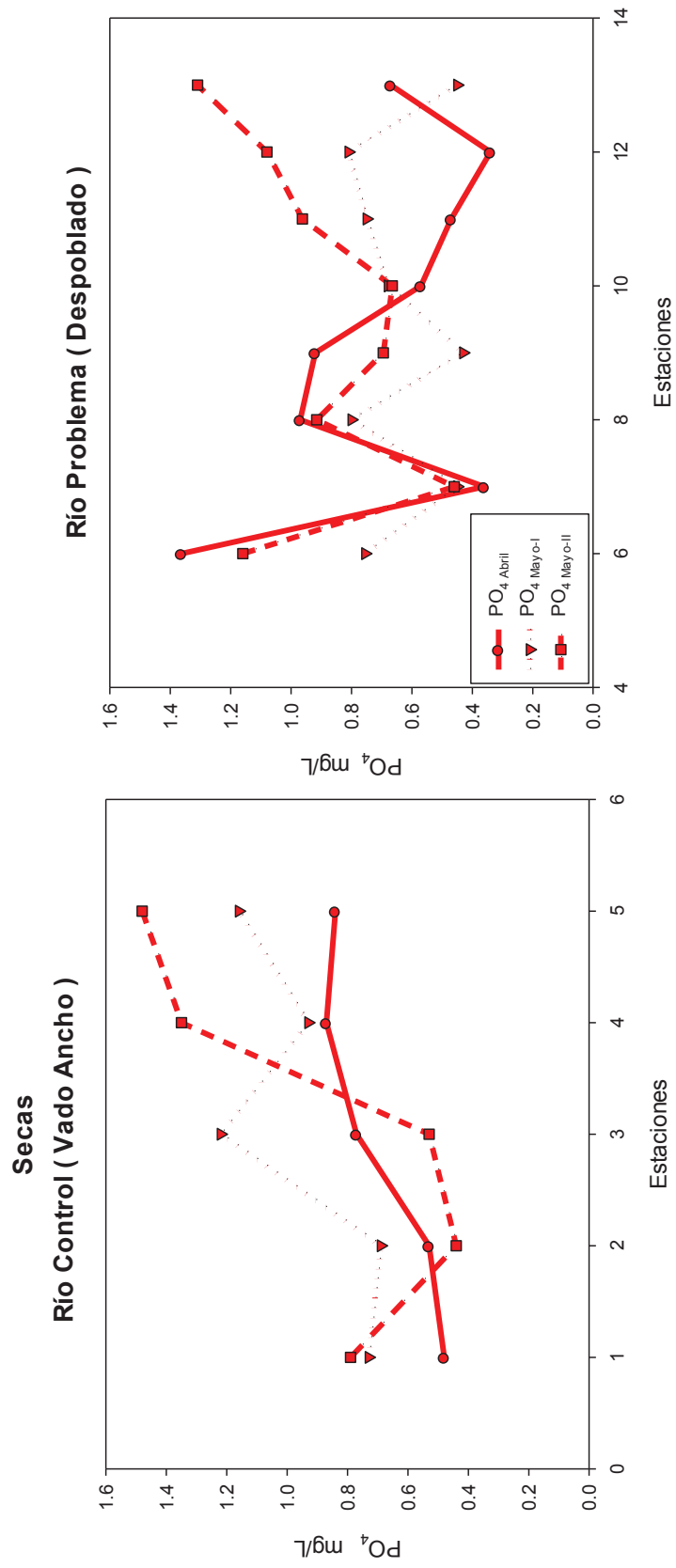


FIGURA 10. Variabilidad de concentración del PO₄⁻ ; entre estaciones y los tiempos de muestreo durante secas, para los ríos Vado Ancho a) y Despoblado b). Las abreviatura I y II corresponde al primer y segundo muestreo.

Las estaciones que no cumplieron con las condición de incremento de concentración del $\text{NO}_3\text{-N}$ y PO_4^- , con respecto al tiempo al final de la temporada de secas, sugiere que las precipitaciones que se presentaron a finales de la temporada junto con el aumento del cauce y profundidad ayudaran a un mayor transporte y dilución de los nutrientes (Boveri 2005; Martí y Sabater 2009). Este comportamiento marcó una diferencia entre ríos, ya que fue en el RC donde principalmente se presentó dicho comportamiento a partir de la Est.3 de la VR hasta final del transecto en la VM, con respecto al $\text{NO}_3\text{-N}$ (Fig.9).

Caso particular el decremento de concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ entre los tiempos de muestreo que presento la estación 13 (Fig.9), sugiere la influencia directa de la marea en los cambios de agua que disminuyen la concentración de nutrientes, debido que el aporte de nutrientes del mar es generalmente muy baja y suele ser como mínimo, de un orden de magnitud inferior a la del río (Molleván-Mendoza 2003).

La variabilidad de los componentes mayoritarios como los nutrientes o los traza, reflejan su origen, transporte, abundancia de las comunidades y funcionamiento del ecosistema fluvial. De tal forma que la variabilidad de concentración del amonio y nitrito a través del tiempo dan una idea de la velocidad de transformación, utilización y por ende del funcionamiento en el metabolismo del sistema para con el ciclo del nitrógeno y llevar a cabo el proceso de la nitrificación (Fig.9).

El NH_4 , al ser producto de la descomposición vegetal y animal, además de los exudados, es junto con el nitrógeno orgánico, los principales componentes del nitrógeno presentes en aguas residuales, por tanto, es indicador de la presencia de dichas aguas. El nitrito, aunque en menor medida, al estar en un estado de oxidación intermedio entre

el amonio y el nitrato, la variabilidad de sus concentraciones, es indicativo de contaminación de carácter fecal reciente, De esta forma la variabilidad del amonio y nitrito marcaron una diferencia más con respecto entre vegetaciones y entre ríos (Fig.9).

La primera diferencia notable fue entre ríos, mientras que en el RC la variación del amonio y nitritos fue menor, en el RP la variabilidad de concentración entre tiempos fue mayor, donde se marcó la segunda diferencia y esta con respecto entre vegetaciones:

- la posible intrusión de aguas residuales, en la Est.8, dentro del río Chalaca, hizo que incrementaran las concentraciones de ambos iones, reflejándose en el incremento de concentración de los nitratos, sin embargo no fue en esta estación donde se registró la máxima concentraciones para los tres componentes del NID, sino más bien en aquellas estaciones donde existe la posible presencia de una mayor vegetación (6 y 10), haciendo notable la diferencia entre ríos con respecto a la posible velocidad de transformación o nitrificación:
 - en el RP aunque existió una mayor concentración, se infiere que existió una mayor velocidad de transformación y utilización haciendo un buen metabolismo en el sistema que hizo que las concentraciones una vez entrado en la VM, fuesen similares a las del RC, cuyo sistema fluvial en teoría tiene una menor perturbación antropogénicos; en cambio la transformación en el RC se infiere que fue proporcional a la cantidad de componentes nitrogenados al sistema el cual fue menor que el RP.

En la temporada de secas, el análisis entre estaciones y entre grupos distinguió los cambios en la vegetación y ríos con respecto a la tendencia de la concentración a lo largo del transecto, la cual estuvo principalmente definida por aquellas estaciones en las que no se presentaron cambios de concentración con respecto a los tiempos de muestreo, principalmente en la VM (Fig.9), por lo que distinguió entre ríos, coincidiendo solo en el decremento de concentración dentro de la VM (Fig. 11).

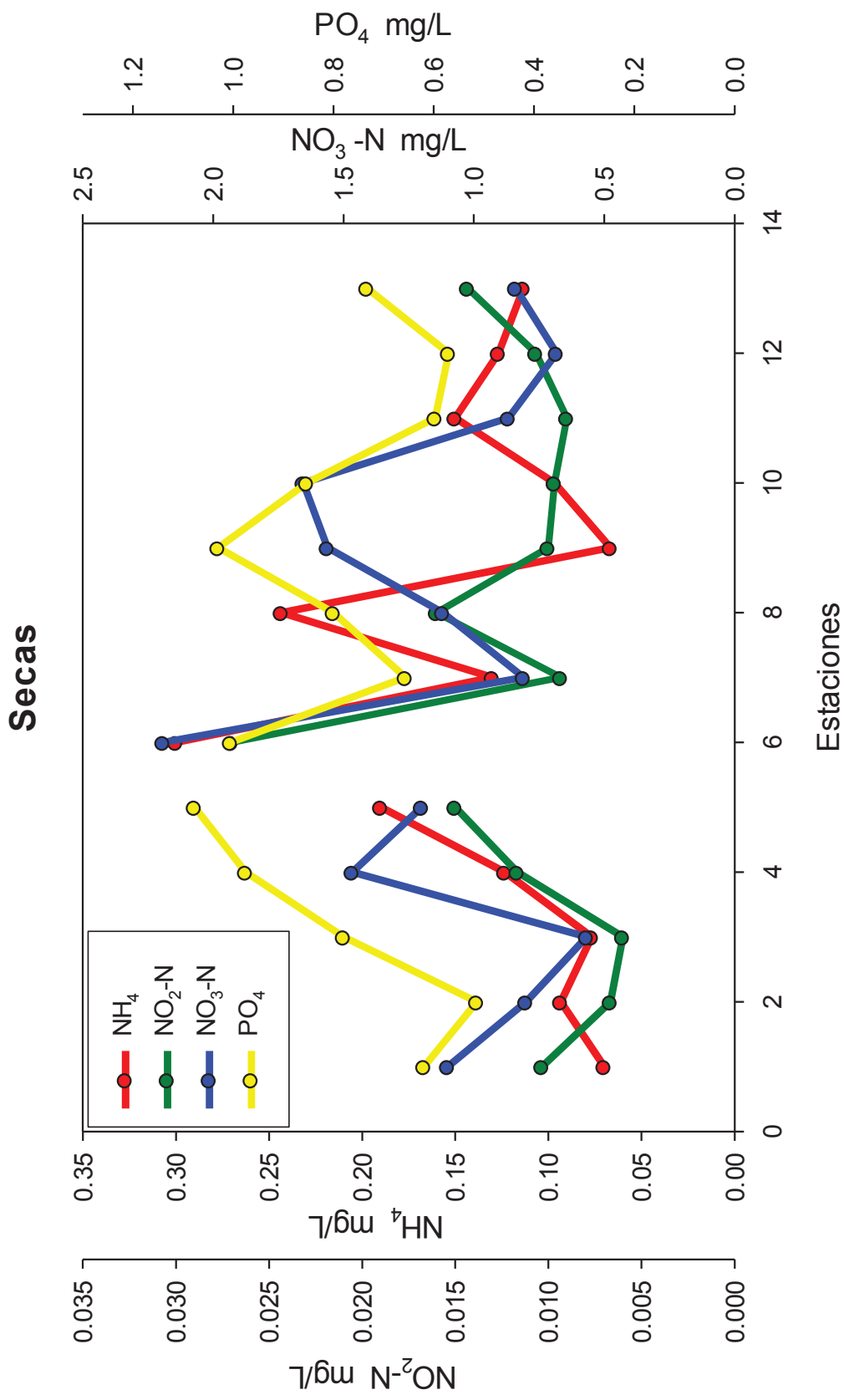


FIGURA 11. Variabilidad de concentración entre los componentes del Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) y PO_4^- . Las estaciones del 1-5 corresponden al río Vado Ancho, las estaciones del 6-13, corresponden al río Despoblado.

El análisis entre estaciones y por grupo, mostró que la dinámica del $\text{NO}_3\text{-N}$ de incremento y decremento a lo largo del transecto en la VR (Fig.11), demostró la diferencia entre ríos con respecto al impacto, ya que en el RC sugiere que bajo condiciones naturales durante la temporada de secas, el decremento lineal de concentración que presento a lo largo del transecto, mostró que el sistema fluvial fue capaz de asimilar o retener los nutrientes. Boveri (2005), menciona que los ríos bajo condiciones naturales pueden retener hasta el 30% de $\text{NO}_3\text{-N}$ por cada franja de un metro de distancia, como consecuencia de su utilización por la vegetación terrestre y de la desnitrificación microbiana en el suelo. Por tanto, las distancias cortas indicaron que el nutriente disuelto fue retenido eficientemente y las distancias largas indicaron que el ecosistema fluvial tuvo una elevada retentividad (Martí y Sabater 2009).

Caso contrario en el RP (Fig.11), el incremento de concentración del NO_3^- , a partir de la estación ubicada en el río Chalacas (Est.8), es relacionado con el ingreso de los vertientes de aguas residuales, los cuales al incorporar al sistema fluvial sobrecargas de contaminantes rompen con el ciclo de autodepuración y la única forma para restablecer dicho proceso es hasta que el material se haya disipado por dilución o por otros medios (Molleván-Mendoza 2003). Por tanto hace suponer que el enriquecimiento que se dio por condiciones naturales junto con las escorrentías de aguas residuales, influenciaron de manera importante las concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ para que la longitud del espiral de nutrientes no fuese capaz de disminuir las concentraciones que se acumularon a lo largo del trayecto, sino hasta el cambio de vegetación en la Est.10.

Lo anterior, se visualiza de igual forma desde la perspectiva en la metabolización de sistema a partir de la inferencia en la relación de distribución amonio-nitrito, el incremento de las concentraciones de estos iones en las estaciones 1,6 y 8, obedecen diferentes causantes, mientras que en las dos primeras el incremento de concentración como su metabolización, son propias del ciclo natural del sistema, en el segundo caso, es por la intrusión de aguas residuales (Molleván-Mendoza 2003).

La capacidad de metabolización del sistema en el RP, se observa también con la disminución de los iones amonio y nitrito, ante una pronta transformación de oxidación, por la confluencia de dos aguas con características distintas (Est.9), que al parecer favoreció el consumo pronto de la materia orgánica para acelerar el proceso de nitrificación e incrementar $\text{NO}_3^- \text{N}$, disminuir el COT, % O_2 y OD (Fig. 4,5 y 11). La confluencia de las aguas además de lo antes expuesto se observa con el incremento de la conductividad, acompañado del incremento de SS y turbidez (Fig. 4 y 5).

La influencia de las aguas residuales además de resaltar el gradiente de concentración del $\text{NO}_3^- \text{N}$ al cambio de vegetación, también permitió observar la capacidad de asimilación o retención del $\text{NO}_3^- \text{N}$ en el tramo de la cabecera y medio del RP (Fig.11), esto con respecto al análisis entre grupos el cual mostró diferencia de concentración entre las estaciones 6 y 9, lo que sugirió que el sistema fluvial tuvo alta capacidad de retención de nutrientes, ya que la concentración de la Est.6 (agua control para RP), fue mayor que la concentración de la Est.7 (agua control para el río Chalacas) y la Est. 9 (unión del agua del río Despoblado y Chalacas). Por tanto hace suponer que en el RP, si hubiese existido a lo largo del transecto las condiciones

naturales como se dio en el RC, la tendencia en decremento de concentración de los $\text{NO}_3\text{-N}$ y PO_4^- mostrada en el RC, hubiese sido el mismo en el RP.

Los cambios abruptos de concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$, que existieron en ambos ríos hacia la VM (Fig.11), marcaron diferencia con respecto a la mayor y menor presencia de vegetación entre ríos en esta parte del tramo fluvial, ya que al contrario de la Est.10, la Est.3 (como se mencionó fueron las estaciones que marcaron la transición entre vegetaciones en vez de las estaciones 11 y 4 definidas al principio de este trabajo), el acceso fue por carretera, y la vegetación aún conservo mayor característica de VR, por lo que el incremento de la concentración entre la Est.3 hacia la 4, hace suponer que estuvo asociado todavía al comportamiento de las estaciones aguas arriba, mientras que en la Est.10 el acceso fue por navegación y la vegetación guardo mayor relación VR-VM, por tanto el decremento abrupto de concentración de la Est.10 hacia la 11 sugiere que fue debido a una mayor presencia de manglares, ya que una vez dentro de la zona de VM en ambos ríos fue notorio el descenso de concentración entre las estaciones (Fig.11).

En relación con la capacidad de metabolización, lo anterior se observa al cambio de vegetación en ambos ríos, al incorporarse los NID en la VM, van proliferando las condiciones menos óxicas para equilibrar o incrementar las concentraciones de amonio y favorecer la menor formación de nitratos, debidos a la posible retención o asimilación ante una mayor presencia de vegetación de tipo manglar que va aumentando el coste energético para la formación y retención del nitrato (Llano-Arias 2009; Gutiérrez 2013).

Con respecto al PO_4^- , su dinámica a lo largo del transecto, evidenció la diferencia entre ríos con respecto a la capacidad de retención en el tramo medio durante secas (Fig.11), debido que en el RP fue notorio un aporte considerable por parte de las escorrentías desde la parte alta de la cuenca, sin embargo, también fue notoria la capacidad de retención del sistema fluvial, ya que fue capaz de disminuir las altas concentraciones que se dieron a partir del río Chalacas (Est.9), antes del cambio de vegetación (Est.10), lo que sugiere que el sistema fluvial pudo haber retenido un porcentaje considerable de los 90% que infiere Boveri (2005) del todo el fósforo que es erosionado y arrastrado hacia los lagos en una forma inerte, debido a la adsorción de las partículas de arcillas en suspensión y sustrato limo arcilloso que caracteriza al cauce del río (SEMARNAT 2002).

En el RC, al contrario del RP, la tendencia de la concentración del PO_4^- en incremento de VR a VM (Fig.11), da un referente más en suponer una menor capacidad del sistema fluvial en atenuar el material rico en fósforo, coincidiendo con el incremento de SS durante esta temporada.

La dinámica del PO_4^- en la VM fue contraria al comportamiento de los NID y marco diferencia entre ríos (Fig.11). El descenso de concentración que se dio aguas arriba, una vez en la VM no existió un cambio de concentración entre las estaciones 11 y 12, por lo que se atribuye al posible efecto denominado taponización del fosfato.

La taponización de fósforo se da tanto en el río como en los estuarios y sucede por una falta o sobresaturación de fósforo en el sistema, funge como un proceso de amortiguación en función de la concentración externa de PO_4^- y de la salinidad. Durante la temporada de secas es posible que ante una menor dinámica en el VM, el fosfato al ser un elemento de elevada reacción con las partículas, reacciona

rápidamente para ser tomado y liberado de esas partículas, y llegar a una concentración de PO_4^- de equilibrio, amortiguada y de mayor constancia (Molleván-Mendoza 2003), por lo que no existió cambio de concentración a lo largo del tramo fluvial entre las estaciones de la VM (Fig.11).

Caso particular en la estación 13 (Fig.11), donde el incremento de concentración de PO_4^- se atribuye a la salinidad, por lo que el efecto de taponización de fósforo se asocia a una función inversa a la sucedida con las demás estaciones de la VM, ya que perfiles estuarinos de fosfatos (PO_4^- vs salinidad) han mostrado un comportamiento típico de aporte característico de desorción por parte de las partículas suspendidas, debido a que los sedimentos (suspendidos y de fondo) de ríos o de estuarios, al ser expuestos a aguas marinas de bajo contenido de fosfatos liberan cada vez menos cantidades de fósforo y producen subsecuentemente concentraciones de fósforo menos tamponizadas (Molleván-Mendoza 2003).

El mes de junio o temporada de transición (Fig.12), que fue el pico de precipitaciones antes del declive de las mismas, para dar paso a las fechas de las lluvias que se caracterizaron por la canícula intraestival permitió observar la caracterización de la dinámica de los nutrientes de secas a lluvias, dentro de dos observaciones definidas:

- 1) Marco diferencia entre ríos, con respecto a las fluctuaciones en la variabilidad de las concentraciones de $\text{NO}_3^- \text{N}$, a través del tiempo, donde el RC guardo mayor semejanza con las fluctuaciones que caracterizo a la temporada de secas.
- 2) Marco similitud entre ríos, con respecto al efecto de las precipitaciones en las vegetaciones; en las estaciones de la VR las concentraciones de $\text{NO}_3^- \text{N}$ disminuyeron o se mantuvieron, y en la VM aumentaron, de mayo a junio y viceversa de junio a julio.

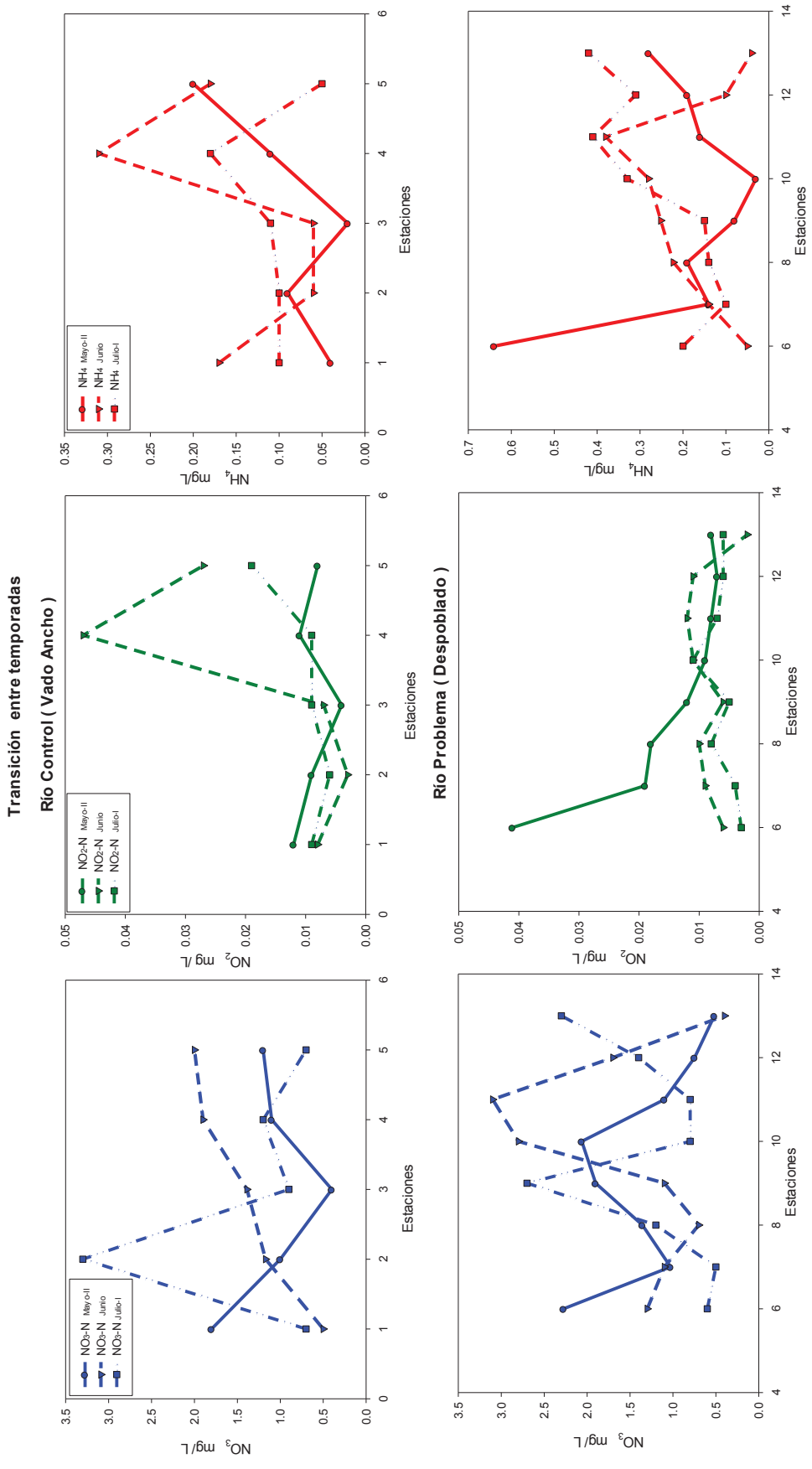


FIGURA 12. Variabilidad de concentración de los componentes del NID, entre estaciones y los tiempos de muestreo durante la transición de temporadas, para los ríos Vado Ancho y Desplazado. Las abreviatura I y II corresponde al primer y segundo muestreo.

Es a partir del paso de junio a julio donde las características de ambos ríos son similares en la variabilidad de concentración de $\text{NO}_3^- \text{N}$ a través del tiempo y guardan una relación con respecto al inicio de la temporada de lluvias.

Las fluctuaciones de ambas vegetaciones se pueden entender desde el punto de vista del metabolismo del sistema. La distribución que muestran los iones NH_4^- y $\text{NO}_2^- \text{N}$ a diferencia de secas son más variables, la disminución de concentración de mayo a junio en la VR, es posible a la mayor dinámica y dilución bajo el efecto de la lluvia, al contrario de la VM donde la posible dinámica es menor que aguas arriba y la acumulación de nutrientes proveniente de las escorrentías son mayores.

Contrario de mayo a junio, la inversión de dichas fluctuaciones en ambos ríos, de junio a la primera fecha de julio, se debe posible al enriquecimiento de nutrientes anudado a los lapsos de calma entre precipitaciones que se iniciaron en el mes de julio que hicieron que las concentraciones en la VR incrementaran nuevamente, de esta forma, favorecerían para que el metabolismo aumentara y así disminuyesen las concentraciones de $\text{NO}_3^- \text{N}$.

La distribución de la variabilidad de concentración del NH_4^- bajo el efecto de la lluvia a diferencia de secas mostró mayor fluctuación en ambos ríos a lo largo del transecto, aun así al igual que en secas, fue en el RP, donde se observó que dicha variabilidad de concentración a través del tiempo, fue mayor del lado de la VM, a excepción en las estaciones en la VR donde el aumento de concentraciones es posible a las entradas de agua residual.

Contrario a RP y similar a la temporada de secas se observó que el RC fue el que mayor variabilidad de concentraciones a través del tiempo mostró a lo largo del transecto, Esto mostró como en ambos ríos aunque el ingreso de nutrientes empezó a

ser mayor debido a las lluvias, la capacidad de metabolización fue diferente ante una mayor transformación y utilización en el RP donde el $\text{NO}_2\text{-N}$ al ser el compuesto intermedio de oxidación entre el NH_4^- y $\text{NO}_3\text{-N}$, se mostró más estable a lo largo del transecto que en el RC.

A diferencia de la temporada de secas y transición, no fue hasta la temporada de lluvias donde se estabilizó la dinámica de la variabilidad de concentración de nutrientes a través del tiempo (Fig.13), la cual se definió por la presencia de la canícula intraestival, que de acuerdo a los resultados de este trabajo, muestra que tuvo efecto en la dinámica de los nutrientes, la cual se caracterizó por un descenso de concentración con respecto al tiempo, posible a la dilución, mayor transporte y al tiempo de recesión entre cada período de precipitación, una vez alcanzado la máxima concentración en la primera fecha de julio.

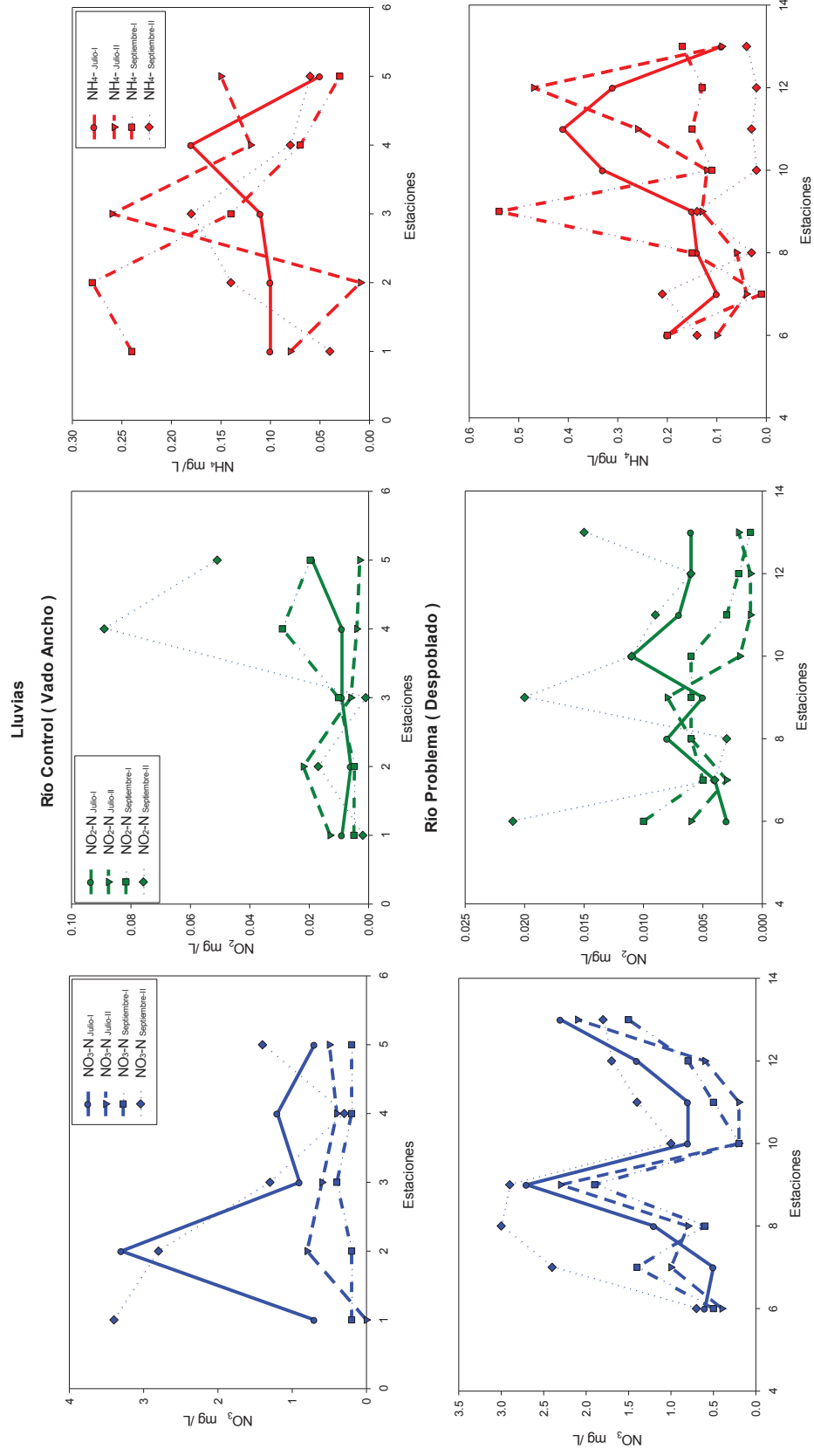


FIGURA 13. Variabilidad de concentración de los componentes del NID³, entre estaciones y los tiempos de muestreo durante lluvias, para los ríos Vado Ancho y Despoblado. Las abreviatura I y II corresponde al primer y segundo muestreo.

El período de transición, marco la diferencia entre secas y lluvias con respecto al efecto en la dinámica de los nutrientes entre ríos, debido a la presencia de la canícula intraestival, la cual coincidió con las fechas de inicio en las que ha sido reportada, durante la primera quincena de Julio (Jul-I), sin embargo, de acuerdo a la dinámica que presentaron los nutrientes con respecto al tiempo (Fig.13), hace suponer que la duración de dicho evento se prolongó hasta la primera quincena de septiembre, ya que al final del tiempo de muestreo (Sept-II), se observó un incremento de concentración a lo largo del transecto en ambos ríos.

En relación a la distribución de NH_4^- y $\text{NO}_2^- \text{N}$, mostró como era de esperarse después de lo observado durante la temporada de transición, que bajo el efecto de la lluvia, la variabilidad de concentración a través del tiempo fue mayor, a diferencia de las temporadas se secas y transición, el enriquecimiento debido a las lluvias y los cambios en la dinámica fluvial debidos a los lapsos entre precipitaciones anudado al incremento de temperatura que se dio en estas fechas, en el RP, la fluctuación de la variabilidad de concentración entre tiempos aumento, infiriendo debido al mayor enriquecimiento de nutrientes.

La temporada de transición evidenció diferencia entre estaciones de secas a lluvias, existió incremento gradual en la diferencia de concentración entre estaciones de secas a lluvias y por ende la tendencia a lo largo del transecto cambio (Fig.14). La diferencia de concentración entre las estaciones, significo que el decremento de concentración más pronunciado conllevó a una distancia de asimilación ligeramente mayor a las halladas en secas (Martí y Sabater 2009). De tal forma que el perfil a lo largo del transecto de las concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ en el RC se distinguió entre las tres temporadas (Fig. 11,14 y 15), mientras que la del RP mantuvo una relación entre la temporada de secas y transición (Fig.11 y 14).

Transición entre temporadas

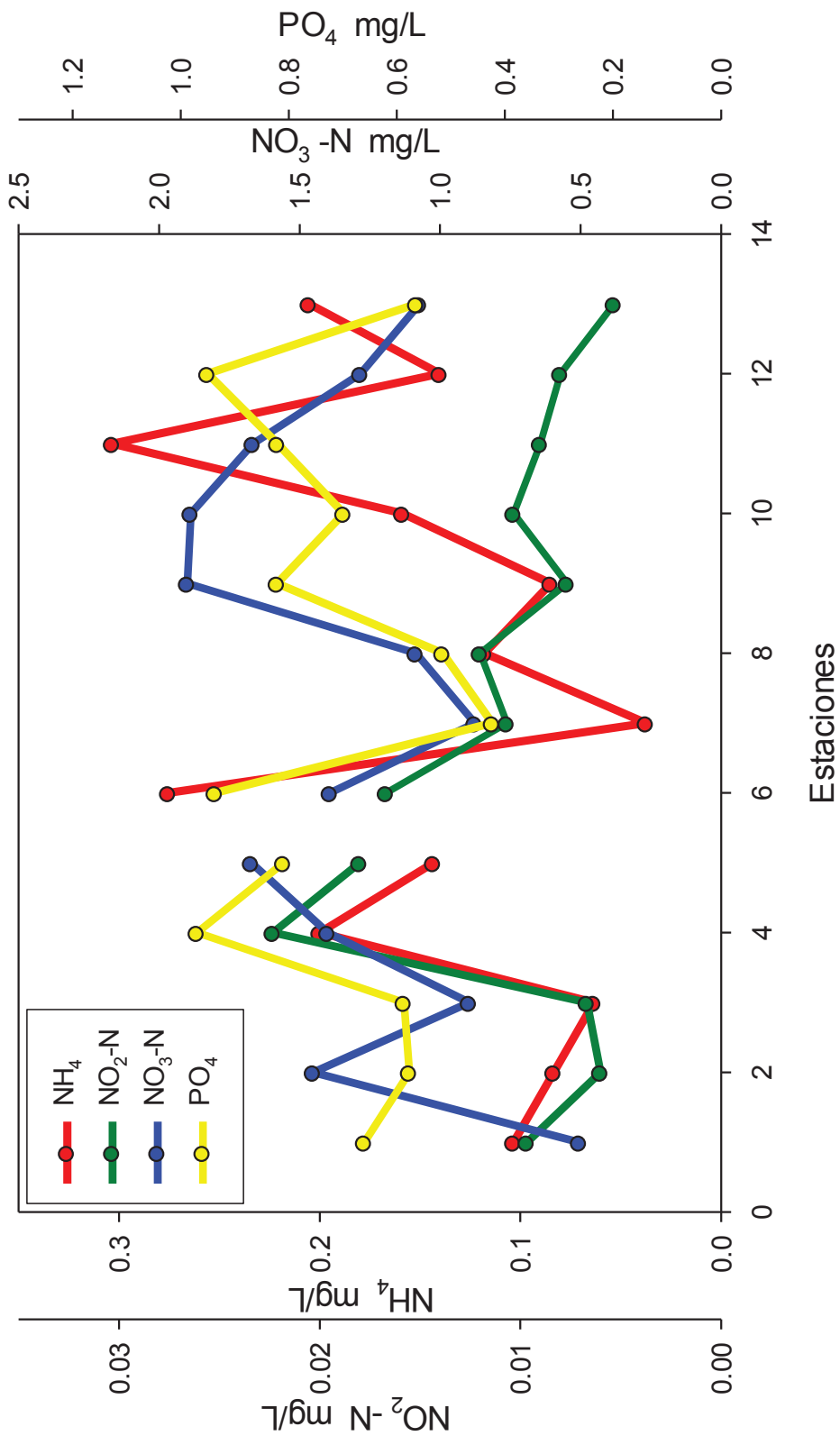


FIGURA 14. Variabilidad de concentración entre los componentes del Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) y PO_4 . Las estaciones del 1-5 corresponden al río Vado Ancho, las estaciones del 6-13, corresponden al río Desembloado.

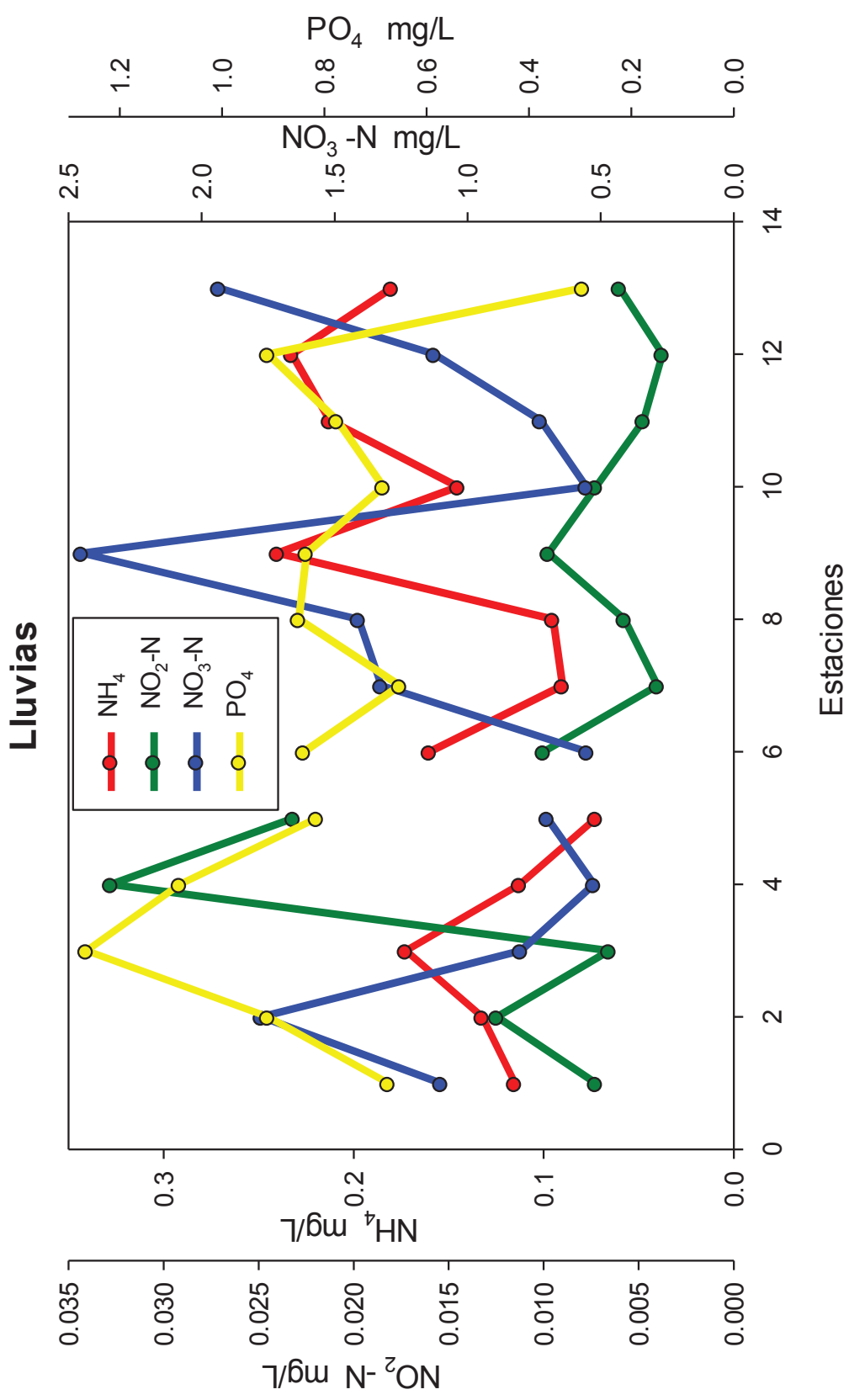


FIGURA 15. Variabilidad de concentración entre los componentes del Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NH_4) y PO_4 . Las estaciones del 1-5 corresponden al río Vado Ancho, las estaciones del 6-13, corresponden al río Despoblado.

El perfil del transecto del RC, entre la temporada de transición y lluvias (Fig.14 y 15), aunque se diferenciaron con respecto al incremento y decremento del $\text{NO}_3\text{-N}$ en la VM, mantuvieron relación de cambio de concentración entre las vegetaciones a partir de la Est.3, lo que sugiere que las lluvias incrementaron las distancias de asimilación y retención al tiempo que aumento las concentraciones en la VR.

En el RP, el perfil de concentración durante la temporada de transición a lo largo del transecto con respecto al $\text{NO}_3\text{-N}$ (Fig. 14), aun guardó relación con la temporada de secas (Fig.11), la diferencia lo marco el incremento de concentración durante la temporada de transición, la cual evidencio una diferencia de concentración mayor en la Est.9 con respecto a las estaciones de agua control (6 y 7), este comportamiento sugiere que las lluvias además de aportar también ayudaron a asimilar o retener los nutrientes debidos a un mayor transporte y dilución que mantuvo un equilibrio ante condiciones naturales de vegetación del sistema fluvial (Schenone *et al.*, 2008), contrario con lo mostrado ante la no diferencia de concentración entre la estación 9 y 10, cuyo comportamiento sugiere que la distancia del espiral del nutrientes no logro disminuir los aportes que se dieron a lo largo del trayecto pero tampoco incremento, por tanto, el sistema fluvial no fue capaz de disminuir las concentraciones sino hasta el cambio de vegetación (Fig.14).

La relación entre los NID, mostró también que los ríos difirieron con respecto a los procesos de oxidación entre las vegetaciones, ya que la relación que guardaron a lo largo del transecto en el RC durante la temporada de secas y transición difirió del RP, donde fue evidente que a partir de la Est.9, la incorporación de nuevas aguas procedentes río arriba aceleró el proceso de oxidación al registrar los valores mínimos de NH_4^- y $\text{NO}_2\text{-N}$ durante secas (Fig. 11 y 14).

La temporada de lluvias que se caracterizó por el evento de la canícula intraestival, además de haber mostrado efecto en el decremento de las concentraciones con respecto al tiempo (Fig.13), también se pudo observar con respecto a la diferencia de concentración entre las estaciones, el cual fue evidente al paso de la temporada de transición a lluvias, el cual fue diferente entre vegetaciones y entre ríos (Fig.14 y 15).

La temporada de lluvias no tuvo precipitaciones mayores a las de la temporada de transición, sin embargo la constancia con la que se presentaron a lo largo de la temporada sugiere que el transporte y dilución disminuyeran las concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ en condiciones naturales de vegetación (Fig.15), como se observó en las estaciones 6,7 y 10, mientras que en las estaciones dentro del río Chalacas incremento de forma notable las concentraciones, que incluso tuvo el máximo de concentración de todas las temporadas en la Est.9 donde fue la unión de los ríos Chalacas y Despoblado. A diferencia de las anteriores temporadas la distancia de asimilación o retención con respecto al cambio de vegetación aumento y bajo notablemente el enriquecimiento de $\text{NO}_3\text{-N}$ en la VM, que se dio aguas arriba (Fig.15).

La dinámica del PO_4^- entre tiempos, al igual que $\text{NO}_3\text{-N}$ mencionada, disminuyó concentraciones de secas a transición (Fig.16), en la mayoría de las estaciones de ambas vegetaciones, e incremento concentraciones de la temporada de transición a lluvias, debidas al aumento de escorrentías superficiales ricos en fosforo (Fig.17).

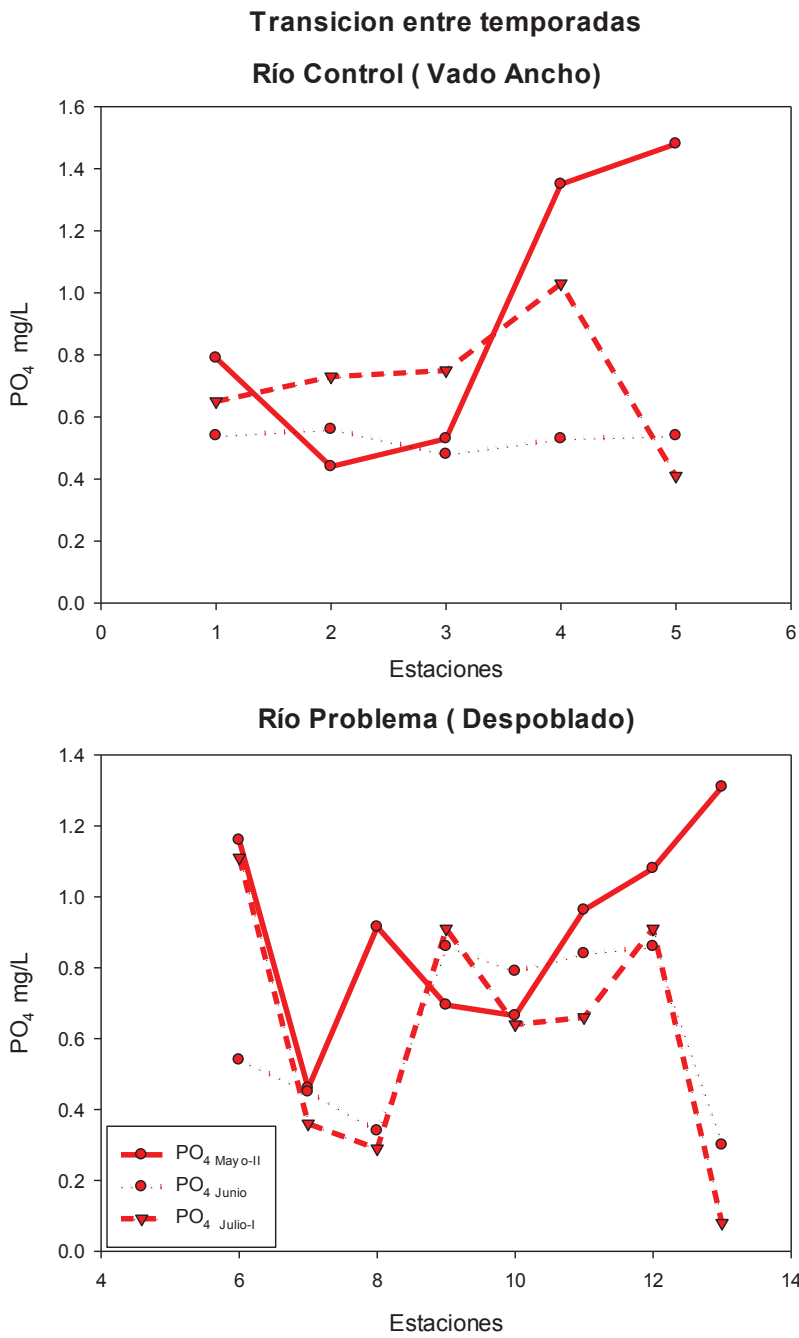


FIGURA 16. Variabilidad de concentración del PO_4^- ; entre estaciones y los tiempos de muestreo durante la transición de temporadas de secas a lluvias, para los ríos Vado Ancho y Despoblado. Las abreviatura I y II corresponde al primer y segundo muestreo.

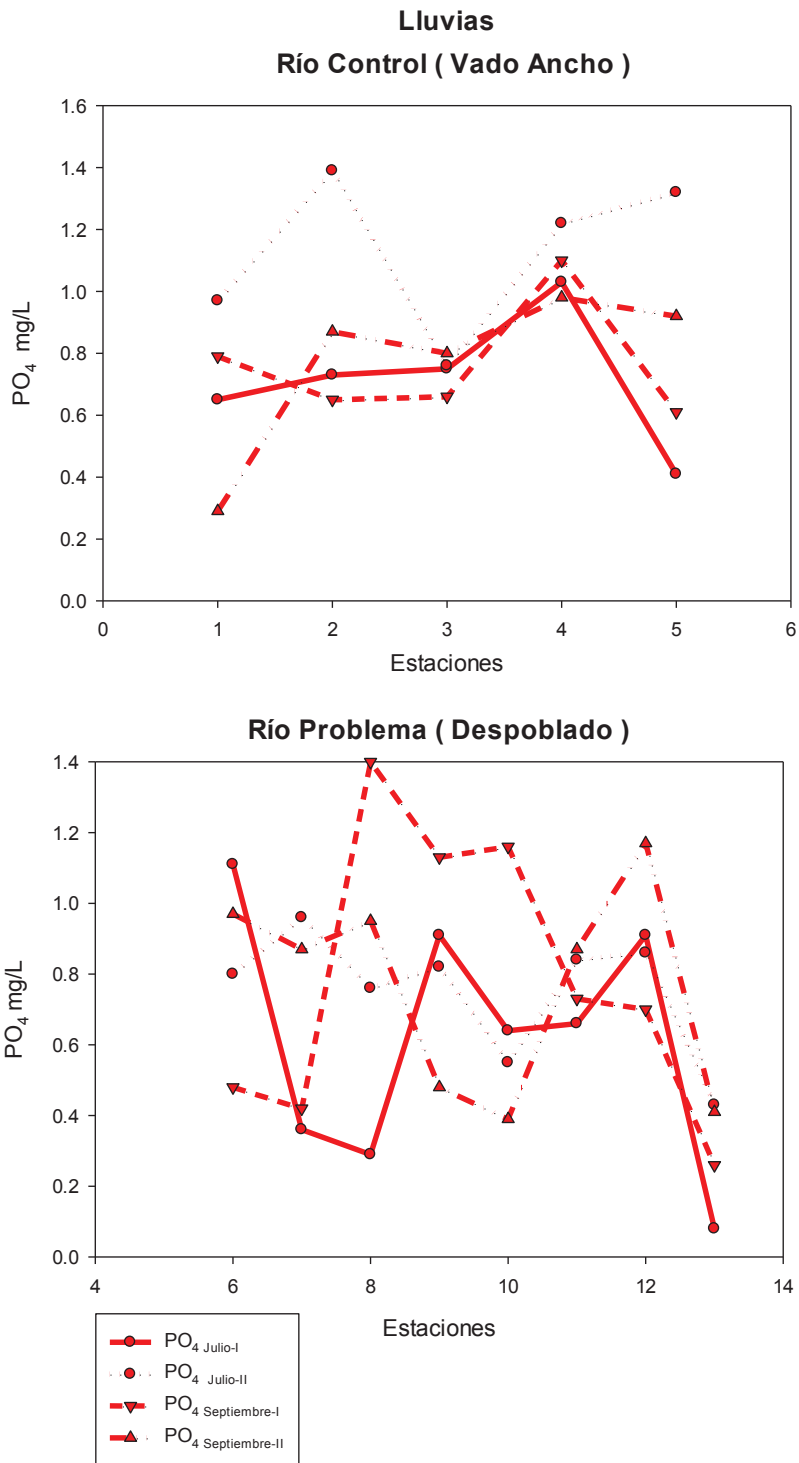


FIGURA 17. Variabilidad de concentración del PO_4^- ; entre estaciones y los tiempos de muestreo durante la temporada de lluvias, para los ríos Vado Ancho y Despoblado. Las abreviatura I y II corresponde al primer y segundo muestreo.

La tendencia del PO_4^- durante lluvias (Fig. 15), en el RC al contrario del RP, el incremento de la concentración de VR a VM, dio un referente más en suponer una menor capacidad del sistema fluvial en atenuar el material rico en fósforo, coincidiendo con las altas concentraciones de SS y conductividad (Fig.4), lo que hace suponer que existieron solutos fácilmente desionizables por lo que explicaría la relación del PO_4^- con la temperatura, ya que esta influyó en la solubilidad de las sales a temperaturas altas (Fuentes y Massol-Deyá 2002), las cuales se dieron durante secas y lluvias, esta última por el incremento de temperatura que se caracteriza a la canícula intraestival.

Por último, las concentraciones de NH_4^- en la VR principalmente en el RP, sobrepasaron los niveles máximo permisibles en el criterio de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces cálidas (0.02 mg/L) y se mantuvo en el límite en la VM para aguas estuarinas (0.4mg/L), mientras que el $\text{NO}_2\text{-N}$ estuvo dentro del límite máximo permisibles de la calidad de las aguas (0.06 mg/L) (Gómez, 2009).

Cabe señalar, que estos criterios de calidad mencionados por Gómez (2009), no son propios de México, si no, que han sido determinados para aguas cálidas, semejantes al área de estudio, sin embargo, al no tener límites máximos permisibles de dichas parámetros en nuestro país, son considerados como referencia en este trabajo ya que dichos valores fueron propuestos en base a un recopilatorio de unidades de calidad, incluyendo aquellos que se encuentran establecidos para México.

Los $\text{NO}_3\text{-N}$, difirieron por mucho de las concentraciones encontradas en el río Cintalapa de (0-0.8 mg/L) (Rodríguez-Espinoza 2006), sin embargo no fueron distintos al límite máximo permisible para aguas de uso doméstico que únicamente requieran desinfección. (NH_4^- : 1.0 mg/L y $\text{NO}_2\text{-N}$; 1.0 mg/L; $\text{NO}_3\text{-N}$ 10 mg/L) (Gómez, 2009).

Las concentraciones de PO_4^- , en ambos ríos sobrepasaron los 0.1 mg/L , nivel considerado como indicador de fuerte contaminación, dentro de los límites máximos permisibles de calidad de agua superficiales para el abastecimiento como agua potable y protección de vida acuática en sistemas costeros para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutrofización acelerada (0.05 mg/l en afluentes a lagos o embalses y 0.025 como límites dentro del lago o embalse), de acuerdo a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CE-CAA-001/89 (SEMARNAT 2009).

Las concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ y PO_4^- no fueron ajenos a los encontrados en otros ríos en la mayor parte del país acorde a lo reportado por la SEMARNAT (2009), el cual indica que desde el 2006 aproximadamente en el 88% de los sitios de monitoreo de las aguas superficiales del país, la concentración de PO_4^- fueron considerados como indicador de fuerte contaminación. En ese mismo año, 74% de los sitios se consideraron contaminados al registrar concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ superiores a los 0.2 mg/L.

5. CONCLUSIONES

Acorde los resultados multivariados y la dinámica de los nutrientes entre tiempos y entre estaciones a lo largo del transecto, se infiere que el sistema fluvial del RC tuvo una menor capacidad de amortiguar o disminuir las concentraciones, contrario en el RP, aunque las concentraciones de la mayoría de los parámetros fisicoquímicos fueron mayores que en el RC principalmente por la influencia de las aguas residuales, hace suponer que la morfología y la cobertura de vegetación ayudaron a atenuar las concentraciones de entrada al sistema lagunar. Por tanto, la hipótesis es aceptada ya que ambos ríos coincidieron con un gradiente de concentración al cambio de vegetación, y dentro de la VM las concentraciones decrecieron o bien fueron constantes al final del transecto.

Estos resultados se deben de considerar principalmente por lo mostrado durante la temporada de secas y transición ya que las concentraciones de acumulación junto con el aporte debido a las lluvias, incrementaron considerablemente para estar en el límite o fuera de ellos de acuerdo a los criterios de Calidad de agua admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces cálidas, y de estuario de Gómez (2009).

Las limitaciones de este estudio, se deben a que los resultados son principalmente descriptivos, sin embargo las ventajas fue que mostró en detalle los gradientes en la dinámica de los parámetros que definieron la calidad de agua, en específico los nutrientes, en base a los resultados de la comparación entre dos sistemas con características similares, en tiempo y espacio, que permitieron abordar distintos factores de observación, y mostrar las diferencias entre estaciones y por ende

entre vegetaciones, así como entre ríos durante y entre las temporadas de muestreo. Por tanto se recomienda que futuros trabajos complementen la caracterización, calculando tasas de cambio de nutrientes, de tal forma que se tendrá un mejor conocimiento del potencial de asimilación y retención que tengan los sistemas fluviales en cada tramo de su cauce.

6. BIBLIOGRAFIA

- Adame, M.F., y Lovelock, C. E., 2011. Carbon and nutrient exchange of mangrove forests with the coastal ocean. *Hydrobiologia*, 663, pp.23-50.
- Benez, M.C., Kauffer, M. E. F., Álvarez-Gordillo, G. C., 2010. Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la micro cuenca del río Fogótico, Chiapas. *Frontera Norte*, 22(43), pp.129-158
- Boveri, M., 2005. Ecología Acuática. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires
- Calva-Benítez, L. G., Pérez-Rojas, A., Márquez-García, A. Z., 2006. Contenido de Carbono Orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. *Hidrobiológica*, 16(2), pp.127-136.
- Camacho-Rico, F., Trejo, I., Bonfil, C., 2006. Composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Morelos, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (78) pp.17-31.
- Campoblanco-Díaz, H., y Gomero-Torres, J., 2000. Importancia de los ríos en el entorno ambiental. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 3(5), pp. 57-63.
- Canadell, A. B., 2013. Dinámica de nutrientes e importancia del Bentos y del Hiporreos en el sostenimiento del metabolismo de los sistemas fluviales efímeros alterados de la meseta central: Un caso de estudio en un arroyo de la cuenca del río Aberche (Toledo).
- CONABIO, 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, p.99.
- Cotler-Ávalos, H., Garrido, A., Bunge V, Cuevas, M. L., 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. *INECC*, p.232.
- Escobar, E., y Mass, M., 2008. Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas. En: Anon. Capital natural de México. Conocimiento actual de la biodiversidad. *CONABIO*, México. Cap. 6, pp.162-165.
- Flores-Verdugo, F. J., Agraz-Hernández, C., Benitez-Pardo, D., 2000. Conservación y restauración: Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para sus conservación. En: O. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez, L.

- Zambrano, eds., 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. *INECC*, pp.147-167.
- Fuentes, F., y Massol-Deyá, A., 2002. Manual de Laboratorios, ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico, p.17.
- García, J., Hinojosa-Huerta, O., McIntyre, C., Zamora, F., Cheong, H., Shanahan, S., Zhou, X., Ramírez-Hernández, J., Glenn, E., Laura-López, H., Zamora, F., 2009. Calidad de Agua. En: E. Peters, J. Campoy Favela, K. Flessa, eds. 2009. Ciénega de Santa Clara. Programa Integral de Monitoreo. *SEMARNAT*, pp.13-15.
- Gómez, C. 2009. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, que tiene como objetivo proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general, [en línea]. Disponible en: <http://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf> (consultado el 13 de Febrero del 2014).
- GICH, 2014. Componentes de una cuenca hidrográfica, [en línea]. Disponible en: http://ingenierosantisteban.mywebcommunity.org/posteos.php?id_posteo=2 (consultado el 13 de Enero del 2014)
- Gutiérrez, Y., 2013. El fenómeno de la canícula se prevé en la mayor parte del país, [en línea]. Disponible en: <http://www.miambiente.com.mx/?p=30519> (consultado el 15 de Marzo del 2013)
- Gómez-Aguilar, L.R., 2013. Características estructurales de los bosques de manglar del Noroeste de México, p.65.
- Gómez-Ortega, R., 2013. Ecología del sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, basada en la aplicación e interpretación de algunos índices tróficos, parámetros físico-químicos y biológicos. El Colegio de la Frontera Sur. Tesis de Maestría, pp. 108.
- Granados-Sánchez D., Hernández-García M.A., López-Ríos G.F. 2006. Ecología de las zonas ribereñas". *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12 (1): 55-69. En CONANP sf. Conservación y restauración de vegetación riparia como parte de la ley general de cambio climático. *VI Sesión Ordinaria de la*

Coordinación Ejecutiva del Comité Nacional de Humedales, [en línea]. Disponible en: http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/VI_consejo/Vegetacion_riparia_conafor.pdf (consultado el 10 de Diciembre del 2014).

Hernández-de la Cruz, J., 2013. Extracción Material en Pétreo del río Despoblado, a la altura del km. 234+900 de la carretera Arriaga-Tapachula, ejido Pueblo Nuevo Comatitlán, municipio Villa Comatitlán, Chiapas. Manifiesto de Impacto Ambiental, [en línea] Disponible en: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/chis/estudios/2007/07CH2007HD047.pdf> (consultado el 5 de Enero 2014)

Herrera-Silveira, J., y Morales-Ojeda, S., 2010. Lagunas costeras. En: Duran-García, R., y M., Méndez-Gonzales, eds., 2010. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. *CICY, PPD, FMAM, CONABIO, SEDUMA*. Mérida, Yucatán. Cap.1, pp. 24-26.

ICAM, GDFA, GA, 2010. Ciclos biogeoquímicos del estuario: Impacto sobre la Biota, la Biodiversidad y la Toxicidad. En: ICAM, GDFA, GA, 2010. Propuesta Metodológica para diagnosticar y pronosticar las consecuencias de las actuaciones humanas en el estuario del Guadalquivir, [en línea] Puerto de Sevilla, España: Estudio del estuario. Cap. 7. Disponible en: http://portal.apsevilla.com/wps/portal/puerto_es/MAMEstudio_es?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/APS/puertosevilla/mam/Estudiodelestuario/mamEstuario (consultado el 17 de Marzo 2014).

IMTA (s.f.). Descripción de la estación hidrométrica 23032. Vado Ancho, [en línea]. Disponible en: http://atoyatl.imta.mx/webpatzcuaro/bandas/archivos/fichas-estaciones/23032_Descripcion.txt (consultado el 17 de Diciembre del 2013)

INE-SEMARNAP, 1999. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Encrucijada, México. Cap.1 y Cap.2, pp. 12,19:21-27.

Isasmendi, S. C., Tracanna, V.C., Vendramini, F. H., Navarro, M.G., Barrionuevo, M.A., Meoni, G.S., 2007. Caracterización física y química de ríos de montaña (Tafí del Valle-Tucumán-Argentina). *Limnetica*, 26 (1), pp.129-142.

Jiménez-Castellanos, L.A., López-Baez. W., Magdaleno-Gonzales, M., Salinas-CRUZ, E., Reinosos-Santos, R., 2011. Evaluación de la calidad del agua de los Ríos Pijijapan, Coapa y Margarita, en el Estado de Chiapas, México. En: 2nd Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas. INIFAP. Chiapas.

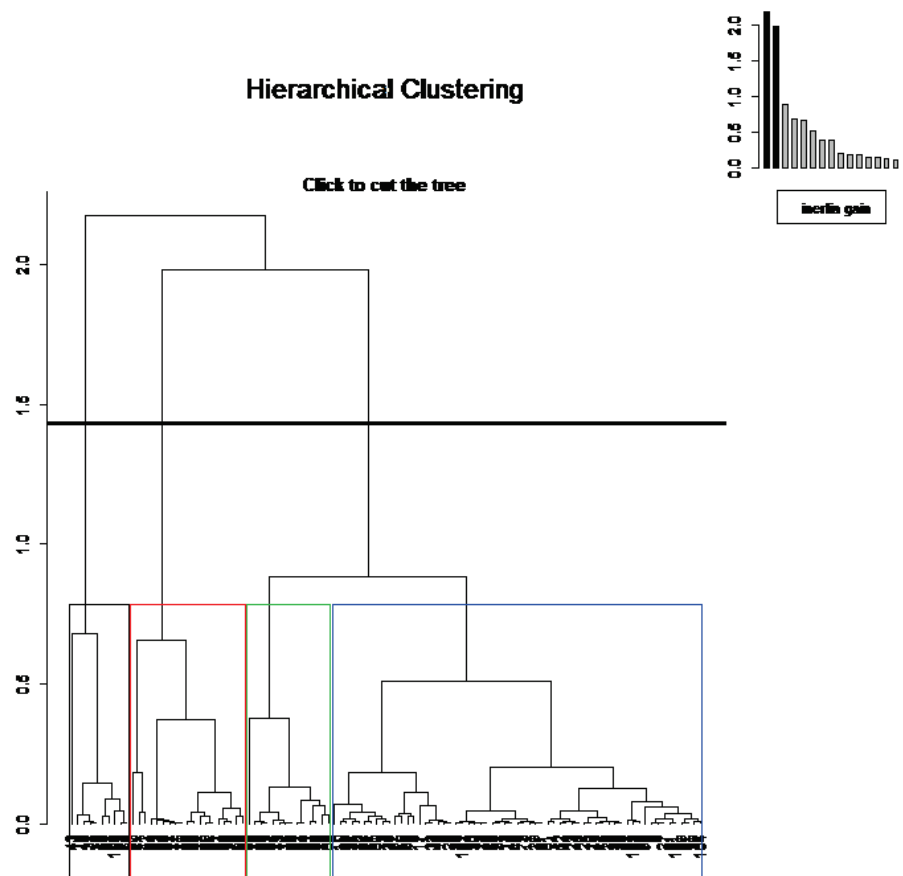
- Jones, A.B., O'Donohue, M.J., Udy, J., Dennison, W.C., 2001. Assessing Ecological Impacts of Shrimp and Sewage Effluent: Biological Indicators with Standard Water Quality Analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52, pp.91-109
- Llano-Arias, J., 2009. La canícula o "El veranito". El Piñero de la cuenca. [en línea] 22 de Julio 2009. Disponible en [:http://www.elpinerodelacuena.com.mx/epc/index.php/politica/11094-la-canicula-o-el-veranito-](http://www.elpinerodelacuena.com.mx/epc/index.php/politica/11094-la-canicula-o-el-veranito-) (consultad el 15 de Marzo del 2013)
- Lomelí-Meza, J. M., 2009. Calidad de las aguas del río Lerma en relación con el riego agrícola. Colegio de Postgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Tesis de Maestría, pp.77.
- Martí, E., y Sabater, F., 2009. Retención de nutrientes en ecosistemas fluviales. En: A., Elosegí y S., Sabater, eds. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. *Fundación BBVA*. Cap.8, pp. 39-48.
- Molleván-Mendoza, E., 2003. Los nutrientes, generalidades y su modelado. En: E., Molleván-Mendoza ed. 2003. Modelado de la cuña salina y del flujo de nutrientes en el tramo estuarino del río Ebro. Memoria de Tesis. Universidad de Barcelona-Departamento de Ecología, pp.5-45.
- Murillo, J.M., 2009. Turbidez y sólidos en suspensión de las aguas de escorrentía susceptibles de ser utilizadas en la recarga artificial del acuífero granular profundo subyacente a la ciudad de San Luis de Potosí (México). *Boletín Geológico y Minero*, 120 (2), pp.169-184.
- Rodríguez-Espinoza, J., 2006. Dinámica de la Calidad de Agua en la Cuenca del Río Cintalapa, Soconusco, Chiapas. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Tapachula, Chiapas, México, p.53
- Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. *Limusa*, México, D.F.
- Sabater, S., Donato, J.C., Giorgi, A., Elosegí, A., 2009. El río como ecosistema. En: A. Elosegí, S. Sabater, eds. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. *Fundación BBVA*, Cap.2. pp. 23-37.
- Satheeshkumar, P., y Khan, A.B. 2012. Identification of mangrove quality by multivariate statistical analysis methods in Pondicherry coast, India. *Environmental Monitoring and Assessment Springer Science* 184(6), pp.3771-3774.
- Schenone, N., Volpedo, A., Fernández-Cirelli, A. 2008. Estado trófico y variabilidad de nutrientes en los ríos y canales del humedal mixo-halino de Bahía Samborombón (Argentina). *Limnetica*, 27 (1), pp.143-150.

- SEMARNAT, 2002. Construcción de Obras de Protección de las márgenes del Río Chalacas, municipio de Villacomaltitlán, Chiapas. Manifiesto de Impacto Ambiental, [en línea]. Disponible en:<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/chis/estudios/2010/07CH2010HD116.pdf> (consultado el 7 de Enero 2014)
- SEMARNAT, 2009. El Medio Ambiente en México. Calidad de aguas superficiales, [en línea]. Disponible en:http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/06_agua/cap6_5.html(consultado el 7 de Enero del 2014).
- Spillecke, W., y Werner, K. 2012. La Cuenca del Río Cintalapa-Doña María- Identificación de las problemáticas principales de la Región Costa de Chiapas. Instituto Mexicano de Tecnología de Agua. XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco, Guerrero, México.
- Suárez-Altamirano, J. M., 2005. Flujos de material suspendido y disuelto entre el estero “El Conchalito” y la laguna “Ensenada de la Paz”, B.C.S., México. Tesis Maestro en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas Departamento de Oceanografía. La Paz, Baja California Sur, México, p.119.
- Tovilla-Hernández, C., 1998. Ecología de los bosques de manglar y algunos aspectos socioeconómicos de la zona costera de Barra de Tecoanapa Guerrero, México. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Tovilla-Hernández, C., 2010. Observaciones sobre las MIA’s, modalidad particular sobre los dragados a realizarse en los ríos de la costa de Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur, [en línea]. Disponible en: xa.yimg.com/.../CNA+PROYECTO+DRAGADOS+SOBRE+LOS+RÍOS+(consulta do el 7 de Enero del 2014)
- Travieso-Bello, A, C., 2005. Manglares. En: Anon. Manejo costero integral: el enfoque municipal. Caracterización Física y Biológica de la zona costera. *INECOL*. Cap. 2, p.1266.
- Tripathy, S.C., Ray, A.K., Patra, S., Sarma, V.V. 2005. Water quality assessment of Gautami-Godavari mangrove estuarine ecosystem of Andhra Pradesh, India during September 2001. *J. Earth Syst. Sci* 114(2), pp.185-190.

Valdez, E.C., y Vázquez-González, A.B. 2003. Efecto de las descargas de aguas residuales en ríos. En: E.C. Valdez y A.B. Vázquez González eds. Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales. *ICA*, p. 341.

7. ANEXOS

Anexo 1. Histograma del Análisis de Cúmulos. En el grupo cuatro, se encontraron la mayoría de las observaciones.



Anexo 2. Concentración de los parámetros fisicoquímicos, entre temporadas.

		RÍO VADO ANCHO (RÍO CONTROL)																
		SECAS (ABRIL-MAYO)					TRANSCISION (JUNIO)					LLUVIAS (JULIO-SEPTIEMBRE)						
		RÍO			MANGLARES		RÍO			MANGLARES		RÍO			MANGLARES			
MAX	MIN	X̄	MAX	MIN	X̄	MAX	MIN	X̄	MAX	MIN	X̄	MAX	MIN	X̄	MAX	MIN	X̄	
Temperatura (°C)	32	28	30	32	23	28	22	22	22	29	25	27	28	24	27	30	27	29
Salinidad	0	0	0	0.8	0	0.183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	9.2	7.8	8.3	8.6	7.2	7.7	8.4	7.8	8.2	7.6	7.1	7.35	8.6	6.9	8	8.2	6.8	7.5
OD (mg/l)	7.6	1.1	4.8	11.3	1.1	5.2	7.7	5.6	7	5.8	4.2	5	8.3	4.5	6.9	6.9	3.8	5
Oxígeno Saturado (%)	106.5	22.7	65.7	100.5	0	41.9	92.2	73.1	85.5	75.8	50.1	62.9	101.3	40.7	80.8	101.2	48.5	69.5
Conductividad μS/cm	257.7	96	201.8	299.1	58.8	180.3	166.8	162.6	164.4	224.9	146.1	185.5	214	114	157.9	224.9	58	168.1
NH ₄ ⁻ mg/l	0.12	0.02	0.08	0.32	0.04	0.16	0.17	0.06	0.1	0.3	0.18	0.17	0.28	0.01	0.14	0.18	0.03	0.09
NO ₂ -N mg/l	0.012	0.004	0.008	0.026	0.008	0.013	0.008	0.003	0.007	0.047	0.027	0.02	0.022	0.001	0.009	0.089	0.003	0.028
NO ₃ -N mg/l	1.8	0.4	0.8	2.4	0.4	1.3	0.8	0.5	0.7	2	2	1.3	3.4	0.1	1.2	1.4	0.2	0.6
NT mg/l	1.852	0.424	1.098	2.563	0.755	0.909	0.862	0.677	0.769	2.257	2.207	2.232	3.442	0.192	1.373	1.51	0.249	0.732
PO ₄ ⁻ mg/l	1.21	0.44	0.68	1.48	0.84	1.1	0.56	0.48	0.53	0.54	0.53	0.53	2.75	0.29	0.95	1.32	0.41	0.95
PT mg/l	1.72	1.06	1.47	1.77	1.16	1.33	1.68	1.39	1.58	1.6	1.28	1.44	1.85	1.14	1.59	1.77	1.22	1.55
COT mg/l	4	0.1	2	13	1	4.7	4	1.9	2.8	8.8	6.5	7.7	5.7	0.1	2.3	4.8	0.7	2.8
SS mg/l	51	4	17	53	3	31	82	20	42	205	119	162	246	9	83	181	36	69
Turbidez UNT	15.4	0.5	3.2	10.3	1	5.7	23.4	5	12.2	56	33.1	44.5	58.4	2.8	18.7	47	1.6	16.2

RÍO DESPOBLADO (RÍO PROBLEMA)																					
SECAS (ABRIL-MAYO)						TRANSICION (JUNIO)						LLUVIAS (JULIO y SEPTIEMBRE)									
	RÍO		MANGLARES		RÍO		MANGLARES		RÍO		MANGLARES		RÍO		MANGLARES		RÍO		MANGLARES		
	MAX	MIN	Ā	MAX	MIN	Ā	MAX	MIN	Ā	MAX	MIN	Ā	MAX	MIN	Ā	MAX	MIN	Ā	MAX	MIN	Ā
Temperatura (°C)	34	28	31	32	24	30	26	23	28	27	26	29	30	25	28	32	28	30			
Salinidad	0	0	0	35.5	7	24.5	0	0	0	30.5	3.1	16.8	0	0	0	35.5	0	7.8			
pH	9.9	6.5	8	8.3	7	7.6	8.3	6.9	7.7	7.6	7	7.3	8.6	6.6	7.6	8.3	6.6	7.2			
OD (mg/l)	15.7	0.5	5.2	4.8	1.4	3	8	0.4	6.5	4.6	1.5	4.9	8.3	0.2	5.8	19.6	0.1	4.5			
Oxígeno Saturado (%)	118.7	5	62.8	83.1	26.8	49	93.6	6.3	76.1	75.8	16.3	51.8	108.3	2.3	76.1	158	1.7	49.2			
Conductividad μ S/cm	575	58	274.3	566	22	149.2	293	117.5	202.8	163	124	331.7	546	112	170	563	194.1	346.8			
NH4 mg/l	0.64	0.03	0.17	0.28	0.02	0.13	0.28	0.03	0.18	0.38	0.04	0.25	0.54	0.01	0.15	0.47	0.02	0.2			
NO ₂ -N mg/l	0.041	0.002	0.014	0.025	0.007	0.011	0.01	0.005	0.011	0.012	0.002	0.007	0.02	0.001	0.007	0.015	0.001	0.005			
NO ₃ -N mg/l	2.4	0.7	1.5	1.2	0.5	0.8	2.8	0.7	1.4	3.1	0.4	1.3	3	0.2	1.3	2.3	0.2	1.3			
NT mg/l	2.957	0.793	1.652	1.268	0.663	0.938	3.091	0.97	0.448	3.492	0.442	0.506	3.073	0.316	1.411	2.726	0.461	1.475			
PO ₄ mg/l	1.8	0.36	0.87	1.08	0.34	0.63	0.86	0.34	0.77	0.86	0.3	0.65	1.4	0.29	0.77	1.17	0.08	0.66			
PT mg/l	2.28	1.16	1.61	1.95	1.15	1.32	1.7	1.4	1.56	1.5	1.06	1.27	1.93	1.17	1.49	1.86	1.06	1.3			
COT mg/l	24.6	0.69	7.3	18.3	2	9.6	12.4	1.6	6.2	18.2	4	13.2	25	0.1	3.7	25.4	0.3	12.8			
SS mg/l	42	3	15	26	7	16	65	4	26	15	6	13	183	1	50	26	2	15			
Turbidez UNT	67	0.2	7.8	2.5	0.7	1.6	19.6	1.3	12	2	1.6	2.3	48	1.6	17.6	4.7	2.1	3.3			

Anexo 3. Fotos del Area de Estudio. Las estaciones 1-5 corresponden al Río Vado Ancho, las estaciones 6-13 corresponden al Río Despoblado (estaciones 8-9, antes, dentro y despues del Río Chalacas)



Estación 1



Estación 2



Estación 3



Estación 4



Estación 5



Estación 6



Estación 7



Estación 8



Estación 10



Estación 11



Estación 12



Estación 13

Dinámica de la Calidad de agua: variación estacional de los nutrientes en los ríos Vado Ancho y Despoblado en Chiapas.

Dynamics of Water Quality: Seasonal variation of nutrients in rivers Vado Ancho and Despoblado in Chiapas.

Titulo corto: Dinámica de la calidad de agua y nutrientes.

RESUMEN

En años recientes, los ríos de Chiapas han sido descritos como contaminados, la gran presión antrópica en el cambio de uso de suelo o rectificación de cauce, y los problemas que causan en cargas de materia orgánica y sedimento, tienen efecto directo en la productividad del sistema lagunar de la Reserva de la Biosfera la Encrucijada. En este trabajo, se caracterizó la dinámica de la calidad de agua y los nutrientes, a lo largo de los ríos Vado Ancho (río control) y Despoblado (río problema) los cuales son dos de los principales ríos que desembocan en la zona núcleo de La Encrucijada, con el objetivo de inferir la importancia de la vegetación en mejorar la calidad de agua, esto bajo el fundamento del espiral de nutrientes, el cual a través de la comparación entre dos sistemas fluviales con características similares, monitoreados durante las temporadas definidas como secas, transición y lluvias, demostraron con ayuda de los análisis multivariados y diagramas de variabilidad de concentración, la diferencia de calidad de agua entre ríos, ante la presencia del agua residual y los posibles distintos tipos y cobertura vegetal, e igualdad entre ríos, ante el gradiente en decremento de los nutrientes dentro de la zona del manglar. La calidad de agua en la mayoría de las estaciones en ambos ríos resultó fuera de los límites máximos permisibles para la preservación de flora y fauna de agua dulce y estuarios.

Palabras clave: Análisis multivariados, Calidad de agua, espiral de nutrientes, manglares, Reserva de la biosfera la Encrucijada.

ABSTRACT

In recent years, the rivers of Chiapas have been described as contaminated, changing land use and channel rectification, have caused loads of organic matter and sediment, the effect on productivity have led the lagoon system of the Biosphere Reserve La Encrucijada. The aim of this study was to characterize the dynamics of water quality and nutrients, along two major rivers flowing into the core area of La Encrucijada: the river Vado Ancho defined as Control River and the river Despoblado defined as Problem River, under the hypothesis on the importance of vegetation in improving water quality, mainly mangrove vegetation. The experimental method is based on the concept of nutrient spiraling, which supported by the comparison between two river systems with similar characteristics monitored during the seasons defined as dry , transition and rain and using multivariate analysis and diagrams concentration variability demonstrated the difference between river water quality in the presence of residual water and possible types and hedge vegetation, and similarity with decrease of nutrient concentration in the mangrove area . The water quality in most of the stations in both rivers was beyond the maximum allowable limits for the preservation of wildlife and freshwater estuaries.

Key words: Biosphere Reserve La Encrucijada, nutrient spiraling, mangroves, multivariate analysis, water quality.

INTRODUCCION

La vegetación es uno de los componentes elementales en los ecosistemas fluviales principalmente el papel que desempeñan los manglares, ya que se ha comprobado que contribuyen de manera significativa en la eliminación de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales, a través de una exportación neta de detritus y un cambio significativo de nitrógeno, lo que mejora el mantenimiento de la calidad del agua de los estuarios, sin embargo, estos estudios son aun limitados (Campoblanco-Díaz & Gomero-Torres, 2000; Flores-Verdugo *et al.*, 2000; Jones *et al.*, 2001).

Los esfuerzos para investigar el flujo de materia orgánica y nutrientes desde los manglares han sido muchos, se ha demostrado a nivel laboratorio, y en campo por delimitación del flujo de corriente en zonas con y sin vegetación, a través de la construcción temporal de un canal artificial; por medio análisis de componentes eurilianos considerando el flujo de marea (Jones *et al.*, 2001; Yan Wu *et al.*, 2010; Adame & Lovelock, 2011), sin embargo son muy pocos los estudios que han medido el flujo de nutrientes entre los arroyos/ manglares y estuarios (Wang *et al.*, 2010). Además se debe de considerar que el intercambio del flujo de nutrientes puede variar entre los distintos tipos de manglares: de franja, ribereños, y de cuenca; así como a lo largo del año, entre secas y lluvias, los cuales dependen de factores como el geográfico, la geomorfología y la hidrología, por lo que no se debe de generalizar el concepto que se tiene del papel de los manglares ribereños en el ciclo del nitrógeno similar a la de los ecosistemas de las marismas (Tovilla-Hernández, 1998; Escobar *et al.*, 2008).

Tripathy *et al.* (2005) en el río Godavari; Wang *et al.* (2010) en Zhangjiang Fujian China, y Satheeshkumar and Khan (2011) en la costa de Pondicherry India, son algunos que han reportado la calidad de agua y dinámica de los nutrientes considerando los flujos de

entrada y salida del manglar, donde el área de estudio comprendió estaciones repartidas antes y dentro de la zona de manglar. Los resultados mostraron que la zona de manglar son una fuente de nutriente muy importante para los ecosistemas adyacentes, algunos de ellos como Wang *et al.* (2010) apoyaron la hipótesis de que el mantenimiento de la calidad del agua del estuario de manglares se produce durante los períodos de inundación, contrario con Satheeshkumar and Khan (2011), quienes mencionan que la calidad del agua en las estaciones ubicadas dentro del manglar fue mala.

En México, el estudio de los manglares se ha centrado en la descripción de la distribución, cobertura, aspectos de descomposición y productividad (Flores -Verdugo *et al.*, 1990; Tovilla-Hernández, 1998; Suárez-Altamirano, 2005), el mayor porcentaje de trabajos reportados se ubican principalmente en el Golfo de México y son pocos y no recientes los trabajos referentes al balance biogeoquímico del manglar como los de (Suárez-Altamirano, 2005).

En la zona de Soconusco Chiapas, los ríos sobrepasan los niveles de 50 a 70 veces más de contaminación respecto a las condiciones de los que no presentan cargas de aguas residuales (Rodríguez-Espinoza, 2006). De los 11 ríos que conforman la región hidrográfica 23 de Soconusco Chiapas (Spillecke & Werner 2012), pocos son los que han tenido un seguimiento en la calidad de agua, como son: el Pijijapán, Coapa, Margaritas (Jiménez-Castellanos *et al.*, 2011), y el Cintalapa (Rodríguez-Espinoza, 2006).

La importancia de monitorear los ríos del Soconusco, es debido que desembocan en el sistema lagunar de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, la cual ha sido gravemente deteriorada por los problemas antrópicos exteriores como el cambio de uso

de suelo, desviación y rectificación del cauce de los ríos, la descarga de efluentes con alta carga de materia orgánica y nutrientes por las ciudades y pueblos ubicados en la margen de los ríos, incluso agroquímicos provenientes de las áreas agropecuarias, han tenido efectos en la productividad del sistema, en cada una de las micro cuencas estudiadas (Calva-Benítez *et al.*, 2006).

En este trabajo, se testa la hipótesis que la calidad de agua mejora al cambio de vegetación hacia la zona del manglar, en los ríos Vado Ancho definido como el río control (RC) y Despoblado o río problema (RP), dos de los principales que desembocan en la zona núcleo de La Encrucijada. En base a los antecedentes en los flujos de entrada y salida de los nutrientes en los manglares, se desarrolló un diseño experimental en donde el objetivo fue describir la variabilidad de la dinámica de la calidad de agua y los nutrientes en función al cambio de vegetación.

La comparación entre dos sistemas fluviales con características similares y en base al concepto de *espiral de nutrientes*, el cual se refiere a la capacidad del sistema fluvial en asimilar o retener los nutrientes, y se cuantifica en unidades de longitud a través de dos compartimentos fluviales, la biota y la columna de agua, de tal forma que la distancia de asimilación indica la eficiencia de retención relativa al flujo del nutriente (Martí & Sabater, 2009) puede establecer un criterio con respecto al cambio de vegetación, debido a la relación de la biota con el tipo de vegetación en cada tramo del sistema fluvial, la cual a su vez depende del clima que determinan los organismos presentes en la columna de agua capaces de realizar el metabolismo de la materia (Boveri, 2005; Sabater *et al.*, 2009; Martí & Sabater, 2009).

Las diferencia y/o igualdad entre el RC y RP, con respecto a la dinámica de calidad de agua y nutrientes permitieron establecer las siguientes preguntas para cumplir con el

objetivo de este trabajo: ¿La concentración de los parámetros de la calidad de agua y nutrientes fue diferente al cambio de vegetación?, ¿Qué magnitud alcanzaron dichas variabilidades dentro de las vegetaciones? ¿La dinámica de las variables analizadas fue distinta en función a la época del año? ¿La variabilidad de los parámetros analizados fue similar entre los ríos?, o por lo contrario ¿Las descargas de aguas residuales ejercieron un efecto en la dinámica de calidad de agua y nutrientes?

El presente trabajo brinda información inexistente con respecto a la calidad de agua de ambos ríos analizados, y caracteriza la dinámica de los nutrientes acorde a la temporada, de esta forma da antecedentes en la región en la inferencia de la variabilidad de la dinámica de nutrientes al cambio de vegetación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio. El río Vado Ancho (Fig.1), tiene su origen en la Sierra de Soconusco, específicamente en el cerro San Juan, a una altitud de 2800 m.s.n.m., dentro del municipio de Motozintla, estado de Chiapas. Corre del Nor-Este (NE) a Sur-Oeste (SO) recibiendo por ambos márgenes numerosos aportaciones de pequeñas corrientes que drenan las estribaciones del cañón que le sirve de cauce. Poco antes de su salida, pasa por la población el Triunfo, recibiendo en este tramo el nombre de río el Triunfo. Desde este sitio se inicia una amplia curvatura para cambiar su curso hacia el Sur-Este, llegando poco después al cruce de la carretera costera Arriga-Tapachula, donde se ubica la estación hidrométrica Vado Ancho (IMTA s.f).

Después de este cruce, el río Vado Ancho continúa su desarrollo con dirección SE hacia la población de Pueblo Nuevo Comatitlán, poco antes de éste lugar cambia su trayectoria hacia el SO, atraviesa la vía del ferrocarril Panamericano y 3 km aguas abajo de este sitio recibe por la margen derecha los caudales del río Nancinapa,

continuando su recorrido a través de la planicie costera del pacífico para desembocar finalmente en la Laguna Tembladeras, la cual, en su parte Nor-Oeste se denomina Laguna del Viejo, y cuya comunicación con el Océano Pacífico se realiza a través de la barra de Zacapulco y de la barra de San Juan (IMTA s.f.).

El río Vado Ancho fue definido como el río control, al no tener referentes de presentar grandes cambio de uso de suelo y descargas puntuales de agua residual por poblaciones cercanas, contrario al río Despoblado. La trayectoria del cauce permitió cubrir la vegetación ribereña (VR) y la vegetación de manglar (VM), los cuales son los dos tipos de vegetación de interés en este trabajo.

El río Despoblado (Fig.1), nace en la Sierra de Soconusco muy cerca del Cañón Mecatal y desemboca en la Laguna del Viejo. Se distinguen toscamente cuatro tramos de recorrido: el primero de 11 kilómetros de largo con dirección Norte-Sur; el segundo de 8 kilómetros de longitud, de dirección Este-Oeste; el tercero de 16 kilómetros de longitud y dirección Norte-Sur que pasa por las inmediaciones de Pueblo Nuevo Comatitlán, donde se origina el cuarto tramo con dirección Norte-Suroeste con 19 kilómetros de recorrido hasta su desembocadura en la Laguna del Viejo (IMTA s.f.).

El río Despoblado se definió como río problema, por las características que presenta a lo largo de su recorrido:

A 550m aguas arriba del puente Despoblado a la altura del Km 234+900 de la carretera costa Arriaga-Tapachula municipio Pueblo Nuevo Comatitlán, se llevó a cabo el proyecto de extracción de material pétreo del 2008 al 2013. La extracción se llevó a cabo en una superficie de 5, 981.875m² con la colindancias de 40m al Norte con cauce río Despoblado, 40 metros al Sur con el cauce río Despoblado, 150m al Este con cauce y barrote del río Despoblado y 150 m al Oeste con cauce y barrote del río Despoblado.

El tipo de material extraído fue arena en greña (50% de grava, 35% arena y 10% de limo y arcilla), el volumen total fue de 30,849.75m³ equivalente a 6,169.95 m³ anual. El objetivo de dicho proyecto fue con fines de abastecer la industria de construcción (SEMARNAT, 2002; Tovilla-Hernández, 2010).

El río Chalacas pertenece a la cuenca hidrológica del río Despoblado, el territorio que cubre incluye el municipio Pueblo Nuevo Comatitlán, mismo que se localiza dentro de las regiones Económicas VII Sierra y VIII Soconusco. En el río Chalacas se descarga el agua residual del poblado. Durante la realización de este trabajo se llevaba a cabo las obras de protección en los márgenes del río referido. El tramo del proyecto abarco únicamente espacios territoriales del municipio Pueblo Nuevo Comatitlán, en una longitud de aproximadamente 6.3 kilómetros (SEMARNAT, 2002; Tovilla-Hernández, 2010).

El río Chalacas se une al río Despoblado por debajo de Pueblo Nuevo Comatitlán. El río desemboca al sistema lagunar La Encrucijada, a través de un trayecto largo de cobertura de manglar denominado “El Hueyate”, que conecta directamente con la bocanarra San Juan (SEMARNAT 2002; Tovilla-Hernández 2010). Las estaciones de muestreo además de cubrir los dos tipos de vegetación y posible impacto por cambio de uso de suelo, también permitió evaluar si existió o no variabilidad de concentración por la influencia de agua marina debido a la cercanía con la bocanarra San Juan.

Muestreo. Se realizaron de abril a septiembre (excepto agosto) del 2012, dos veces al mes de acuerdo al calendario de marea alta en una red de 13 estaciones fijas (Fig.1). El mes de Junio se denominó como la temporada de transición entre secas y lluvias, debido a la presencia de la “canícula intraestival”.

La canícula intraestival es el fenómeno meteorológico que se hace presente en la región de Mesoamérica, y se refiere al descenso de precipitaciones e incremento de temperatura, debido a una mayor filtración de la radiación solar provocada por la escasez de nubosidad. La canícula intraestival normalmente ocurre del 15 de julio al 15 de agosto, aunque las fechas no siempre son las mismas y la duración pueden variar. En gran parte del país la temporada de lluvias se presenta de Junio a Noviembre. El muestreo en la temporada de lluvias se hizo durante Julio donde las precipitaciones tuvieron un declive, el cual se refirió al inicio de la canícula intraestival y en Septiembre el cual registro el segundo pico máximo de precipitación (el primer pico máximo de precipitación fue en Junio).

Diseño experimental. El Factor 1; fue respecto a la temporada. La temporada de secas (Abril y Mayo), transición (Junio) y lluvias (Julio y Septiembre).

El Factor 2; fue respecto a la zona de estudio. La ubicación de los puntos de muestreo se clasificaron acorde a un posible impacto; impacto Fuerte (I), impacto moderado (I/M), y sin impacto (S/I), (Tab.1).

El Factor 3; correspondió al tipo de vegetación. Se definieron tres tipos de vegetación; la vegetación ribereña (VR), la vegetación ribereña asociada al manglar (VR-M) y la vegetación de manglar (VM) (Tab.1; Fig.1).

Parámetros medidos. Los parámetros medidos *in situ*: temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto (OD), oxígeno saturado y Conductividad, con ayuda del equipo multiparamétrico YSI modelo CastAway.

Los análisis de nutrientes y sólidos suspendidos (SS), se realizaron con ayuda del equipo HACH DR 890. Se midieron dentro del lapso de 24 horas de su colección los NO_2^- -N, 48 horas los NO_3^- -N y PO_4^- . El NH_4^- se analizó inmediatamente después de su

colección e incluso en las estaciones 4, 5, 10-13, correspondientes en agua salobre, las mediciones se fueron *in situ*.

En el laboratorio se analizó el Carbono Orgánico Total (COT), PT y turbidez acorde a las técnicas descritas en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001.

Análisis de datos. El número de factores físicos y ambientales que delimitaron el diseño experimental, permitió descomponer los datos bajo tres observaciones de tal forma que el análisis a lo largo de los transectos, mostraron las semejanzas o diferencias para comprobar o refutar la hipótesis planteada: 1) análisis entre estaciones; se observó la magnitud de la variabilidad de concentración en las estaciones donde se definió el cambio de vegetación. 2) análisis entre ríos; en este análisis se realizaron comparaciones entre las estaciones del río Vado Ancho y río Despoblado consideradas como similares de acuerdo a las características en vegetación y posible impacto por cambio de uso de suelo. Los comparativos entre estaciones fueron: a) estación 6,7 vs 1; estaciones de agua control, localizado en la parte alta, antes de la población; b) estaciones 8-10 vs 2-3; estaciones con característica de VR, localizadas en la parte media de la cuenca; c) estación 11 vs 4; son las estaciones consideradas como el punto de Transición entre ambas vegetaciones (VR-M), localizadas en la parte baja de la cuenca, y d) estaciones 12 y 13 vs 5; estaciones que pertenecen a la VM, localizadas en la parte baja de la cuenca.

RESULTADOS

Análisis Multivariados. Los resultados del ACP mostraron que el número de componentes principales (CP) suficientes para el análisis fueron los tres primeros ya que con ellos se explicó el 53.9% de la varianza explicativa de los parámetros de la calidad de agua (Tab.2).

En CP1 se obtuvo la mayor correlación positiva entre los parámetros: OD, NID, NT, SS y turbidez, esta última tuvo la correlación positiva más alta (cerca de 1) de los tres componentes y casi nulo con el resto de las variables. En CP2 resultaron correlaciones positivas entre la Conductividad, COT y correlación negativa con el oxígeno saturado. Por último el CP3 tuvo correlación positiva entre la temperatura, pH, PO₄⁻ y PT; correlación negativa con la salinidad, esta última tuvo un valor cercano a 0, que significó una correlación nula con el resto de las variables.

En la Figura 2, se observa el gráfico en dos dimensiones de los CP1 y CP2, donde la magnitud de la variabilidad de las observaciones fue similar entre los componentes del NO₃⁻, NT, OD, SS, COT, turbidez y oxígeno saturado y mayores que la magnitud del NH₄⁻, NO₂⁻, PO₄⁻, PT y pH, las cuales a su vez fueron mayores que salinidad y temperatura.

En la Figura 3, se observa la separación de cuatro cúmulos como resultado del Análisis de Cúmulos (AC). El AC, mostró que existió diferencia en la variabilidad significativa de los parámetros medidos entre estaciones y entre ríos con respecto a los tiempos de muestreo. Las estaciones pertenecientes a los grupos del AC, así como la temporada en la cual se registró la variabilidad significativa en la concentración de los parámetros medidos, se muestran en la Tabla 3.

El cúmulo 1, se caracterizó por tener la menor cantidad de observaciones donde se registró la temperatura como principal parámetro en variabilidad de cambio y en segundo orden de significancia la variabilidad de concentración con respecto a los parámetros del grupo PO₄⁻, PT, COT, y conductividad.

En el cúmulo 2, se ubicaron las observaciones donde se registraron como únicos parámetros con una significativa variabilidad en la concentración, el grupo del OD, pH y oxígeno saturado.

En el cúmulo 3, se ubicaron las observaciones que registraron como principal grupo el OD, pH y oxígeno saturado con mayor significancia en la variabilidad de concentración, que los parámetros del grupo NID, NT, SS, PO₄⁻, PT, COT, turbidez y conductividad, los cuales fueron en segundo orden de significancia con respecto a la variabilidad de concentración registrada para dichas observaciones.

Por último el cúmulo 4, se caracterizó por tener el mayor número de observaciones y registrar la combinación de casi todos los grupos de los parámetros medidos. Los parámetros que registraron mayor significancia en la variabilidad de concentración y que definió a este cúmulo fueron los NID, NT, SS y turbidez, y en segundo orden de significancia el grupo del PO₄⁻, PT, COT, conductividad, OD, pH, oxígeno saturado y temperatura.

Estadísticos básicos. Los estadísticos para cada parámetro medido se muestran en las Tablas 4,5 y 6, donde en el RP a diferencia de RC, se registraron valores máximos de temperatura >26°C durante las tres temporadas con un rango de 26-34°C en ambas vegetaciones. El rango promedio correspondiente a cada vegetación fue similar entre ríos. Fue perceptible que durante la temporada de lluvias existió un incremento de temperatura en ambos ríos tanto en máximos como en promedios, mientras que los mínimos se registraron en lluvias y durante la temporada de transición.

El pH registró los valores más alcalinos en el RC, con un rango promedio de 8 – 8.7 en la VR, y de 7.3-7.7 en la VM. La salinidad se registró en el RP, entre los 30-35.5 como máximos y de 0-3.1 como mínimos.

En el RP, las concentraciones de OD fueron mayores que en el RC, a diferencia del RC los máximos valores se ubicaron en la VR. En ambos ríos los promedios de concentración más altos se registraron durante la temporada de transición y mínimos en secas para el RC y transición en el RP. La concentración máxima y mínima de oxígeno saturado en el RC, se registró en secas y transición, contrario en el RP, la concentración máxima fue durante la temporada de secas y lluvias.

Las concentraciones más altas de COT se ubicaron en el RP, al igual que el RC estas se ubicaron en la VM con un promedio máximo durante secas y transición, esta última solo para el RC.

En el RP a diferencia del RC, existió mayor rango de concentración de SS y por ende de turbidez, ambos parámetros mostraron promedios máximos de concentración durante la temporada de transición para el RC y lluvias en el RP. A diferencia del RP el RC registro su promedio máximo de concentración en la VM.

En el RP las concentraciones en valor y promedio máximos de NH_4 , fueron mayores entre sus afines en la vegetación con el RC; el rango de concentración de valores máximos pero no en valores promedio fue mayor en la VR que en la VM; el promedio máximo y mínimo, se ubicó en la VM, el primero durante la transición de temporadas y el segundo en secas. En el RC, los valores de concentración máximos y valores promedios más altos, se ubicaron en la VM durante las tres temporadas.

En el RP, en la VR las concentraciones máximas de $\text{NO}_2\text{-N}$ fueron mayores que en el RC, no así con respecto a las concentraciones en la VM. En el RP a diferencia del RC, el rango de concentración en valores y promedio fue mayor en la VR registrados durante secas. La concentración en valores máximos y promedio más alto en el RC, se registraron durante lluvias.

Los valores máximos de concentración y valores promedios de $\text{NO}_3\text{-N}$ fueron similares en ambos ríos en la VM, contrario en la VR donde el rango en concentración máxima fue mayor en el RP. El rango en promedio en el RP fue mayor en la VR, los promedios más altos se registraron durante las tres temporadas en la VR y durante la transición y lluvias en la VM. En el RC, el promedio de concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$, fue similar durante las tres temporadas en ambas vegetaciones.

En el RC, se localizaron las concentraciones en valores y promedios máximos del PO_4 para ambas vegetaciones en comparación con el RP, donde en la VM se registró el promedio de concentración más alto durante secas. En el RP, el promedio máximo de concentración se ubicó en la VR durante secas.

Las concentraciones más altas de NT y PT de ambas vegetaciones se ubicaron en el RP, al igual que el promedio máximo en la VR para el caso del PT, no así en los promedios máximos del NT, los cuales se registraron en el RC dentro de la VM.

La dinámica de la relación $\text{NO}_3\text{-N}$ y PO_4^- a lo largo del transecto (Fig.4), se caracterizó en lugar de la relación NT/PT, debido al interés de este trabajo de mostrar las formas nitrogenadas y de fosforo más abundantes en las aguas superficiales y subterráneas de las cuales dependen la productividad primaria. De esta forma la tendencia de la concentración a lo largo del transecto mostró una similitud entre temporadas con respecto a la no diferencia de concentración entre las estaciones 9 y 10 durante la temporada de secas y transición, y entre las estaciones 8 y 9 durante lluvias. La tendencia de la concentración a lo largo del transecto registro cambios abruptos de concentración de la estación 3 hacia la 4 en el RC y de la estación 10 hacia la 11 en el RP.

DISCUSION

Las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos mostraron un primer componente explicativo de la variabilidad de la calidad de agua en función de los compuestos NID y los SS, los cuales dependieron de la variación del OD. Las altas concentraciones de oxígeno e incluso de sobresaturación en algunas de las estaciones de la VR principalmente en el RP, hicieron eficiente los procesos de oxidación, de tal forma que las concentraciones de COT disminuyeron en la VR, el cual resultado junto con la conductividad como segundos componentes explicativo de la calidad de agua, mientras que en la VM fue limitado por las bajas concentraciones de OD.

Las concentraciones del OD, durante la temporada de secas no fueron diferentes a los ríos Cintalapa (6-9 mg/L), Pijijiapan y Margarita (6.5 mg/L), en la parte alta y media de la cuenca (Rodríguez-Espinosa, 2006; Jiménez- Castellanos *et al.*, 2011), los cuales también desembocan en la zona núcleo de la Encrucijada. Estas concentraciones son óptimos para la sobrevivencia de muchos de los organismos acuáticos (Jiménez- Castellanos *et al.*, 2011).

Caso contrario en la VM durante secas y lluvias, en el RP en la donde las concentraciones promedio entre los 4.5mg/L y por debajo de ella, indicaron una demanda en los procesos de oxidación, debidos al aporte de material orgánico.

La relacione entre los SS y turbidez, mostraron una característica notoria con respecto al cambio de OD. Durante lluvias las concentraciones de SS y turbidez incrementaron, lo que provoco reducción en la penetración de luz y menor actividad microbiana que derivó en una disminución de oxígeno. Esta relación fue coincidente principalmente en la VM en ambos ríos.

La heterogeneidad de los ríos fue evidente, por su estructura hidrográfica, cambiaron en tamaño y complejidad como respuesta a la hidrología, sin embargo esta heterogeneidad pudo llegar a converger entre ríos de acuerdo a las características físicas y químicas que se presentaron acorde a la organización jerárquica de las cuencas hidrológicas (Sabater *et al.*, 2009) y que hizo evidente los resultados del AC. El AC, mostró que existió una clara división de los transectos en cuatro cúmulos, donde el cúmulo 4 se caracterizó por tener el mayor número de observaciones dentro del conjunto donde los componentes del NID, NT, SS y turbidez registraron su mayor variabilidad significativa de concentración, este cúmulo junto con el 2 y 3 demostraron que existió diferencia entre vegetaciones y entre ríos, ya que se encontraron principalmente las observaciones dentro de la VR, haciendo distinción entre ríos con respecto a la presencia de los parámetros fisicoquímicos entre cada tramo de los ríos. De esta forma, la variabilidad de concentración de los componentes de NID, NT, SS y turbidez en las estaciones ubicadas en la cabecera de ambos ríos, sugiere que fue debido al escurrimiento propio desde la parte alta de la cuenca (Isasmendi *et al.*, 2007), ya que antes de los puntos de muestreo que determinaron esta ubicación, no se presentaron actividades antrópicas que pudiesen influir directamente sobre las concentraciones (IMTA, s.f.). Por tanto hace suponer que el transporte de nutrientes fue significativo en el RC ya que se hicieron presentes durante las tres temporadas, mientras que en el RP, solo registraron mayor variabilidad durante la temporada de transición y lluvias.

Las estaciones que se ubicaron en la parte media de ambos ríos (2, 3, 8, 9 y 10), mostraron una mayor variación de concentración de los nutrientes, esto se atribuye a que es la parte de la planicie más productiva al tener suelos muy fértiles e intensivo

aprovechamiento, por tanto la principal influencia en las escorrentías superficiales y subterráneas son debidas a las actividades agrícolas y de asentamientos humanos (Rodríguez-Espinosa, 2006; Spillecke & Werner, 2012), de esta forma no solo la variabilidad de concentración de los componentes del NID, NT SS y turbidez fueron significativos, sino también se hicieron presentes aunque en segundo y tercer orden de significancia, la variabilidad de concentración de los PO_4^- , PT, COT, OD, pH, conductividad y oxígeno saturado.

La segregación de las observaciones en los cúmulos 1, 2 y 3 permitió saber que existió diferencia significativa en la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos entre vegetaciones durante las temporadas, ya que a diferencia del cúmulo 4, en estos cúmulos se ubicaron las estaciones de la VM, las cuales en su mayoría registraron en primer término la variabilidad de concentración significativa con respecto al oxígeno y pH, y en segundo término la variabilidad de concentración de los demás parámetros fisicoquímicos medidos.

La diferencia entre ríos en la VM, también se hizo evidente por las observaciones dentro del cúmulo 3 y 4, al mostrar que el RC registró como principal variabilidad significativa de concentración los NID, NT SS y turbidez, excepto durante la temporada de transición, mientras que en el RP se registró como significativa la variabilidad de concentración del oxígeno y pH durante las tres temporadas, esto hace suponer que en el RP se evidencio de forma más significativa el comportamiento que sucede en la parte baja de la cuenca, en donde al ubicarse dentro de la zona costera en el área en el que se localizan los manglares, desempeñan la función de sistema de amortiguación del material que proviene río arriba, por lo que disminuye la variación de concentración de dicho material y en su caso fungen como depósitos sedimentarios (Tovilla, 1998).

La tendencia de la concentración a lo largo del transecto complementaron los análisis multivariados para aceptar la hipótesis, ya que los cambios abruptos que se dieron a partir de las estaciones 3 y 10, resultantes como las de mayor compatibilidad como VR-M (en vez de las estaciones 4 y 11 establecidas en el análisis de datos, debido a una mayor compatibilidad con las estaciones de la VM con respecto a la presencia de los parámetros fisicoquímicos así como la variación de las concentraciones entre temporadas), se infiere que los cambios de concentración se debieron a la presencia de vegetación diferente a las de aguas arriba, esto apoyado por las estaciones dentro de la VM en ambos ríos, las cuales mostraron que las concentraciones de $\text{N}_3\text{-N}$ y PO_4^- en el mayor de los casos disminuyeron o se amortiguaron, principalmente durante las temporadas de secas y transición.

Las aguas residuales además de haber mostrado que ante su presencia, las concentraciones provenientes de aguas arriba cambiaron su tendencia a lo largo del transecto y por ende el incremento de concentración en la VR resalto el descenso de concentración del $\text{NO}_3\text{-N}$ al cambio de vegetación, también permitió observar la capacidad de asimilación o retención del $\text{NO}_3\text{-N}$ que tuvieron los ríos en la zona de la VR.

Lo anterior con respecto a las diferencias de concentración que existieron entre las estaciones de agua control y las estaciones definidas como IF o IM, donde se mostró que el RP tuvo gran capacidad de asimilación de los compuestos del NID y retención de PO_4^- en condiciones naturales, es decir; ante la ausencia de aguas residuales, hubiese mostrado la misma tendencia de decremento de concentración a lo largo del transecto en la VR que tuvo durante la temporada de secas, en el cual se observó que ante

condiciones naturales de vegetación, el sistema fluvial fue capaz de asimilar o retener los nutrientes.

El período de transición marco claramente el cambio de concentración entre temporadas en la mayoría de los parámetros medidos. Las distancias de asimilación del $\text{NO}_3\text{-N}$ y PO_4^- , al paso de las temporadas se acortaron entre estaciones en la VR pero se alargaron al cambio de vegetaciones y entre las estaciones de la VM, por tanto, las distancias cortas indicaron que el nutriente disuelto fue retenido eficientemente y las distancias largas indicaron que el ecosistema fluvial tuvo una elevada retentividad (Martí & Sabater, 2009).

En el RC al contrario del RP, la tendencia de la concentración del PO_4^- en incremento de VR a VM, dio un referente más en suponer una menor capacidad del sistema fluvial en atenuar el material rico en fósforo, coincidiendo con las altas concentraciones de SS y conductividad, lo que hace suponer que existieron solutos fácilmente desionizables por lo que explicaría la relación del PO_4^- con la temperatura, ya que esta influyó en la solubilidad de las sales a temperaturas altas (Fuentes & Massol-Deyá, 2002), las cuales se dieron durante secas y lluvias temporadas que se caracterizaron por el incremento de temperatura debido a la canícula intraestival. Las máximas concentraciones de PO_4^- durante estas temporadas supondrían que gran porcentaje del PT fueron pertenecientes a dichas formas fosfatadas.

En general, acorde a las concentraciones que mostraron los SS y los nutrientes, la dinámica del $\text{NO}_3\text{-N}$ y PO_4^- a lo largo del transecto y los resultados de análisis multivariados, se concluye que en el RC el sistema fluvial tuvo una menor capacidad de amortiguar o disminuir las concentraciones, contrario en el RP, en el cual aunque las concentraciones de la mayoría de los parámetros fisicoquímicos fueron mayores a los

del RC, se infiere que la morfología y la cobertura de vegetación a diferencia del RC ayudaron a atenuar o disminuir las concentraciones de entrada al sistema lagunar. La hipótesis con respecto a la dinámica de los nutrientes, de acuerdo a los resultados de los análisis multivariados y las observaciones a lo largo del transecto es aceptada, ya que ambos ríos coincidieron con un gradiente de concentración de nutrientes al cambio de vegetación, donde dentro de la VM las concentraciones decrecieron o bien fueron constantes al final del transecto. Estos resultados se deben de considerar principalmente por lo mostrado durante la temporada de secas y transición, ya que las concentraciones de acumulación junto con el aporte debido a las lluvias, incrementaron considerablemente los NID y PT, para estar en el límite de los valores máximos permisible de acuerdo a los criterios de Calidad de agua admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces cálidas, y de estuario (Gómez, 2009; SEMARNAT, 2009).

En tanto la calidad de agua en ambos ríos, con respecto a la concentración de SS, conductividad, COT y oxígeno, estuvieron fuera de los límites máximos permisibles durante las tres temporadas dentro de la VM (Gómez, 2009; SEMARNAT, 2009). Sin embargo el COT y OD, no son extraños a otros sistemas estuarinos debido a la alta productividad que caracterizan a los manglares, no así con respecto a los SS, turbidez y conductividad (Jiménez- Castellanos *et al.*, 2011).

Las limitantes de este estudio es el hecho que es descriptivo, sin embargo, la ventaja en base a los resultados de la comparación entre dos sistemas con características similares, en tiempo y espacio, permitió inferir los gradientes en la dinámica de los parámetros fisicoquímicos que determinaron la calidad de agua, así como los nutrientes, en función al cambio de vegetación, esto con ayuda de los análisis

multivariados, los cuales mostraron que existió diferencia entre estaciones y por ende entre vegetaciones, así como entre ríos durante y entre las temporadas de muestreo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al equipo de técnicos del Departamento de Manejo de Zona Costera-ECOSUR-Tapachula, por su apoyo en el trabajo de campo (Sra. Ercita, Sr. Carlos, Felipe y Yayo), así como a la familia de la comunidad de Barra de Zacapulco, por su amable y siempre cálida hospitalidad para el desarrollo del muestreo. Un especial agradecimiento a los Biólogos R. Gómez-Ortega y E. Ramos-Santiago, por sus comentarios y consejos con respecto a sus conocimientos en la zona de estudio. Al Dr. C Tovilla-Hernández por su amistad incondicional y apoyo académico y logístico en la realización de este trabajo. La beca CONACyT (255229) otorgada para el Posgrado de ECOSUR.

REFERENCIAS

- Adame, M.A. & C.E. Lovelock. 2011. Carbon and nutrient exchange of mangrove forests with the coastal ocean. *Hidrobiología* 663: 23-50.
- Benez, M. C., E. F. Kauffer, G. C. Álvarez-Gordillo. 2010. Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la micro cuenca del río Fogótico, Chiapas. *Frontera Norte* 22 (43): 129-158
- Boveri, M., 2005. Ecología Acuática. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires. 65 p.
- Calva-Benítez, L. C., A. Pérez-Rojas, & A. Z. Márquez-García. 2006. Contenido de Carbono Orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. *Hidrobiológica* 16(2): 127-136.

Campoblanco-Díaz, H. & J. Gomero-Torres 2000. Importancia de los ríos en el entorno ambiental. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica* 3(5): 57-63.

Escobar E. & M. Maass. 2008. Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas. In: Capital natural de México, vol., I: Conocimiento actual de la biodiversidad. *CONABIO*: 161-189.

Gómez, C. 2009. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, que tiene como objetivo proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Disponible en línea en:

<http://web.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/fgongora/Propuesta%20de%20Norma%20Anexo1%20C%20Libro%20VI%20C%20TULSMA.pdf> (consultado el 13 de Febrero del 2014).

Flores-Verdugo, F. J., C. Agraz-Hernández, & D. Benítez-Pardo. 2000. Conservación y restauración: Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para sus conservación. In: Sánchez et al., 2007. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. INECC. 147-167.

Fuentes, F. & A. Massol-Deyá 2002. Manual de Laboratorios, ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico. 17 p.

Gutiérrez, Y. 2013. El fenómeno de la canícula se prevé en la mayor parte del país. Disponible en línea en: <http://www.miambiente.com.mx/?p=30519> (consultado el 15 de Marzo del 2013).

Hernández-de la Cruz, J. 2013. Extracción Material en Pétreo del río Despoblado, a la altura del km. 234+900 de la carretera Arriaga-Tapachula, ejido Pueblo Nuevo

Comatitlán, municipio Villa Comatitlán, Chiapas. Manifiesto de Impacto Ambiental. IFAI.

Disponible en línea en:

<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/chis/estudios/2007/07CH2007HD047.pdf> (consultado el 5 de Enero 2014)

Isasmendi, S. C., B. T. Tracanna, F. H. Vendramini, M. G. Navarro, M. A. Barrónuevo & G. S. Meoni. 2007. Caracterización física y química de ríos de montaña (Tafí del Valle-Tucumán-Argentina). *Limnetica* 26 (1):129-142.

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) s.f Descripción de la estación hidrométrica 23032. Vado Ancho. Disponible en línea

en:http://atoyatl.imta.mx/webpatzcuaro/bandas/archivos/fichas-estaciones/23032_Descripcion.txt (consultado el 17 de Diciembre del 2013)

Jiménez-Castellanos, L.A., W.L. Báez, R.M. González & E. Salinas-Cruz. 2011.

Evaluación de la calidad del agua de los Ríos Pijijiapan, Coapa y Margarita, en el Estado de Chiapas, México. Segundo Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Investigadores del Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP. 5 p.

Jones, A. B., M. J. O'Donohue, J. Udy & W. C. Dennison. 2001. Assessing Ecological Impacts of Shrimp and Sewage Effluent: Biological Indicators with Standard Water Quality Analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52: 91-109

Llano-Arias, J. 2009. La canícula o "El veranito". Disponible en línea

en:<http://www.elpinerodelacuena.com.mx/epc/index.php/politica/11094-la-canicula-o-el-veranito> (consultad el 15 de Marzo del 2013).

Martí, E & F. Sabater. 2009. Retención de nutrientes en ecosistemas fluviales. *In*: Elozegi, A. & S. Sabater (Eds.). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Cap.2 Fundación BBVA 39-48.

Rodríguez-Espinoza, J. 2006. Dinámica de la Calidad de Agua en la Cuenca del Río Cintalapa, Soconusco, Chiapas. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Tapachula, Chiapas, México. 53 p.

Sabater, S., J. C. Donato, A. Giorgi & A. Elozegi. 2009. El río como ecosistema. *In*: Elozegi, A. & S. Sabater (Eds.). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Cap.2. Fundación BBVA. 23-37.

Satheeshkumar, P. & A. B. Khan. 2012. Identification of mangrove quality by multivariate statistical analysis methods in Pondicherry coast, India. *Environmental Monitoring and Assessment Springer Science* 184(6): 3771-3774

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Construcción de Obras de Protección de las márgenes del Río Chalacas, municipio de Villacomaltitlán, Chiapas. Manifiesto de Impacto Ambiental. Disponible en línea en:<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/chis/estudios/2010/07CH2010HD116.pdf> (Consultado el 7 de Enero 2014)

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. El Medio Ambiente en México. Calidad de aguas superficiales. Disponible en línea en:http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/06_agua/cap6_5.html (Consultado el 7 de Enero del 2014).

Spillecke, W. & K. Werner. 2012. La Cuenca del Río Cintalapa-Doña María- Identificación de las problemáticas principales de la Región Costa de Chiapas. Instituto

Mexicano de Tecnología de Agua. XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco, Guerrero, México. 5 p.

Suárez-Altamirano, J. M. 2005. Flujos de material suspendido y disuelto entre el estero “El Conchalito” y la laguna “Ensenada de la Paz”, B.C.S., México. Tesis Maestro en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas Departamento de Oceanografía. La Paz, Baja California Sur, México. 119 p.

Tovilla-Hernández, C. 1998. Ecología de los bosques de manglar y algunos aspectos socioeconómicos de la zona costera de Barra de Tecoaapa Guerrero, México. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Tovilla-Hernández, C. 2010. Observaciones sobre las MIA's, modalidad particular sobre los dragados a realizarse en los ríos de la costa de Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur. Disponible en línea en:

xa.yimg.com/.../CNA+PROYECTO+DRAGADOS+SOBRE+LOS+RÍOS+ (Consultado el 7 de Enero del 2014)

Tripathy, S. C., A.K. Ray, S. Patra & V.V. Sarma. 2005. Water quality assessment of Gautami-Godavari mangrove estuarine ecosystem of Andhra Pradesh, India during September 2001. *J. Earth Syst. Sci* 114(2): 185-190.

Yan Wu., N.F.Y. Tam & M.H. Wong 2008. Effects of salinity on treatment of municipal wastewater by constructed mangrove wetland microcosms. *Marine Pollution Bulletin* 57:727-7.

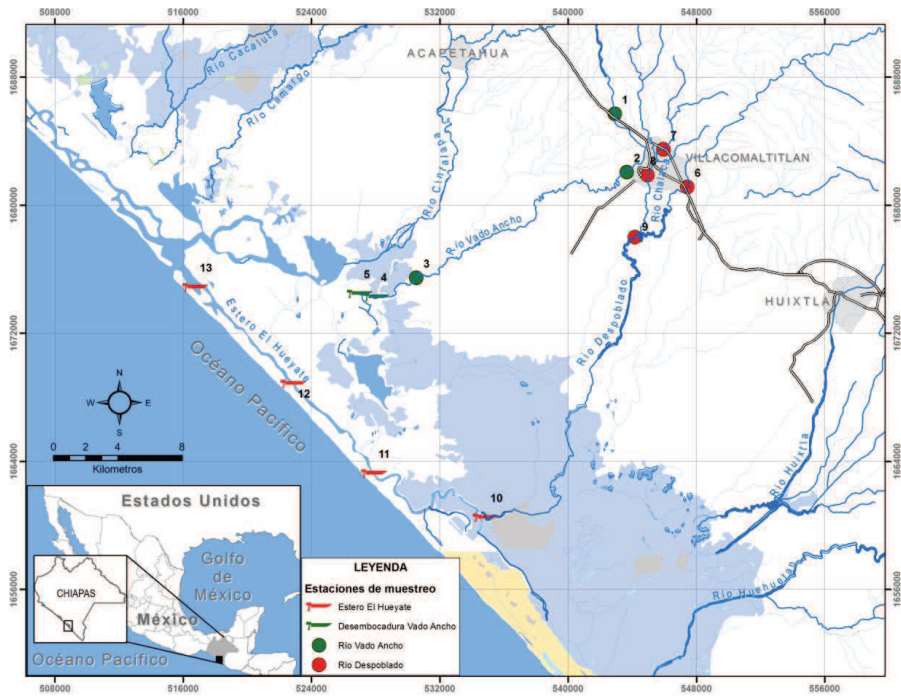
Listado de figuras

Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en los Ríos Vado Ancho definido como el Río Control y Río Despoblado definido como el Río Problema, las estaciones dentro del Río Chalaca fueron considerados dentro del Despoblado. Los símbolos en círculo signífico el acceso a la estación por tierra, el símbolo de lancha signífico el acceso por embarcación, lo que indica que se refieren a las estaciones dentro de la Zona Núcleo de la Encrucijada.

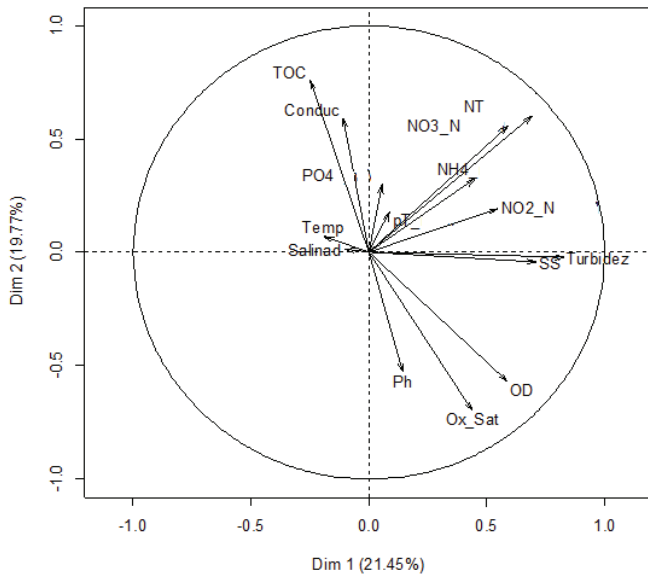
Figura 2. Diagrama del Análisis de Componentes Principales (ACP), de los dos primeros componentes principales.

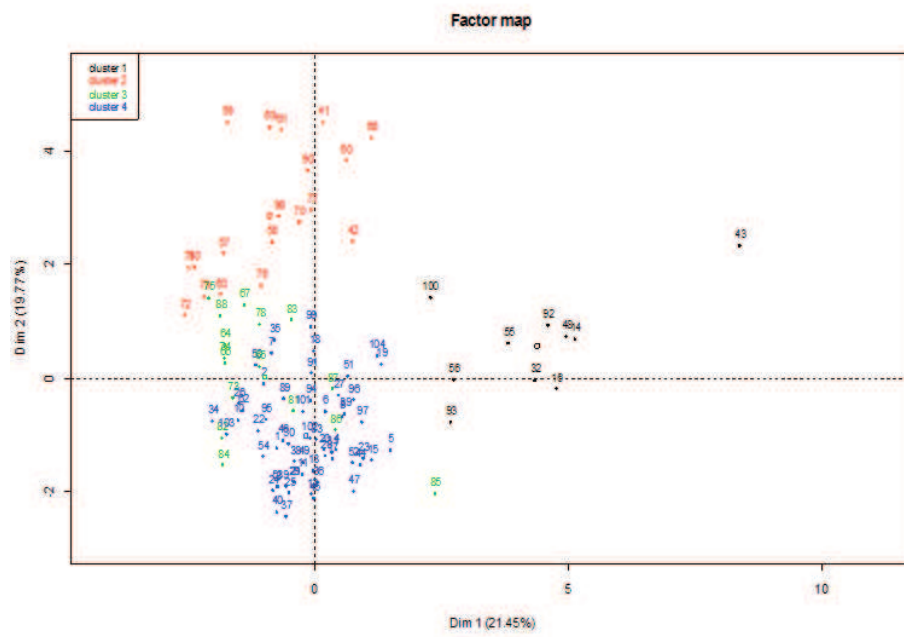
Figura 3. Gráfico de dispersión de los componentes principales 1 y 2, con los respectivos grupos obtenidos del Análisis de Cúmulos.

Figura 4. Relación $\text{NO}_3\text{-N} / \text{PO}_4^-$, con respecto a la tendencia de la concentración a lo largo del transecto.



Variables del Analisis de Componentes Principales (ACP)





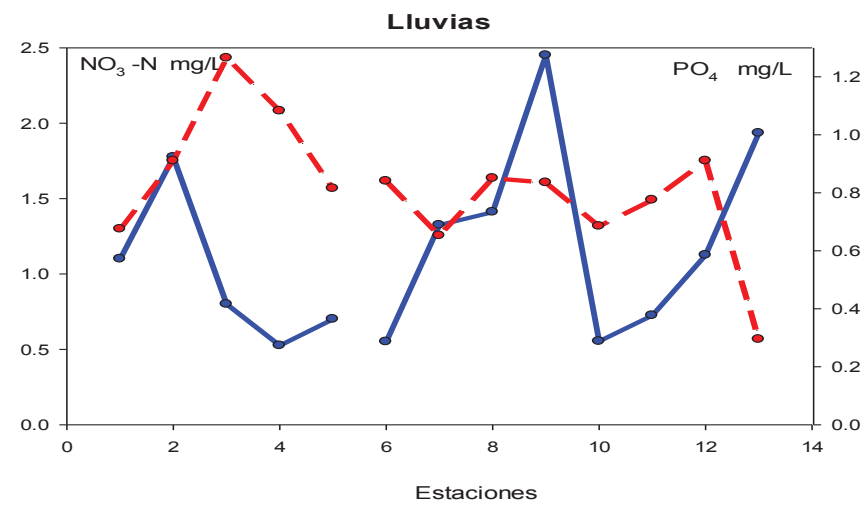
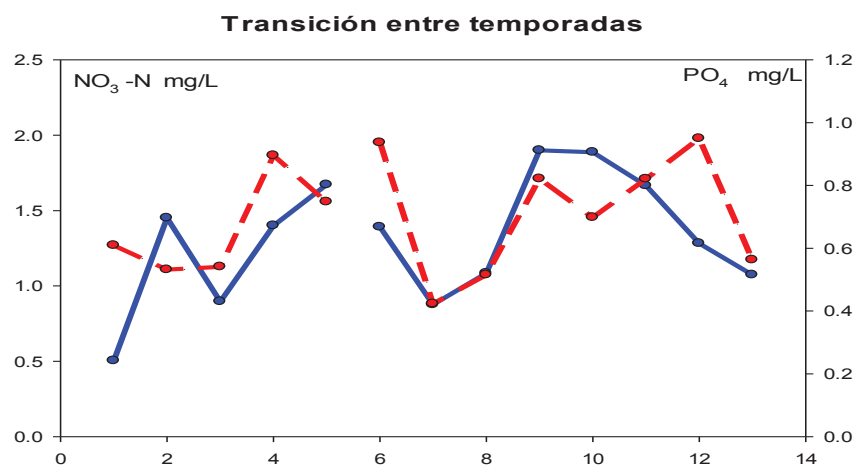
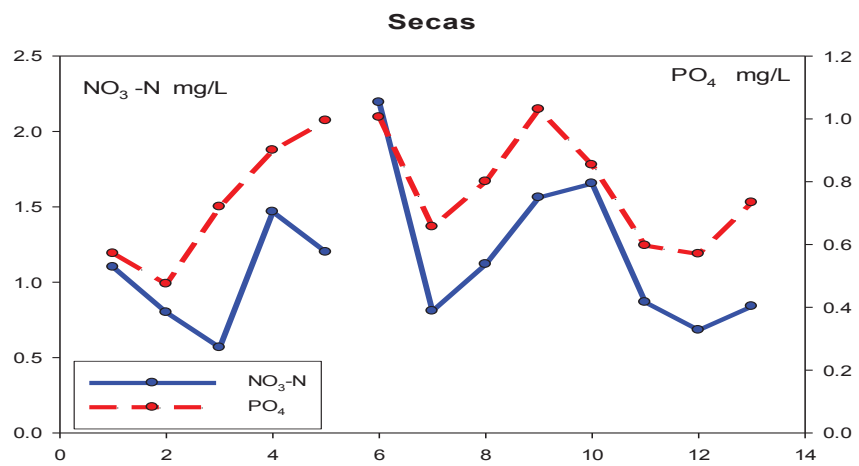


Tabla 1.-Estaciones de muestreo en los Ríos Vado Ancho, Despoblado y Chalaca. La simbología se refiere al tipo de vegetación: Vegetación Ribereña (VR), Vegetación Ribereña asociado al manglar (VR-M) y Vegetación de Manglar (VM). Los sitios se clasificaron con respecto a un posible Impactado Fuerte (I/F), Impacto Moderado (IM), Sin Impacto (S/I).

Río	Estación	Cuenca	Vegetación	Cx	Latitud "N"	Longitud "O"
Vado Ancho (Control)	1	Alta	VR	S/I	15° 14'49.67"	-92°36'0.76"
				Agua control		
	2	Alta	VR	IM	15° 12'51.43"	-92°35'36.16"
	3	Media	VR	IM	15° 9'17.04"	-92°42'56.40"
	4	Baja	VR-M	S/I	15° 8'37.29"	-92°44'18.99"
	5	Baja	VM	S/I	15° 8'44.05"	-92°44'54.64"
Despoblado (Problema)	6	Alta	VR	S/I	15° 12'20.96"	-92°33'29.55"
				Agua control		
Río Chalacas	7	Alta	VR	S/I	15° 13'37.55"	-92°34'19.62"
				Agua control		
Río Chalacas	8	Alta	VR	I/F	15° 12'45.03"	-92°34'52.74"
Río Chalacas	9	Media	VR	I/F	15° 10'38.80"	-92°35'19.60"
	10	Media	VR	I/M	15° 1'8.61"	-92°40'31.56"
	11	Baja	VR-M	S/I	15° 2'38.64"	-92°44'24.74"
	12	Baja	VM	S/I	15° 5'41.28"	-92°47'12.95"
	13	Baja	VM	S/I	15° 8'57.56"	-92°50'37.65"

Tabla 2. Análisis de Componentes Principales por Variable. Los valores remarcados indican el parámetro que fue significativo para explicar la variabilidad de la calidad de agua entre los ríos. El CP1 fueron los parámetros que mayormente explicaron la variabilidad del sistema.

	CP1	CP2	CP3	P
Temperatura	-0.19147119	0.0713289	0.42488705	8.84E-20
Salinidad	-0.09944268	0.01265569	-0.37062674	2.77E-04
pH	0.14204425	-0.52694637	0.59385902	1.53E-06
OD	0.58752863	-0.56725487	0.05323823	7.72E-12
Ox. Saturado	0.43944743	-0.69786066	0.14600006	9.34E-13
Conductividad	-0.11162359	0.59404269	0.29884488	2.52E-12
NH ₄ ⁻	0.45246373	0.32695871	-0.05108513	2.73E-04
NO ₂ -N	0.54843289	0.19293471	-0.05764501	1.11E-03
NO ₃ -N	0.59036765	0.55948329	0.09206865	1.19E-16
NT	0.69154613	0.60131681	0.04951189	3.34E-15
PO ₄ ⁻	0.05736858	0.30208305	0.49842547	1.95E-02
PT	0.0879231	0.17848171	0.78698153	1.92E-03
COT	-0.24839966	0.75927132	-0.14932662	9.84E-23
SS	0.70899321	-0.04240552	-0.15357459	1.18E-20
Turbidez	0.83208724	-0.02189224	-0.19445031	4.52E-27
Varianza	3.83	3.043	1.754	
Varianza %	23.94	19.017	10.965	
Varianza Acumulativa %	23.94	42.958	53.923	

Tabla 3. Estaciones asociadas a los cúmulos del Análisis por Cúmulos.

Cúmulo	1	2	3	4
Grupo de parámetros Estaciones	Temperatura (T)	OD, pH y oxígeno saturado (OD)	OD, pH y oxígeno saturado	NID, NT, SS y Trbz (N)
1				*
2				*
3				OD (Secas) / P (Lluvias)
4		Mayo-II y Transición		*
5		Mayo-II y Transición		*
6	Septiembre-II	Secas		Transición-Lluvias
7	Septiembre-II			P (Mayo-II y Transición)
8				P (Mayo-II y Transición) T (Mayo-II)
9	Septiembre			P (Mayo-II y Transición) T (Mayo-II)
10				*
11		Transición, Lluvias		
12		Transición, Lluvias	N (Secas y Transición)	
13			N (Abril y Mayo-I)	
			P (Lluvias)	

El símbolo (*), se refiere que en dicho grupo se hizo presente la estación durante todas las fechas de muestreo, a menos que se indique en otro grupo. Las abreviaturas **N**, **P**, **OD** y **T**, así como la diagonal que los separa, hacen referencia al segundo y tercer grupo de los parámetros que tuvieron una variabilidad significativa de concentración después de los parámetros que definieron a los grupos correspondientes. El **P** el cual se refiere al grupo del PO₄⁻, PT y COT, no fungió en ningún cúmulo como primer grupo. Las abreviaturas que siguen del nombre del mes, se refieren al primer y segundo tiempo de muestreo.

Tabla 4. Máximo, mínimo y promedio de los parámetros medidos en el río Vado Ancho o río control (RC) y en el río Despoblado o río problema (RP), durante la temporada de secas (Abril-Mayo).

		Secas (abril-mayo)					
		Río			Manglares		
		Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
Temperatura (°C)	RC	32	28	30	32	23	28
	RP	34	28	31	32	24	30
Salinidad	RC	0	0	0	0.8	0	0.183
	RP	0	0	0	35.5	7	24.5
pH	RC	9.2	7.8	8.3	8.6	7.2	7.7
	RP	9.9	6.5	8	8.3	7	7.6
OD (mg/l)	RC	7.6	1.1	4.8	11.3	1.1	5.2
	RP	15.7	0.5	5.2	4.8	1.4	3
Ox. Saturado (%)	RC	106.5	22.7	65.7	100.5	0	41.9
	RP	118.7	5	62.8	83.1	26.8	49
Conductividad µs/cm	RC	257.7	96	201.8	299.1	58.8	180.3
	RP	575	58	274.3	566	22	149.2
NH ₄ ⁺ mg/l	RC	0.12	0.02	0.08	0.32	0.04	0.16
	RP	0.64	0.03	0.17	0.28	0.02	0.13
NO ₂ -N mg/l	RC	0.012	0.004	0.008	0.026	0.008	0.013
	RP	0.041	0.002	0.014	0.025	0.007	0.011

NO ₃ -N mg/l	RC	1.8	0.4	0.8	2.4	0.4	1.3
	RP	2.4	0.7	1.5	1.2	0.5	0.8
NT mg/l	RC	1.852	0.424	1.098	2.563	0.755	0.909
	RP	2.957	0.793	1.652	1.268	0.663	0.938
PO ₄ mg/l	RC	1.21	0.44	0.68	1.48	0.84	1.1
	RP	1.8	0.36	0.87	1.08	0.34	0.63
PT mg/l	RC	1.72	1.06	1.47	1.77	1.16	1.33
	RP	2.28	1.16	1.61	1.95	1.15	1.32
COT	RC	4	0.1	2	13	1	4.7
	RP	24.6	0.69	7.3	18.3	2	9.6
SS	RC	51	4	17	53	3	31
	RP	42	3	15	26	7	16
Turbidez	RC	15.4	0.5	3.2	10.3	1	5.7
	RP	67	0.2	7.8	2.5	0.7	1.6

Tabla 5. Máximo, mínimo y promedio de los parámetros medidos en el río Vado Ancho o río control (RC) y en el río Despoblado o río problema (RP), durante la temporada de transición (Junio).

		Transición (junio)					
		Río			Manglares		
		Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
Temperatura (°C)	RC	22	22	22	29	25	27

	RP	26	23	28	27	26	29
Salinidad	RC	0	0	0	0	0	0
	RP	0	0	0	30.5	3.1	16.8
pH	RC	8.4	7.8	8.2	7.6	7.1	7.35
	RP	8.3	6.9	7.7	7.6	7	7.3
OD (mg/l)	RC	7.7	5.6	7	5.8	4.2	5
	RP	8	0.4	6.5	4.6	1.5	4.9
O ₂ Saturado (%)	RC	92.2	73.1	85.5	75.8	50.1	62.9
	RP	93.6	6.3	76.1	75.8	16.3	51.8
Conductividad μs/cm	RC	166.8	162.6	164.4	224.9	146.1	185.5
	RP	293	117.5	202.8	163	124	331.7
NH ₄ ⁻ mg/l	RC	0.17	0.06	0.1	0.3	0.18	0.17
	RP	0.28	0.03	0.18	0.38	0.04	0.25
NO ₂ -N mg/l	RC	0.008	0.003	0.007	0.047	0.027	0.02
	RP	0.01	0.005	0.011	0.012	0.002	0.007
NO ₃ -N mg/l	RC	0.8	0.5	0.7	2	2	1.3
	RP	2.8	0.7	1.4	3.1	0.4	1.3
NT mg/l	RC	0.862	0.677	0.769	2.257	2.207	2.232
	RP	3.091	0.97	0.448	3.492	0.442	0.506

PO ₄ mg/l	RC	0.56	0.48	0.53	0.54	0.53	0.53
	RP	0.86	0.34	0.77	0.86	0.3	0.65
PT mg/l	RC	1.68	1.39	1.58	1.6	1.28	1.44
	RP	1.7	1.4	1.56	1.5	1.06	1.27
TOC	RC	4	1.9	2.8	8.8	6.5	7.7
	RP	12.4	1.6	6.2	18.2	4	13.2
SS	RC	82	20	42	205	119	162
	RP	65	4	26	15	6	13
Turbidez	RC	23.4	5	12.2	56	33.1	44.5
	RP	19.6	1.3	12	2	1.6	2.3

Tabla 6. Máximo, mínimo y promedio de los parámetros medidos en el río Vado Ancho o río control (RC) y en el río Despoblado o río problema (RP), durante la temporada de lluvias (Julio y Septiembre).

		Lluvias (julio-septiembre)					
		Río			Manglares		
		Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
Temperatura(°C)	RC	28	24	27	30	27	29
	RP	30	25	28	32	28	30
Salinidad	RC	0	0	0	0	0	0
	RP	0	0	0	35.5	0	7.8
Ph	RC	8.6	6.9	8	8.2	6.8	7.5

	RP	8.6	6.6	7.6	8.3	6.6	7.2
OD (mg/l)	RC	8.3	4.5	6.9	6.9	3.8	5
	RP	8.3	0.2	5.8	19.6	0.1	4.5
Ox. Saturado(%)	RC	101.3	40.7	80.8	101.2	48.5	69.5
	RP	108.3	2.3	76.1	158	1.7	49.2
Conductividad	RC	214	114	157.9	224.9	58	168.1
μs/cm	RP	546	112	170	563	194.1	346.8
NH ₄ ⁻ mg/l	RC	0.28	0.01	0.14	0.18	0.03	0.09
	RP	0.54	0.01	0.15	0.47	0.02	0.2
NO ₂ -N mg/l	RC	0.022	0.001	0.009	0.089	0.003	0.028
	RP	0.02	0.001	0.007	0.015	0.001	0.005
NO ₃ -N mg/l	RC	3.4	0.1	1.2	1.4	0.2	0.6
	RP	3	0.2	1.3	2.3	0.2	1.3
NT mg/l	RC	3.442	0.192	1.373	1.51	0.249	0.732

	RP	3.073	0.316	1.411	2.726	0.461	1.475
PO ₄ mg/l	RC	2.75	0.29	0.95	1.32	0.41	0.95
	RP	1.4	0.29	0.77	1.17	0.08	0.66
PT mg/l	RC	1.85	1.14	1.59	1.77	1.22	1.55
	RP	1.93	1.17	1.49	1.86	1.06	1.3
COT mg/l	RC	5.7	0.1	2.3	4.8	0.7	2.8
	RP	25	0.1	3.7	25.4	0.3	12.8
SS mg/l	RC	246	9	83	181	36	69
	RP	183	1	50	26	2	15
Turbidez	RC	58.4	2.8	18.7	47	1.6	16.2
	RP	48	1.6	17.6	4.7	2.1	3.3
