

Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México

Physicochemical water characterization of La Vega Escondida Lake, Tampico, Tamaulipas, México

R. P. González-Dávila¹

R. Ventura-Houle²

F. R. De la Garza-Requena³

L. Heyer-Rodríguez⁴

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

²Universidad Autónoma de Tamaulipas, México,
reneventura.houle@gmail.com

³Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

⁴Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

Autor para correspondencia: Ventura-Houle, R.
reneventura.houle@gmail.com

Resumen

La Vega Escondida es una laguna ubicada al Noroeste del municipio de Tampico, Tamaulipas, dentro del área natural protegida colindante con la zona conurbada constituida por las poblaciones de Tampico, Madero y Altamira. Además del beneficio ecológico que representa, es una fuente de abastecimiento de agua potable. Por ello es importante conocer su composición fisicoquímica con el fin de proteger tanto al ecosistema como a la salud humana. Este estudio evaluó la concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua (pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, temperatura, cloruros, dureza, alcalinidad, sulfatos, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto) así como su distribución espacial

dentro de la laguna. Los resultados obtenidos se compararon con los criterios ecológicos de la calidad del agua (CE-CCA-001-SEMARNAT, 1989) y con la Norma Oficial Mexicana (SALUD, 1994). De acuerdo a los parámetros analizados el agua cumple con la calidad requerida para consumo humano y mantener la vida acuática, excepto en el parámetro de sólidos suspendidos totales (SST). Se observó además que los patrones de distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos son heterogéneos y que hay diferencias significativas en el parámetro OD (profundidades), así como en el pH y la CE (puntos de muestreo), al nivel de significancia del 5 %.

Palabras clave: agua, parámetros fisicoquímicos, distribución espacial, lagunas.

Abstract

La Vega Escondida lake is located northwest of the city of Tampico, Tamaulipas. It is a protected area, which borders the metropolitan area of Tampico, Madero and Altamira, in addition to the ecological benefit, it is a source of drinking water for the city of Tampico. Therefore it is important to know the physico-chemical composition of the water of the lake, in order to protect both the ecosystem and human health. This study assessed the concentration of water physicochemical parameters (pH, electrical conductivity total solids, temperature, chlorides, hardness, alkalinity, sulfates, chemical oxygen demand and dissolved oxygen) and the spatial distribution of these within the lake. The results obtained were compared with the ecological criteria of water quality (CE-CCA-001-SEMARNAT, 1989) and with the Norma Oficial Mexicana (SALUD, 1994) to obtain the parameters analyzed in water meets the quality required to maintain aquatic life and abstraction for human consumption, except in parameter of total suspended solids (TSS). It was also noted that the patterns of spatial distribution of physicochemical parameters are heterogeneous and that there are significant differences in the OD parameter (depth) as well as pH and EC (sampling points), the level of significance of 5%.

Keywords: Water, physico-chemical compounds, spatial distribution, lakes.

Recibido: 21/05/2015

Aceptado: 04/07/2018

Introducción

Los lagos y lagunas pertenecen a la categoría de aguas quietas o lénticas (Roldán y Ramírez, 2008), son cuerpos de agua dulce o salada, que ocupan el 13% de las zonas costeras (Kjerve, 1994; Mahapatro, Panigrahy & Panda, 2013), así como otras extensas áreas alrededor del mundo. Tienen gran importancia ecológica, limnológica y económica, debido a que sustentan altas tasas de productividad (acuacultura), intensa actividad humana (recreación y transporte) y son importantes cuerpos receptores de agua (Spaulding, 1994). A pesar de su relevancia, las lagunas costeras a menudo son proclives de ser contaminadas, debido a su posición geográfica y a la sobreexplotación humana de que son objeto (Ahmed, Seto, Ishiga, Fukushima & Roser, 2010; Gikas, Iannakopoulou & Tsihrintzis, 2006; Pereira, Pablo, Vale, Franco & Nogueira, 2009; Specchiulli *et al.*, 2010).

Los principales contaminantes antropogénicos que deterioran la calidad de los lagos y lagunas son: aguas residuales municipales no tratadas, sustancias químicas de desechos industriales y agroquímicos, principalmente. Éstos ejercen presión en los sistemas naturales (Monforte & Cantú, 2009), debido a que provocan acidificación, eutrofización y toxicidad (Camargo & Alonso, 2007). Las fuentes de contaminación natural también influyen significativamente en la composición iónica del agua, debido a que aportan gran cantidad de elementos y compuestos provenientes de la meteorización de las rocas y de la degradación de los materiales orgánicos de origen vegetal y animal, por lo cual los parámetros fisicoquímicos se presentan en concentraciones variables en el tiempo (Lanza De la & Gómez, 1999).

Éstos tipos de contaminación afectan a todas las cuencas hidrológicas del mundo —especialmente a las que soportan una alta densidad poblacional— donde se localizan los grandes sistemas de ríos, actualmente muy afectados, como el Salween y Yangtzé (sureste y centro asiático), el De la Plata (América del Sur), el del Bravo (Norteamérica) y el del Nilo (norte de África). Sus ecosistemas acuáticos presentan variaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas en cortos periodos de tiempo (Montoya-M, 2008).

Estudios realizados por Coutinho & Mello (2010) en el agua de una laguna costera subtropical, determinaron que la concentración de los parámetros fisicoquímicos se han mantenido en el mismo nivel de años anteriores (1996 y 1998), lo que implica que la distribución espacial y temporal de los iones del agua tienen relación directa con las actividades antropogénicas (Batres, 2012).

Los parámetros fisicoquímicos proporcionan amplia información de la naturaleza de las especies químicas del agua así como de sus propiedades físicas (Orozco, Pérez, González, Rodríguez & Alfayete, 2005) y su análisis permite evaluar rápidamente la calidad del recurso acuático (Samboni, Carvajal & Escobar, 2007). Debido a que éstos parámetros están sujetos a importantes fluctuaciones que ocurren a escalas espaciales y temporales muy variables (Mambiela, Montes & Martínez-Ansemil, 1991; Martínez-Ansemil & Mambiela, 1992; Elosegui & Pozo, 1994), es muy importante determinar su distribución espacial para conocer su dinámica dentro de la masa de agua (Allan, 1995).

En la parte baja de la cuenca del río Guayalejo –Tamesí en la República Mexicana, se encuentra un sistema lagunario que tiene gran importancia hidrológica, ecológica y social para la región (Vera, 2004). Este sistema comprende un área aproximada de 40 000 ha, dependiendo de la época del año y está conformado por ocho lagunas que pertenecen al Estado de Veracruz y diez lagunas que pertenecen al Estado de Tamaulipas (PESCA; Hurtado y Mora, 2007, INEGI, 2011). De éstas últimas, la laguna La Vega Escondida, está declarada como área natural protegida, donde se conservan al menos 24 especies animales y cuatro especies vegetales en estatus de protección especial, amenazadas o en peligro de extinción, además la laguna es una escala vital de aves migratorias en el corredor Norte-Sur del continente americano (Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas, 2003), además por ella pasa el agua que se capta para la potabilización y posterior consumo humano en la ciudad de Tampico.

El objetivo de este trabajo es determinar la concentración y distribución espacial de algunos parámetros fisicoquímicos de referencia de la calidad del agua de la laguna La Vega Escondida, ya que no existe información reciente al respecto. De esta manera se busca hacer un acercamiento al comportamiento hidrodinámico y a su relación con la calidad fisicoquímica del agua de este importante vaso, dentro del sistema lagunario del Sur de Tamaulipas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la laguna La Vega Escondida, la cual es parte del sistema lagunario del Río Guayalejo – Tamesí, conocido también como Champayán (Región Hidrológica RH26 Río Pánuco) y se encuentra en el municipio de Tampico, al Sureste del Estado de Tamaulipas, México (Sánchez & Propin, 2005), Figura 1. En la zona predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, la humedad promedio es de 75 %, con temperaturas de 22 a 26 °C y precipitación entre 900 a 1100 mm por año. La geología de la cuenca que influye a la laguna, está compuesta por rocas sedimentarias como lutita-arenisca, perteneciente a los periodos geológicos Cuaternario y Paleógeno en la parte baja (INEGI, 2009) y por rocas sedimentarias a metamórficas del precámbrico terciario, en su mayoría calizas y lutitas y en menor grado los gneises, que ocasionalmente son cubiertos por depósitos de origen aluvial del Cuaternario en la parte media y alta (Seduma, 2010).

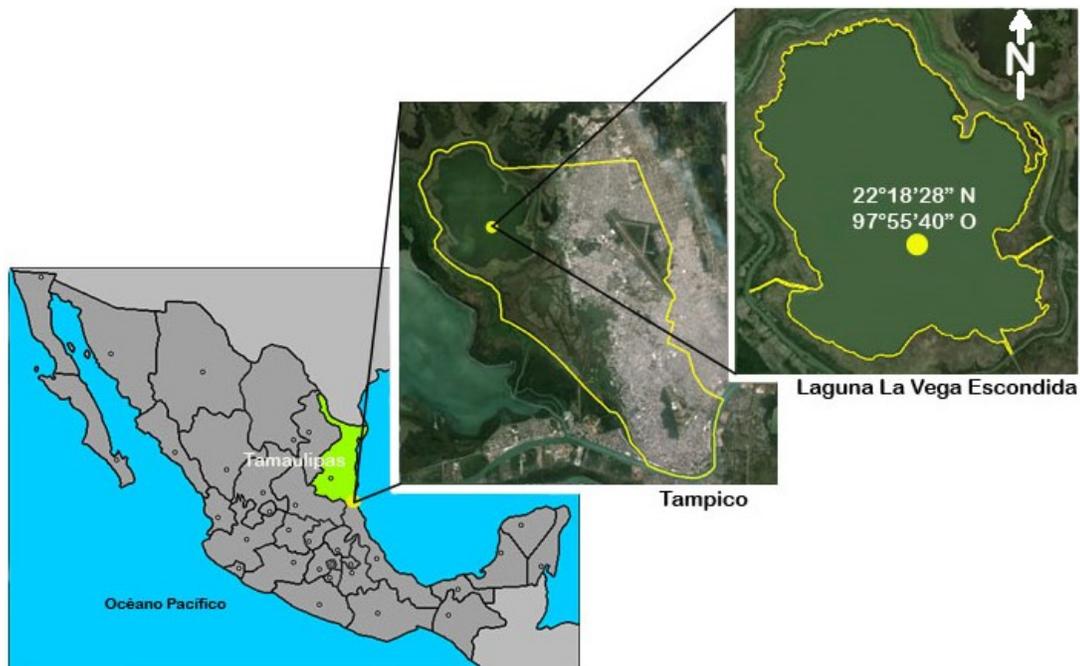


Figura 1. Ubicación geográfica de la laguna La Vega Escondida en Tampico, Tamaulipas, México.

Muestreo de agua

Para el muestreo del agua se establecieron cinco puntos (P1 = $22^{\circ}17'40.9''$ N - $97^{\circ}56'5.62$ O; P2 = $22^{\circ}19'2.7''$ N - $97^{\circ}56'5.9$ O; P3 = $22^{\circ}18'26.8''$ N - $97^{\circ}55'1.1$ O; P4 = $22^{\circ}18'21.0''$ N - $97^{\circ}55'53.6$ O; P5 = $22^{\circ}17'37.9''$ N - $97^{\circ}54'58.0$ O), Figura 2. Estos puntos cubrieron las zonas de entrada, salida y ralentización de agua en el sistema. La recolección de agua de cada punto se realizó con la botella Alpha o de Van Dorf, mediante un muestreo simple a tres profundidades (0.30; 0.70 y 1.2 m respectivamente), siguiendo la metodología de la norma mexicana NMX-AA-014-SCFI1980, para muestreo de cuerpos receptores (SCFI, 1980). Cada muestra constó de 2 litros de agua, que se colocaron en botellas de plástico y se almacenaron en hieleras a 4°C para su conservación. El transporte hasta el laboratorio se lo realizó siguiendo la metodología estipulada por la Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water (Clesceri, Greenberg & Eaton, 1998).



Fuente: Google earth 2015.

Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo en la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Métodos analíticos

La concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna, se determinó mediante medición directa en campo y en el laboratorio siguiendo las normas mexicanas estipuladas para el análisis de cada parámetro. (Tabla 1). Dichos parámetros forman parte de los criterios ecológicos de la calidad del agua (CE-CCA-001/89), el cual señala un gran número componentes para establecer la calidad del agua para usos potenciales: fuente de abastecimiento de agua potable, uso recreativo, riego agrícola y la subsistencia de sistemas biológicos. Se eligieron dichos parámetros particulares por funcionar como indicadores del estado general de calidad del agua y por limitaciones técnicas y económicas para el desarrollo de este estudio.

Tabla 1. Normas mexicanas para el análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua.

Análisis de laboratorio	Norma mexicana
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011*
Conductividad eléctrica (CE)	NMX-AA-093-SCFI-2000*
Oxígeno Disuelto (OD)	NMX-AA-012-SCFI-2001*
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013*
Sólidos suspendidos totales (SST)	NMX-AA-034-SCFI-2001**
Alcalinidad	NMX-AA-036-SCFI-2001**
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001**
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	NMX-AA-030-SCFI-2001**
Nitratos (NO_3^-)	NMX-AA-079-SCFI-2001**
Sulfatos (SO_4^{2-})	NMX-AA-074-SCFI-2001**

* Medición en campo ** Análisis de laboratorio

Distribución espacial de los compuestos mayoritarios

Se la realizó aplicando el método geoestadístico de Kriging en el programa Arc Gis 10.2, para lo cual se efectuó un análisis exploratorio de los datos, la evaluación de la normalidad, determinación de tendencias y anisotropías, construcción del semivariograma para la determinación de los rangos; la meseta y el valor del efecto pepita, ajuste de modelos teóricos para el variograma, análisis del efecto pepita, evaluación de los agrupamientos o clusters y la validación cruzada.

Resultados y discusión

Análisis de varianza

El valor promedio de pH fue de $7.79 + 0.09$, por lo cual el agua de la laguna la Vega Escondida se le clasifica como débilmente básica (EcuRed, 2013), valores similares de pH han sido reportados para la laguna El Chairel (Semarnat, 2010), que es un cuerpo de agua adyacente. El promedio de conductividad eléctrica en la Laguna La Vega Escondida fue de $872.7 + 40.6 \mu\text{S cm}^{-1}$, este valor difiere con el promedio encontrado en un periodo de 16 años anteriores en el agua del río Panuco ($1122.75 \mu\text{S cm}^{-1}$) por la Semarnat (2010), pero es similar al de la laguna El Chairel ($650 \mu\text{S cm}^{-1}$) encontrado por Pérez-Arreaga, Garza-Flores, Canales-Caballero & Guevara-Guerrero (2012).

Al realizar una comparación entre los promedios de temperatura, DQO y NO_3^- con los encontrados en un periodo de 15 años en el agua de la laguna El Chairel y el río Pánuco, se determinó que la temperatura y la DQO de éstos eran más altos (temperatura = 27.0 y 27.2 °C; DQO = 6.9 y 12.7 mg L⁻¹ respectivamente) que el agua de la Vega Escondida. En el caso de los nitratos se determinó que el agua de la laguna La Vega Escondida, tiene un promedio (0.26 mg L⁻¹), esta concentración es menor que la reportada para un periodo de 15 años registrado para la laguna El Chairel y el río Pánuco, donde el contenido de NO_3^- era de 0.075 y 0.5 mg L⁻¹ respectivamente (Semarnat, 2010).

Los SST del agua de estudio también mostraron diferencias estadísticas significativas, tanto entre profundidades como entre sitios (Cuadro 2). Al realizar una comparación entre el promedio de SST (321.0 mg L⁻¹) de la laguna La Vega Escondida, con los determinados en un periodo de cinco años (50.0 mg L⁻¹ aproximadamente) en el río Tamesí, se observó que la masa de agua de la laguna de estudio se encuentra con una concentración de 290.0 mg L⁻¹ mayor a la registrada por Batres (2012) para el periodo del 2000 al 2005, por lo que el agua con relación a este parámetro se clasifica como agua contaminada (Nava, 2010). El promedio de alcalinidad encontrado en este estudio (168 mg L⁻¹), difiere con el promedio (70 mg L⁻¹ aproximadamente) encontrado, por lo que el agua de estudio tiene una buena capacidad *buffer* que la resistencia a los cambios de pH (Riberos *et al.*, 2008).

La evaluación del análisis de varianza de los resultados determinó que los valores promedio de temperatura, SST, alcalinidad, dureza cloruros

Demanda Química Oxígeno, NO_3^- y SO_4^{2-} , tenían diferencias significativas entre las profundidades de cada punto, así como entre los diferentes puntos de muestreo (Tabla 2), lo que podría deberse principalmente a la hidrodinámica del agua dentro de la laguna de estudio que genera una mezcla compleja de las agua recientes con la ya almacenadas, involucrando procesos de residencia del agua (Calvo-Brenes & Mora-Molina, 2007; Pérez-Castillo & Rodríguez, 2008; Rendón-Dircio *et al.*, 2012). Al comparar los niveles de pH, T, Cl^- , dureza, alcalinidad, SO_4^{2-} y OD, analizados en la laguna La Vega Escondida, estos no superaron los límites máximos permitidos sugeridos en los criterios ecológicos de la calidad del agua (CE-CCA-001/89) con excepción de los SST, el cual supera los niveles de referencia.

Tabla 2. Análisis de varianza al 0.05 de significancia, entre profundidades (vertical) y sitios (horizontal), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Parámetro	$\bar{x} \pm S$	Análisis de varianza	
		Vertical	Horizontal
		P-valor	P-valor
pH	7.79 ± 0.09	0.22 ns	0.03*
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	872.7 ± 40.8	0.79 ns	0.01*
OD ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)	7.16 ± 1.17	0.01*	0.71 ns
Temperatura	24.5 ± 0.36	0.12 ns	0.22 ns
SST(mg L^{-1})	321.0 ± 49.0	0.90 ns	0.60 ns
Alcalinidad (mg L^{-1} de CaCO_3)	168.35 ± 8.35	0.75 ns	0.50 ns
Dureza (mg L^{-1})	278.3 ± 6.88	0.31 ns	0.30 ns
Cloruros (mg L^{-1})	45.6 ± 0.75	0.76 ns	0.63 ns
DQO (mg L^{-1})	3.85 ± 4.90	0.07 ns	0.80 ns
Nitratos (mg L^{-1})	0.26 ± 0.21	0.26 ns	0.55 ns
Sulfatos(mg L^{-1})	15.06 ± 1.25	0.57 ns	0.06 ns

* significativa $p \leq 0.05$, (ns) no significativa

Distribución espacial

Para el análisis de la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos del agua de estudio se establecieron tres rangos de concentración (bajo, medio y alto), mismos que se distribuyeron en cada parámetro entre el valor más bajo y el valor más alto de todas las mediciones.

El potencial de hidrogeno (pH)

En las condiciones del presente estudio, se determinó que la mayor concentración del pH, se encontraba en las capas superficial e intermedia de la entrada 2 y la salida de agua. La concentración media, se localizaba en la capa superficial e intermedia de una parte de la zona de ralentización y en la entrada 1, así como en la capa profunda de la entrada 2 y la salida de agua. La menor concentración de pH, se ubicaba en las tres capas de agua de la zona de ralentización (Figura 3). La mayor concentración del pH en la entrada 2, se debe a que ésta proviene de un cauce secundario de poco caudal, el mismo que puede tener posibles focos de contaminación en su recorrido antes de llegar a la laguna, la misma que además influye en el área aledaña a la salida de agua ya que se encuentra muy cercana. La concentración media se debe a las propiedades hidrodinámicas, las mismas que permiten una mezcla permanente del agua dentro de la laguna, haciendo que el pH se distribuya de manera uniforme entre las diferentes profundidades. La menor concentración de pH, debido a que ésta proviene directamente del río Tamesí, el mismo que por su gran caudal soporta y amortigua la contaminación ya que existe una correlación entre caudal y pH (Calvo-Brenes y Mora-Molina, 2007).

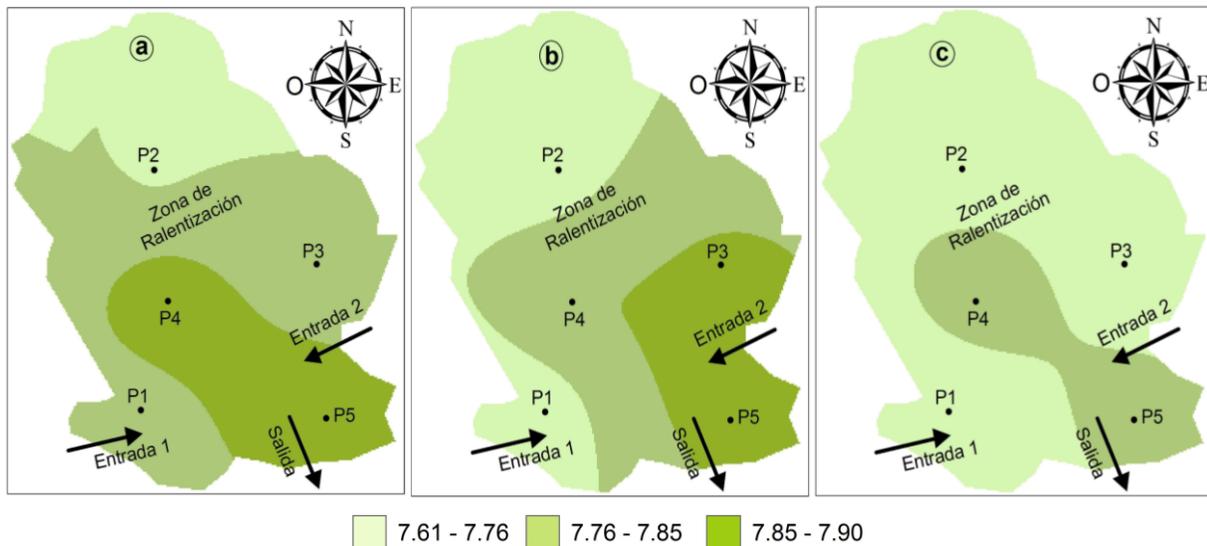


Figura 3. Distribución espacial del pH en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Conductividad eléctrica (CE)

La CE se distribuye espacialmente en mayor concentración en las capas intermedia y profunda de la entrada 2, la salida de agua y en el Noreste de la zona de ralentización (capa profunda). La concentración intermedia de CE se localizaba en la parte central desde el Norte hasta el Sur de las capas intermedia y profunda de la laguna y en las mismas áreas además de la entrada 2 de la capa superficial. Por último, se determinó que la menor concentración de CE se localiza en las tres capas de agua de la entrada 1 de la laguna (Figura 4). El comportamiento heterogéneo de la CE en espacio y tiempo, es condicionado por la mezcla de agua dulce (Rendón-Dircio *et al.*, 2012) del río Tamesí, el mismo que trae consigo carbonatos provenientes de las rocas calizas que conforman la cuenca (Pérez-Arreaga, Garza-Flores, Canales-Caballero & Guevara-Guerrero, 2012).

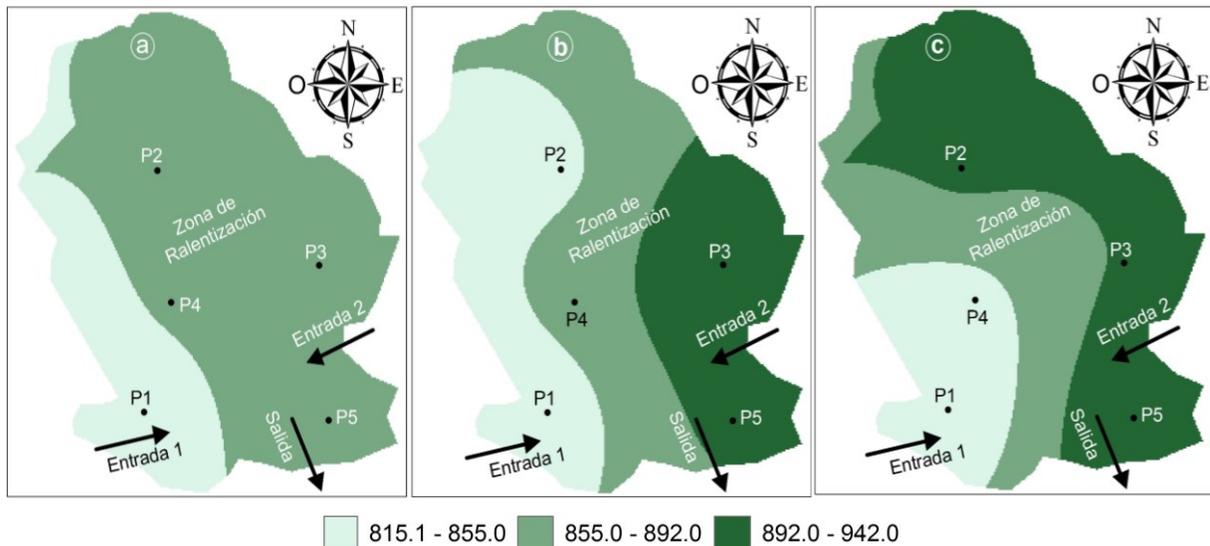


Figura 4. Distribución espacial de la conductividad eléctrica (CE) expresado $\mu\text{S cm}^{-1}$, en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Sólidos suspendidos totales (SST)

Se determinó que la mayor concentración, se encontraba en la capa superficial del área Noreste, en la capa intermedia de las entradas 1, 2 y la salida de agua, así como en la parte central de la laguna con relación: Este - Oeste (Figura 5). La concentración intermedia se localizó en las tres capas de estudio de la zona de ralentización, en el área de influencia de la entrada 2 y la salida de agua de las capas superficial y profunda. La menor concentración de SST, se encontraba en la capa superficial de la entrada 1 y en la capa intermedia del área Noreste de la laguna. Lo anterior se produce por las características hidrodinámicas de la laguna, las mismas que permiten que el agua se mezcle constantemente.

Luego de una comparación entre los SST y la DQO del agua de la laguna de estudio, se determinó que los SST son de composición mineral y no orgánico, debido a que la DQO que representa sólidos orgánicos se encuentra en niveles bajos, por lo tanto la presencia de SST se deben a la

erosión del suelo que ocurre durante todo el año en la cuenca, media y alta del río Guayalejo – Tamesí. Así, al realizar la comparación de los promedios de SST de este estudio con los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua, el líquido vital se encuentra dentro del rango de agua contaminada (Nava, 2010).

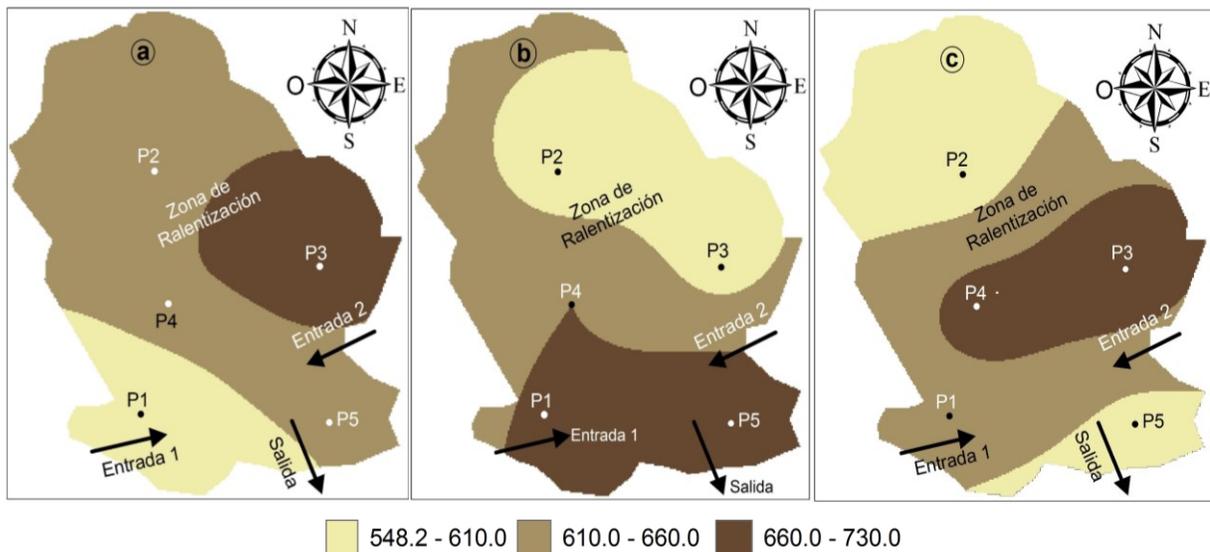


Figura 5. Distribución espacial de los sólidos suspendidos totales (SST) expresado en mg L^{-1} , en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Temperatura (T)

La temperatura más cálida ($24.5\text{-}25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) entre del agua se encontraba en las capas superficial e intermedia de la entrada 2, la salida de agua, en la parte central y al Noreste de la laguna. La temperatura intermedia ($24.3\text{-}24.5\text{ }^{\circ}\text{C}$), se localiza en las capas superficial e intermedia de la zona de ralentización y en la entrada 1 y en la capa profunda de la entrada 2 y su área de influencia. El rango de menor temperatura ($24.0\text{-}24.3\text{ }^{\circ}\text{C}$), se encontró en toda la columna de agua (tres capas de estudio) de la entrada 1, de donde se distribuye hacia la zona de ralentización y la salida de agua

a través de la capa profunda (Figura 6). El comportamiento del en el rango de (24.5-25.5 °C) la temperatura, es debido a que el agua de la entrada 2, proviene de un cauce secundario (pequeño), donde tiene mayor tiempo de residencia y al existir una correlación positiva entre la temperatura del aire con la termoclina (Zadereev, Tolomeev & Drobotov, 2014), esta tiene la tendencia a ser más cálida, por lo cual se mantiene y se mueve siempre por la capa superficial de la laguna.

Las tendencias de la temperatura intermedia del agua, se deben a que ésta es una mezcla del agua cálida de la entrada 2 con el agua fría de la entrada 1, producto de la hidrodinámica y el tamaño del cuerpo de agua. El comportamiento del (24.0-24.3 °C) de temperatura, es debido a que en la entrada 1, el agua proviene del cauce principal (río Tamesí), el cual tiene un gran caudal que se mantiene en constante movimiento (Batres, 2012), lo cual permite que el agua mantenga un patrón térmico estratificado (Montoya-M, 2008), con menor temperatura y densidad, en relación al agua que se encuentra dentro de la laguna, por lo cual al ingresar el agua fría a la laguna, esta se ubica y disemina por el fondo de la laguna (Figura 6).

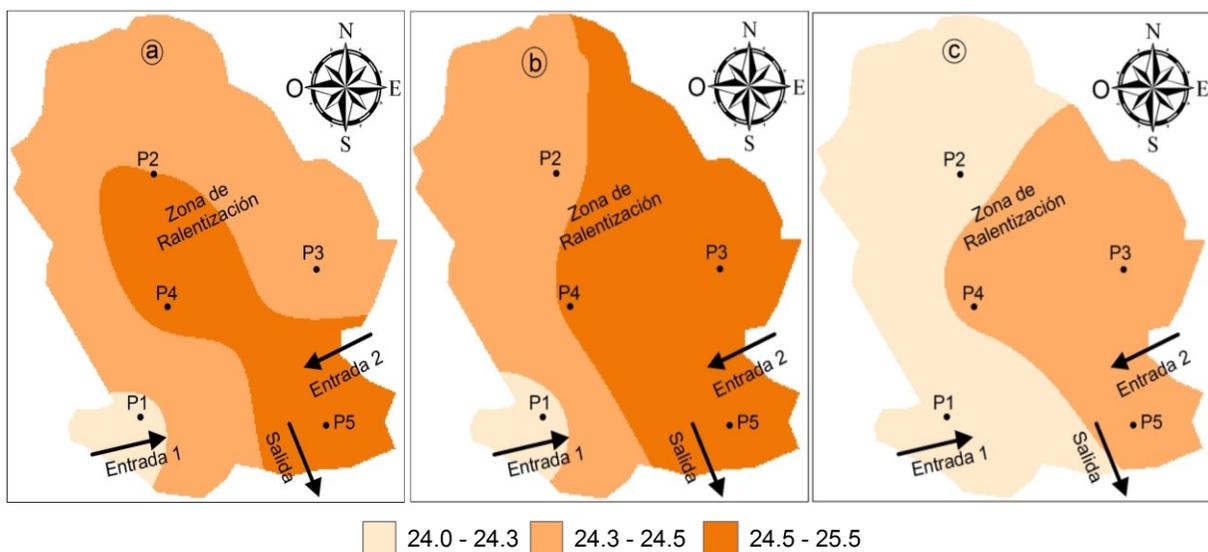


Figura 6. Distribución espacial de la temperatura (T) expresado en °C en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida. Tampico, Tamaulipas, México.

Cloruros (Cl⁻)

La mayor concentración (45.4-46.4 mg L⁻¹) de Cl⁻, se encontraba en las capas superficial y profunda del área de la entrada 2 y en la capa intermedia del área de la entrada 1 y la zona de ralentización. La concentración intermedia (44.7-45.4 mg L⁻¹), se localizaba en la capa superficial de la parte central (desde el Norte hasta el Sur) de la laguna, en la capa intermedia de la entrada 2 y salida de agua y en la capa profunda de la entrada 1 y la zona de ralentización. La menor concentración de Cl⁻, se localizaba en la entrada 1 de la laguna (Figura 7). Lo anterior es debido a las condiciones hidrodinámicas del agua (Wetzel, 2001), que se ven influenciadas por el área de la laguna, profundidad media (Cardoso, Silveira & Marques, 2003), así como por la orientación de ésta con respecto a las entradas de agua, condiciones que permiten a los cuerpos de agua tener homogeneidad horizontal y vertical (Branco, Esteves, & Kozlowsky-Suzuki, 2000; Briand *et al.*, 2002; Figueredo & Giani, 2009; Nogueira y Ramírez, 1998; Coutinho & Mello, 2011), debido a que se realiza una mezcla constante y homogénea del agua que entra con la que se encuentra dentro de la laguna.

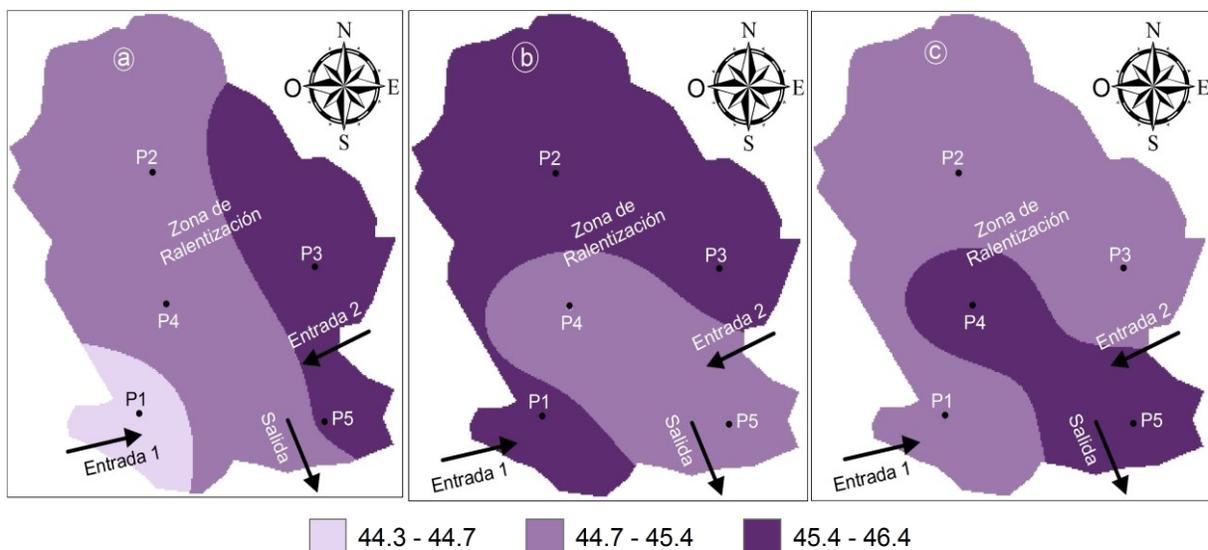


Figura 7. Distribución espacial de los cloruros (Cl⁻) expresado en mg L⁻¹, en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Dureza

La distribución espacial del agua de estudio, determinó que la mayor concentración de dureza ($282.0\text{-}290.0\text{ mg L}^{-1}$), se localizaba en la capa intermedia de las entradas 1 y 2 y en la salida de agua y en la capa profunda al norte de la entrada 2. La concentración intermedia ($276.5\text{-}282.0\text{ mg L}^{-1}$) de dureza, cubrió aproximadamente un 90 % de la capa superficial y la capa intermedia de la zona central (relación Este – Oeste) de la capa intermedia de la laguna. La concentración baja ($267.0\text{-}276.5\text{ mg L}^{-1}$), se localizaba en la capa superficial de la entrada 2, en la capa intermedia y profunda de la zona de ralentización así como en la capa profunda de la salida de agua (Figura 8). La variación de la concentración de dureza en la columna de agua, se debe principalmente a la hidrodinámica del agua, que mantiene en constante mezcla y movimiento el carbonato que provienen de la meteorización de las rocas calizas que están formando la sierra Madre Oriental de México, por donde fluye el agua que se encuentra en el sistema lagunario del río Guayalejo – Tamesí y por ende dentro de la laguna de estudio (Vera, 2004).

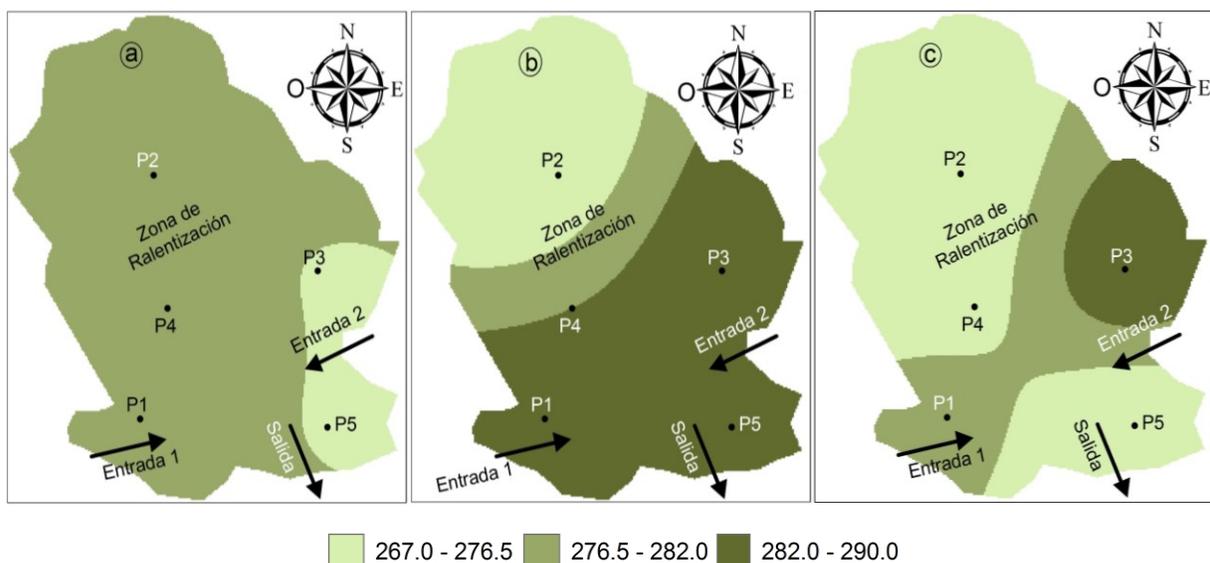


Figura 8. Distribución espacial de la dureza expresado en mg L^{-1} , en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Alcalinidad

La distribución espacial (Figura 9), determinó que el rango alto ($168.0\text{-}176.0 \text{ mg L}^{-1}$) de alcalinidad, se localizó en las tres capas de la entrada 2, en la capa profunda de la entrada 1 y la capa intermedia de la zona de ralentización. Este comportamiento se debe a que el cauce de la entrada 2 tiene mayor concentración de carbonatos (CaCO_3), la misma que proviene de la meteorización de las rocas calizas de que está conformada la geología de la cuenca (Vera, 2004) y posiblemente también sea por descargas de contaminantes que puedan haber en el trayecto de éste cauce que pasa muy cerca de la ciudad de Tampico. El rango medio ($162.0\text{-}168.0 \text{ mg L}^{-1}$) se encontró en las capas superficial y profunda de la zona de ralentización y también en la capa intermedia de la parte central (relación Norte – Sur) de la laguna, lo que es debido a la mezcla de aguas provenientes de la entrada 2 y la entrada donde se ubica el Rango Bajo ($156.0\text{-}162.0 \text{ mg L}^{-1}$) de alcalinidad. Al tener la alcalinidad relación positiva con el pH, ésta se encuentra en mayor concentración donde hay mayor concentración de pH. Según el promedio de alcalinidad encontrado, se puede decir que el agua tiene buena capacidad para mantener el pH adecuado para que se desarrolle la vida acuática.

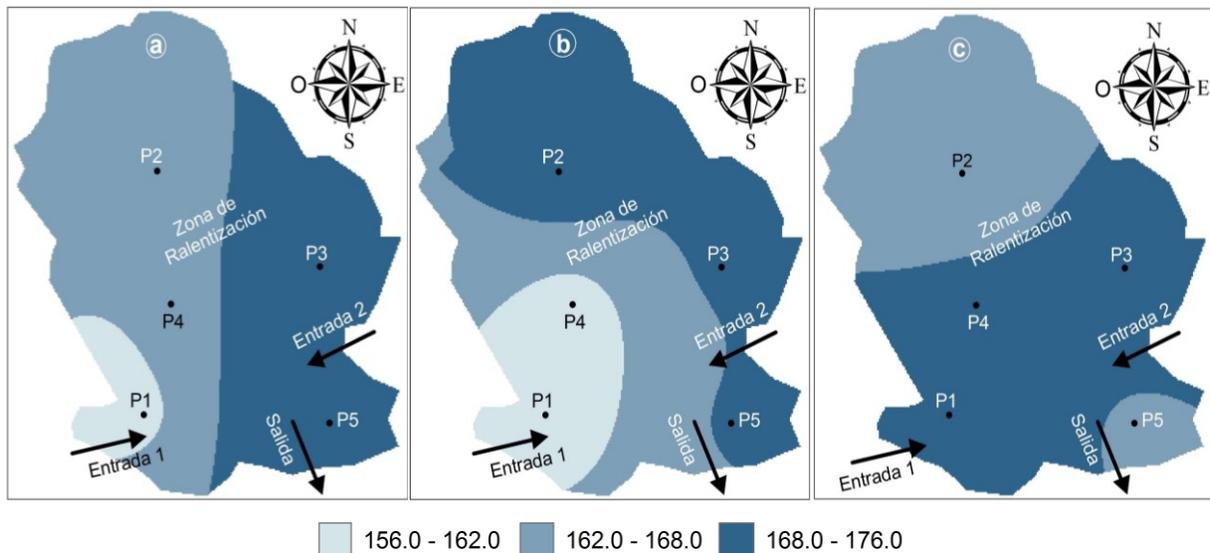


Figura 9. Distribución espacial de la alcalinidad en la capa superficial expresado en mg L^{-1} de CaCO_3 , en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Sulfatos (SO_4^{2-})

El análisis de distribución espacial mostró que debido a las condiciones hidrográficas del cuerpo de agua en estudio, los SO_4^{2-} , se encontraban en mayor concentración ($16.0\text{-}19.0 \text{ mg L}^{-1}$) en la capa superficial de la entrada 1. La concentración intermedia ($14.8\text{-}16.0 \text{ mg L}^{-1}$), se localizaba en las capas superficial y profunda de la zona de ralentización y en la capa intermedia de la entrada 1 y la salida de agua (Figura 10). Lo anterior se debe a que en el sistema de agua de la laguna, el sulfato se encuentra en constante mezcla. Las concentraciones encontradas de SO_4^{2-} no representan, riesgo para el desarrollo de la vida en el sistema de agua en estudio, ya que estos niveles, no son tóxicos para las plantas y animales.

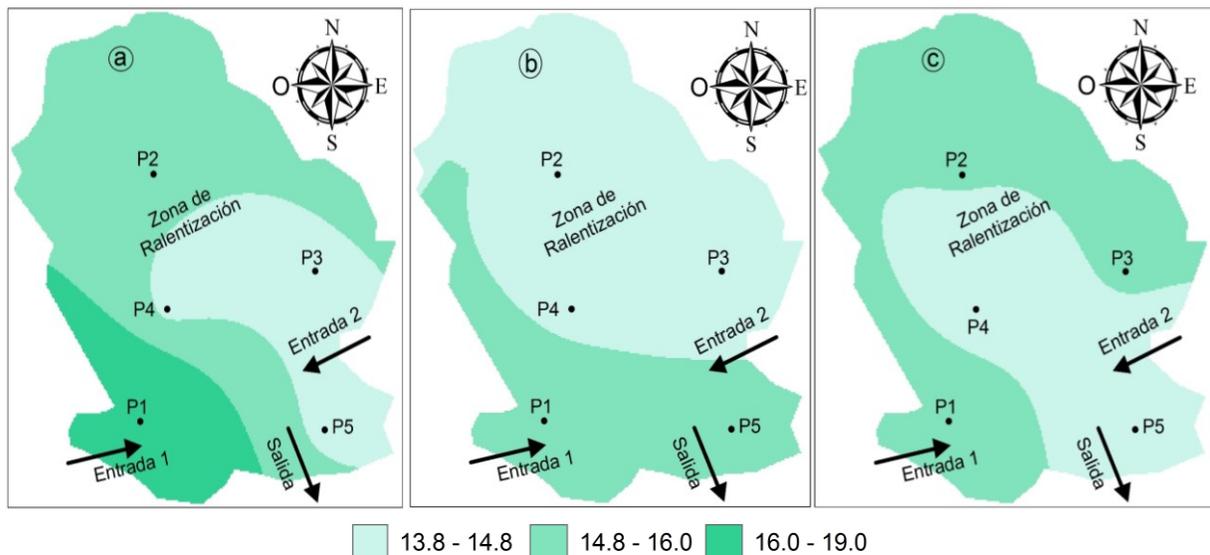


Figura 10. Distribución espacial de los sulfatos (SO_4^{2-}) expresado en mg L^{-1} , en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La distribución espacial de la DQO en la columna de agua de la laguna La Vega Escondida, mostró que el agua de estudio tenía baja concentración ($0.0\text{-}3.0 \text{ mg L}^{-1}$) de DQO, ya que en las tres capas de la mayor parte del área de laguna, se encontró este nivel. La concentración media y alta, se encontró en la zona de ralentización de las capas superficial e intermedia, así como en la capa profunda de la entrada 2, su área de influencia y la salida de agua (Figura 11). Cabe indicar, que los niveles de DQO encontrados corresponderían a niveles naturales de materia orgánica, provenientes de la actividad biológica.

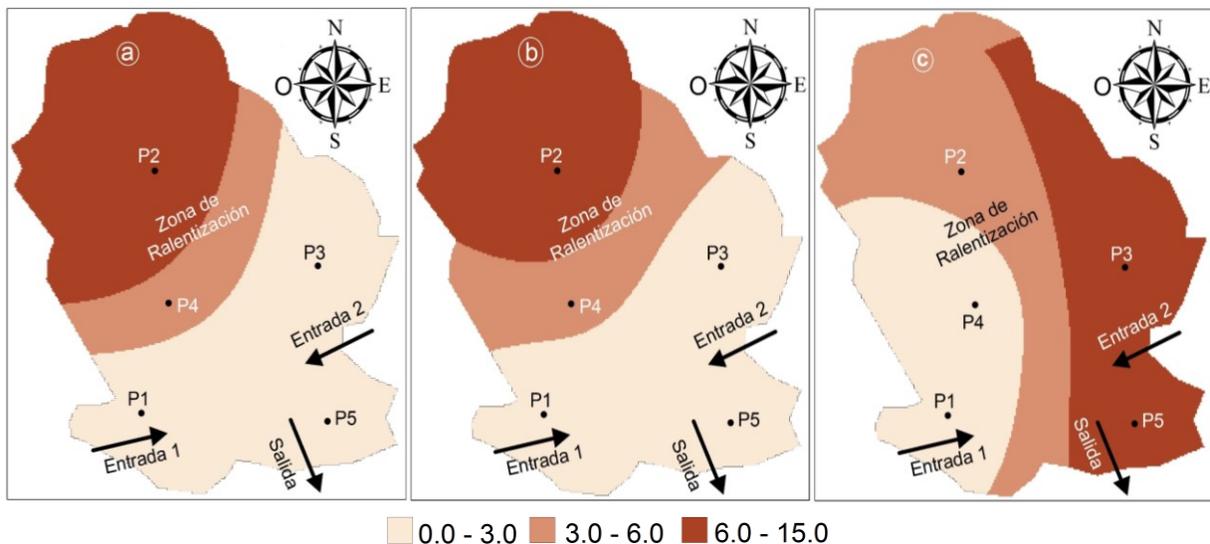


Figura 11. Distribución espacial de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) expresado en mg L^{-1} , en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Oxígeno disuelto (OD)

La distribución espacial determinó que la mayor concentración de OD, se encontraba en la capa superficial de todos los puntos de muestreo y en la parte central (Relación: Este - Oeste) de la laguna. La concentración intermedia se localizaba en la capa intermedia de la zona de ralentización y salida de agua. La menor concentración, se encontraba en la capa profunda de toda la laguna (Figura 12). Lo anterior, sucede porque el OD tiene una estrecha relación con la DQO, por lo cual en las zonas de la laguna donde éste parámetro se encuentran en nivel alto, el OD disminuye, ya que hay un alto consumo de oxígeno de parte de los microorganismos que están degradando la materia orgánica presente en el agua. Los niveles encontrados, no presentan riesgo de producir hipoxia en las especies acuáticas de éste cuerpo de agua (Montalvo *et al.*, 2008).

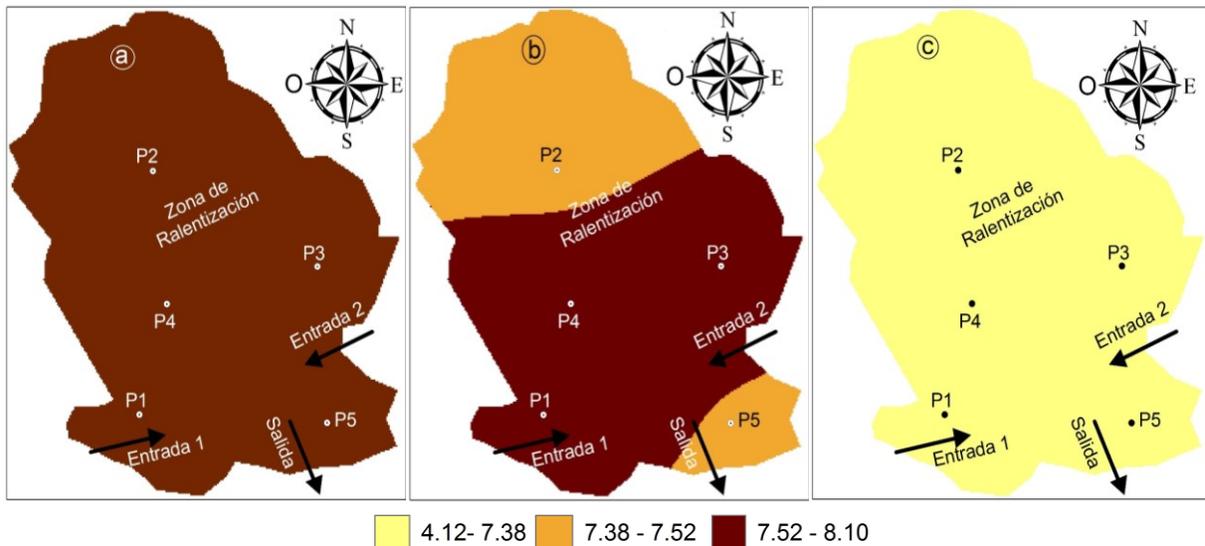


Figura 12. Distribución espacial del oxígeno disuelto OD mg O₂ L⁻¹, en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Nitratos NO₃⁻

La distribución espacial determinó que los NO₃⁻ se encontraban en mayor concentración en la capa superficial de la zona central de la laguna y las concentraciones intermedia y baja se localizaban en la mayor parte de la capa superficial e intermedia de la zona de ralentización y salida de agua (Figura 13). Se debe indicar que el análisis de NO₃⁻ no determinó concentración en la capa profunda, por lo cual no se presenta un mapa de distribución. Los niveles de nitratos encontrados en este estudio corresponden a concentraciones naturales, producto de la descomposición de materiales orgánicos, por ello al encontrarse los NO₃⁻ en un nivel bajo (0.26 mg L⁻¹), se puede decir el agua de estudio no se encuentra contaminada por este parámetro, debido a que se encuentra por debajo de los niveles de nitratos de las aguas naturales que es de 0.45 mg L⁻¹ (Chapman, 1996).

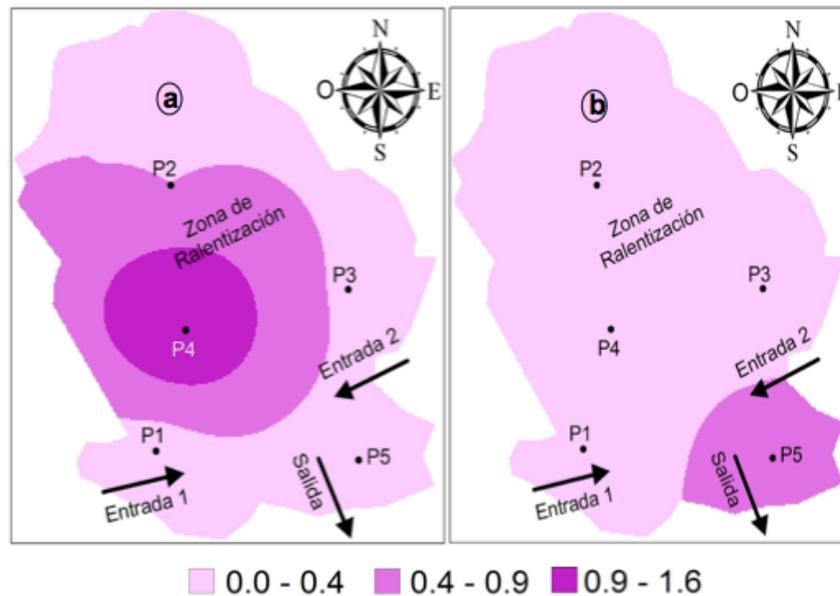


Figura 13. Distribución espacial del nitratos (NO_3^-) expresado en mg L^{-1} , en la capa superficial (a), intermedia (b) y profunda (c), del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México.

Conclusiones

El comportamiento general de los componentes analizados están influenciados directamente por los 2 puntos de entrada de agua a la laguna La Vega Escondida, la entrada 1 esta conectada directamente al río Tamesí, sus características dependen del nivel y la calidad del agua de dicho afluente principal, mientras que las características del agua que ingresan por la entrada 2, dependen de la actividad en el canal que circunda el área de la laguna y descarga sus aguas en el área de estudio.

Por la entrada 1 se incorporan aguas provenientes del arrastre de todo el recorrido de el sistema del río Tamesí, que drena un área aproximada de $15\,735\text{ Km}^2$ y que permite la dilución de contaminantes, por lo que el agua que ingresa por la entrada 1, es de mejor calidad que la que ingresa por la entrada 2. El agua que ingresa por la entrada 2, proviene de mismo sistema hidrológico, pero al entrar en un canal la ralentización y las

actividades urbanas que rodean la laguna La Vega Escondida, generan un deterioro de la calidad del agua que ingresa a la laguna.

Ya dentro de la laguna las aguas de la entrada 1 y 2 se mezclan generando una zona de mezcla en la parte sur de la laguna y una zona donde el flujo se ralentiza a el norte de esta misma, lo cual se refleja en el comportamiento de los distintos componentes analizados. Los parametros fisicoquimicos evaluados indican un cuerpo de agua saludable y estable, con una resiliencia adecuada a los efectos de contaminacion de las diversas actividades de la cuenca, permitiendole el desarrollo de la vida acuatica y su uso como fuente de abastecimiento de agua potable, uso recreativo, riego agrícola y la subsistencia de sistemas biológicos.

Es importante continuar este tipo de trabajos que monitoreen de manera estable la calidad del agua de la laguna La Vega Escondida y de todo el sistema lagunario, Champayan al cual pertenece, es importante que dicha información se ponga a disposición del público en general, se publique y este a disposición pública, debido a la importancia ecológica, social y económica de dicho sistema lagunario, el cual carece de un seguimiento apropiado de su estado ecológico y de la calidad del agua.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) de México y la Universidad Tecnológica Equinoccial del Ecuador (UTE), por el apoyo financiero, mediante beca al autor principal para realizar los estudios de Maestría, de la que se deriva esta investigación.

Referencias

Ahmed, B., Seto M., Ishiga, H. K., Fukushima T., H. & Roser, B. P. (2010). Abundances, distribution, and sources of trace metals in Nakaumi-Honjo coastal lagoon sediments, Japan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167, 473-491.

Allan, J. D. (1995). Stream ecology: structure and function of running waters. *Chapman & Hall*, 5 (2), 87-172.

Batres, J. J. (2012). Crecimiento urbano e industrial, consecuencias ambientales en las lagunas urbanas y periurbanas en Tampico-Madero-Altamira del sur de Tamaulipas, México en *Planificación Territorial y*

Desarrollo Regional.(tesis de doctorado). Universidad de Barcelona. España.

Branco, W. C., Esteves, F. A. & Kozlowsky-Suzuki, B. (2000). The zooplankton and other limnological features of a humic coastal lagoon (Lagoa Comprida, Macaé, R.J.) in Brazil. *Hydrobiologia*, 437, 71–81.

Briand, J. F., Robillot, C., Quiblier-Lloberas, C., Humbert, J. F., Coutè, A. & Bernard, C. (2002). Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. *Water Research*, 36, 3183–3192.

Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2007). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón. Parte I: Análisis de la contaminación de cuatro ríos del área metropolitana. *Tecnología en marcha*, 20 (2), 3-9.

Camargo, J. A. & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas*, 16 (2), 1697-2473.

Cardoso, L. S., Silveira, A. L. L. & Marques, D. M. L. M. (2003). Aação do vento como gestor da hidrodinámica na lagoa Itapeva (litoral norte do Rio Grande Sul— Brasil). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(3), 5–15.

Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of Biota, sediments and water in environmental monitoring*.(second edition). Cambridge, Great Britain: University Press.

Coutinho, M. & Mello, M. (2011). Spatial and temporal dynamic of trophic relevant parameters in a subtropical coastal lagoon in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 181, 347–361.

Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Eaton, A. D. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20th Edition). Washington DC, United States: American Public Health Association.

EcuRed.(2013). *Enciclopedia colaborativa cubana*. Cuba: Joven Club de Computación y Electrónica. Recuperado de http://www.ecured.cu/index.php/Clasificaciones_qu%C3%ADmicas_del_agua

Elosegui, A. & Pozo, J. (1994). Variaciones nictemerales de las características físico-químicas de un río Cantábrico. *Limnética*, 10 (2), 15-25.

Figueredo, C. C. & Giani, A. (2009). Phytoplankton community in the tropical lake of Lagoa Santa (Brazil): conditions favoring a persistent bloom of *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Limnologica*, 39(4), 264–272.

Forero-Céspedes, A. M. & Reinoso-Flórez, G. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río OPIA (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia*, 35(2), 371-387.

Gikas, G. D., Iannakopoulou, T. Y. & Tsihrintzis, V. A. (2006). Water quality trends in a coastal lagoon impacted by non-point source pollution after implementation of protective measures. *Hidrobiologia*. 563, 385-406.

Hurtado, S. & Mora, A. (2007). Estudio de Flora y Vegetación Acuática del Humedal Sistema Lagunario del río Tamesí. Hábitat que Sustenta el Ecosistema. Tampico, Tamaulipas.

INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tampico, Tamaulipas. (material de consulta). Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/28/28038.pdf>

Kjerve, B. (1994). Coastal lagoons process. *Elsevier Oceanography Series*, (60), 577. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70006-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70006-0).

Lanza De la, G. & Gómez, S. (1999). Fisicoquímica del agua y Cosecha de Fitoplancton en una Laguna Costera Tropical. *Ciencia Ergo Sum*, 6(2), 147-153.

Li, X., Bianchi, T. S., Yang, Z., Osterman, L. E., Allison, M. A., DiMarco, S. & Yang, F. G. (2011). Historical trends of hypoxia in Changjian River estuary. Applications of chemical biomarkers and microfossils. *Journal of Marine Systems*, 86, 57-68.

Mahapatro, D., Panigrahy, R. C. & Panda, S. (2013). Coastal Lagoon: Present Status and Future Challenges. *International Journal of Marine Science*, 3 (23), 178-186.

Mambiela, P., Montes, C. & Martínez-Ansemil, E. (1991). Características hidroquímicas de los ríos de Galicia (NW Península Ibérica). *Limnética*, (7), 163-174.

Martínez-Ansemil, E. & Mambiela, P. (1992). The low mineralized and fast turnover watercourses of Galicia. *Limnética*, (8), 125 -130.

Monforte, G. & Cantú, P. C. (2009). Escenario del agua en México. *Culcyt//Recursos Hídricos*, (30), 31–40).

Montalvo, J. F., García, LL., Loza, S., Esponda, S. C., César, M. E., González de Zaya, R. & Hernández, L. (2008). Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Serie Oceanológica*. (4), 71–84.

Montoya-M., Y. (2008). Variaciones nictemerales de algunas variables climáticas, físicas y químicas en una laguna somera en Guatapé, Antioquia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 30 (88), 83-96.

Nava, C. (2010). *Diagnóstico de calidad del agua en zonas costeras*, Conagua, México. Recuperado de http://coin.fao.org/coinstatic/cms/media/6/12859463663950/10.cna-medicion-calidad_24ago10.pdf

Orozco, C., Pérez, A., González, M. N., Rodríguez, F. & Alfayete, J. (2005). *Contaminación ambiental: Una revisión desde la química* (3ª ed.). España: Thomson Editoriales, Paraninfo S.A.

Pereira, P., Pablo, H., Vale, C., Franco, V. & Nogueira, M. (2009). Spatial and seasonal variation of water quality in an impacted coastal lagoon (Óbidos Lagoon, Portugal). *Environmental Monitoring and Assessment*, 153, 281–292.

Pérez-Arreaga, E., Garza-Flores, R., Canales-Caballero, S. & Guevara-Guerrero, M. (2012). *Análisis de la calidad del agua y del paisaje del sistema lagunario Chairel*. Ciudad Victoria, Tamaulipas: Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

15-

21. <http://www.itvictoria.edu.mx/personal/tecnointelecto/TecnoINTELECTO-FINAL-%20Vol%209%20%282%29-2012.pdf>

Pérez-Castillo, A. G. & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista Biología Tropical*, 56 (4), 1905-1918.

Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas. (2003). Recuperado de http://www.tampico.gob.mx/gobierno1/areas/obras_pub/ecologia/vega.htm.

PESCA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2003). NOM-033-PESC-2003. *Pesca responsable en el sistema lagunar Champayán y río Tamesí, incluyendo las lagunas Chairel y La Escondida, ubicados en el Estado de Tamaulipas. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros*.

Rendón-Dircio, J. A., Ponce-Palafox, J. T., Rojas-Herrera, A., Arredondo-Figueroa, J. L., Lanza De la, G. & Flores-Verdugo, F. (2012). Morfometría, hidrodinámica y físico-química del agua de la laguna de Chautengo, *Revista BíoCiencias*, 1 (4), 25-37.

Riveros, N. E., Varela, P. & Augusto, M. (2008). Determinación de Bacterias Coliformes y Análisis de Parámetros Físicoquímicos del Arroyo Agua Negra. San Juan.

Roldán, G. & Ramírez J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Colombia : Universidad de Antioquia.

SALUD. Secretaría de Salud. (1994). NOM-127-SSA1-1994. *Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*.

Samboni, N. E., Carvajal, Y. E. & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27 (3), 172-181. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>

Sánchez, A. & Propin, E. (2005). Potencial regional del turismo en la zona metropolitana de Tampico, México. *Cuadernos Geográficos*, (37), 153-182. Recuperado de <http://www.ugr.es/~cuadgeo/docs/articulos/037/037-007.pdf>

Seduma. (2010). *Programa municipal de ordenamiento territorial y desarrollo urbano de Tamaulipas*. Recuperado de http://seduma.tamaulipas.gob.mx/wpcontent/uploads/2011/11/Programa_municipal_Altamira.pdf.

Semarnat. (2010). *Compendio de estadísticas ambientales*. Recuperado de http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServletad33.html

Spaulding, M. L. (1994). Modeling of circulation and dispersion. in coastal lagoons. In B. Kjerfve (ed.). *Coastal lagoon processes* (pp.103-132). Amsterdam: Elsevier.

Specchiulli, A., Renzi, M., Scirocco, T., Cilenti, L., Florio, M., Breber, P., Focardi, S. & Bastianoni, S. (2010). Comparative study based on sediment characteristics and macrobenthic communities in two Italian lagoons. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160, 237-256.

Vera V., R. (2004). Calidad del agua. *La cuenca del río Guayalejo-Tamesí, situación actual, políticas públicas y perspectivas*. México: El colegio de Tamaulipas, 75–88.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems* (3rd ed.). San Diego, United States of America: Academic Press.

Zadereev, E., Tolomeev, A. & Drobotov, A. (2014). Spatial and seasonal dynamics of dissolved and suspended nutrients in the water column of meromictic lake Shira. *Acta Geológica Sinica*, 88 (1), 173-174. DOI: 10.1111/1755-6724.12267_18