



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE VENEZUELA
POSTGRADO EN CIENCIAS MARINAS
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN OCEANOGRAFÍA QUÍMICA
MENCIÓN OCEANOGRAFÍA QUÍMICA

**EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL SISTEMA CARBÓNICO EN EL
HUMEDAL EL HATO, ISLA DE MARGARITA, EDO. NUEVA ESPARTA,
VENEZUELA.**

ANAIS DEL VALLE DÍAZ GONZÁLEZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIARUM EN CIENCIAS MARINAS, MENCIÓN OCEANOGRAFÍA
QUÍMICA.

Cumaná, mayo del 2022



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
 CONSEJO GENERAL DE POSTGRADO
 NÚCLEO DE SUCRE
 POSTGRADO EN CIENCIAS MARINAS

TG-01-2021

ACTA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO

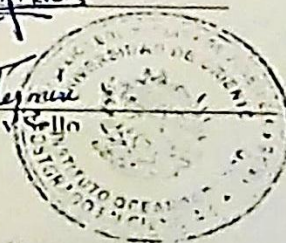
Nosotros, Dr. Aristide Márquez, M. Sc. Edgar García y M Sc. Fernando Marín, integrantes del jurado designado por la Comisión Coordinadora del Programa de Postgrado en Ciencias Marinas, para examinar el Trabajo de Grado intitulado: **"EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL SISTEMA CARBÓNICO EN EL HUMEDAL EL HATO, ISLA DE MARGARITA, EDO. NUEVA ESPARTA, VENEZUELA.** Presentado por la *Ingeniero Anals Del Valle Diaz González*, C.I.: 22.630.905, a los fines de cumplir con el requisito legal para optar al grado de: *Magister Scientiarum* en Ciencias Marinas, Mención: Oceanografía Química.

Hacemos constar que hemos examinado el mismo e interrogado al postulante en sesión pública celebrada hoy, a las 8:00 am, en la Sala de Reuniones de la Iglesia San Vicente de Paúl, Calle Blanco Fombona, Cumaná.

Finalizada la Defensa del Trabajo de Grado por parte del postulante, el jurado decidió: **APROBARLO**, por considerar, sin hacerse solidario con las ideas expuestas por el autor, que el mismo se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado de la institución.

En fe de lo anterior, se levanta la presente acta, que firmamos conjuntamente con la Coordinadora del Postgrado en Ciencias Marinas en la ciudad de Cumana, a los veintisiete días del mes de julio de dos mil veintiuno.

Jurado Examinador	C.I.:	Firma
Dr. Aristide Márquez (Tutor)	8.641.927	
M. Sc. Edgar García	15.317.801	
M Sc. Fernando Marín	15.936.895	
Dra. Ivis Marina Fermin Coordinadora (E) Postgrado en Ciencias Marinas	10.291.815	 Firma y Sello



CONTENIDO

	Pág.
CONTENIDO	i
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
SÍMBOLOS Y VARIABLES	viii
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTOS	x
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	11
II.1. Descripción del área de estudio	11
II.2. Muestreos.....	11
II.3. Análisis de Laboratorio	12
II.3.1. Nitratos (NO_3^-).....	12
II.3.2. Nitritos (NO_2^-)	13
II.3.3. Amonio (NH_4^+).....	14
II.3.4. Fosfatos (PO_4^{3-})	14
II.3.5. Silicatos (SiO_4^{4-}).....	15
II.3.6. Alcalinidad total (at).....	15
II.3.7. Clorofila A (ch-a).....	16
II.4. Componentes del sistema carbónico.....	16
II.5. Análisis estadísticos.....	18
III. RESULTADOS y discusión	19

Temperatura	19
Salinidad.....	21
Oxígeno disuelto (OD).....	23
Utilización aparente de oxígeno (UAO).....	25
Compuestos nitrogenados	27
Fosfato (PO ₄ ³⁻).....	34
Silicatos (SiO ₄ ⁴⁻).....	36
Clorofila a (CHL-A)	39
III.1. Parámetros del sistema carbónico	42
Ph.....	42
Alcalinidad (AT)	46
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻).....	49
Dióxido de carbono total (TCO ₂).....	52
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	54
Grados de saturación (Ω Arag.) (Ω Calc.)	56
Fugacidad (fCO ₂).....	60
III.2. Análisis estadístico.....	63
IV. CONCLUSIONES	65
V. RECOMENDACIONES	66
VI. BIBLIOGRAFIA	67
VII. ANEXOS	79
VIII. METADATOS.....	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de la estadística descriptiva de los parámetros físico químicos y biológicos del agua del humedal el Hato, durante los meses del año 2015.	19
Tabla 2. Valores de P obtenidos en el ANOVA (N=119, $P<0,05$) aplicado a las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y biológico en las aguas del humedal el Hato durante el año 2015	21
Tabla 3. Valores de la estadística descriptiva de los parámetros del sistema carbónico, del agua del humedal el Hato, durante los meses del año 2015.	42
Tabla 4. Valores de P obtenidos en el ANOVA (N=119, $P<0,05$) aplicado a las concentraciones de los parámetros del sistema carbónico en las aguas del humedal el Hato durante el año 2015	45

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Fig.1.	Ubicación relativa del humedal el Hato y las estaciones de muestreo	11
Fig.2.	Variación de la temperatura entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato	20
Fig.3.	Fig. 3. Variación de salinidad entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	22
Fig.4.	Variación del OD entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C), durante el año 2015 en el humedal el Hato.	25
Fig.5.	Variación de la UAO entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	26
Fig.6.	Variación de la concentración de NO_3^- entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	28
Fig.7.	Variación de la concentración de NO_2^- entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	30
Fig.8.	Variación de la concentración de NH_4^+ entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	322
Fig.9.	Variación de las concentraciones de PO_4^{3-} entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) de muestreo durante el año 2015, en el humedal el Hato.	355
Fig.10.	Variación de las concentraciones de SiO_4^{4-} entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	38
Fig.11.	Variación de la Chl- <i>a</i> entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato	40
Fig.12.	Variación del pH entre meses de muestreo (A), las estaciones (B) y profundidades (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	44
Fig.13.	Variación de la AT entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	48
Fig.14.	Variación del HCO_3^- entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	51
Fig.15.	Variación del TCO_2 entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato	53
Fig.16.	Variación del CO_3^{-2} entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	55
Fig.17.	Variación de Ω arag. entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	57
Fig.18.	Variación de Ω Calc. entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	59
Fig.19.	Variación de la fCO_2 entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad(C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.	61
Fig.20.	Componentes Principales para los parámetros físicoquímicos, biológicos y del sistema carbónico del humedal el Hato durante el año 2015.	64

SÍMBOLOS Y VARIABLES

%= porcentaje	mg= miligramo	CH ₄ =metano
[]= concentración	mL= mililitro	H ₂ O=agua
Ω = grado de saturación	nm= nanómetro	HCO ₃ ⁻ =bicarbonato
μg= microgramo	P= nivel de significância estadística	H ⁺ = protón
μ= micro= 1×10 ⁻⁶	°C= grados Celsius	pH=potencial de hidrogeno
cm ³ = centímetro cubico	ACP= análisis de componentes principales	CID= carbono inorgánico disuelto
g= gramo	ANOVA= análisis de varianza	pCO ₂ =presión parcial del dióxido de carbono
Kg= kilogramo.	CaCO ₃ = carbonato de calcio.	H ₂ CO ₃ =ácido carbónico
Km= kilometro	CO ₂ = dióxido de carbono.	CO ₃ ²⁻ =carbonato
L= litro	DE= desviación estándar	fCO ₂ =fugacidad del dióxido de carbono
Log= logaritmo	Min.= mínimo	TCO ₂ =dióxido de carbono total
μatm=micro atmosfera	Máx.= máximo	Ca ²⁺ =calcio
m = metro.	Prom.= promedio	Kps= producto de solubilidad
m ² = metro cuadrado	Med.= mediana	T=temperatura
m ³ = metro cúbico.	ND=no detectado	S=salinidad
OD=oxígeno disuelto	NO ₃ ⁻ =nitrato	OD=oxígeno disuelto
NO ₂ ⁻ =nitrito	NH ₄ ⁺ =amonio	NO ₂ ⁻ =nitrito
PO ₄ ³⁻ =fosfato	Chl- <i>a</i> =clorofila a	NOP=nitrógeno orgánico particulado
SiO ₄ ⁴⁻ = silicato	AT=alcalinidad total	ATc=alcalinidad producida por carbonato
Chl- <i>a</i> =clorofila a	<=menor que	L= longitud de celda fotométrica (cm)
UAO= oxígeno aparente	>=mayor que	K1 y K2= constantes de equilibrio
Ωcal= grado de saturación de la calcita	665 ₀ =Absorbancia a 665 antes de acidificar.	
Ωarag= grado de saturación de la aragonita	665 _a =absorbancia después de acidificar.	
HCl= ácido clorhídrico	V _a =volumen de acetona para la extracción (ml).	
NOD= nitrógeno orgánico disuelto	V _M =volumen de agua filtrada (l).	

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada a:

Especialmente a DIOS, por no abandonarme, mantenerme viva y con salud para poder culminar una más de mis metas propuestas. Sin la fuerza espiritual jamás lo hubiese logrado.

Especialmente dedico esta meta a todos mis ángeles que desde el cielo me protegen: mi madre Antonia González, mi padre Francisco Díaz, mi hijo que es mi más hermoso angelito (†). Sé que desde el cielo me acompañan; ¡siempre los llevare en mi corazón!

Dedicado también, en especial a un gran amigo y profesor Dr. Aristide Márquez. Su apoyo fue incondicional, gracias por sus sabios consejos. ¡Lo aprecio mucho Profesor!

A mi familia, amigos y todas las personas que de una u otra manera me brindaron su mano en el transcurrir del camino de esta meta.

¡ De corazón y con cariño esta meta también es de ustedes!

AGRADECIMIENTOS

A Dios gracias por cada día en el que me pude despertar no solo con vida, sino por continuar con salud, fuerzas y empeño, que me ayudo avanzar , obtener experiencias que me permitieron creer como persona y culminar esta meta propuesta .

Agradezco a mi familia por su apoyo, a los nuevos y viejos amigos, que DIOS me puso en el camino, para aprender de ellos en mí andar de vida. A cada una de las personas que brindaron su mano amiga para poder culminar esta meta, mil bendiciones y gracias.

Quiero de manera especial agradecer a mi asesor de tesis Dr. Aristide Márquez, por confiar en mí, para realizar este trabajo, por haber sido muy paciente, que en base a su experiencia y sabiduría supo direccionar mis conocimientos, permitiendo la culminación de la tesis. De verdad amigo y profesor, Aristide Márquez, gracias por sus enseñanzas.

Agradezco al Instituto Oceanográfico de Venezuela, en especial al personal del Departamento de Oceanografía, y a cada una de las personas que pusieron un granito de arena para la realización del presente trabajo de investigación.

¡Muchas gracias a todos!

RESUMEN

El humedal El Hato, es un biotopo dulceacuícola permanente de agua continental, con paisaje cárstico que forma parte del monumento natural laguna de las Marites. Está sometido al régimen de sequía y lluvia prevaeciente en la geografía del Estado Nueva Esparta, lo cual induce a una variación en los niveles del agua e inundación de sus sedimentos, que contribuyó a los cambios de concentraciones de las variables fisicoquímicas, biológicas, así como en el sistema carbónico; por tal razón, se realizó una evaluación de la variaciones espaciotemporal de estos factores dentro del humedal. El estudio se realizó durante el año 2015, con 5 estaciones, en dos estratos, a los 10 cm de la superficie y a 20 cm del fondo aproximadamente. Se determinó que a nivel temporal los parámetros mostraron diferencias significativas, sin embargo, a nivel espacial solo fueron significativos: temperatura, OD, UAO, PO_4^{3-} , Chl-*a*, pH, TCO₂, CO_3^{2-} , Ω_{cal} , Ω_{arag} y fCO₂; en cuanto a las profundidades solo fueron significativos: temperatura, OD, UAO, NO_2^- , NH_4^+ , Chl-*a*, CO_3^{2-} , Ω_{cal} y Ω_{arag} . Se apreció alta tasa de actividad fotosintética, que influyó en las concentraciones de Ω_{cal} y Ω_{arag} , con valores <1, a excepción de un valor determinado temporalmente, con Ω_{cal} >1, el cual indicó precipitación del CaCO₃, actuando los sedimentos del cuerpo de agua como sumidero. En el ACP se pudo apreciar la correlación positiva entre el OD, el pH, CO_3^{2-} , Ω_{cal} y Ω_{arag} , y negativamente con la fCO₂, determinándose que el carbono inorgánico se encuentra disuelto en el agua, actuando como fuente de carbono.

Palabras clave: carbónico, cárstico, humedal.

I. INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas en los cuales los procesos biológicos y geoquímicos, así como las emisiones y absorción de gases de efecto invernadero, se controlan según el grado de saturación del agua, el clima y la disponibilidad de nutrientes; además están expuestos a una variedad de factores naturales y antropogénicos, por lo que no todos son iguales ni tienen la misma capacidad para secuestrar el carbono (ENRÍQUEZ & CREMONA 2017). En estos ecosistemas existen dos grandes reservorios de carbono: el que está almacenado en la biomasa aérea de árboles o vegetación herbácea (hojas, tallos, troncos y ramas) y en la biomasa subterránea (raíces), así como el carbono de la materia orgánica almacenada en el suelo, el cual pasa por una serie de procesos aeróbicos y anaeróbicos complejos. La oxidación de la materia orgánica es lenta bajo condiciones anaerobias, lo que ocasiona una acumulación en los sedimentos de los humedales, lo cual depende, del balance entre las entradas autóctonas y alóctonas. Por otra parte, las tasas de salida de la materia orgánica del humedal dependen de su descomposición bajo condiciones de inundación, la erosión y exportación de compuestos solubles y en suspensión (HERNÁNDEZ 2010).

Múltiples reacciones bioquímicas que utilizan carbono se llevan a cabo en los humedales debido a la gran cantidad de materia orgánica, promovidas por la actividad microbiana. Los procesos microbianos aeróbicos y anaeróbicos en la transformación de carbono son la respiración en la zona aerobia y la fermentación, la metanogénesis, la reducción de sulfato, hierro y nitrato en las zonas anaeróbicas (HERNÁNDEZ 2010). Dichos procesos microbianos determinan los flujos de carbono dentro de los ecosistemas en forma de CO_2 y CH_4 , pudiendo posteriormente ser transferidos hacia atmósfera (HERNÁNDEZ & CASASOLA 2018).

El sistema carbónico inorgánico acuático es parte del ciclo global del carbono biogeoquímico en las aguas, proporcionando el amortiguamiento ácido-base. Está compuesto por las diversas formas iónicas, disueltas, sólidas y / o gaseosas de CO_2 en el agua. Estas especies incluyen CO_2 disuelto, H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , CaCO_3 , MgCO_3 , y otros. Las cantidades relativas de cada especie en un cuerpo de agua dependen de variables físicas, incluida la temperatura y la salinidad, así como de variables químicas como el pH y la presión parcial del gas. Variables como la alcalinidad y el carbono inorgánico disuelto (o total) definen aún más un equilibrio de masa y carga que restringe el estado total del sistema (MÁRQUEZ 2015).

El carbono es necesario para la producción primaria, control de la solubilidad y precipitación de los carbonatos de calcio. Los equilibrios termodinámicos fundamentales que intervienen en el sistema carbónico intervienen, la solubilidad del dióxido de carbono, su distribución entre el agua y el aire, la hidratación, la disociación del ácido carbónico y la solubilidad de minerales de CaCO_3 (BUSTOS 2010). Su comportamiento durante mucho tiempo ha sido tema de interés para muchos oceanógrafos y limnólogos, debido a su importante papel en la biosfera, la hidrosfera, y la litosfera (MÁRQUEZ 2015).

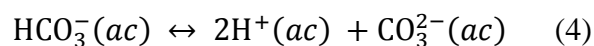
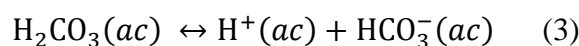
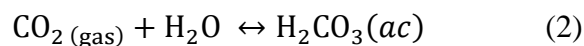
De forma natural, en agua dulce, por cada mol de CaCO_3 precipitado se libera un mol de CO_2 a la atmósfera. En aguas oceánicas, debido a su alta capacidad amortiguadora, parte del CO_2 en reacción con H_2O produce ácido carbónico el cual posteriormente es transformado a bicarbonato (HCO_3^-) y H^+ , por lo que sólo 0,6 moles de CO_2 escapan a la atmósfera por cada mol de CaCO_3 precipitado (BUDDEMEIER *et al.* 2005). Dicho proceso, unido a la absorción oceánica de CO_2 a través de la interfase agua-atmósfera, producirá un aumento de la concentración de CO_2 en las aguas, disminuyendo así su pH (CAI *et al.* 2011).

La química del sistema carbónico es sensible a los cambios en la fotosíntesis, la respiración, formación y disolución del carbonato de calcio, y se puede caracterizar en el agua, midiendo la alcalinidad total (AT), carbono inorgánico disuelto (CID), pH, pCO₂, nutrientes, la salinidad, y la temperatura, aportando valiosa información sobre los flujos en el agua (DECARLO *et al.* 2017; CYRONAK *et al.* 2018).

El sistema carbónico puede ser descrito a partir de la siguiente expresión:



Cuando el CO₂ gaseoso se disuelve en agua primero produce la forma hidratada CO₂ (ac), posteriormente reacciona nuevamente con agua para generar el ácido carbónico (H₂CO₃). Como es difícil distinguir analíticamente estas dos especies, es usual combinar estas dos especies y expresar la suma de sus concentraciones como la especie hipotética H₂CO₃^{*}. Esta forma ácida, se disocia luego en dos pasos para formar las especies iónicas (HCO₃⁻) y (CO₃²⁻). Estas reacciones son muy rápidas, por lo que se puede asumir que termodinámicamente se alcanza el equilibrio entre todas las especies (SARMIENTO & GRUBER 2006). Estas reacciones pueden ser representadas como:



El sistema carbónico involucra cuatro especies no conocidas (H₂CO₃, HCO₃⁻, CO₃²⁻, y H⁺) más la presión parcial del dióxido de carbono (pCO₂) o en su defecto la fugacidad (fCO₂) y 3 ecuaciones (5,6,7); (SARMIENTO & GRUBER 2006).

$$(K_0) = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{p\text{CO}_2} \quad (5)$$

$$(K_1) = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{\text{H}_2\text{CO}_3} \quad (6)$$

$$(K_2) = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{\text{HCO}_3^-} \quad (7)$$

La suma de las concentraciones de todas las especies químicas del CO_2 disuelto, observadas en la ecuación (1) se denominan dióxido de carbono inorgánico total;

$$\text{TCO}_2 = [\text{CO}_2] + [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (8)$$

Según SARMIENTO & GRUBER (2006), la alcalinidad total (AT), puede ser expresada como:

$$\text{AT} = [\text{H}_2\text{CO}_3] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{H}_4\text{PO}_2^-] + 2[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{NH}_3] + [\text{SiO}(\text{H})^3] - [\text{HSO}_4^-] + [\text{HF}] - [\text{H}_3\text{PO}_4] \quad (9)$$

o también como

$$\text{AT} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{OH}^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + 2[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{SiO}(\text{OH})^3] + [\text{HS}^-] + 2[\text{S}^-] + [\text{NH}_3] - [\text{H}^+] - [\text{HSO}_4^-] - [\text{HF}] - [\text{H}_3\text{PO}_4] \quad (10)$$

Para reconstruir el sistema carbónico en orden de determinar todo el sistema, se necesita conocer solo dos variables de las cinco desconocidas que componen el sistema carbónico (H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , y H^+ , $p\text{CO}_2$); el pH ($\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$) y $p\text{CO}_2$ son las más utilizadas frecuentemente (MÁRQUEZ 2015).

Actualmente con la mejoría de los métodos espectrofotométricos, los límites de detección y la facilidad de los análisis, el pH y alcalinidad son utilizados con mucha frecuencia para el cálculo de todas las especies del sistema del dióxido de carbono, como el caso de la determinación de las concentraciones de CO_3^{2-} y HCO_3^- , ya que, se considera que la mayor contribución (%) a la alcalinidad en el agua de mar a un cierto pH, temperatura, salinidad y

presión, está dada por los iones HCO_3^- y CO_3^{2-} (95,6 %) (DE VALLS 1999; SARMIENTO & GRUBER 2006). SARMIENTO & GRUBER (2006) indicaron que la mayor contribución al carbono inorgánico total (TCO_2) y a la alcalinidad total (AT) en el agua de mar, está dada por este par de iones, ecuación 8:

$$\text{TCO}_2 = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

0, 50% 86, 60% 10, 90%

$$\text{AT} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] + [\text{H}^+] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + 2[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{NH}_3] - [\text{SiO}(\text{OH})^3] - [\text{HSO}_4^-] - [\text{HF}] - [\text{H}_3\text{PO}_4]$$

76,80%
18,80%
0,20%
4,10%
0,10%

Es por ello, que para muchos propósitos, una buena aproximación del TCO_2 está dada por la ecuación 11.

$$\text{TCO}_2 = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (11)$$

Por otra parte, la alcalinidad puede ser reescrita como:

$$\text{AT}_C = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] \quad (12)$$

Donde, AT_C es la alcalinidad producida por los CO_3^{2-} . Combinando las ecuaciones 10 y 11, se puede calcular el CO_3^{2-} y HCO_3^- por las ecuaciones 13 y 14

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \text{AT}_C - \text{TCO}_2 \quad (13)$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 2\text{TCO}_2 - \text{AT}_C \quad (14)$$

Este sistema tiene mucha importancia como regulador del pH. Según la ecuación (1), cuando el CO_2 disminuye, ya sea por su utilización para la fotosíntesis, por fuga hacia la atmósfera, la reacción se mueve hacia la izquierda, por lo que la concentración de H^+ disminuye y

aumenta el pH. Igualmente cuando se aumenta la concentración de CO₂ durante la respiración o por un aporte externo, la reacción se mueve hacia la derecha, aumentando la concentración de H⁺ produciendo un descenso del pH (LIBES 1992).

La disminución del pH produce un desequilibrio en las reacciones de disociación del HCO₃⁻, desplazando su equilibrio hacia la izquierda, lo que produce una disminución de la concentración del CO₃²⁻ y de la precipitación de CaCO₃ (BUDDEMEIER *et al.* 2005). Por otra parte, la disminución del grado de saturación Ω del CaCO₃, dificulta la formación de las partes duras de diversos organismos calcáreos (YAMAMOTO-KAWAI *et al.* 2015). El desequilibrio en los procesos de precipitación-disociación del CaCO₃, da lugar a la muerte de organismos planctónicos, entre ellos larvas de diferentes especies, disminuyendo así su abundancia en estadios adultos (ANTHONY *et al.* 2008).

El descenso del pH se compensa con la disolución de minerales carbonatados (ILYINA & ZEEBE 2012), como ocurre en los organismos calcificadores marinos que precipitan el carbonato de calcio en forma de calcita o aragonita. La presencia de estas 2 especies minerales carbonatadas, comúnmente de origen biogénico, está definida por su solubilidad, es decir, si las condiciones del agua favorecen su precipitación o disolución, la cual se estima mediante el estado de saturación (Ω). Este parámetro se define como el producto de las concentraciones de calcio (Ca²⁺) y del ion carbonato CO₃²⁻ dividido por el producto de solubilidad (Kps) de la fase mineral: ecuaciones 15 y 16.

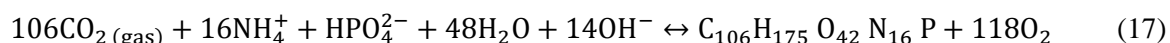
$$\Omega_{\text{calcita}} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{Ca}^{2+}]}{K_{\text{PS calcita}}} \quad (15)$$

$$\Omega_{\text{aragonita}} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{Ca}^{2+}]}{K_{\text{PS aragonita}}} \quad (16)$$

Donde, K_P s= producto de solubilidad.

En los ecosistemas acuáticos, la principal importancia del sistema de carbonatos es que sus diferentes componentes, especialmente el bicarbonato y carbonato tienen un efecto buffer regulando el pH del agua. Es por esta razón, que es necesario considerar la influencia de los procesos biológicos sobre las distribuciones del TCO_2 y de la AT; cuyos procesos más importantes son la asimilación fotosintética del CO_2 para formar la materia orgánica, y los procesos de respiración y del remineralización de la materia orgánica, sin embargo, este último proceso no afecta la AT, ya que el ácido carbónico formado durante la descomposición de la materia orgánica, se hidroliza muy rápidamente y se transforma en bicarbonato (LIBES 1992, PILSON 1998).

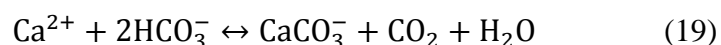
FRAGA (2001) señaló, que si se considera la ecuación de fotosíntesis incluyendo los lípidos y carbohidratos, la formación de material orgánica decrece la concentración de protones libres $[\text{H}^+]$ según la ecuación 17, e incrementa la alcalinidad, por otra parte, si se considera un balance de masa en la alcalinidad, los ácidos fuertes y bases no son afectados por la titulación, tal como lo sugiere BREWER *et al.* (1975) en la ecuación 18,



$$\text{AT} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + 2[\text{Mg}^{2+}] + 2[\text{Ca}^{2+}] + \text{cationes menores} - [\text{Cl}^-] - 2[\text{SO}_4^{2-}] - [\text{Br}^-] - [\text{NO}_3^-] - \text{aniones menores} \quad (18)$$

Muchos de esos protones son consumidos por la reducción asimilativa del nitrato a nitrógeno. La influencia del consumo del nitrato y su efecto sobre la alcalinidad también puede ser apreciada en la ecuación 18, la cual muestra que un decrecimiento en las concentraciones de nitrato incrementa la alcalinidad.

En los océanos, el mineral CaCO_3 es el más abundante y ayuda a neutralizar su acidificación; constituyendo el amortiguamiento homogéneo de las aguas (BOUDREAU *et al.* 2018); además el carbono utilizado durante la formación de este mineral, proviene del bicarbonato en disolución, el cual es la especie que tiene mayor contribución en el sistema carbónico, y conduce a una posterior liberación de CO_2 a la atmósfera (BUDDEMEIER *et al.* 2005). Esto puede ser expresado mediante ecuación 19:



En función de estudiar el sistema carbónico, PIERROT & WALLACE (1998) desarrollaron un Software llamado CO_2SYS , que se encarga de calcular los equilibrios químicos para especies y parámetros de carbono inorgánico en ecosistemas acuático; su función principal es utilizar dos de los cuatro parámetros centrales del sistema de carbono inorgánico (pH, alcalinidad, carbono inorgánico disuelto y presión parcial de dióxido de carbono) para determinar varias propiedades químicas del sistema.

En Venezuela las investigaciones relacionadas con el sistema carbónico en ecosistemas dulceacuícolas son escasas, tal como sucedió en el humedal el Hato, para ello se referenció con bibliografías que establecieron metodologías similares, pero en ecosistemas de agua salada, tal como lo es el caso, de ASTOR *et al.* (2005) quienes realizaron un estudio en la variabilidad de la fugacidad ($f\text{CO}_2$) en la depresión oriental de la cuenca de Cariaco desde los años 1996 hasta el 2000, determinaron que los factores físicos, biogeoquímicos, la surgencia costera, la temperatura, la productividad primaria y las concentraciones de dióxido de carbono total (TCO_2), interactuaron para controlar las variaciones temporales en la $f\text{CO}_2$, coincidiendo en que la cuenca de Cariaco generalmente actúo como una fuente de CO_2 a la atmósfera. Del mismo modo, ASTOR *et al.* (2013) continuaron trabajando con la variabilidad de la fugacidad del CO_2 en la cuenca de

Cariaco y evaluaron la variabilidad entre los años 1996 a 2008, determinando que la desviación en la fugacidad del dióxido de carbono $f\text{CO}_2$ se relacionó con la intensidad de la surgencia costera.

MÁRQUEZ (2015), determinó la dinámica de nutrientes y del sistema carbónico en la depresión oriental de la cuenca de Cariaco, Venezuela; resultando que la hidroquímica no presentó variación estadística significativa de manera inter-anual, sin embargo, intermensualmente hubo desviaciones para la salinidad y para las concentraciones de nitrato, amonio, nitrógeno total, ión calcio y alcalinidad total, tanto para la columna de agua integrada, así como para la capa de mezcla; los grados de saturación para aragonita y calcita fueron mayores a uno, indicando sobre saturación de las aguas; la PCO_2 y $f\text{CO}_2$ fue baja en superficie y alta en las aguas de fondo con un incremento durante la surgencia; la distribución temporal del perfil vertical de la columna de agua, reflejó la absorción de CO_2 por fitoplancton para la fotosíntesis en las aguas superficiales y su posterior regeneración más profunda en la columna; la alcalinidad estuvo afectada en las aguas de superficie por la producción de la materia orgánica y la formación de estructuras esqueléticas calcáreas, y en las de fondo por una combinación de procesos que incluyeron disolución de CaCO_3 , remineralización de materia orgánica, producción de amonio, desnitrificación y la sulfato reducción; se puede afirmar con esta investigación que la cuenca de Cariaco actúa de manera general como una fuente de CO_2 a la atmósfera especialmente durante la surgencia costera.

Estos estudios aunque no mantengan una similitud en el tipo de ecosistema permiten conocer el comportamiento del sistema carbónico en cualquier cuerpo de agua, incluyendo los humedales venezolanos y cuerpos de aguas dulces, en tal sentido la presente investigación

permitió aportar información sobre el papel que juegan estos ecosistemas en el cambio climático, contribuyendo al fortalecimiento de futuros proyectos de investigación en el área.

El aporte de agua por las lluvias, escorrentías y características geológicas en Nueva Esparta pudieran generar cambios en parámetros como pH, alcalinidad, incorporación de nutrientes nitrogenados, fosforados, de silicio y compuestos de carbono, en el agua y en los sedimentos, lo que posiblemente tendría incidencias en las variaciones temporales y espaciales en cada uno de los parámetros que constituyen el sistema carbónico dentro del humedal el Hato.

Para responder esta hipótesis se plantearon los siguientes objetivos:

General

Evaluar la variación temporal y espacial del sistema carbónico en el humedal el Hato, Isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta, Venezuela.

Específicos

- ✓ Analizar los parámetros fisicoquímicos y biológicos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, nitrato, nitrito, amonio, fosfato, silicatos y clorofila *a*), en el humedal el Hato y utilizarlos como complemento para explicar las variaciones en el sistema carbónico.
- ✓ Determinar las variabilidades espaciales y temporales de los componentes del sistema carbónico pH, alcalinidad (AT), HCO_3^- (bicarbonato), TCO_2 (concentración total de dióxido de carbono), CO_3^{2-} (carbonato), Ω calcita (grado de saturación de la calcita), Ω aragonito (grado de saturación de la aragonita), fugacidad del dióxido de carbono ($f\text{CO}_2$) dentro del humedal.
- ✓ Interpretar las variaciones estadísticas temporales (mensuales) y espaciales (superficie y el fondo) del humedal de los diferentes parámetros fisicoquímicos evaluados.
- ✓ Identificar si el humedal el Hato actúa como una fuente o sumidero de carbono inorgánico.

II. METODOLOGÍA

II.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El humedal el Hato (Fig.1) presenta una superficie de 3.153 m². Está localizado en el monumento natural laguna de Las Marites, municipio García, isla de Margarita. Es un cuerpo de agua continental con paisaje cárstico que durante el período de intensa sequía (Septiembre- Octubre), presenta una profundidad promedio de 1,80 m; mientras que en los meses de máximas precipitaciones (Noviembre - Enero) alcanza profundidad de hasta 4 m (RODRÍGUEZ *et al.* 2008).



Fig. 1. Ubicación relativa del humedal el Hato y las estaciones de muestreo

II.2. MUESTREOS

Se efectuaron salidas mensuales, durante doce meses (Enero- Diciembre), en el transcurso del año 2015 para recolectar muestras de agua en cinco (5) estaciones dentro del humedal. Las posiciones geográficas de las estaciones se determinaron utilizando GPS marca Garmin.

En cada estación, se tomaron muestras de agua para los análisis fisicoquímicos y biológicos en dos estratos de profundidad, una a 10 cm de la superficie y a 20 cm del fondo aproximadamente. La temperatura ($^{\circ}\text{C}$), el pH, el oxígeno disuelto, la salinidad, se midieron *in situ* utilizando una sonda multiparamétrica YSI, modelo 600R, acoplada a un capturador de datos YSI 650 DMS.

Se recolectaron 5 L de agua en envases plásticos lavados previamente con HCl al 10% en cada estrato para determinar la concentración de nutrientes, nitrito, nitrato, amonio, fosfato y silicatos y la alcalinidad total y clorofila *a*. Todas las muestras fueron conservadas y preservadas en una cava con hielo donde posteriormente fueron trasladadas al laboratorio de Calidad Ambiental del Centro Regional de Investigaciones Ambientales (CRIA), para finalmente ser analizadas.

II.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO

II.3.1. NITRATOS (NO_3^-)

Los NO_3^- se determinaron según el método modificado por GRASSHOFF (1964), y optimizado por STRICKLAND & PARSON (1972), con un límite de detección de $0,04 \mu\text{mol.L}^{-1}$ y una precisión de $\pm 0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$.

Consistió en reducir todos los iones nitrato a nitrito, haciéndolo pasar a través de una columna de cadmio metálico, previamente tratado con sulfato de cobre. Se tomó 25 mL de la muestra previamente filtrada a través de una membrana de $0,45\mu\text{m}$, y colocados en una fiola de 125 mL, se añadió 75 mL de solución de EDTA. Luego se pasó 100 mL de la solución por una columna reductora de cobre-cadmio a un ritmo no mayor de 10 mL por minuto. Los primeros 25 mL fueron desechados, luego se tomaron los 50mL siguientes y se vertieron a un tubo de ensayo

desechándose los otros 25 mL. El NO_3^- se redujo casi cuantitativamente a NO_2^- en presencia de cadmio (Cd) comercial en gránulos tratado con CuSO_4 y como relleno de una columna de vidrio.

Luego se midió su absorbancia a 543 nm mediante el uso de espectrofotómetro frente a un blanco. Posteriormente se procedió a realizar los cálculos con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\text{Abs}-b}{m} \quad (20)$$

Dónde:

C: Concentración de la muestra en $\mu\text{mol. L}^{-1}$.

Abs: Absorbancia de la muestra corregida.

b: Intersecto.

m: Pendiente de la curva de regresión.

II.3.2. NITRITOS (NO_2^-)

Los NO_2^- fueron determinados usando el método descrito por BENDSCHNEIDER & ROBINSON (1952). Los iones NO_2^- presentes en las muestras de agua formaron un diazoico con la sulfanilamida en medio ácido ($\text{pH}<2$). Luego el compuesto diazónico reaccionó con N-naftil-etilendiamina para formar un colorante rosado, con un máximo de absorción a 543 nm. El método presentó una precisión de $\pm 0,01\mu\text{mol.L}^{-1}$.

La muestra de agua fue filtrada con una membrana de $0,45\mu\text{m}$, para eliminar los sólidos suspendidos. Una vez filtrada, se tomó una alícuota de 25 mL, que se agregó en un tubo de ensayo con unas gotas de HCl para el ajuste del pH. Luego se le añadió 1 mL de reactivo colorante (0,1 g N-1 naftiletildiamina tetra-aceato de sodio, 1g sulfanilamida, 10 mL de ácido fosfórico) y se esperó entre 10 min a 2 horas hasta el desarrollo de un color rosáceo producto de la reacción del ion del NO_2^- que reaccionó con la sulfanilamida y produjo un compuesto diazo,

que se acopló con diclorhidrato de N-1naftiletilendiamina. Finalmente se siguió el procedimiento que se realizó para el análisis de NO_3^- .

II.3.3. AMONIO (NH_4^+)

Para la determinación del NH_4^+ , se empleó el método de KOROLEFF (1969). La precisión fue de $\pm 0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$. Este método describió la totalidad del nitrógeno amoniacal ($\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4$). El amoníaco formó un monocloroamina con el hipoclorito en medio ligeramente básico, éste reaccionó con el fenol en presencia de un exceso de hipoclorito que formó el azul de indofenol que absorbió a 640 nm.

Se tomaron 25 mL de la muestra previamente filtrada a través de una membrana de 0,45 μm , y se le añadió 1 mL de fenol, 1mL de nitroprusiato de sodio, 2,5 mL de solución oxidante (citrato alcalino e hipoclorito de sodio comercial al 5%). Se cubrió la boca del tubo de ensayo con envoplast para evitar la evaporación del fenol y luego se guardó en la oscuridad a temperatura ambiente por una hora y finalmente se midió la absorbancia del complejo fenólico de color azul a 640nm.

II.3.4. FOSFATOS (PO_4^{3-})

Para el análisis de PO_4^{3-} se utilizó el método de MURPHY & RILEY (1962). Los iones fosfato reaccionaron con el molibdato de amonio, en presencia de antimonio (III), y formaron un complejo que es reducido posteriormente por el ácido ascórbico. Esta forma reducida de fósforo presentó una coloración azul, con un máximo de absorción a 885nm. Los polifosfatos y el fósforo orgánico no son detectados por este método. La gama de concentraciones medidas según KOROLEFF (1976) fue muy extendida y comprendió de 0,02 a 28 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. El método presentó tiene una precisión de $\pm 0,01 \mu\text{mol. L}^{-1}$

Se tomaron 25 mL de la muestra previamente filtrada a través de una membrana de 0,45 μm , y se le añadió 4 mL de reactivo combinado (ácido sulfúrico, molibdato de amonio, potasio de antimonio tartárico, ácido ascórbico). Luego al transcurrir un tiempo de 10-30 min, cuando la muestra formó un complejo azul de fósforo-molibdeno, se procedió a medir la absorbancia en un espectrofotómetro a 885 nm.

II.3.5. SILICATOS (SiO_4^{4-})

Los SiO_4^{4-} se determinaron por el método de MULLIN & RILEY (1955), adaptado por STRICKLAND & PARSON (1972). El cual se basó en la formación de un complejo silicomolibdico, que después de haber sido reducido con una solución de metolsulfito, ácido oxálico y ácido sulfúrico, resultó con una coloración azul intensa. Esta intensidad de color fue proporcional al contenido de SiO_4^{4-} presente. El método presentó una precisión de $\pm 0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$.

Se tomaron 25 mL de la muestra previamente filtrada a través de una membrana de 0,45 μm , se le agregaron 2 mL de solución molibdato de amonio, se mezcló, al menos seis veces, y se dejó reposar durante cinco minutos. Luego, se añadió 2 mL de solución ácido oxálico, se repitió el mezclado vigorosamente y se dejó reposar por 15 minutos para medir en un espectrofotómetro a una absorbancia de 410 nm.

II.3.6. ALCALINIDAD TOTAL (AT).

La alcalinidad se determinó volumétricamente. Se tituló una alícuota de 20 mL con una solución valorada de H_2SO_4 a 0,02 N, que se le agregó gota a gota y se agitó hasta obtener un pH 4,5, se anotó el volumen del ácido gastado. Se estimó el resultado de CaCO_3 expresado en términos de mg L^{-1} mediante la ecuación 20 (ASTOR 1996):

$$\text{mg. L}^{-1} \text{ como CaCO}_3 = \frac{V \cdot N \cdot 50.000}{\text{mL muestra}} \quad (21)$$

Dónde:

V: Volumen del ácido valorado usado durante la titulación (mL).

N:Normalidad del ácido.

II.3.7. CLOROFILA A (CH-A)

Para la determinación de Chl-*a*, se utilizó el método de LORENZEN (1966), basado en la extracción de la Chl-*a* con acetona 90 % V/V. Este método permitió la detección de las tasas de fijación de carbono entre 0,05 - 100 mg C. m⁻³ h⁻¹. Una muestra de agua se filtró a través de un filtro de fibra de vidrio en el cual quedaron retenidos los organismos del fitoplancton. Se le adicionó 2 gotas de carbonato de magnesio (MgCO₃) al filtro para posteriormente almacenarlo en el refrigerador a -20°C. Luego se le agregó 3 mL de acetona al 90%, dejándolo 24 horas en la oscuridad, se centrifugó y ajustó el volumen para así medir la absorbancia a 665 y 750 nm. Seguidamente se agregaron dos gotas de HCl, nuevamente se midió la absorbancia a 665 y 750 nm en un espectrofotómetro. Finalmente se realizaron los cálculos con la siguiente formula (STRICKLAND & PARSONS 1972).

$$\text{Chl} - a = \frac{27,63(665_0 - 665_a)(V_a)}{V_M * L} \quad (22)$$

Dónde:

665₀: Absorbancia a 665 antes de acidificar.

665_a: Absorbancia después de acidificar.

V_a: Volumen de acetona para la extracción (mL).

V_M: Volumen de agua filtrada (L).

L: Longitud de celda fotométrica (cm).

II.4. COMPONENTES DEL SISTEMA CARBÓNICO

La determinación del carbono inorgánico total (TCO₂), fugacidad del dióxido de carbono (fCO₂), carbonatos (CO₃²⁻), bicarbonatos (HCO₃⁻), los grados de saturación de la calcita (Ω

Calcita) y grado de saturación de la aragonita (Ω aragonita), se calcularon a partir del pH y la alcalinidad total (AT), junto a los valores de temperatura, salinidad y concentraciones de PO_4^{3-} y SiO_4^{4-} , utilizando el programa CO₂SYS. Se utilizaron las constantes de equilibrio K_1 y K_2 de MEHRBACH *et al.* (1973) para el cálculo del TCO₂ y otras constantes de equilibrio que son descritas en MILLERO (1995). Este método ha sido utilizado en investigaciones realizadas por RIEBESELL *et al.* (2010) para la Unión Europea, al igual que en trabajos realizados por FEELY *et al.* (2008), KOEVE & OSCHLIES (2012) y MÁRQUEZ (2015).

El programa CO₂SYS es un software que calcula equilibrios químicos para parámetros de carbono inorgánico en cuerpos de agua salados y dulces. Está diseñado para ejecutarlo en un modo, que es denotado, entrada única, el cual informa los resultados de los parámetros calculados junto con la sensibilidad a las incertidumbres en los parámetros de entrada, constantes y similares; o también se puede ejecutar el modo entrada por lotes, utilizado para procesar grandes conjuntos de datos, como datos de cruceros; además permite una variedad de opciones, incluida la elección de varias formulaciones para constantes K_1 y K_2 , dos formulaciones distintas para KSO_4 , la elección de cuatro escalas de pH (libre, total, agua de mar o NBS) y el uso de $f\text{CO}_2$ o $p\text{CO}_2$ (DICKSON 1990).

El programa utiliza dos de los cuatro parámetros medibles del sistema CO₂ (alcalinidad total (TA), CO₂ inorgánico total (TCO), pH y fugacidad ($f\text{CO}_2$) o presión parcial de CO₂ ($p\text{CO}_2$)) para calcular los otros dos parámetros en un conjunto de condiciones de entrada (temperatura y presión) y un conjunto de salida, elegidas por el usuario, este programa puede ejecutarse en cualquier ordenador con el sistema operativo MS-DOS, cargando el archivo ejecutable CO₂SYS.EXE; los parámetros del sistema carbónico se derivan resolviendo un sistema de

ecuaciones que se adhiere a los principios de la termodinámica química (DENIS PIERROT & DWR WALLACE 1998) .

II.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se determinaron las posibles variaciones estadísticas, espaciales y temporales de los parámetros fisicoquímicos, biológico y del sistema carbónico en el agua del humedal el Hato; para lo cual, se verificó en primer lugar la normalidad de los datos mediante los tests de Shapiro-Wilk y Anderson-Darlin. Los test aplicados indicaron que los datos no son paramétricos (no normales), por tanto, se empleó para las variaciones, un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial, para el cual se utilizó un valor de significancia de $P= 0,05$. Las muestras fueron agrupadas en factores, como estaciones, estratos de profundidad y meses. Se reportaron los valores de los estadísticos, máximos, mínimos, promedios y desviación estándar de los datos, durante el año 2015. La asociación entre los diferentes parámetros (físico, químicos, biológicos y del sistema carbónico), se realizó mediante el análisis multivariado de componentes principales (ACP). Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando los paquetes STATGRAPHICS Centurión 16.103 y XLStat-Pro v 7.5.2 acoplado al Microsoft Excel 2010.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TEMPERATURA

En el humedal el Hato, se apreció durante el período de estudio, un promedio general de temperatura con 29,24 °C (Tabla1, Fig.2), el cual, puede considerarse parte de los efectos del periodo de sequía y fluctuaciones térmicas, correspondientes a los rasgos típicos del clima de la isla de Margarita, que además presentan un patrón estacional con dos épocas bien definidas: una cálida entre junio y noviembre, y otra fría lluviosa entre diciembre y marzo, separados por dos periodos de transición (PALAZÓN 2000).

Tabla 1. Valores de la estadística descriptiva de los parámetros físico químicos y biológicos del agua del humedal el Hato, durante los meses del año 2015.

	T	S	OD	UAO	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	SiO ₄ ⁴⁻	chl- <i>a</i>
Mín.	26,49	0,04	58,95	-256,97	0,03	0,54	ND	0,04	ND	ND
Máx.	32,98	0,28	498,55	192,46	3,69	14,19	90,01	7,25	4,91	0,88
Med.	29,30	0,09	264,24	-24,04	0,42	2,27	7,59	0,96	0,71	0,13
Prom.	29,24	0,11	254,46	-14,15	0,60	3,01	13,70	1,02	1,09	0,15
DE	1,49	0,06	81,96	85,63	0,06	2,18	17,79	1,07	1,21	0,13

ND=no detectado, Máx.=máximo, Mín.=mínimo, Prom.=promedio,
DE=desviación estándar, Med.= mediana

El comportamiento temporal de la temperatura (Fig.2A) mostró una tendencia a incrementar, a excepción de los meses de mayo y septiembre, en los cuales se evidenció un descenso; teniendo en cuenta que el mes de mayo se encontró dentro de los meses con menores temperaturas y septiembre dentro de las más altas. El valor máximo determinado fue de 31,12 °C, en el mes de agosto, asociado a que en dicho mes se ubicó en el periodo de intensa de intensa sequía; esto es corroborado por las investigaciones de RODRÍGUEZ *et al.* (2008), quienes han señalado que en la zona del humedal el Hato se ha evidenciado intensa sequía entre los meses de septiembre y octubre. Igualmente se observó el mínimo valor con 27,39 °C, determinado en el

mes de enero, que fue atribuido a los meses de lluvias en la zona. En efecto, los cambios estacionales de las precipitaciones influyeron en las desviaciones de la temperatura del agua en el humedal, tal como lo señaló CASALLAS & GUNTER (2001).

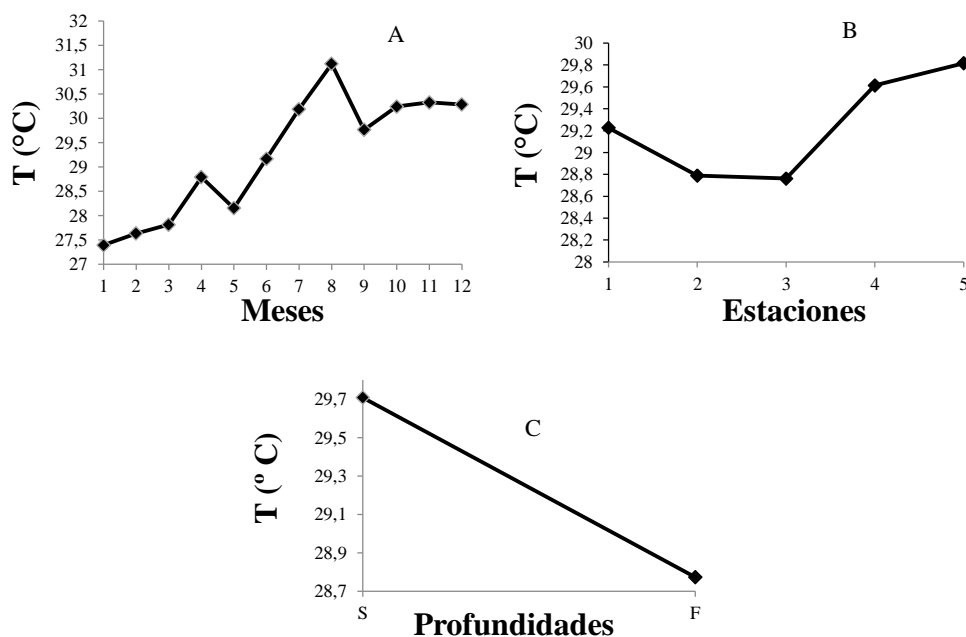


Fig. 2. Variación de la T entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

Respecto a la distribución espacial (Fig.2B), registró una temperatura máxima en la estación 5 (29,81°C), que fue atribuible a la poca profundidad de la zona; igualmente se observó la mínima temperatura en la estación 3 (28,76 °C), que fue asociado a la ubicación del punto de muestreo en el centro de la cubeta del humedal. HERNÁNDEZ & OCANTO (2010) afirmaron que la variación de la temperatura pudo deberse a la presencia de las plantas acuáticas existentes, que evitan el calentamiento del agua, además están relacionadas con la profundidad.

En la Fig.2C, se pudo apreciar que a medida que se profundizó en la columna de agua, las medidas de temperatura mostraron un descenso con valor mínimo de 28,77 °C , en comparación con la superficie, donde el valor encontrado fue de 29,71 °C. La poca variación de la temperatura

se debió a que es un humedal somero, pero en presencia de abundantes precipitaciones ha llegado a obtener una profundidad máxima de 4m (RODRÍGUEZ *et al.* 2008).

A través del análisis estadístico realizado (ANOVA), se evidenció diferencias significativas entre las estaciones, profundidades y meses (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de P obtenidos en el ANOVA (N=119, P<0,05) aplicado a las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y biológico en las aguas del humedal el Hato durante el año 2015.

	T	S	OD	UAO	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	SiO ₄ ⁴⁻	Chl-a
Estaciones	<0,05	0,40	<0,05	<0,05	0,24	0,35	0,71	<0,05	0,38	<0,05
Profundidad	<0,05	0,91	<0,05	<0,05	0,92	<0,05	<0,05	0,09	0,30	<0,05
Meses	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Nota: Los valores en negrita en toda la tabla representan valores estadísticos significativos en donde el valor P<0,05

SALINIDAD

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua, que se descomponen en iones cargados positivamente y negativamente; los iones más positivos son sodio (Na⁺), calcio (Ca⁺²), potasio (K⁺), magnesio (Mg⁺²) y los más negativos son cloruro (Cl⁻), sulfato (SO₄⁻²), carbonato (CO₃²⁻), bicarbonato (HCO₃⁻). En las aguas del humedal el Hato se registró una salinidad promedio de 0,11 PSU, (Tabla1, Fig.3), que pudo estar relacionada a que el humedal se caracterizó por no poseer conexión con el mar, además de ser considerado una cubeta de aguas de escorrentías, con posibilidad de aportes de aguas subterráneas (HERNÁNDEZ & OCANTO 2010), por tanto es considerado como un cuerpo de agua dulceacuícola (MARCANO 2014).

En la Fig.3A, se evidenció la distribución temporal de la salinidad, con un comportamiento homogéneo entre sus concentraciones, a excepción de la máxima concentración registrada en el mes de octubre con 0,27 PSU, que fue asociado con el periodo de intensa sequía

en la zona, por lo cual, incidió la evaporación del agua y el aumento de los iones presentes en el humedal (HERNÁNDEZ & OCANTO 2010). Aunado a esto se determinó la mínima concentración con 0,04 PSU en el mes de marzo, atribuido a la poca presencia de precipitaciones en la zona.

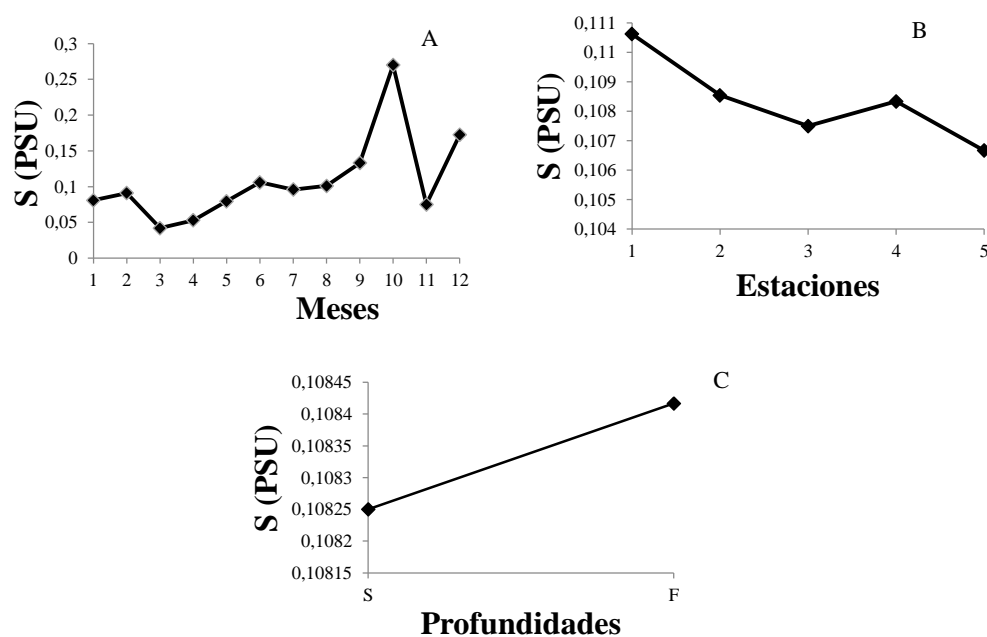


Fig. 3. Variación de S entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

La máxima concentración de salinidad registrada a nivel espacial (Fig.3B) correspondió a la estación 1, con 0,11 PSU y la mínima a la estación 5, con 0,10 PSU. Posiblemente por haberse encontrado la estación 1 cercana a los canales de drenaje de aguas pluviales que van al humedal, posibilitó la entrada de iones por los procesos erosivos activos en el suelo y rocas (PLAN DE ORDENAMIENTO Y REGLAMENTO DE USO DEL MONUMENTO NATURAL LAGUNA DE LAS MARITES 2009), ya que el agua de lluvia pudo estar enriquecida con sales minerales (JAWAD & JOSHI 2006); mientras que la estación donde se determinó la mínima concentración se caracterizó por estar ubicada distante a las entradas de aguas de pluviales.

La composición de los iones que determinan la salinidad en lagunas dulceacuícolas es muy variable y van asociados generalmente a la evaporación en zonas endorreicas, por eso para valores reducidos de mineralización total, el carbonato (CO_3^{2-}) y el calcio (Ca) constituyen la fracción dominante y a medida que se incrementa la salinidad van cobrando importancia el resto de los iones, cloruros, sulfatos y magnesio (EUGSTER & HARDIE 1978), tal como pudiese ocurrir en este cuerpo de agua.

En el análisis de varianza aplicado a este parámetro (ANOVA), se encontró diferencias significativas entre las estaciones y meses, pero no entre las profundidades (Tabla2).

OXIGENO DISUELTO (OD)

La concentración de oxígeno disuelto (OD) determina las condiciones aeróbicas y anaeróbicas en un sistema, que va a depender de la concentración, estabilidad del material orgánico presente en dicho sistema, de la incidencia de los rayos solares y de las características físicas. Las concentraciones del OD en el humedal el Hato exhibieron un promedio general de $254,46 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Tabla1, Fig.4), que se atribuyó a que los procesos de oxigenación de la columna de agua fueron suficientes para compensar las pérdidas por respiración de la materia orgánica (HERNÁNDEZ & OCANTO 2010).

En la distribución temporal las concentraciones del OD, Fig.4A, mostraron fluctuaciones; de las cuales fue apreciada la máxima concentración en el mes de agosto ($320,54 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), que posiblemente fue afectada por la poca profundidad del humedal, atribuida a la incidencia de los efectos de la temperatura y la acción mecánica de los vientos que pudieron permitir la oxigenación del cuerpo de agua (HERNÁNDEZ & OCANTO 2010). Mientras que en el mes de enero se registró la mínima concentración con $177,6 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, el cual coexistió con los meses de

lluvias, que pudo contribuir a que el humedal mantuviera presencia de alto contenido de materia orgánica, a través de los procesos de lavado de los suelos y posteriormente ser degradado (MORA *et al.* 2008), esto se puede corroborar con la distribución temporal del NH_4^+ y el UAO, los cuales en dicho mes indicaron que la tasa de degradación de la materia orgánica fue mayor que la fotosintética.

El humedal el Hato, es un cuerpo de agua que se caracterizó por poseer alta actividad fotosintética, por lo cual BERNAL (2010) identificó diferentes especies de microalgas; mientras que RODRÍGUEZ *et al.* (2008) reportó dos especies de carófitos.

No obstante, la distribución espacial (Fig.4B) mostró la máxima concentración en la estación 5 ($298,14 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), debido a que se caracterizó por ser la menos profunda y con incidencia de acción de los vientos, oxigenando el agua, además de proveer material sedimentario a través de la resuspensión, para la actividad fotosintética. Mientras que la mínima concentración se apreció en la estación 2 ($214,27 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), puesto que se encontró en una zona con recepción de aguas de escorrentías, cargadas de materia orgánica en suspensión, lo que pudo haber provocado actividad degradadora, por ende consumo de OD (HERNÁNDEZ & OCANTO 2010).

En cuanto a sus estratos de profundidad, en la superficie se determinó la máxima concentración, con $280,26 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ y en el fondo la mínima, con $228,67 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Fig.4C). La concentración en la superficie fue mayor dado al intercambio de oxígeno, atmosfera-agua, además de la producción de oxígeno mediante la actividad fotosintética.

WEIHAUPT (1984) mencionó que las actividades biológicas son un factor importante en las variaciones de la concentración, distribución del oxígeno y del CO_2 en el agua, ya que si el

fitoplancton es abundante, el CO_2 es frecuentemente consumido, mientras que el oxígeno es añadido gracias a los procesos fotosintéticos.

En el ANOVA aplicado a este parámetro se encontró diferencias estadísticas significativas entre estaciones, profundidades y meses (Tabla 2).

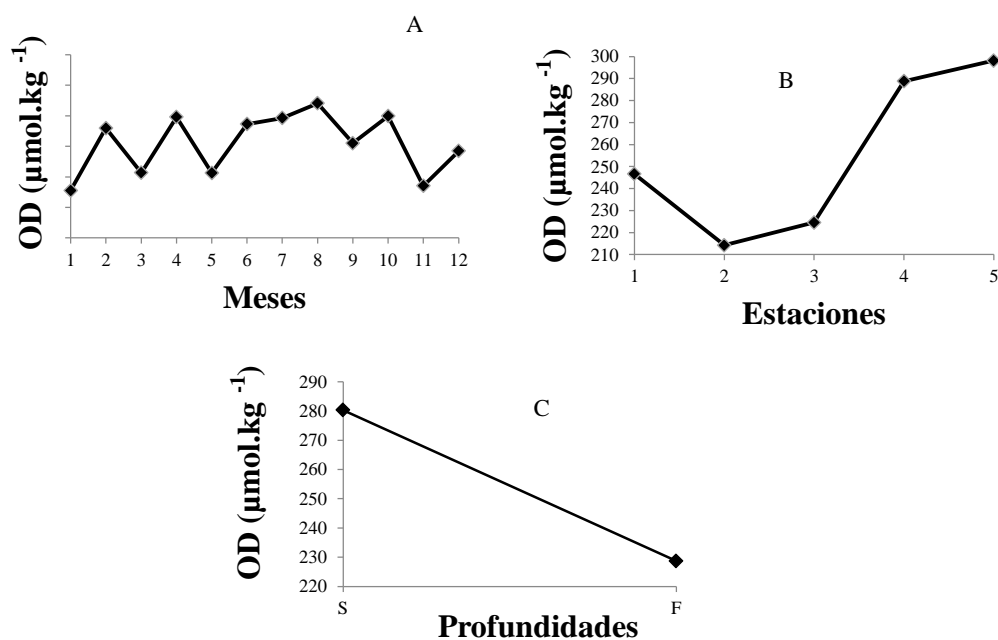


Fig. 4. Variación del OD entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C), durante el año 2015 en el humedal el Hato

UTILIZACIÓN APARENTE DE OXIGENO (UAO)

La utilización aparente de oxígeno (AOU), representa la diferencia entre la concentración de oxígeno medida en la muestra y la concentración esperada en la misma temperatura y salinidad del agua en equilibrio con la atmosfera; la cual permite deducir la respiración y procesos de remineralización en los cuerpos de agua (MÁRQUEZ 2015). En el caso del humedal se registró un promedio general entre sus concentraciones con $-14,15 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Tabla1, Fig.5), lo cual llevó a presumir que se generó mayor tasa de fotosíntesis, ya que este parámetro fue usado para calcular el oxígeno utilizado en el proceso de respiración en el cuerpo de agua, con las

concentraciones negativas atribuidas a la fotosíntesis y las concentraciones positivas a la oxidación biológica de la materia orgánica o remineralización; asimismo lo plantea MÁRQUEZ (2015) en su investigación.

En la distribución temporal, se observaron tanto valores negativos como positivos (Fig.5A), con su máxima concentración en el mes de enero ($70,47 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), mientras que en el mes de agosto se determinó la mínima, con $-87,87 \mu\text{mol.kg}^{-1}$. De la misma forma se observó, que durante el período de estudio, el humedal el Hato presentó 8 meses con valores negativos, por lo cual, se asumió que posiblemente ocurrió mayor actividad fotosintética.

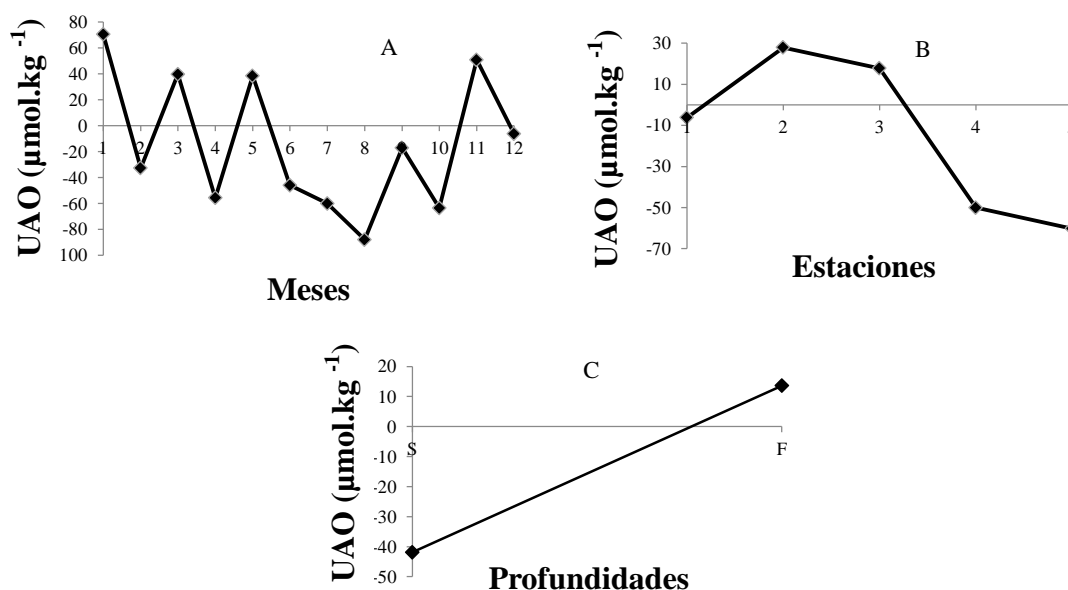


Fig. 5. Variación de la UAO entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

En relación, a la distribución espacial, también registró más valores de UAO negativos que positivos, con máxima concentración determinada en la estación 2 ($27,92 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), y la mínima con $-60,22 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, en la estación 5 (Fig.5B). Estos resultados pudieron compararse con los del OD, puesto que su comportamiento fue opuesto al UAO, del cual se presumió que en la estación 2, posiblemente ocurrió mayor tasa de degradación de materia orgánica, que actividad

fotosintética , lo cual fue atribuible a la abundante biomasa de algas y plantas encontradas en la zona , además de ser receptora de aguas pluviales que probablemente llegaron al humedal con materia orgánica ; mientras que en la estación 5 se observó el caso contrario, puesto que, la concentración registrada del UAO fue asociada a la alta tasa de fotosíntesis, ya que, en ese punto de muestreo no contaba biomasa excesiva, pero si suficiente para la actividad fotosintética, además de no haberse encontrado en una zona receptora de aguas pluviales.

Respecto a los estratos de profundidad, se apreció en el fondo la máxima concentración con $13,58 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, y en la superficie la mínima, con $-41,87 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Fig.5C), lo cual permitió predecir que los procesos de fotosíntesis ocurrieron en mayor proporción en la superficie.

En el análisis estadístico aplicado (ANOVA), el UAO presentó diferencias significativas entre las estaciones, las profundidades y los meses (Tabla 2).

COMPUESTOS NITROGENADOS

Las concentraciones de los compuestos nitrogenados en general variaron entre $0,59 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ para NO_3^- , $3,01 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ para NO_2^- y $13,70 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ para el NH_4^+ (Tabla 1, Fig6, Fig.7, Fig.8); de las cuales, la concentración del NO_3^- fue la más baja, debido a que fue un cuerpo de agua con poca incidencia de contaminantes artificiales; PERDOMO *et al.* (2001), mencionaron que en ausencia de contaminantes artificiales, las concentraciones de NO_3^- en aguas superficiales normalmente son muy bajas y rara vez superan $1 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, en el caso del humedal el Hato ocurrió este mismo hecho complementado a que tampoco contó con incidencia de aguas residuales o impacto antropogénico notorio.

El promedio obtenido del NO_2^- , pudo deberse a la acelerada oxidación del mismo, ya que, es un intermediario entre el NH_4^+ y el NO_3^- , que pudo resultar de la reducción del NO_3^- o de la oxidación del NH_4^+ (PALAZÓN & PENOTH 1994). Por su parte, el promedio más alto entre los compuestos nitrogenados fue del NH_4^+ , en efecto, a causa de las actividades heterotróficas, como la degradación de la materia orgánica, que se atribuyó a la abundante vegetación acuática (ARCOS *et al.* 1993; CANFIEL 1993).

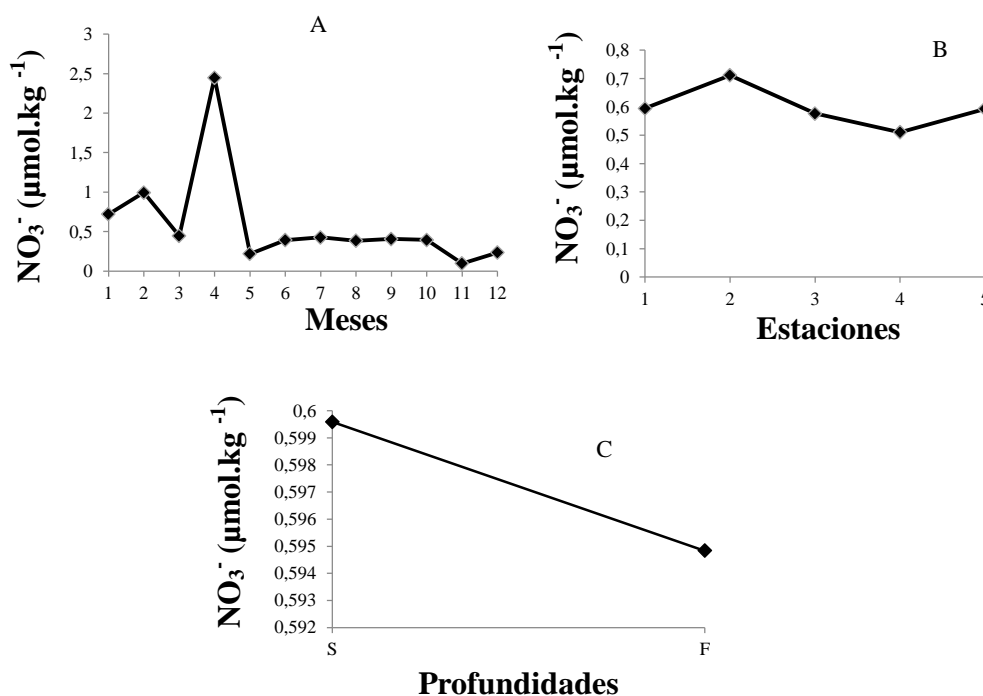


Fig. 6. Variación de la concentración de NO_3^- entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

El comportamiento a nivel temporal del NO_3^- , se pudo observar en la Fig.6A, con concentraciones homogéneas, a excepción de la que se apreció en el mes de abril, en el cual se registró un incremento de $2,45 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, influenciada por la poca producción de biomasa fitoplanctónica. Asimismo, se apreció una mínima concentración en el mes de noviembre con $0,09 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, el cual registró uno de los meses con mayor producción de biomasa fitoplanctónica, lo que se pudo corroborar en la distribución temporal de la Chl-*a*.

En relación con la distribución espacial del NO_3^- (Fig.6B), se apreció también homogeneidad entre sus concentraciones, con la máxima concentración determinada en la estación 2 ($0,71\mu\text{molkg}^{-1}$) y la mínima en la estación 4 con $0,51\mu\text{molkg}^{-1}$. Estos resultados posiblemente fueron causa de la cobertura de algas, ubicada en la zona de la estación 2, además de la incidencia que pudo haber tenido el material orgánico proveniente de las aguas de escorrentías, lo cual influyó en el aumento de la materia orgánica, por ende, dar pie a la degradación de la misma; esto puede constatarse con los resultados del UAO, que presumieron indicaron remineralización de la materia orgánica y renovación de nutrientes en este punto. Sin embargo, para el caso de la estación 4, se caracterizó por registrar actividad fotosintética y sin incidencia de aguas pluviales cargadas de material orgánico.

En cuanto, a los estratos de profundidad (Fig.6C), en la superficie se apreció la máxima concentración, con $0,60\mu\text{molkg}^{-1}$, y en el fondo la mínima con $0,59\mu\text{molkg}^{-1}$. Estos resultados pudo ser indicativo que en la superficie posiblemente ocurrió remineralización de la materia orgánica flotante, que permitió la renovación de este nutriente, además de quedar en suspensión el material cargado de nutrientes que por momentos de periodos de lluvias llegan al humedal; asimismo, se pudo presumir que en el fondo las concentraciones de este nutriente son consumidas por las actividades bacterianas que se llevan a cabo en los sedimentos.

Sin embargo, RODRIGO *et al.* (2005), en su estudio realizado, mencionaron que la cobertura de la vegetación acuática sumergida (carófitas y helófitas) encontradas en el humedal el Hato, pudieron enmascarar las verdaderas concentraciones de NO_3^- , así como, de NO_2^- y PO_4^{3-} disueltos en el agua, además los carófitos presentan la capacidad de absorber nutrientes actuando como trampas eficientes en el agua donde exista una gran cobertura vegetal.

De acuerdo al ANOVA aplicado, las concentraciones de NO_3^- no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los meses, pero si entre las estaciones y las profundidades (Tabla 2).

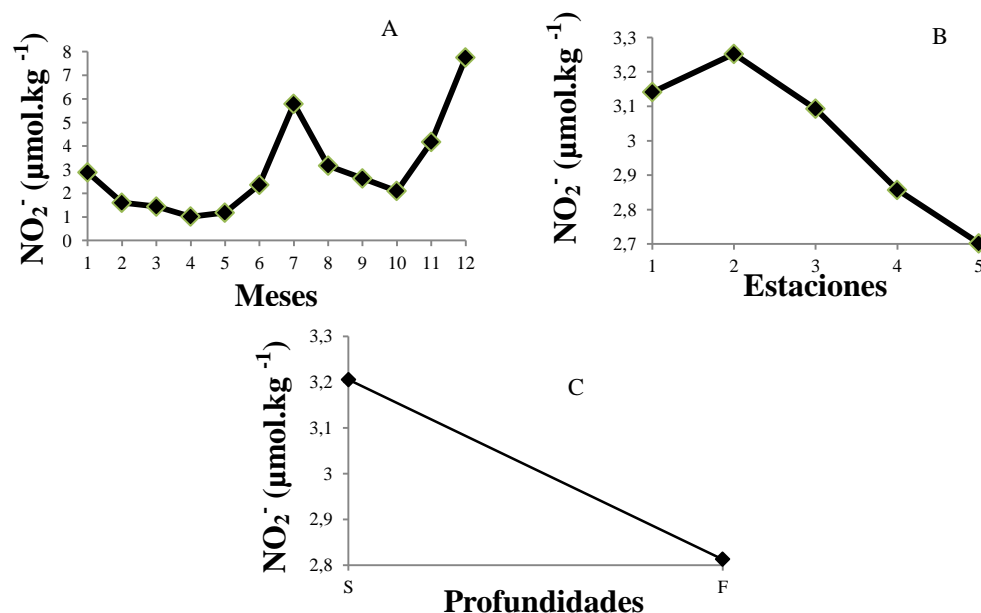


Fig. 7. Variación de la concentración de NO_2^- entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

Por su parte, la distribución temporal del NO_2^- (Fig.7A) mostró dos concentraciones elevadas, la primera en julio ($5,79 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y la segunda en el mes de diciembre ($7,76 \mu\text{mol.kg}^{-1}$). Las concentraciones de NO_2^- durante estos meses pudieron atribuirse a la recirculación de nutrientes a través de los sedimentos y a la alta tasa de degradación de la materia orgánica causada por las bacterias. La concentración determinada en el mes de diciembre se debió a los posibles nutrientes que pudieron entrar al humedal acompañado de los sedimentos, cargados de nutrientes, por aguas de escorrentías, dado que el mes de diciembre estuvo dentro de los meses de la época lluviosa. Mientras que la mínima concentración fue apreciada en el mes de abril ($1,01 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), con registro de baja biomasa fitoplanctónica y resultados del UAO que presumieron actividad fotosintética, lo cual incidió a pensar que para tal actividad fue de preferencia el

consumo de este nutriente. Por lo consiguiente, las concentraciones más altas de este parámetro se encontraron dentro de los meses de la época cálida de la zona, coincidiendo con lo que señala por WETZEL (2001) que altas concentraciones de NO_2^- pueden suceder en cuerpos de agua con poco movimiento y temperaturas cálidas, por efecto de la reducción del NO_3^- en sedimentos anaeróbicos.

Las concentraciones más altas de NO_2^- se contrastaron con las bajas concentraciones de NO_3^- registrados durante los meses de julio y diciembre, coincidiendo con lo señalado por OKUDA *et al.* (1978), los cuales mencionaron en su investigación que la aparición de altos valores de NO_2^- se observa antes del incremento del NO_3^- , es decir, durante el proceso de nitrificación y después de la disminución del nitrógeno (proceso de desnitrificación).

Ahora bien, en el caso de la distribución espacial (Fig.7B), se apreció máxima concentración en la estación 2, con $3,25 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, atribuida a que fue una zona afectada por los canales de drenajes de aguas de escorrentías, por lo cual ocurrieron procesos de degradación de material orgánico; sin embargo, se observó que a partir de la estación 3, las concentraciones registraron decrecimiento hasta la estación 5, con la mínima concentración de $2,70 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, debido de su falta de incidencia de aguas pluviales con posibles cargas de nutrientes .

Respecto a los estratos de profundidad, la máxima concentración registrada correspondió a la superficie con $3,21 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, proveniente de la presencia del alto contenido de plantas acuáticas como las carofitas e hidrofitas que enmascaron las concentraciones de nutrientes; y en el fondo con $2,81 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, que pudo atribuirse al consumo de este nutriente, a través de las actividades bacterianas en el sedimento.

En cuanto al ANOVA aplicado, se encontraron diferencias significativas entre los meses y profundidades, pero no entre las estaciones (Tabla 2).

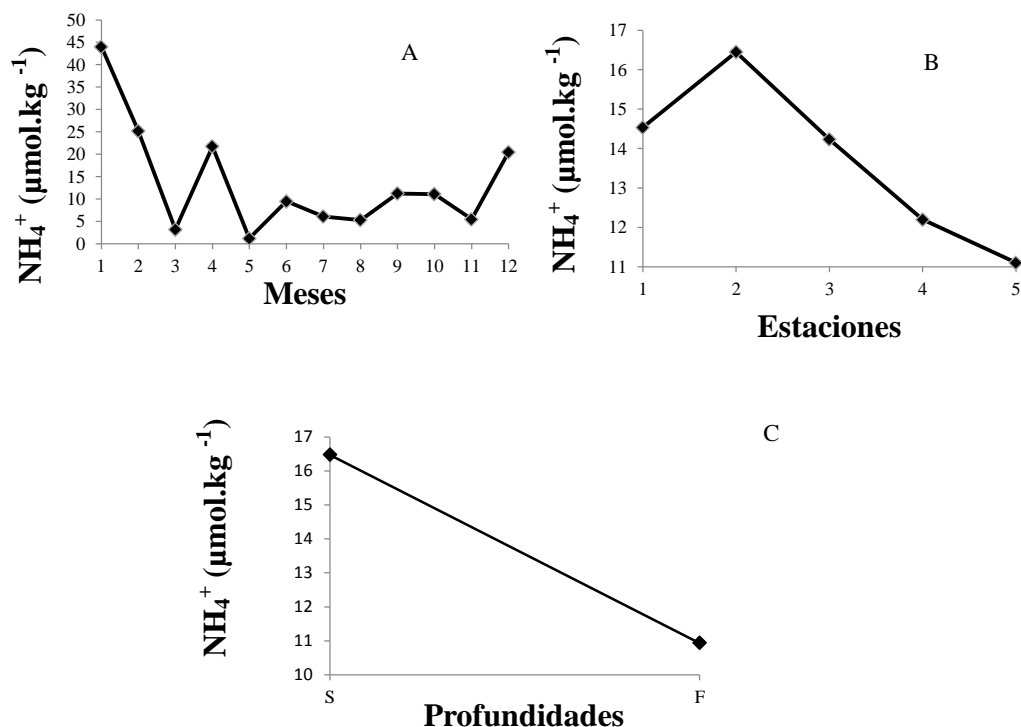


Fig. 8. Variación de la concentración de NH_4^+ entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

En la Fig.8A se pudo apreciar la distribución temporal del NH_4^+ , con máxima concentración registrada en el mes de enero ($44,02 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) considerando que este mes se vio representado por un periodo de lluvias; produciéndose aportes de nutrientes y transporte de materia orgánica particulada (REDDY *et al.* 1999), que posiblemente aceleraron la degradación de la materia orgánica. La mínima concentración de $1,18 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ se determinó en el mes de mayo, que perteneció al periodo de transición de la zona, con lo cual, se presumió baja incidencia de material orgánico, con posibles cargas de nutrientes, proveniente de las aguas de escorrentías.

PALAZÓN & PENOTH (1998) señalaron que la remineralización de la materia orgánica, principalmente la descomposición de la vegetación acuática, puede ser fuente principal del NH_4^+ .

Teniendo en cuenta que en los dos meses donde se registraron la máxima y mínima concentración, los resultados del UAO señalaron que la tasa de degradación fue mayor, sin embargo, el mes donde se apreció la máxima concentración se atribuyó a la presencia de aguas pluviales cargadas de material orgánico, lo cual pudo haber acelerado los procesos degradativos; además de la presencia de posibles aportes de nutrientes que pudieron ser arrastrados por las aguas de escorrentías.

Asimismo, se pudo evidenciar que la distribución espacial del NH_4^+ (Fig.8B), presentó el mismo comportamiento que el NO_2^- , con su máxima concentración en la estación 2 ($16,50 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y la mínima en la estación 5 con $11,04 \mu\text{mol.kg}^{-1}$. Las concentraciones encontradas en el humedal, posiblemente fueron debido a las condiciones propias del ecosistema, donde prevalecieron aguas de escorrentías en la periferia de la estación 2, pero con escasa circulación del agua, que favoreció al estancamiento y aceleró el proceso de amonificación, característico de lagos, pantanos y ríos (CANFIEL 1993).

Cabe considerar, que en la superficie del humedal el Hato, se pudo apreciar la máxima concentración de NH_4^+ , con $16,47 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ y la mínima en el fondo con $10,93 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Fig.8C). Esto se atribuyó, a que posiblemente en la superficie ocurrió remineralización de la materia orgánica, por su alto contenido de algas en suspensión, además de la posible remoción constante de los sedimentos por ser un cuerpo de agua somero.

HERNÁNDEZ & OCANTO (2010) señalaron en su investigación que la producción del NH_4^+ en el humedal el Hato, probablemente se debió a un proceso de amonificación oxica, el cual es característico de lagos, pantanos y ríos, en los cuales no existe gran profundidad, por lo cual los sedimentos están cerca de la superficie y no se produce estratificación en la columna de agua.

Las tres formas más importantes de nitrógeno a captar por las algas son: NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- . Estos compuestos se producen en esta secuencia por la creciente acción bacteriana sobre las sustancias orgánicas nitrogenadas, además su distribución y relaciones respectivas de estas tres formas de nitrógeno en el agua dependen de la actividad en el ecosistema y son un buen indicador de sus características, debido a que un gran aporte de NO_2^- y de NH_4^+ indican continua adición de materia orgánica (HERNÁNDEZ & OCANTO 2010).

De acuerdo al ANOVA, el NH_4^+ presentó variaciones significativas entre los meses y las profundidades, pero entre las estaciones (Tabla 2).

FOSFATO (PO_4^{3-})

El fósforo es considerado un macronutriente esencial, que en aguas no impactadas, es fácilmente utilizado por las plantas y convertido a las estructuras celulares por acción fotosintética (HOLMES 1996). Este elemento es uno de los principales nutrientes a considerarse en el control del grado de eutrofización de un ecosistema acuático, ya que influye directamente en el crecimiento de las algas y por tanto puede afectar la productividad primaria en el agua (IQBAL *et al.* 2006), naturalmente se encuentra como PO_4^{3-} (ortofosfatos, fosfatos condensados y fosfatos enlazados orgánicamente). En el caso del humedal el Hato, el PO_4^{3-} registró un promedio general de $1,02 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Tabla 1, Fig.9), lo cual pudo estar asociado a la lenta erosión de las rocas y suelos, de las posibles excretas de los animales que pudieron entrar al humedal por medio de aguas de escorrentías, y los rendimientos de fósforo en el suelo a través de la descomposición microbiana (PAZ & RODRÍGUEZ 2016).

La concentración máxima a nivel temporal, se determinó en el mes de julio con $2,74 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Fig.9A), como posible resultado del proceso de resuspensión generado por la acción

del viento sobre el cuerpo de agua poco profundo (LÓPEZ-HERNÁNDEZ *et al.* 1985), considerando que en este mes no ocurrieron precipitaciones, y gran parte del fósforo en el agua pudo encontrarse bajo la forma particulada, producto de los procesos de sedimentación, o por la descomposición microbiana de la materia orgánica en el sedimento (DORIA *et al.* 2009). Mientras que la mínima concentración se apreció en el mes de mayo con $0,16 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, que de acuerdo al estudio realizado por NORIEGA *et al.* (2009), se atribuyó la alta actividad consumidora por parte de la vegetación sumergida y helófitas.

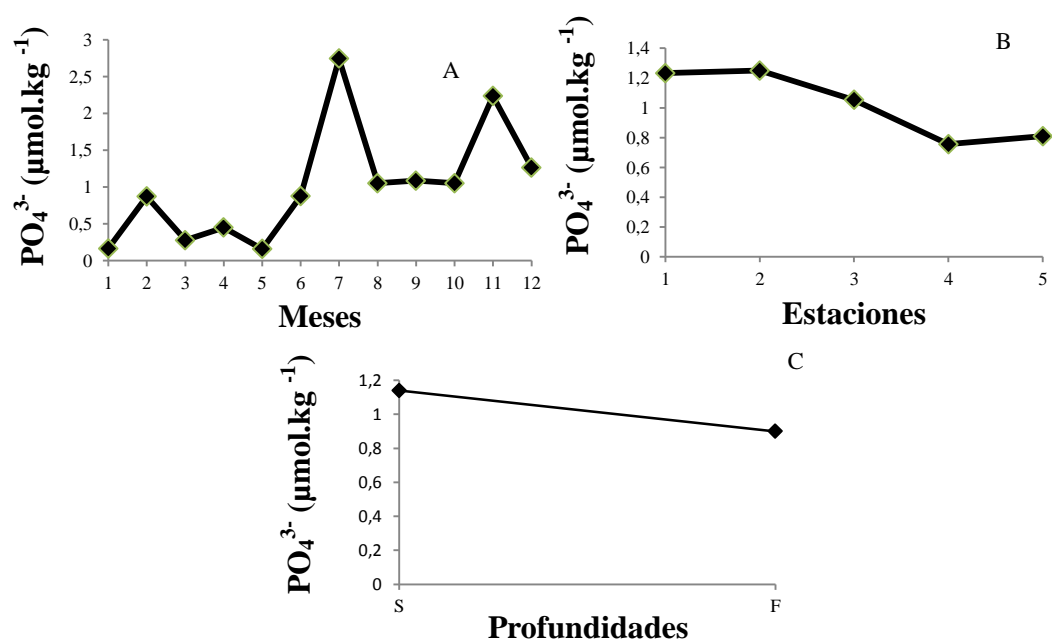


Fig 9. Variación de las concentraciones de PO_4^{3-} entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) de muestreo durante el año 2015, en el humedal el Hato.

El comportamiento de las concentraciones del PO_4^{3-} a nivel espacial, se consideró homogéneo (Fig.9B), con una máxima concentración determinada en la estación 2 ($1,25 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y la mínima en la estación 4 ($0,75 \mu\text{mol.kg}^{-1}$). Estos resultados fueron posiblemente atribuidos a que el cuerpo de agua somero fue afectado por la mecánica de los vientos, lo cual permitió resuspensión de partículas ricas en fósforo provenientes del sedimento. Por tal razón también se pudo observar el comportamiento homogéneo a nivel de los estratos de profundidad.

HERNÁNDEZ & OCANTO (2010) señalaron en su investigación realizada en humedal el Hato, que este cuerpo de agua constaba de dos canales de entrada de aguas pluviales, las cuales presentaron coberturas de plantas helófitas sumergidas y emergentes que contribuyeron a la retención de material sedimentario, atribuido al proceso de lavado del sustrato.

UNESCO (1981), hizo mención en su publicación, que la interface agua-sedimento proporciona un lugar importante para la oxidación de los detritos y permite la absorción y desorción química del PO_4^{3-} y NH_4^+ , que es de interés para el mantenimiento de la producción biológica en la columna de agua; lo cual es controlado por mecanismos abióticos como la salinidad, el área superficial de los sedimentos, y su capacidad de intercambio de cationes y composición mineral. Mientras que DEBORDE *et al.* (2007), señalaron que los cambios del PO_4^{3-} en aguas someras son explicados por su rápido tiempo de renovación y la alta reactividad del fósforo con la materia orgánica y los sedimentos suspendidos.

LERMAN *et al.* (2002), argumentaron que existe evidencia que solo aproximadamente 45% de nitrógeno y 30% del fósforo utilizado en la agricultura, son aprovechados por las cosechas y el resto es almacenado en el suelo y posteriormente incorporándose a los cuerpos de aguas adyacentes.

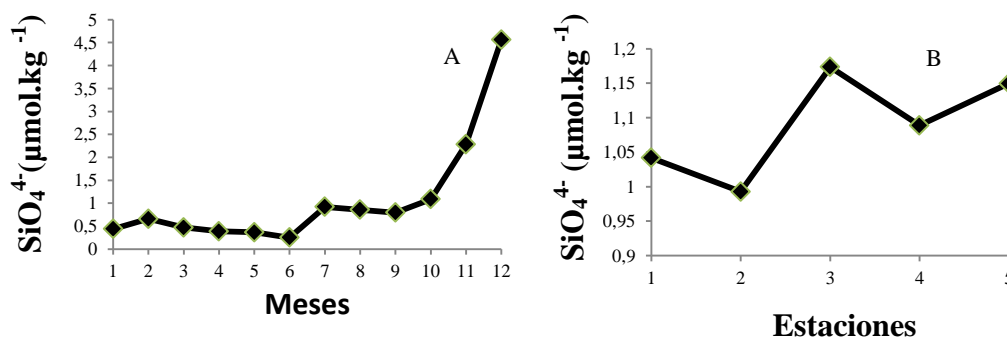
El ANOVA aplicado al PO_4^{3-} , reportó diferencias significativas los meses, pero no entre las estaciones y profundidades (Tabla2).

SILICATOS (SiO_4^{4-})

La mayor parte del silicio disuelto se presenta bajo la forma de ácido orto-silícico $\text{Si}(\text{OH})_4$ débilmente hidrolizado al pH del agua (Libes 2000). El humedal el Hato registró un promedio general de $1,09 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ para los SiO_4^{4-} (Tabla1, Fig.10), considerándose que estas aguas

poseían poca presencia de diatomeas (BERNAL 2010). Además, WETZEL (2001) señaló que las menores cantidades de SiO_4^{4-} se encuentran en el agua con sustratos de rocas carbonatadas. En este sentido, las bajas concentraciones de este parámetro son consecuencia de la presencia de rocas calizas, compuestas mayoritariamente de carbonato de calcio (CaCO_3) (HERNÁNDEZ & OCANTO 2010).

En la Fig.10A, se evidenció la distribución temporal con un comportamiento homogéneo durante los primeros meses del año, hasta llegar al mes de julio, donde empezó a incrementar las concentraciones, con un máximo encontrado en el mes de diciembre $4,56 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ y un mínimo de $0,25 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ en el mes de junio; estos resultados pudieron estar relacionados con las temperaturas registradas en el cuerpo de agua en estudio, además de las entradas de aguas pluviales, que provocaron descensos de oxígeno y facilitaron la redisolución del SiO_4^{4-} del sedimento, junto con la infiltración de posibles aportes subterráneos que son ricos en silicio (SERRA *et al.* 1984). Teniendo en cuenta que la menor concentración registrada en el mes de junio fue asociada a que se encontró en el período cálido, sin incidencia de aguas de escorrentías.



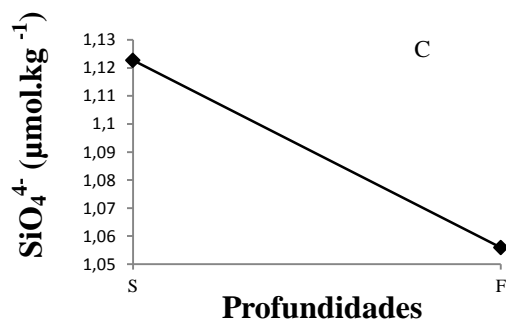


Fig. 10. Variación de las concentraciones de SiO_4^{4-} entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

WETZEL (1981) señaló que los lagos que no son estratificados, las concentraciones de sílice disuelta pueden aumentar en gran medida debido a su liberación en los sedimentos, cuando se incrementan las temperaturas. Mientras que BIDDLE *et al.* (2002) mencionaron que la regeneración de los silicatos a partir de la disolución de la sílice biogénico en la interfase agua-sedimento puede ser eficiente, particularmente en aguas someras donde la temperatura y la abundancia bacteriana son altas y esto podría acelerar la tasa de disolución.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la distribución espacial, Fig.10B, las concentraciones del SiO_4^{4-} se apreciaron de manera homogénea, con un incremento en la estación 3 ($1,17 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y con mínima concentración en la estación 2 ($0,99 \mu\text{mol.kg}^{-1}$). Asimismo, se comportó a nivel de profundidad, con un pequeño incremento en la superficie ($1,12 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y en el fondo con $1,06 \mu\text{mol.kg}^{-1}$. Estos resultados se atribuyeron a la topografía y profundidad del humedal, lo cual permitió que por efecto de los vientos ocurriesen resuspensión de los sedimentos, incidiendo en la concentración del SiO_4^{4-} .

WETZEL (1981) señaló en su investigación que el volumen de agua y la profundidad influyen en los procesos biológicos de reciclado del SiO_4^{4-} y pueden provenir de diversas fuentes, como puede ser rocas que han sido modificadas, en aguas superficiales se originan por adsorción

de ácido silícico, el cual reduce su solubilidad, por lo cual las aguas naturales son muy insaturadas con respecto a los SiO_4^{4-} .

La sílice, juega un papel crucial en el balance global del ciclo del carbono, y tienen la capacidad de afectar a las concentraciones de CO_2 atmosférico en una variedad de escalas de tiempo, debido a la conexión que tiene la sílice biogénico y el carbono orgánico. La acumulación de sílice biogénica en el sedimento de un cuerpo de agua contiene gran cantidad de información sobre la producción para la exportación que se ha producido en las escalas de tiempo que van desde cientos hasta millones de años, de modo tal, que los registros de deposición de ópalo proporcionan información valiosa sobre las reorganizaciones oceanográficas de gran escala en el pasado geológico, así como paleoproduktividad (MÁRQUEZ 2015).

Mediante el ANOVA aplicado a este parámetro, se determinaron diferencias significativas entre los meses, pero no entre las estaciones y las profundidades (Tabla 2).

CLOROFILA A (CHL-A)

En cuanto al contenido de *Chl-a* se pudo determinar una concentración promedio de $0,15 \text{ mg.m}^{-3}$ (Tabla1, Fig.11), que posiblemente se asoció con la biomasa fitoplanctónica presente en el humedal (GARZÓN 1990).

Las concentraciones a nivel temporal (Fig.11A) registraron incrementos desde el mes de mayo, con una concentración máxima determinada en el mes de diciembre de $0,25 \text{ mg.m}^{-3}$ y una mínima en el mes de abril con $0,03 \text{ mg.m}^{-3}$. Estos resultados pudieron estar relacionados con la temperatura y las precipitaciones, que incidieron en el incremento de las comunidades fitoplanctónicas, ya que el mes de diciembre se encontró dentro del período de lluvia en la zona, mientras que el mes de abril en el período de transición; de modo tal, que la concentración de

Chl-*a*, se incrementó a medida que trascurrían los meses del periodo de muestreo, lo que pudo haber estado relacionado con la profundidad que fue disminuyendo temporalmente, por la incidencia de la temperatura y a la vez, llevarse a acabo la resuspensión de los sedimentos cargados de nutrientes, que pudieron ser puestos nuevamente a disposición de los productores primarios para la producción biológica (CASALLAS & GUNTER 2001).

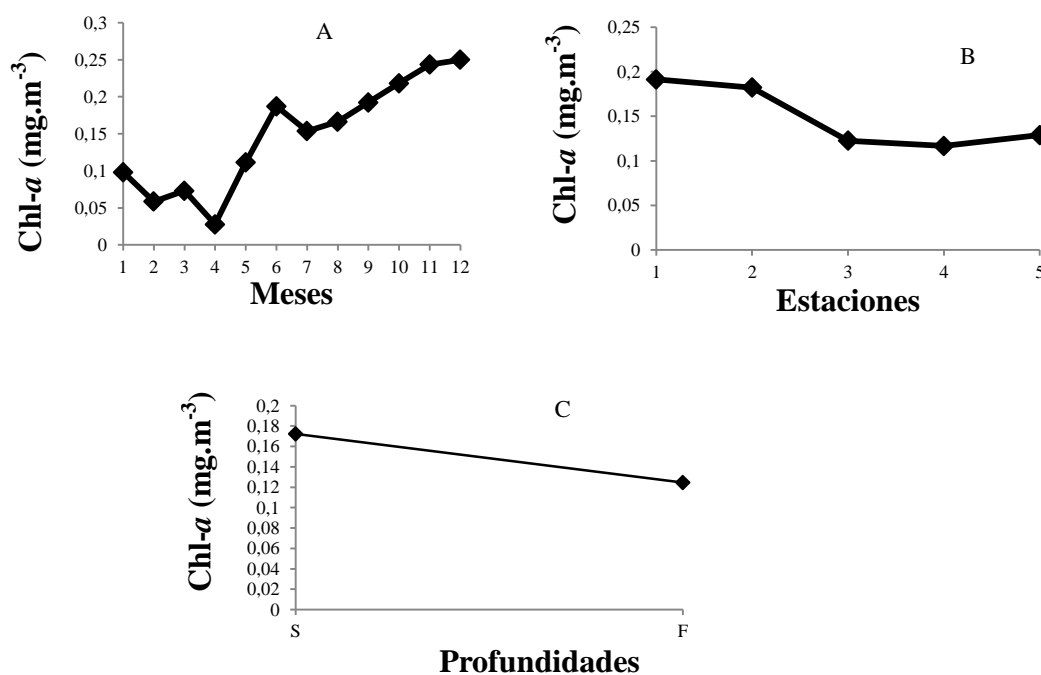


Fig. 11. Variación de la Chl-*a* entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

El comportamiento de las concentraciones de Chl-*a* a nivel espacial, Fig.11B, también resultaron homogéneas, con un incremento en la estación 1(0,19 mg.m⁻³) y una mínima concentración apreciada en la estación 4 (0,12 mg.m⁻³). Estos resultados fueron atribuibles a la incidencia de aguas pluviales que posiblemente se encontraron cargadas de material orgánico, puesto que la estación 1 se ubicó en una zona receptora de aguas de escorrentías, lo que pudo contribuir al suministro de nutrientes e incremento de las comunidades del fitoplancton, reflejándose en las concentraciones de pigmentos fotosintéticos, ya que la Chl-*a* se consideró un

indicador de la biomasa fitoplanctónica (GARZÓN 1990). Sin embargo, en las estaciones con baja concentración, pudo estar relacionado a que las macroalgas (carófitos) compitieron con el crecimiento del fitoplancton (WINUM-ANDERSEN *et al.* 1982).

En cuando a las concentraciones determinadas a nivel de estratos de profundidad (Fig.11C), se pudo apreciar un comportamiento homogéneo, con la máxima concentración en la superficie (0,17 mg.m⁻³) y la mínima en el fondo (0,12 mg.m⁻³). Estos resultados fueron asociados a la baja profundidad del humedal , característico del mismo.

BERNAL (2010), reportó en el humedal el Hato, pocas especies de diatomeas pero mayor número de especies de *Chlorophytas*, *Euglenophytas* y Cianobacterias, de las cuales estas últimas microalgas fueron consideradas las que determinaron la concentración de clorofila *a* en el agua, que por su escasa circulación y no renovación del agua durante la época de pocas precipitaciones, permitió la proliferación del fitoplancton.

BOTERO *et al.* (2020), señalaron que las variables fisicoquímicas como el nitrógeno, fósforo, temperatura del agua, pH, y alcalinidad, son algunas de las variables que mayor influencia tienen con el crecimiento de hidrófitos. Asimismo señalaron que las hidrofítas crecen en sistemas acuáticos lenticos , como es el caso del humedal el Hato que en su mayoría contó con una diversidad de macroalgas, las cuales para AROCENA & MAZZEO (1994) su distribución dependen de varios factores, principalmente la velocidad del agua, sus características fisicoquímicas y las del sedimento.

Según el ANOVA aplicado, la Chl-*a* arrojó diferencias estadísticas significativas entre las estaciones, las profundidades y los meses (Tabla 2).

III.1. PARÁMETROS DEL SISTEMA CARBÓNICO

PH

El pH es el potencial de la concentración de iones hidronios (H^+) que indica la concentración de estos iones en el agua y está íntimamente involucrado con la acidez, la alcalinidad y la basicidad. Puede alterarse según el grado de eutrofización y a las modificaciones del sistema carbonatos del agua dadas por la producción de CO_2 (durante la respiración por parte de los organismos heterotróficos) o por el consumo de este gas (debido a la fotosíntesis de los organismos autotróficos) (UNAL - CORMAGDALENA 2007).

El pH de los cuerpos de agua proviene de un equilibrio entre la disolución del CO_2 y de las rocas básicas (silicatos, aluminosilicatos, y carbonatos, entre otros). Más exactamente, el pH en realidad responde casi específicamente a la extensión en la disociación del CO_2 disuelto (ácido carbónico) en sus especies carbonatadas relacionadas, cargadas negativamente que deberán compensarse con la existencia en el medio hídrico de cargas positivas provenientes de bases minerales fuertes (Na^+ , K^+ , Ca^{+2}) (RODRÍGUEZ 1999).

El promedio general determinado de pH en el humedal fue de 8,78 (tabla2, Fig.12), lo cual pudo relacionarse con dos factores importantes: uno geológico producto del alto contenido de CO_3^{2-} y HCO_3^- que tienen como origen el substrato cárstico del humedal, y otro biológico debido a la actividad fotosintética del fitoplancton (ARREDONDO & PONCE 1999).

Tabla 3. Valores de la estadística descriptiva de los parámetros del sistema carbónico, del agua del humedal el Hato, durante los meses del año 2015.

	pH	AT	HCO_3^-	TCO_2	CO_3^{2-}	Ω_{cal}	Ω_{arag}	f CO_2
Mín.	5,45	50,14	47,10	67,30	0,30	0,00	0,00	0,40
Máx.	12,93	2259,17	2205,90	3551,80	376,00	2,02	1,29	5207,90
Med.	8,73	1054,23	905,25	1018,95	33,55	0,16	0,10	96,65

Prom.	8,78	1115,26	975,74	1072,14	60,76	0,34	0,22	364,09
DE	1,62	489,12	485,36	556,06	73,88	0,44	0,28	868,97

ND=no detectado, Máx.=máximo, Min.=mínimo, Prom.=promedio,
DE=desviación estándar, Med.= mediana

En la Fig.12A se pudo observar que los meses de mayo y agosto mantuvieron altas unidades de pH 11,28 y 11,03 respectivamente, de los cuales el mes de mayo se encontró dentro del período de transición en la zona, con un registro de bajas temperaturas y altas concentraciones de OD, que pudo estar asociado a la alta actividad fotosintética; sin embargo, el mes de junio registró un descenso de 5,6 unidades de pH, que posiblemente fue causado a dos posibles razones: a) por las fluctuaciones térmicas relacionadas con los rasgos típicos del clima de la isla de Margarita, ya que este mes se encontró dentro de los meses cálidos de la zona, lo cual pudo incidir en una mayor tasa de remineralización de la materia orgánica con respecto a la actividad fotosintética en la columna de agua y b) por el aumento de las concentraciones de CO₂ provenientes de la descomposición de la materia orgánica desde el sedimento por ser el área de estudio una zona somera.

En cuanto al comportamiento del pH en la distribución espacial (Fig.12B), se percibió un valor máximo de 9,21 en la estación 5 y un mínimo con 8,33, en la estación 2; los cuales pudieron estar asociados a la utilización del CO₂ durante el proceso de fotosíntesis, y su liberación por medio de la descomposición de materia orgánica, puesto que incidió en el pH del agua; teniendo en cuenta que en la estación 5, prevaleció alta tasa fotosintética y en la estación 2 degradación de materia orgánica. Además, la máxima concentración registrada, posiblemente estuvo relacionado a la disociación del HCO₃⁻ a CO₃²⁻, por medio de la utilización del CO₂ durante el proceso de fotosíntesis, el cual fue constatado con resultados obtenidos del OD y UAO; sin embargo, el valor mínimo registrado se debió al comportamiento análogo con las

distribuciones del AOU, por la formación de CO_2 durante el proceso de respiración, lo que dio lugar a un aumento de la acidez del medio. La influencia de la topografía sobre estos valores no es descartada, debido a la probable irregularidad en las profundidades de cada estación.

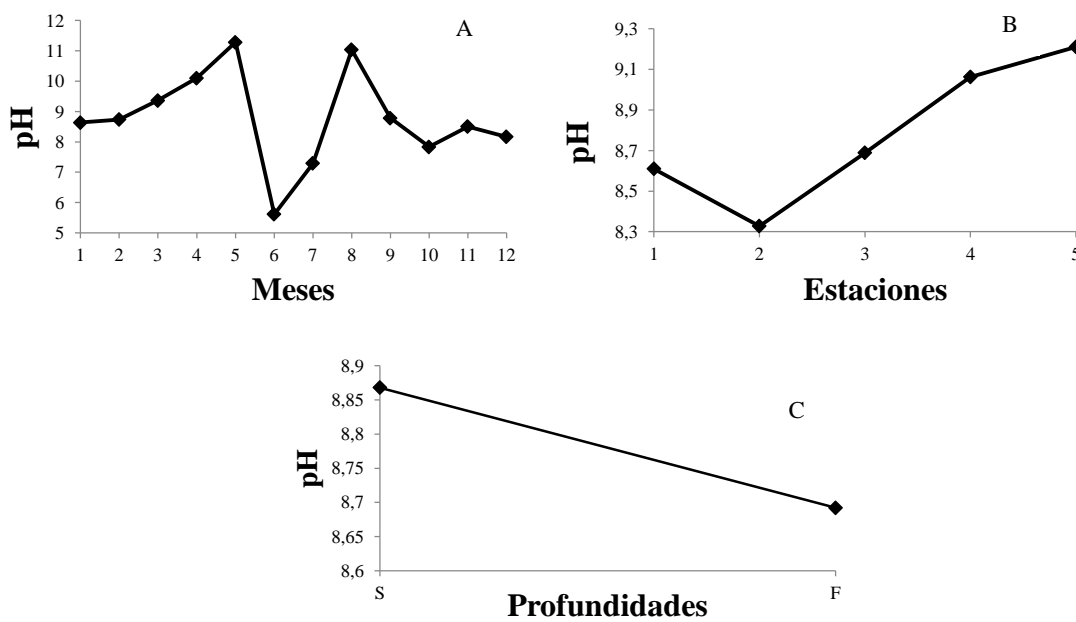


Fig 12. Variación del pH entre los meses de muestreo (A), las estaciones (B) y profundidades (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

Además los valores registrados de pH, pudieron estar relacionados a que el humedal el Hato se encontró localizado sobre una terraza marina, relacionada con un entorno de formas cársticas, presentando un substrato de naturaleza básica o sedimentaria, que está ubicado en depósitos cuaternarios recientes (era Cenozoica) sin diferenciar, además presenta un material de arcillas calcáreas y calizas arenosas (PLAN DE ORDENAMIENTO Y REGLAMENTO DE USO DEL MONUMENTO NATURAL LAGUNA DE LAS MARITES 2009), las cuales presentan una importante reserva alcalina a causa de su elevada solubilidad (MIMAM 2000).

ARREDONDO & PONCE (1999) señalaron que el pH puede aumentar, gracias a la utilización del CO_2 durante la fotosíntesis, ya que este puede causar una disociación del HCO_3^- presente en el agua, resultando la formación de iones CO_3^{2-} . Aunado a esto, FRAGA (1972)

mencionó que cuando los valores del OD superan ampliamente el porcentaje de saturación del agua, el pH tiende a elevarse por la producción de radicales $\cdot\text{OH}$ en la columna del agua.

PÉREZ (2017) indicó que el pH es controlado por el balance entre el CO_2 , los iones HCO_3^- y CO_3^{2-} , así como los ácidos húmicos y fúlvicos, además la mayoría de las aguas naturales tienen un pH en el ámbito de 6,5 a 8,0 controlado principalmente por el sistema $\text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^-$.

HERNÁNDEZ & OCANTO (2010), en su investigación señalaron que el aumento de la temperatura y el pH ocasionó un descenso de la viscosidad de las suspensiones arcillosas, lo que favoreció el aclaramiento del agua, además, mencionaron que el pH reguló el estado iónico de las arcillas y actuó sinérgicamente con los ácidos húmicos en la floculación y defloculación de las partículas arcillosas; por tanto, a pH elevados las suspensiones arcillosas son estables y las partículas se cargan de materiales absorbidos como las algas, bacterias y sustancias aniónicas.

En cuanto, a los valores registrados con respecto a la profundidad, se apreció un comportamiento homogéneo, con el máximo valor apreciado en la superficie (8,87) y en el fondo el mínimo (8,69), que pudo ser atribuible a su característica somera, además se presumió que fue un cuerpo de agua con cierta capacidad de amortiguar (o resistir) los cambios de pH, la cual es a menudo medida en términos de la alcalinidad del sistema; por ejemplo en los ríos esta capacidad se debe sobre todo, a la presencia de HCO_3^- , aportados al sistema por la disolución de rocas y suelos (DREVER 1988, STUMM & MORGAN 1981).

Tabla 4. Valores de P obtenidos en el ANOVA (N=119, P<0,05) aplicado a las concentraciones de los parámetros del sistema carbónico en las aguas del humedal el Hato durante el año 2015.

	pH	AT	TCO ₂	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ω arag.	Ω calc.	fCO ₂
Estaciones	<0,05	0,61	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05

Profundidad	0,08	0,71	0,58	<0,05	0,57	<0,05	<0,05	0,44
Meses	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Nota: Los valores en negrita en toda la tabla representan valores estadísticos significativos en donde el valor $P < 0,05$

El pH es un parámetro determinante de las características química del agua, controlando en su mayoría por los procesos dinámicos de los nutrientes (HARPER 1992), sumado a las características litológicas del ecosistema, a las actividades biológica que se desarrollan en el cuerpo de agua, los cuales pueden producir cambios en los valores y ser usados para estimar el metabolismo (fotosíntesis y respiración) de los sistemas acuáticos e informar sobre su estado trófico (GEIDER & OSBORNE 1992).

A través del ANOVA se evidenció las variaciones existentes del pH donde se apreció diferencias estadísticamente significativas entre los meses y las estaciones, pero no entre las profundidades (Tabla 4).

ALCALINIDAD (AT)

Las concentraciones de alcalinidad total (AT) estima la presencia de iones carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, así como también de boratos, silicatos, fosfatos y sustancias orgánicas; no solo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis (ESPINOSA & RODRÍGUEZ 2016). En el caso del humedal el Hato, se determinó un promedio de $1115,26 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Tabla2, Fig.13), la cual posiblemente fue afectado por factores como la fotosíntesis, respiración y disolución/precipitación del CaCO_3 , que inciden en la proporción ácidos/bases (PÉREZ 2017).

En la Fig.13A, se observó en los meses de octubre y noviembre las concentraciones máximas de alcalinidad ($\approx 1650 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), mientras que la mínima concentración se determinó en el mes de abril ($406,29 \mu\text{mol.kg}^{-1}$). El resultado registrado en el mes de octubre pudo haber estado relacionada con la evaporación generada por las temperaturas dentro del humedal, puesto que dicho mes se encontró dentro del período de intensa sequía en la zona, lo cual permitió el aumento de la concentración de iones presentes en la AT, además de apreciarse un punto máximo en las concentraciones de salinidad y los silicatos, asimismo, la biomasa fitoplanctónica, ya que ocurrió en gran medida el proceso de fotosíntesis, y baja concentración de NO_3^- . Esto es reafirmado por BOYD (1982), el cual mencionó en su investigación que la evaporación, influyó en la concentración de los iones responsables de la AT.

HERNÁNDEZ & OCANTO (2010) caracterizó al humedal el Hato por ser un cuerpo de agua dulce con gran productividad primaria, razón por la que la AT pudo estar influenciada por el reciclaje de nutrientes, la profundidad del agua y la concentración del silicato. RUDD *et al.* (1986) afirmaron que los elevados niveles de alcalinidad están relacionados con el proceso de desnitrificación, también con el incremento en la productividad primaria, debido a que históricamente, la AT ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos y ríos, donde las concentraciones altas indicaron una productividad alta y viceversa (MARGALEF 1993).

FRAGA (2001) señaló que, si se considera la ecuación de fotosíntesis incluyendo los lípidos y carbohidratos, la formación de material orgánica decrece la concentración de protones libres $[\text{H}^+]$, e incrementa la alcalinidad, (BREWER *et al.* 1975) también reafirman que el NO_3^- tiene efecto sobre la AT, puesto que un decrecimiento en las concentraciones de NO_3^- incrementa la AT.

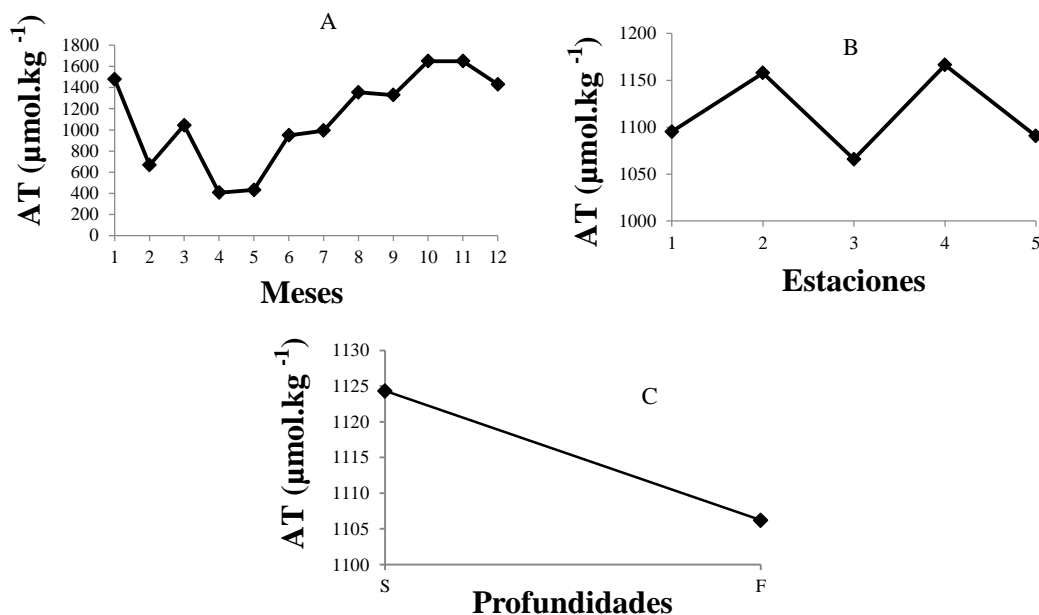


Fig. 13. Variación de la AT entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

En la distribución espacial Fig.13B, la AT presentó un comportamiento homogéneo, con un aumento en la estación 4 ($1166,50 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y un mínimo registrado en la estación 3, con $1065,89 \mu\text{mol.kg}^{-1}$. Estos resultados pudieron estar asociados al entorno cárstico, con rocas carbonatadas y salinas, característico del humedal (PLAN DE ORDENAMIENTO Y REGLAMENTO DE USO DEL MONUMENTO NATURAL LAGUNA DE LAS MARITES 2009), además de registrarse actividad fotosintética.

ERASO *et al.* (1979) señalaron que los valores más elevados de alcalinidad se dan en lagos cársticos donde puede haber relaciones del tipo alcalinidad/calcio o alcalinidad/magnesio. En lagos alcalinos, la disponibilidad del carbono es mayor por el hecho de que las rocas sedimentarias que contienen carbonatos, a menudo contienen también concentraciones relativamente altas de nitrógeno y fósforo (en comparación con el granito, otras rocas ígneas y regiones donde el lecho rocoso ha sido desgastado y lavado, los cuales generalmente contienen bajas concentraciones de estos dos nutrientes limitantes y del CaCO_3) (ESPINOSA & RODRÍGUEZ 2016).

El comportamiento de la AT respecto a los estratos de profundidad, resulto homogéneo, con un incremento en la superficie ($1124,31 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y una mínima concentración en el fondo con $1106,21 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, atribuidos a que el humedal se caracterizó por ser de poca profundidad, lo cual permitió la remoción sedimentaria.

MÁRQUEZ (2015) , señaló en su investigación que la habilidad de amortiguamiento total del agua, se pudo entender como la concentración de carga negativa que reaccionará con H^+ , lo cual es equivalente a la AT del agua; es por ello que los iones CO_3^{-2} y HCO_3^- ejercieron un papel fundamental en la AT y actuaron como un buffer para el agua.

En el ANOVA aplicado a la AT, se apreció diferencias significativas entre los meses y las estaciones pero no entre las profundidades (Tabla 4).

BICARBONATO (HCO_3^-)

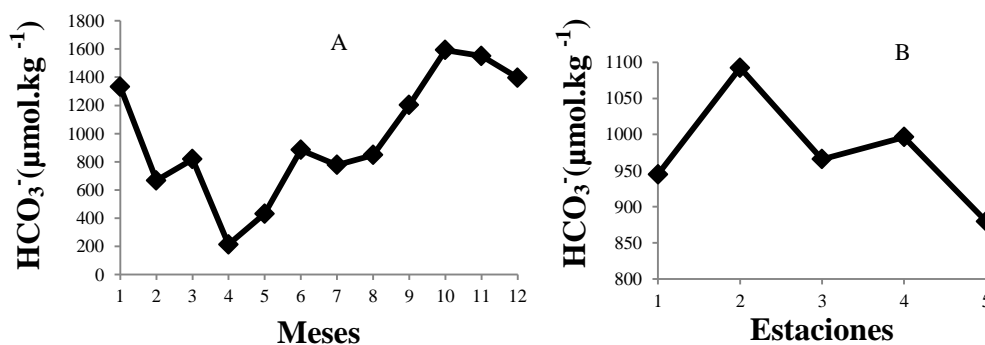
El bicarbonato (HCO_3^-) constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad, la cual junto con el hidróxido son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas (ESPINOSA & RODRÍGUEZ 2016). Las concentraciones registradas de bicarbonato HCO_3^- dentro del humedal el Hato registraron un promedio de $975,74 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, y estuvo ligada a la geología de la zona de estudio, caracterizada por las rocas aflorantes que son de tipo de arcillas calcáreas y calizas arenosas (Tabla 2, Fig.16B).

El comportamiento de la distribución temporal (Fig.16A), presentó máxima concentración en el mes de octubre ($1592,03 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), que en efecto, posiblemente pudo haber estado relacionado con la degradación de la materia orgánica, lo cual incidió en el bajo valor de pH registrado en dicho mes, permitiendo el incremento de HCO_3^- ; esto fue basado a lo observado en

el anexo 1, que a un pH por debajo de 8,3 todos los CO_3^{2-} se han convertido a HCO_3^- (PELLE 2018).

En cuanto al mes de abril, registro mínima concentración ($213,06 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), atribuida a temperaturas bajas y alta tasa de actividad fotosintética que permitió el aumento de pH a un valor de 10, que basado a lo que indicó el anexo 1, a dicho pH predominaron los CO_3^{2-} , causando una disociación del HCO_3^- presente en el agua, (ARREDONDO & PONCE 1999).

BUDDEMEIER *et al.*, (2005) mencionaron que la disminución del pH produce un desequilibrio en las reacciones de disociación del HCO_3^- , desplazando su equilibrio hacia la izquierda, lo que produce una disminución de la concentración del CO_3^{2-} y aumento del HCO_3^- . El ion HCO_3^- , que se encuentra como especie química entre el CO_3^{2-} y el ácido carbónico en lo que se refiere a captación de protones, puede por tanto comportarse como ácido (dando protones al medio y pasando a carbonato) o como base (captando protones del medio y pasando a ácido carbónico), por tanto se puede comportar como una sustancia anfótera, la cual puede actuar tanto como ácido y base.



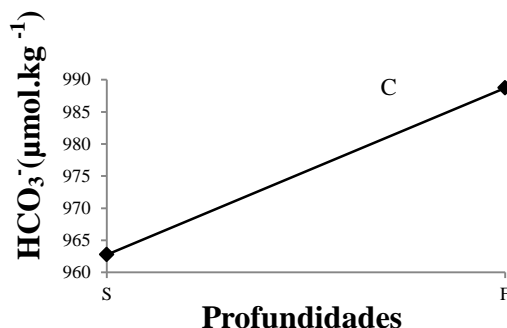
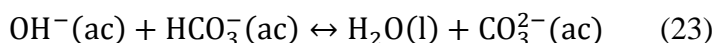


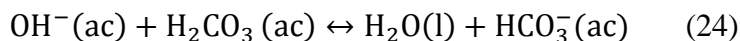
Fig.14. Variación del HCO_3^- entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

En la distribución espacial, Fig.16B, se apreció una máxima concentración en la estación 2 ($1092,25 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), y una mínima en la estación 5 ($879,49 \mu\text{mol.kg}^{-1}$). Estos resultados presentaron relación con la degradación y producción de materia orgánica, que afectó el pH dentro del humedal, y por consiguiente a la concentración del HCO_3^- . Como se mencionó anteriormente, la estación 2 es receptora de aguas pluviales, que posiblemente estuvieron cargadas de material orgánico, lo cual incidió al incremento de la tasa de degradación de la materia orgánica; mientras que la estación 5, no presentó incidencia de este tipo, pero se estimó una alta tasa de actividad fotosintética.

A lo que respecta a las concentraciones registradas en los estratos de profundidad, su comportamiento fue homogéneo, con un incremento en el fondo ($88,71 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y una mínima concentración en la superficie, con $962,76 \mu\text{mol.kg}^{-1}$. Esta poca variación se debió al bajo nivel de agua, característico del humedal. Estos resultados también son apreciados para el TCO_2 y la fCO_2 , con lo cual se pudo estimar que hubo degradación de material orgánico en el sedimento, generando CO_2 , que conllevó a bajar el pH del agua y permitió la formación del HCO_3^- .

El CO_3^{2-} y HCO_3^- pueden regular los cambios de pH en el agua, condicionado por las reacciones:





De acuerdo a los análisis estadísticos de ANOVA, se determinaron diferencias significativas para el HCO_3^- entre las estaciones y meses, pero no entre las profundidades (Tabla 4).

DIÓXIDO DE CARBONO TOTAL (TCO_2)

En la Tabla 2, Fig. 14, se pudo apreciar el promedio general de TCO_2 ($1074,77 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), que posiblemente estuvo relacionado con los procesos de oxidación de materia orgánica, intercambio de CO_2 atmósfera-agua, precipitación y disolución de carbonato cálcico (LEE *et al.* 2000).

En los cuerpos de agua, el TCO_2 está compuesto por las especies químicas $[\text{CO}_2]$, $[\text{HCO}_3^-]$ y el $[\text{CO}_3^{2-}]$, de las cuales el HCO_3^- domina el 90% y 10% el CO_3^{2-} (MÁRQUEZ 2015), tomando en cuenta esto, es que en la Fig. 14A, la distribución temporal mostró máxima concentración en octubre, con $1948,58 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ y la mínima mínimo en abril, con $268,49 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, al igual que lo reportó el HCO_3^- . Además esta distribución presentó un comportamiento con tendencia a la distribución temporal de la S y la $f\text{CO}_2$, debido a que estos parámetros tuvieron incidencia de la temperatura.

El HCO_3^- mostró en la distribución espacial, Fig. 14B, una elevada concentración en la estación 2 ($1250,95 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), que posiblemente pudo asociarse a la producción de CO_2 , por medio de la degradación de materia orgánica, ya que fue una zona receptora de material orgánico proveniente de las lluvias, encontrándose un pH de 8 aproximadamente, indicativo de mayor presencia de HCO_3^- ; mientras que la estación 5 arrojó mínima concentración ($979,33 \mu\text{mol.kg}^{-1}$), atribuible a que fue una estación menos profunda, donde posiblemente ocurrió mayor tasa

fotosintética, lo cual llevo a registrar un pH de 9 aproximadamente, indicativo de mayor presencia de CO_3^{2-} .

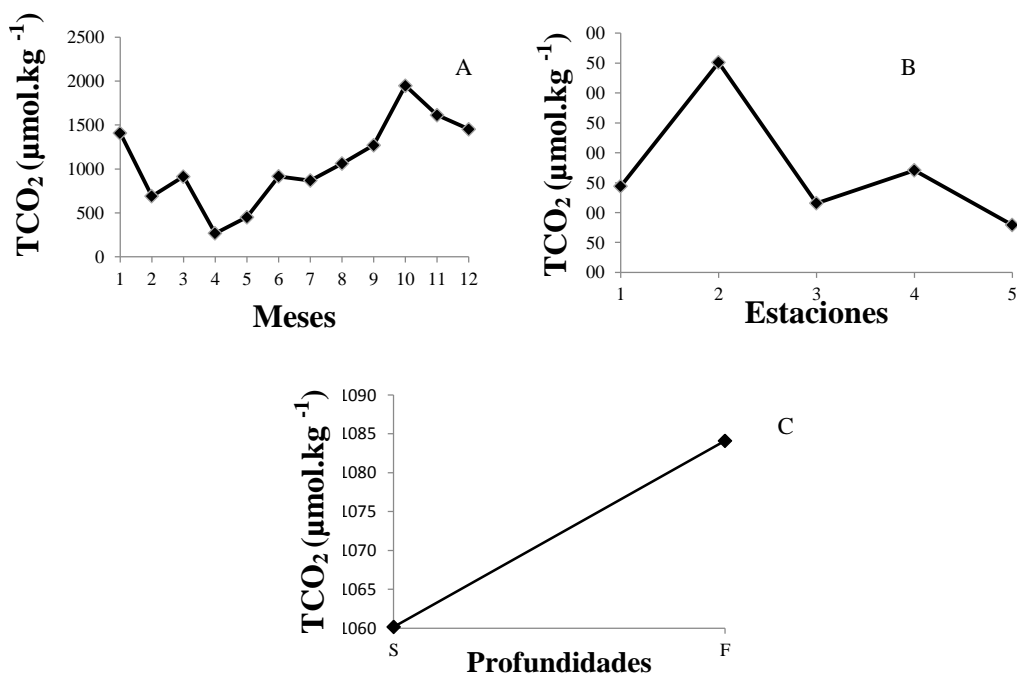


Fig. 15. Variación del TCO₂ entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

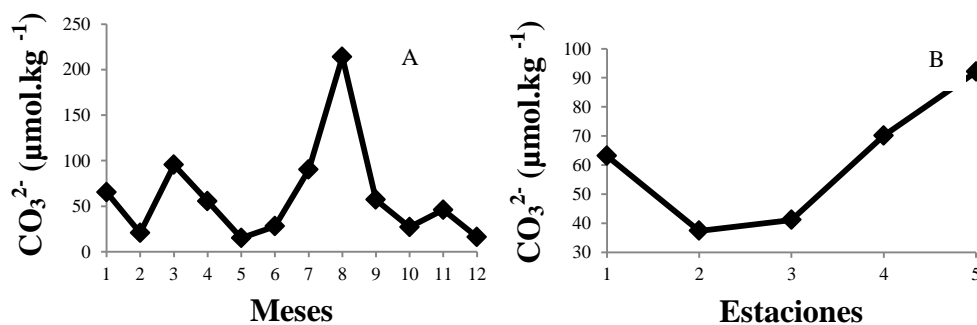
Respecto a la máxima concentración registrada en los estratos de profundidad, se pareció en el fondo con $1084,100 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, y en la superficie la mínima concentración, con $1060,17 \mu\text{mol.kg}^{-1}$. HANSEL *et al.* (2004) Mencionaron en su estudio que el TCO₂ y nutrientes se convierten en materia orgánica particulada (MOP) durante la fotosíntesis; de la cual solo una pequeña fracción de alrededor del 1% de la MOP escapa a la remineralización decantada hacia el fondo de la columna de agua, provocando un incremento en CO₂. Por tanto se presume que en el fondo del humedal el Hato el carbono se está acumulando.

Según el ANOVA aplicado, el TCO₂ registró diferencias significativas entre las estaciones y meses, pero no entre las profundidades (Tabla 4).

CARBONATO (CO_3^{2-})

Las concentraciones de CO_3^{2-} mostraron un promedio general de $60,76 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Tabla 2, Fig.15); que posiblemente se relacionó con la producción biológica y por ende consumo del CO_2 dentro del humedal (MÁRQUEZ 2015). Su comportamiento en la distribución temporal, Fig.15A, se observó máxima concentración en el mes de agosto ($213,96 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y mínima en el mes de mayo ($15,05 \mu\text{mol.kg}^{-1}$).

La máxima concentración registrada en agosto se debió a que fue un mes con producción biológica, por ende de consumo del CO_2 , lo que causó aumento del pH, por consiguiente disociación completa del HCO_3^- presente en el agua, resultando la formación del CO_3^{2-} (ARREDONDO & PONCE 1999). Mientras que el mes de mayo, registró mínima concentración, atribuible a la descomposición de la materia orgánica, lo que posiblemente afectó la formación de CO_3^{2-} , ya que se liberó CO_2 , acidificando el agua. Así lo mencionan HANSELL & CARLSON (2001), que en aguas estancadas sujetas a la presencia de cantidades grandes de materia orgánica particulada (MOP), puede producir ácido carbónico, acidificando el medio más rápido que lo que el movimiento del agua puede reproveer CO_3^{2-} amortiguadores.



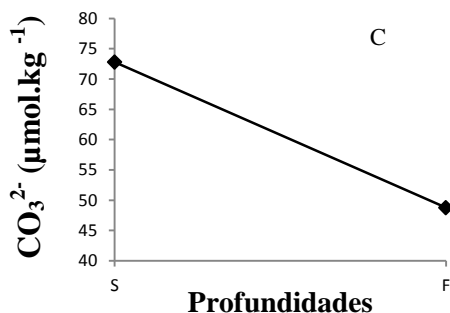
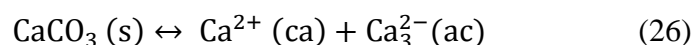
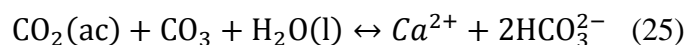


Fig. 16. Variación del CO_3^{2-} entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

En cuanto a su comportamiento en la distribución espacial Fig.15B, se apreció la máxima concentración en la estación 5, con $92,07 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ y la mínima en la estación 2, con $37,38 \mu\text{mol.kg}^{-1}$. La estación 5 registró producción biológica en las aguas del humedal, aunada al consumo de carbono inorgánico disuelto e incremento del pH, lo cual condujo a un aumento en la concentración del ión CO_3^{2-} , mientras que en la estación 2 por haber estado ubicada en uno de los canales de entrada de aguas pluviales, se evidenció materia orgánica en suspensión, lo que se presume que por la remineralización de materia orgánica, se generó CO_2 , y por consiguiente bajo pH, asimismo lo menciona MÁRQUEZ (2015), que el descenso del pH asociado a la mineralización de la materia orgánica reduce las concentraciones del ión carbonato (CO_3^{2-}).

Por su parte, a nivel de profundidad, en la superficie se registró la máxima concentración ($72,78 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) y en el fondo la mínima ($48,74 \mu\text{mol.kg}^{-1}$); debido a que en la superficie se presumió producción biológica, aunada al consumo de carbono inorgánico disuelto e incremento del pH (MÁRQUEZ 2015).

El CO_3^{2-} y los grados de saturación (Ω) aumentaron en la misma medida a lo largo del humedal, de acuerdo a las reacciones:



De acuerdo al ANOVA aplicado, el CO_3^{2-} registró diferencias significativas entre las estaciones, profundidades y meses (Tabla 4).

GRADOS DE SATURACIÓN (Ω ARAG.) (Ω CALC.)

Por lo que se refiere a los grados grado de saturación de la aragonita (Ω Arag) y de la calcita (Ω Calc), en el humedal el Hato, se determinó una concentración promedio de 0,22 y 0,34, respectivamente (Tabla 2, Fig.17, Fig.18). Estos dos parámetros tienen similitud en su comportamiento entre las distribuciones temporales, espaciales y de profundidad; asimismo, presentaron similitud con el CO_3^{2-} , por lo tanto, sus valores indicaron presencia de CO_3^{2-} , (SARMIENTO & GRUBER 2006). Dichos resultados coincidieron con los obtenidos por SIERRA (2013) & RODRÍGUEZ (2016).

El comportamiento del Ω arag en la distribución temporal resultó homogéneo (Fig.17A), a excepción de los valores determinadas entre los meses de julio, agosto y septiembre, de los cuales agosto reportó máxima concentración (0,84) y mayo la mínima (0,05). Teniendo en cuenta que el mes de agosto se encontró dentro de los meses cálidos, en el cual se reportó la máxima temperatura durante el período de estudio, por tanto, se presumió su incidencia en la concentración de dicho parámetro. Para el mes de mayo, se registró una de las temperaturas más bajas, por haberse ubicado en la temporada de transición. Esto es corroborado con lo que mencionan ZEEBE & WOLF-GLADROW (2001), que la solubilidad de los Ω dependen de la temperatura.

Los valores de Ω arag no excedieron de 1, por lo cual se asumió, que las aguas del humedal el Hato se encontrarán insaturadas de CaCO_3 , de manera disuelta; esto basado a lo que mencionaron SARMIENTO & GRUBER (2006), que los grados de saturación menor a 1 ($\Omega < 1$),

indican que la masa de agua estará insaturada de CaCO_3 y éste tiende a disolverse en el agua; asimismo, mencionaron que las aguas son corrosivas para el CaCO_3 .

ALARCÓN (2015) registró en su investigación en las aguas superficiales particularmente cálidas de verano, aumento de los niveles de Ω_{CaCO_3} , puesto que el estado de saturación del CaCO_3 se describe por el parámetro:

$$\Omega = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{Ca}^{2+}]}{K_{\text{PS}}} \quad (27)$$

Donde K_{sp} es el producto de la solubilidad aparente y depende de la temperatura, salinidad y presión correspondiente de la fase mineral particular (ZEEBE & WOLF-GLADROW 2001). La salinidad en este caso no demostró máxima incidencia por ser un cuerpo de agua dulceacuícola.

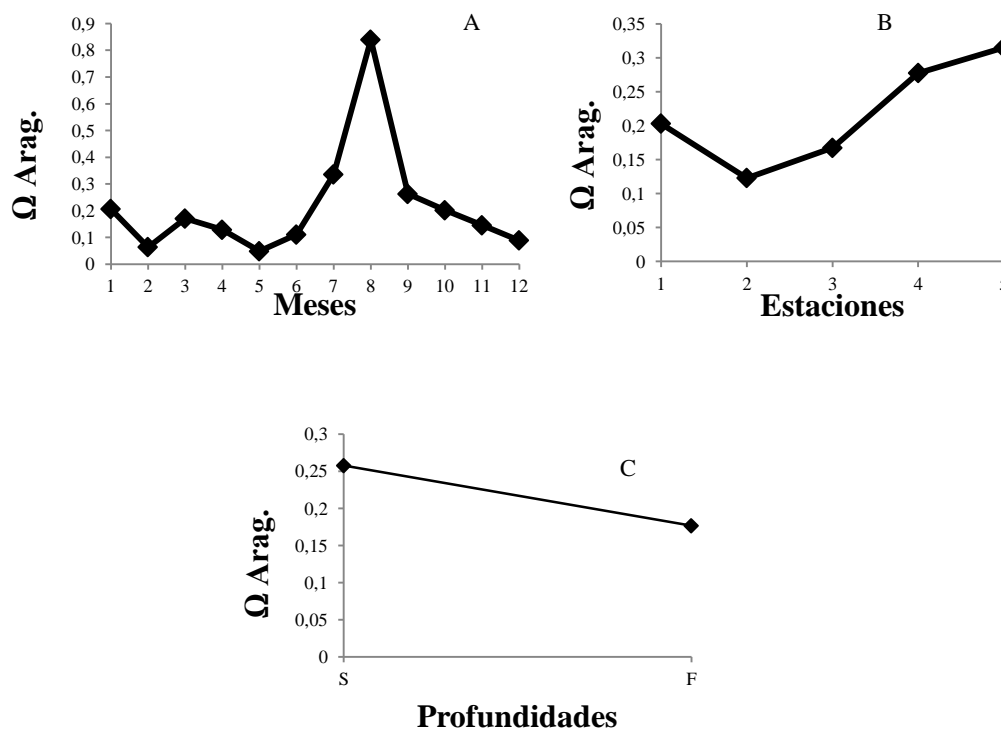


Fig. 17. Variación de $\Omega_{\text{arag.}}$ entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

Por su parte, el Ω Calc mostró un comportamiento en su distribución temporal (Fig.18A), con valores que no excedieron de 1, a excepción de un valor registrado en el mes de agosto (1,31), presumiendo que ocurrió precipitación del CaCO_3 , puesto que el grado de saturación mayor a uno ($\Omega > 1$), es indicativo a que las aguas se encontraron sobresaturadas de CaCO_3 , y por tanto tienden a precipitar al fondo, además en agua dulce por cada mol de CaCO_3 precipitado se liberó un mol de CO_2 a la atmósfera, incidiendo en la $f\text{CO}_2$ (PÉREZ 2017). SARMIENTO & GRUBER (2006), señalan en su estudio, que debido a que la aragonita es más soluble que la calcita, la saturación en (CO_3^{2-}) es siempre mayor para la calcita.

En cuanto a la distribución espacial tanto para el Ω arag y el Ω Calc (Fig 17,18 B), los valores no excedieron de 1, además de presentar el mismo comportamiento. Se determinó el máximo valor en la estación 5 y el mínimo en la estación 2, tomando como referencia que la estación 5 es una de las estaciones menos profunda, puesto que se encontraba más a la orilla del humedal, con incidencia de más temperatura, además de ocurrir producción biológica, lo cual permitió el aumento del pH; sin embargo, en la estación 2 se caracterizó por ser una zona donde se presumió actividad degradadora de materia orgánica, afectando el pH del agua, además es receptora de aguas pluviales.

MÁRQUEZ (2015), señaló en su investigación que la producción biológica en las aguas, aunada al consumo de carbono inorgánico disuelto e incremento del pH, conduce a un aumento en la concentración del ión CO_3^{2-} y en el valor de Ω de calcita y aragonita. Además, mencionó que el descenso del pH asociado a la mineralización de la materia orgánica reduce las concentraciones del ión carbonato CO_3^{2-} y, por consiguiente, el producto $[\text{Ca}_2^{2-}] * [\text{Ca}_3^{2-}]$ disminuyendo el valor de saturación de la calcita y aragonita (Ω) por debajo de 1.

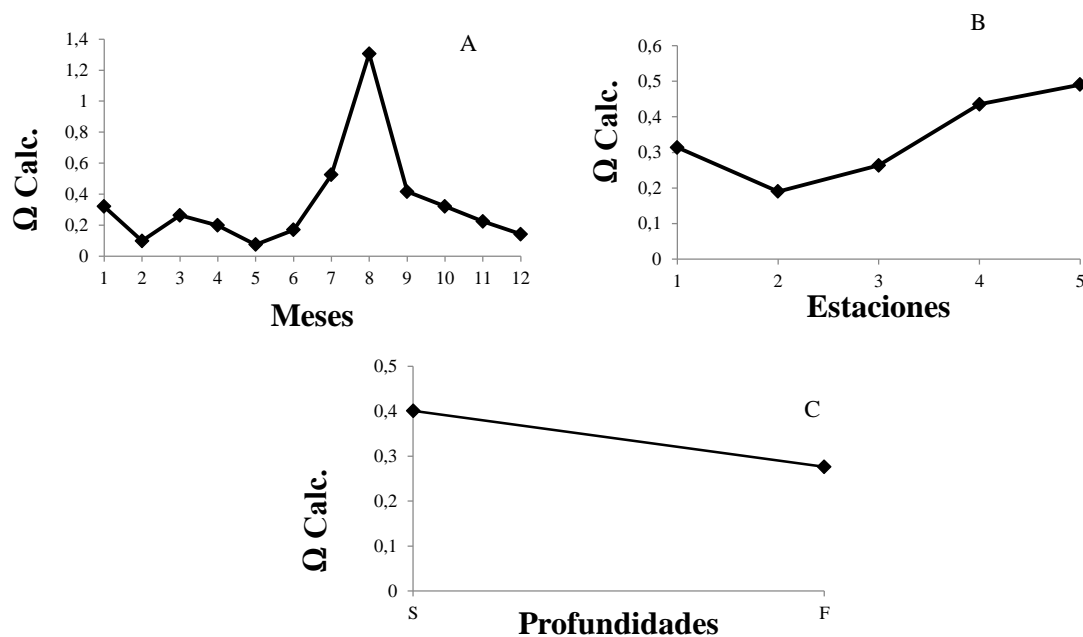


Fig. 18. Variación de Ω Calc. entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad (C) durante el año 2015, en el humedal el Hato..

Las concentraciones determinadas a nivel de profundidad no excedieron de 1, tanto para el aragonito como para la calcita; sin embargo, se apreció sus máximas concentraciones en el fondo del humedal. Esta apreciación estuvo basado en lo que menciona ÁLVAREZ (1998), que la solubilidad de CaCO_3 aumenta con la presión debido a que incrementan las constantes de disociación de la calcita y la aragonita.

Por lo antes mencionado se puede predecir que en el humedal el Hato, el CaCO_3 se encuentra disuelto en el agua, a excepción del mes de agosto que registró un valor de Ω Calc, indicativo de precipitación del CaCO_3 en el sedimento, por tanto en ese mes el humedal se comportó como un sumidero.

SARMIENTO & GRUBER (2006) mencionaron que el grado de saturación (Ω) puede ser usado para predecir la distribución geográfica de carbonatos sedimentarios, como el caso de los

sedimentos bajo agua con Ω menor que 1, que deberían estar libres de calizas calcáreas y viceversa.

El ANOVA registró concentraciones del Ω arag. y Ω Calc, con diferencias significativas entre las estaciones, profundidades y meses (Tabla 4).

FUGACIDAD (FCO₂)

La dinámica del carbono en humedales de agua dulce es muy compleja, involucra la captación de CO₂ atmosférico por la vegetación, así como la acumulación de materia orgánica en los suelos debido a la baja tasa de descomposición bajo condiciones de inundación (PAZ & RODRÍGUEZ 2016). En el humedal el Hato, se pudo constatar una fugacidad del dióxido de carbono (fCO₂), con promedio de 1160,37 μ atm (Tabla 2), afectada por factores físicos y bioquímicos, como la temperatura, la producción primaria, y concentraciones TCO₂, que interactúan para controlar su variaciones (ASTOR *et al.* 2005).

En la Fig.19A se muestra una distribución temporal con tres puntos relevantes entre, octubre, noviembre y diciembre, dichos meses entran entre el periodo de transición e inicio de época de lluvia, con su máxima concentración encontrada en el mes de diciembre con 1408,44 μ atm y la mínima en el mes de abril (4,33 μ atm).

Como ya se ha mencionado, el mes de diciembre, pertenece al periodo de lluvia en la zona, por tanto, se presume que el humedal en dicho mes pudo recibir aguas de escorrentías cargadas de materia orgánica, que a pesar de haber ocurrido el proceso de fotosíntesis, posiblemente en la noche los organismos pudieron haber respirado CO₂ con más proporción, por la mayor actividad fotosintética ocurrida en el periodo diurno, además de encontrarse una de las más altas temperaturas durante todo el periodo de estudio, por lo que se presume que el flujo de

CO₂ agua-atmósfera aumentó con la temperatura; el CO₂ fijado por el fitoplancton posiblemente es proveniente de los procesos respiratorios ocurridos dentro del humedal y no del atmosférico (LADINO-ORJUELA 2011)

BEITA-SANDÍ & BARAHONA (2011), mencionaron que un cuerpo de agua donde haya una alta productividad primaria durante el día, el fitoplancton puede consumir el CO₂ disuelto a una tasa mayor con la que se reemplaza desde la atmósfera, sin embargo, durante la noche la productividad primaria baja y aumenta la tasa de intercambio de CO₂ atmosférico, restableciéndose el valor de pH.

Por su parte, en el mes de abril se pudo apreciar la mínima concentración, ubicado en el período de transición, donde se presume que ocurrió captación de CO₂ atmosférico para la actividad fotosintética. LADINO-ORJUELA (2011), mencionaron que una de las alternativas para disminuir la concentración de CO₂ en los cuerpos de agua, es por medio del el fitoplancton, que a través de la luz solar permiten incorporar suficiente CO₂, incluso para modificar el pH del mismo.

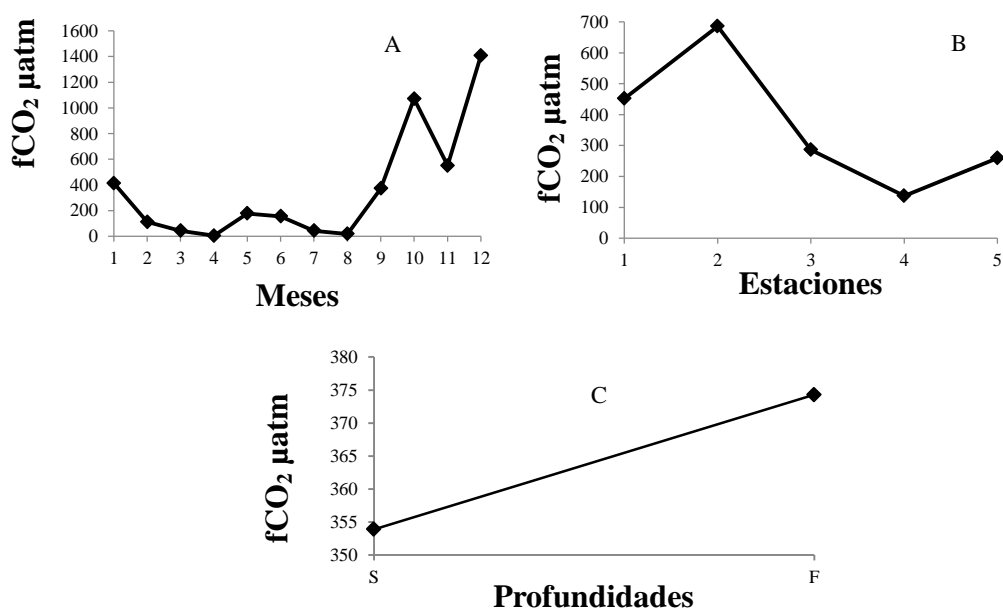


Fig. 19. Variación de la $f\text{CO}_2$ entre los meses (A), estaciones (B) y profundidad(C) durante el año 2015, en el humedal el Hato.

En la distribución espacial, Fig.19A, se observó que la estación con la máxima concentración registrada fue en la 2 (3945,50 μatm) y la mínima en la estación 4 (137,23 μatm). Como ya se ha mencionado, las dos primeras estaciones (1 y 2), tuvieron la particularidad de tener incidencia de aguas de escorrentías, puesto que fueron ubicados en los canales de drenaje de aguas fluviales que van hacia el humedal, por lo cual mayor influencia de materia orgánica, dando pie a la degradación de materia orgánica, por ende emisión de CO_2 .

Respecto a los estratos de profundidad, se pudo determinar la máxima concentración en el fondo, con 374,29 μatm y en la superficie la mínima, con 353,89 μatm . Estos resultados se deben a que los humedales participan en el reciclaje del carbono atmosférico de dos maneras: al capturarlo y transformarlo en materia viva durante la fotosíntesis, y al secuestrarlo en el suelo; al depositarse caer los residuos orgánicos de la planta o cuando ésta llega al suelo por senescencia, el material vegetal se acumula en la superficie y se forma una capa de suelo muy rica en materia orgánica (turba), que permite más descomposición; mientras que en la superficie la producción primaria ocurre principalmente en los primeros 10 a 20 centímetros de la columna de agua (AVNIMELECH 2003).

HANSSEL *et al.* (2004), señalaron que si es transferido gran cantidad de carbono hacia las aguas profundas de un cuerpo de agua el pH disminuirá, y la $f\text{CO}_2$ se incrementará, por tanto, funcionará como una fuente de CO_2 para la atmósfera. En el caso del humedal el carbono orgánico particulado es reciclado en el sedimento, causando un descenso del pH e incrementando la $f\text{CO}_2$ en el fondo del humedal.

Además, el carbono fijado por el fitoplancton que no se remineraliza se hunde en el sistema acuático hacia el fondo, sufriendo un proceso de enterramiento en los sedimentos, representando un sumidero a largo plazo del CO₂ (MULLER-KARGER *et al.* 2005). CHEM *et al.* (2002), sugieren que los procesos biológicos también propician la rápida sedimentación de partículas de carbonato, como la ingestión y digestión del zooplancton. Estudios previos han reportado que el carbono es acumulado en el suelo-sedimento de humedales que varía de acuerdo con condiciones climáticas, tipo de vegetación, hidrología y condiciones físico-químicas del suelo.

Se puede apreciar en la tabla 4, que la fCO₂ arrojó diferencias significativas entre las estaciones, profundidades y meses.

III.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los parámetros fisicoquímicos, biológicos y del sistema carbónico del agua del humedal el Hato, demostraron valores estadísticos significativos, para un nivel de $P < 0,05$, durante el año de estudio (2015), con la prueba estadística aplicada, ANOVA. Esto difiere con los resultados obtenidos a nivel espacial, puesto que solo fueron significativos: T, OD, UAO, PO₄³⁻, Chl-*a*, pH, TCO₂, CO₃²⁻, Ωcal, Ωarag y fCO₂. Mientras que a considerar las profundidades, solo fueron significativos: T, OD, UAO, NO₂⁻, NH₄⁺, Chl-*a*, CO₃²⁻, Ωcal y Ωarag (Tabla 2, Tabla 4).

En los resultados obtenidos del ACP, para el humedal el Hato, Fig.20, se aprecia que entre los dos primeros componentes existe una varianza total de 57,78 %. El modelo contiene las varianzas explicadas en los dos primeros componente; el componente 1 (C1) registró el 31,06 % y el componente 2 (C2) el 26,73% de la variabilidad de los datos. Aquellos componentes que representan el restante 42,21 % de la varianza no fueron tomados en cuenta para el análisis.

Como el C1 es el de mayor peso, es el que tiene más valor para explicar las correlaciones de los parámetros.

En la Fig.20, se pudo evidenciar que el C1 está influenciado mayoritariamente por HCO_3^- , TCO_2 , AT y SiO_4^{4-} , con porcentajes de contribución de 16,49 %, 15,66 %, 14,31 % y 8,502% respectivamente; sus vectores propios apuntan en la misma dirección de las abscisas. En este componente se correlacionan positivamente la fCO_2 , HCO_3^- , SiO_4^{4-} , TCO_2 , $\text{Chl-}a$, S, AT, NO_2^- , T y UAO, pero negativamente el Ω_{arag} y Ω_{cal} , OD, CO_3^{2-} , pH y NO_3^- .

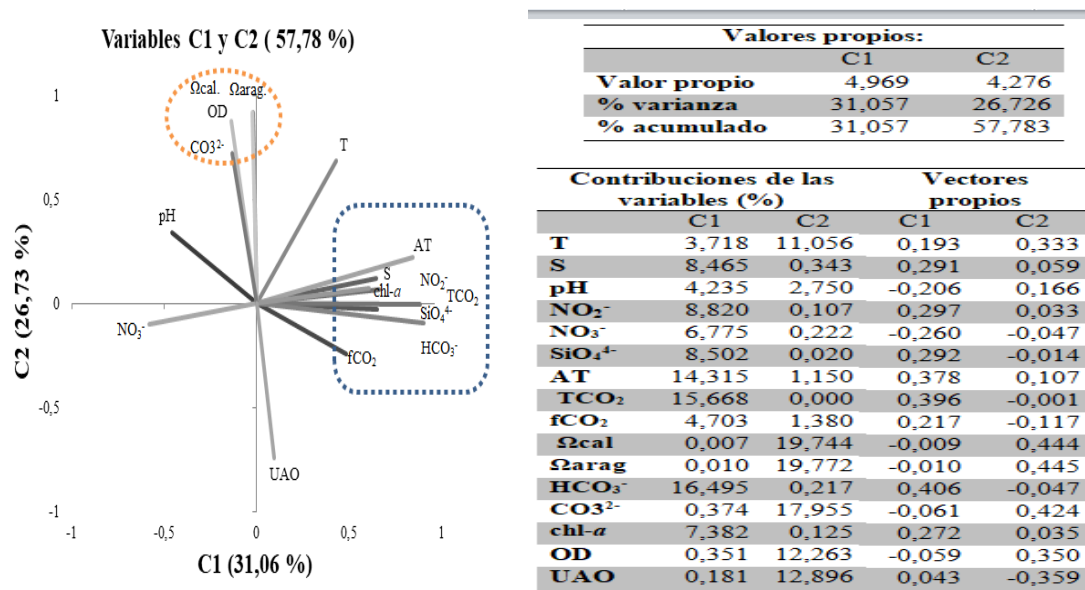


Fig. 20. Componentes Principales para los parámetros fisicoquímicos, biológicos y del sistema carbónico del humedal el Hato durante el año 2015.

El C2 está dominado por Ω_{arag} . (19,77%) y Ω_{cal} . (19,74%), CO_3^{2-} (17,95 %) y T (11,056 %), con las mismas direcciones entre sus vectores propios. En este componente se observa la correlación inversa entre la T, S, pH, NO_2^- , AT, Ω_{arag} , Ω_{cal} , CO_3^{2-} , $\text{Chl-}a$ y OD, con NO_3^- , SiO_4^{4-} , TCO_2 , fCO_2 , HCO_3^- , y UAO.

IV. CONCLUSIONES

Todos los parámetros fisicoquímicos, biológicos y del sistema carbónico en el humedal el Hato, demostraron valores estadísticos significativos, en la distribución temporal, pero a nivel espacial solo fueron significativos la temperatura, OD, UAO, PO_4^{3-} , Chl-*a*, pH, TCO_2 , CO_3^{2-} , Ω_{cal} , Ω_{arag} y fCO_2 ; y de acuerdo a la profundidad solo fueron significativos: temperatura, OD, UAO, NO_2^- , NH_4^+ , Chl-*a*, CO_3^{2-} , Ω_{cal} y Ω_{arag} .

En la distribución temporal y espacial predominó la actividad fotosintética, lo cual incidió en el incremento del pH, que al mismo tiempo es atribuible a las variaciones de los compuestos de carbono inorgánico, como el CO_3^{2-} y el HCO_3^- , los cuales también demostraron tener incidencia de la temperatura.

A pesar de ser el humedal el Hato un cuerpo de agua somero, en la superficie predominó la actividad fotosintética, lo cual incidió en el incremento del pH, que acompañado de la temperatura se atribuyó en los aumentos de concentración del CO_3^{2-} y Ω_{cal} y Ω_{arag} . Mientras que en las aguas de fondo se apreció pH más bajo debido a la descomposición de la materia orgánica.

En el humedal el Hato es considerado que el CaCO_3 se encontró de manera disuelta en el agua, a excepción de un periodo de tiempo en el cual precipitó, en el cual fue considerado el sedimento del humedal sumidero de carbono.

V. RECOMENDACIONES

El conocimiento del comportamiento de los humedales, puede contribuir a una planificación sustentable que propicie la disminución de emisiones y el aumento de la captura de gases invernadero, por eso es necesario estudios en diferentes humedales , comparar la dinámica de los cuerpos de aguas dulceacuícolas con los salados, y ver su impacto a nivel regional y global, implementando muestreos continuos que abarquen ciclos diurnos, con la finalidad de constatar los procesos responsables de la variabilidad de los flujos de carbono y su intercambio con la atmósfera.

VI. BIBLIOGRAFIA

- ALARCÓN, E., V , NOLASCA & T, RODRIGO. 2015. Saturación del carbonato de calcio en un área de cultivo de mitílidos en el Seno Reloncaví, Patagonia norte, Chile . *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 43(2): 277-281
- ÁLVAREZ, X. 1998. Ciclos biogeoquímicos en sistemas marinos. Programa de Doctorado. Dep. Ecol. Univ. Vigo. España, 90
- ANTHONY, K., N, KLINE., D. I, DÍAZ-PULIDO., G, DOVE. & O, HOEGH-GULDBERG. 2008. Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. *Proceeding of the National Academy of Sciences.*105: 17442-17446.
- ARCOS, D., L. FURED. , F. CARRASCO, S. NÚÑEZ & F. VARGAS. 1993. Eutroficación del ambiente marino de Chile central: efectos inducidos por la evaluación de residuos industriales líquidos. *Investigaciones Marinas de Valparaíso.* 21:51-74 .
- ARREDONDO, J. & J. PONCE. 1999. *Calidad del agua en acuicultura, conceptos y aplicaciones.* México, D.F, 222 .
- AROCENA, R. & N. MAZZEO. 1994. Microfitos acuáticos de un arroyo urbano en Uruguay: Su relación con la calidad del agua. *Rev. Bio. Trop.* 42(3):723-728.
- ASTOR, Y. 1996. *Manual de análisis de aguas para la acuicultura y las ciencias del mar.* Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Colección Cuadernos FLASA, Serie Ciencia y Tecnología, Caracas Venezuela, 89.
- ASTOR, Y., F, SCRANTON ., MULLER-KARGER., R, BOHRERD. & J. GARCIA. 2005. fCO₂ variability at the Cariaco tropical coastal upwelling time series station. *Mar. Chem.* 97: 245-261.

- ASTOR, Y., R, LORENZONI., R, THUNELL., F,VARELA., MULLER-KARGER, L.TROCCOLI, G.T. ,TAYLOR, M. SCRANTON, E.TAPPA. & D. RUEDA. 2013. Interannual variability in sea surface temperature and fCO₂ changes in the Cariaco Basin. *Deep. Sea. Res.* 93: 33-43 .
- AVNIMELECH, Y. 2003. "Shrimp and fish pond soils: processes and management." *Aquaculture.* 220: 549-567 .
- BENDSCHNEIDER, K., & R. ROBINSON. 1952. A new spectrophometric determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.* 11:87-96.
- BERNAL, J. 2010. *Taxonomía de microalgas en la laguna El Hato, Municipio García Estado Nueva Esparta.* Trabajo presentado como requisito para ascender a la categoría de profesor asistente. Universidad de Oriente Núcleo Sucre, Cumaná, Venezuela, 29.
- BIDLE, KD., M MANGANELLI & F, AZAM. 2002. Regulation of oceanic silicon and carbon preservation by temperature control on bacteria. *Science.* 298: 1980-1984.
- BREWER, P., WONG M., BACON D & D, SPENCER. 1975. An oceanic calcium problem? *Earth Planet. Sci. Lett.* 26: 81-87.
- BOTERO-ÁLVAREZ, CRISTIAN., MONTOYA-MORENO, YIMMY., AGUIRRE-RAMÍREZ., NÉSTOR JAIME, VÉLEZ-MACIAS, FABIO DE JESÚS., HERNÁNDEZ ATILANO, ESNEDY. 2020. Vegetación acuática y semiacuática en tres ríos altoandinos y su relación con la fisicoquímica del agua. *Politécnica.* (16):31:138-150. DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n31a10>.
- BOUDREAU, B.P. JACK J. MIDDELBURG & YIMING LUO. 2018. The role of calcification in carbonate compensation. *Nature Geosc.* 11: 894-900.

- BOYD C. 1982. *Water Quality Management for Fish Pond Culture*. El sevier Scientific Publishing. 318.
- BREWER P.G, G.T WONG M.D BACON.& D. SPENCER.1975. An oceanic calcium problem Earth Planet. *Sci. Lett.* 26: 81-87.
- BUDDEMEIER, R. W., SMITH, S. V., WULFF, F., SWANEY, D. P., CAMACHO-IBAR, V. F., DAVID, L. T., & SANDHEI, P., 2005. C, N, P fluxes in the coastal zone. *Coastal fluxes in the Anthropocene*. 1: 95-143.
- BUSTOS, H. 2010. "The Carbonate System in Natural Waters". *Open Access Dissertations*. 493: 12-14 pp.
- CANFIE, D. 1993. *Organic matter oxidation in marine sediments*. En : Zepp, Richard (Ed). The role of nonliving organic matter in the earth's carbon cycle: Interactions of C, N, P, and S biogeochemical cycles. John Wiley and Sons Ed. New York, United States. 358 .
- CASALLAS, J. & GUNTER, G. 2001. Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. *Limnética*. 20(2): 215-232 .
- CHEN-TUNG A. 2002. Shelf-vs. dissolution-generated alkalinity above the chemical lysocline. *Deep Sea Res., Part II*. 49: 5365-5375.
- CYRONAK, T., ANDERSSON, A. J., LANGDON, C., ALBRIGHT, R., BATES, N. R., CALDEIRA, K., CARLTON, R., CORREDOR, J. E., DUNBAR, R. B., ENOCHS, I., EREZ, J., EYRE, B. D., GATTUSO, J.-P., GLEDHILL, D., KAYANNE, H., KLINE, D. I., KOWEEK, D. A., LANTZ, C., LAZAR, B., MANZELLO, D., MCMAHON, A., MELÉNDEZ, M., PAGE, H. N., SANTOS, I. R., SCHULZ, K. G., SHAW, E., SILVERMAN, J., SUZUKI, A., TENEVA, L., WATANABE, A., &

- YAMAMOTO, S. 2018: Taking the metabolic pulse of the world's coral reefs. *Plos one*.(13) 19:872. CHIANDANI, G. & M. VIGHI. 1974. The N: P ratio and testes with *Selenastrum* to predict eutrofication in lakes. *Limnética*. 120:1062-1069 .
- DEBORDE J, P ANSCHUTZ, G CHAILLOU, H ETCHEBER, MV COMMARIEU, P LECROART & G ABRIL. 2007. The dynamics of phosphorus in turbid estuarine systems: Example of the Gironde estuary (France). *Limnology and Oceanography*. 52: 862-872
- DECARLO T. M., COHEN, A. L., WONG, G. T. F., SHIAH, F. K., LENTZ, S. J., DAVIS, K. A., SHAMBERGER, K. E. F., & LOHMANN, P. 2017: Community production modulates coral reef pH and the sensitivity of ecosystem calcification to ocean acidification, *J. Geophys. Res.- Oceans*. 122: 745-761
- DICKSON, A. 1990. Termodinámica de la disociación del ácido bórico en agua de mar sintética de 273,15 a 318,15 K. *Deep-Sea Research*. 37:755-766
- DORIA, C.; DAZA, A.; DELUQUE, H.; LÓPEZ, A. & SERNA, J. 2009. *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas de reservorios en los resguardos indígenas localizados en la zona de influencia del Complejo Carbonífero Cerrejón, La Guajira-Colombia*. Fundación Cerrejón para el Agua en La Guajira,7.
- ENRIQUEZ, A. & CREMONA, M. 2017. Humedales patagónicos como reservorios de carbono. Una función poco reconocida en un mundo cambiante. *Presencia*. 67:3.
- ERASO, A.; LÓPEZ, V.; LÓPEZ, M.; NAVARRO, J.; SUSO J. & SANTOS, V. 1979. Estudios de las torcas Palaneres y Cañadas del Hoyo en el karst de la Serranía de Cuencas. *Kobie (Bilbao)*. 9:769.

- ESPINOSA PAZ, TONY M. & RODRIGUEZ, CARMEN 2016. Determinación del índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Morón y Patanemo del Estado Carabobo, en Venezuela. (23):2: 204-215.
- FEELY R, C. L. SABINE, J. MARTIN HERNANDEZ-AYON, D. IANSON. & B. HALES. 2008. Evidence for Upwelling of Corrosive Acidified Water on to the Continental Shelf. *Science*. 1490-1491.
- FRAGA 1972. *El agua marina*. En: Hnos. Ginés y Margalef, R. (Ed). Ecología Marina. Fundación La Salle. Editorial Dossat S.A. Caracas, Venezuela. 67-99.
- FRAGA F. 2001. Phytoplanktonic biomass synthesis: application to deviations from Redfield stoichiometry. *Sci. Mar.* 65 (2)153-169.
- GARZÓN, Z. 1990. *Caracterización saprotrófica de los lagos Cráter de la región de los Llanos Puebla*. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, 90.
- GEIDER, R. & OSBORNE, B. 1992. *Algal photosynthesis. The Measurement of Algal Gas Exchange*. Chapman and Hall. London, 256.
- HANSELL, D. & C. CARLSON. 2001. Marine Dissolved Organic Matter and the Carbon Cycle. *Oceanogr.*14: 4.41-49.
- HANSELL, D., D. KADKO & N. BATES. 2004. Degradation of terrigenous dissolved organic carbon in the western Arctic Ocean. *Science*: 304:858- 861.
- HERNÁNDEZ, M. & CASASOLA, P. 2018. Almacenes y flujos de carbono en Humedales de agua dulce en México. *Madera y Bosques*. 24:e2401881.

- HERNÁNDEZ, D. & OCANTO, J. 2010. *Caracterización físico-química, bacteriológica, pigmentos fotosintéticos y sedimentológicas de la laguna El Hato sector La Isleta, Isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta*. Trab. Grad. Lic. Acuicultura, Universidad de Oriente, Boca de Río, Venezuela, 178.
- HERNÁNDEZ, M. E. (2010). El papel de los suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoam.* 28(2):139-147.
- HOLMES, S. 1996. South African Water Quality Guidelines. Department of Water Affairs and Forestry. First edition *Aquatic Ecosystems*. 7:162.
- ILYINA & ZEEBE 2012. Detection and projection of carbonate dissolution in the water column and deep-sea sediments due to ocean acidification. *Geophys. Res. Lett.* 39:66-6 .
- IQBAL, M., E.J. BROWN & M. E. CLAYTON. 2006. Distribution of phosphorus in a biologically restricted lake in Iowa, USA. *Journal Hydrology*. 326: 349 -366.
- JAWAD AL OBAIDY, A. & JOSHI, H. 2006. Chemical composition of rainwater in a tropical urban area of northern India. *Applied Technology and Management Environmental*. 40: 6886-6891.
- KOEVE, W. & A. OSCHLIES. 2012. Potential impact of DOM accumulation of fCO₂ and carbonate ion computations in ocean acidification experiments. *Bio geosc.* 9: 3787-3798.
- KOROLEFF, F. 1969. Direct Determination of Ammonia in Natural Waters as Indophenol Blue. *ICES, C.M 1969/c: Hydr. Cumm.* 3: 10-230.
- KOROLEFF, F. 1976. *Determination of nutrients*. In: *Methods of Seawater Analysis*, Grasshoff K.Ed., Weinheim Germany and New York NY, Verlag Chemie. 460.

- LEE, K. 2000. Global net community production estimated from the annual cycle of surface water total dissolved inorganic carbon. *Limnol. Oceanogr.* 46:1287-1297.
- LERMAN, A. F MACKENZIE & L. VER. 2002. Nitrogen and phosphorus controls of the carbon. *J. Conf.* (2):5:638.
- LIBES, S. M. 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley & Sons edition, New York, USA, 734.
- LIBES 2000. *A introduction to marine biogeochemistry*. Second Edition. AP (Ed). New York, USA, 760.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., DOMÍNGUEZ, J. & DUARTE, N. 1985. Parámetros que controlan los niveles de fósforo en aguas y sedimentos de una laguna costera (Laguna de Tacarigua) *Bol. Inst. Oc. de Vzla.* 25 (1 y 2): 225-236.
- LORENZEN, C. J. 1966. A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep-Sea Res.* 13: 223-227.
- MARCANO, A JULIO C. RODRÍGUEZ R. & DEYANIRA LÓPEZ 2014. Composición y estructura de la vegetación en un humedal dulceacuícola del Monumento Natural Laguna de Las Marites, estado Nueva Esparta, Venezuela. *Ciencia.* 22(2):90-103.
- MARGALEF, R. 1993. *Limnología*. Teoría de los ecosistemas ecológicos. Publicaciones Universitarias de Barcelona. Barcelona, 290.
- MÁRQUEZ, A. 2015. *Dinámica de nutrientes y del sistema carbónico en la Depresión oriental de la Cuenca de Cariaco, Venezuela*. Trabajo de grado para optar al título a doctor en ciencias marinas . Universidad de Oriente, Sucre, Venezuela, 213.

- MEHRBACH C, C. CURBERSON, J. HAWLEY. & T. PYTKOWICZ. 1973. Measurement of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure. *Limnol. Oceanogr.* 18: 897-907.
- MIMAM 2000. Libro blanco del agua en España. Madrid: Ed. Ministerio de Medio Ambiente. 637.
- MILLERO, F.J. 1995. The thermodynamics of the carbonic acid system in the oceans. *Geochim.Cosmochim. Acta.* 59: 661-667.
- MORA, A.; SÁNCHEZ, L., MAC-QUHAE, C.; VISÁEZ, F. & CALZADILLA, M. 2008. Geoquímica de los ríos morichales de los llanos orientales Venezolanos. *Interciencia.* 33 (10): 717-724.
- MULLER-KARGER F., VARELA, R., THUNELL R; LUERSSSEN, C. & J. J.WALSH. 2005. The importance of continental margins in the global carbon cycle. *Geoph. Res. Lett:* 32: L01602. Doi:10.1029/2004GL021346.
- MULLIN J. & J. RILEY. 1955. The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta.*12: 162-170.
- MURPHY, J. & J. RILEY. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 12:162-170.
- NORIEGA, C.; MUNIZ, K., FLORES, M., MACÊDO, S., ARAUJO, M., FEITOSA, F. & LACERDA, S. 2009. Series temporales de variables hidrobiológicas en un estuario tropical, Brasil. *Rev. de Biol. Mar. Oceanog.* 44 (1): 93-108.

- OKUDA, T., GARCÍA, A., GAMBOA, B. & FERNÁNDEZ, E. 1978. Variación estacional del fósforo y nitrógeno inorgánicos en el Golfo de Cariaco Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico*. 17(1 y 2): 789-104.
- LADINO-ORJUELA. 2011. Dinámica del Carbono en estanques de peces. *Orinoquia* 15(1):48-61.
- ORR J., EPITALON J. & GATTUSO J. (2015). "Comparación de diez paquetes que calculan la química del carbonato del océano". *Biogeociencias*. 12 (5): 1483-1510 pp. Doi : 10.5194 / bg-12-1483-2015.
- PALAZÓN, J. & PENOTH, E. 1994. Condiciones Hidroquímicos de la Laguna de Raya, Isla de Margarita, Venezuela, durante el periodo comprendido entre febrero de 1986 y febrero de 1987. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*. 33(1 y 2): 5-17 pp.
- PALAZÓN, J. & PENOTH, E. 1998. Condiciones Hidroquímicos de las aguas superficiales de la Laguna Boca de Palo, Isla de Margarita, Venezuela. *Bol. Inst. Oc. de Vzla*. 37(1 y 2): 3 - 15.
- PAZ, E. & RODRIGUEZ, C. 2016. Determinación del índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Morón y Patanemo del Estado Carabobo, en Venezuela. *Ingeniería UC*, (23)2:204-215.
- PALLÉC 2018. El dióxido de carbono como forma sostenible de reducir el pH del agua. *Tecnoaqua*. 34:84-88.
- PERDOMO, C., O, CASSANOVA. & CIGANDA, V. 2001. Contaminación de las aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el Litoral Sudoeste del Uruguay. *Agrociencia*. 54: 10-22.

- PÉREZ, I. 2017. *Dinámica del carbono inorgánico y grado de saturación del CaCO₃ en el estuario del río Guadalete*. Grado en Ciencias del Mar. Trab. Grad. Lic. En Ciencias del mar , Universidad de Cádiz, Colombia, 36.
- PILSON, M.1998. *An Introduction to the Chemistry of the Sea*, Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J. USA, 220 .
- PLAN DE ORDENAMIENTO Y REGLAMENTO DE USO DEL MONUMENTO NATURAL LAGUNA DE LAS MARITES , 2009. 80.
- REDDY, K., KADLEC, R., FLAING, E. & GALE, M. 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 29:83-95.
- RIEBESSELL U, V.J. FABRY, L. HANSSON. & J.P. GATTUSO. 2010. *Guide to best practices for 185 ocean acidification research and data reporting*.IN: Riebesell et al. (Eds). EUR24328 IN: Publication Office of the European Union, 260.
- RODRIGO, M., CABALLERO, C., ROJO, C. & ÁLVAREZ, M. 2005. Capacidad de retención del nitrógeno por el macrófito *Chara hispida* procedente de una laguna de Rudiera. Encuentro Internacional en Fitodepuración. España, 216-222 pp.
- RODRIGUEZ M, J. (1999). *Fisicoquímica de Aguas*. Ediciones Díaz de Santos,Casa del Libro, Madrid, España, 435.
- RODRÍGUEZ 2016. Grado de saturación del carbonato cálcico en sistemas costeros, Universidad de Cádiz. Colombia. Trabajo de grado en Ciencias del Mar, 45.

- RODRÍGUEZ, J., LÓPEZ, D., MÁRCANO, A., LÓPEZ, J., GUILARTE, A. & BARRETO, J. 2008. Composición macroflorística de la laguna El Hato en el monumento natural laguna de Las Marites, isla de Margarita. *Congreso Científico de la Universidad de Oriente*, 7 .
- RUDD, W., KELLY, C., LOUIS, V., HESSLEIN, R.; FURUTANI, A. & HALOCA, M. 1986. Microbial consumption of nitric and sulfuric acids in acidified north temperate lakes. *Limnology and Oceanography*. 31: 1267-1280.
- SARMIENTO, J. & GRUBER, N. 2006. *Ocean biogeochemical dynamics*. Princeton, Woodstock: Princeton University Press, 503.
- SERRA, M.; MIRACLE, M. & VICENTE, E. 1984. Interrelaciones entre los principales parámetros de la Albufera de Valencia. *Limnética*. 1: 9-19.
- STRICKLAND, J. & PARSONS, T. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Second Edition, Ottawa, Fish. Res. Board of Canada, 168.
- STUMM W. & J.J. MORGAN 1981. *Aquatic Chemistry*, Second Edition. Wiley (Ed), New York, USA, 180.
- UNAL - CORMAGDALENA. (2007). Estudios e investigaciones de las obras de restauración ambiental y de navegación del Canal del Dique. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 37.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENCE AND CULTURAL (UNESCO). 1981. Coastal lagoon research, present and future. *Technical Papers in Marine Science*. 32: 1-97.
- WEIHAUPT, J. 1984. *Exploración de los océanos: Introducción a la oceanografía*. Editorial Continental. México D.F. México, 640 .

WETZEL, R. 1983. *Limnology*. Saunders. Nueva York, 767.

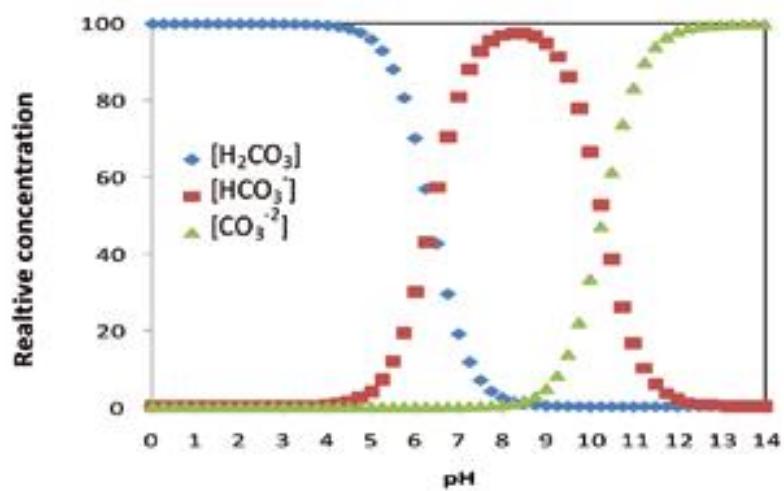
WETZEL, R. 2001. *Limnology*, 3ra ed. Academic Press, New York. 1006.

WIUM-ANDERSEN, S; ANTHONI, U; CHRISTOPHERSEN, C. & HOUEN, G. 1982. Allelopathic effects on phytoplankton by substances isolated from aquatic macrophytes (Charales). *Oikos*. 39:187-190.

YAMAMOTO-KAWAI, M., KAWAMURA, N., ONO, T., KOSUGI, N., KUBO, A., ISHII, M., KANDA, J., 2015. Calcium carbonate saturation and ocean acidification in Tokyo Bay, Japan. *Oceanography*. 71(4): 427-439.

ZEEBE, R. & D. WOLF-GLADROW. 2001. CO₂ in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes. Elsevier *Oceanogr. Ser.* 65: 346.

VII. ANEXOS



Especies de CO₂ en agua en función del pH (adaptado de PALLÉC 2018).

VIII. METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL SISTEMA CARBÓNICO EN EL HUMEDAL EL HATO, ISLA DE MARGARITA, EDO. NUEVA ESPARTA, VENEZUELA.	
Subtítulo		
Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
ANAIS DEL VALLE DÍAZ GONZÁLEZ	CVLAC	22.630.905
	e-mail	ANAISD1990@GMAIL.COM
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Carbónico, cárstico, humedal.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub área
Ciencias Marinas	Oceanografía Química

Resumen (abstracto):

El humedal El Hato, es un biotopo dulceacuícola permanente de agua continental, con paisaje cárstico que forma parte del monumento natural laguna de las Marites. Está sometido al régimen de sequía y lluvia prevaleciente en la geografía del Estado Nueva Esparta, lo cual induce a una variación en los niveles del agua e inundación de sus sedimentos, que contribuyó a los cambios de concentraciones de las variables fisicoquímicas, biológicas, así como en el sistema carbónico; por tal razón, se realizó una evaluación de la variaciones espaciotemporal de estos factores dentro del humedal. El estudio se realizó durante el año 2015, con 5 estaciones, en dos estratos, a los 10 cm de la superficie y a 20 cm del fondo aproximadamente. Se determinó que a nivel temporal los parámetros mostraron diferencias significativas, sin embargo, a nivel espacial solo fueron significativos: temperatura, OD, UAO, PO_4^{3-} , Chl-*a*, pH, TCO₂, CO_3^{2-} , Ω_{cal} , Ω_{arag} y fCO₂; en cuanto a las profundidades solo fueron significativos: temperatura, OD, UAO, NO₂⁻, NH₄⁺, Chl-*a*, CO_3^{2-} , Ω_{cal} y Ω_{arag} . Se apreció alta tasa de actividad fotosintética, que influyó en las concentraciones de Ω_{cal} y Ω_{arag} , con valores <1, a excepción de un valor determinado temporalmente, con Ω_{cal} >1, el cual indicó precipitación del CaCO₃, actuando los sedimentos del cuerpo de agua como sumidero. En el ACP se pudo apreciar la correlación positiva entre el OD, el pH, CO_3^{2-} , Ω_{cal} y Ω_{arag} , y negativamente con la fCO₂, determinándose que el carbono inorgánico se encuentra disuelto en el agua, actuando como fuente de carbono.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
ARISTIDE MARQUEZ	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input checked="" type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	8641927
	e-mail	ARISTD@GMAIL.COM
	e-mail	
FERNANDO MARIN	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	15936895
	e-mail	marinjimenezfernando@gmail.com
	e-mail	
EDGAR GARCIA	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	15317801
	e-mail	tukani82@gmail.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2021	07	27

Lenguaje: SPA _____

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis Postgrado Anais	Application/Word

Alcance:

Espacial: _____ (Opcional)

Temporal: _____ (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Magister Scientiarum en Ciencias Marinas

Nivel Asociado con el Trabajo: Magister

Área de Estudio: Ciencias Marinas, mención Oceanografía Química

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

[Handwritten Signature]

JUAN A. BOLAÑOS CUMBELO
Secretario

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *[Handwritten Signature]*

FECHA 5/8/09 HORA 5:20

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/marija

Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso- 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : “los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”.



ANAIS DIAZ

AUTOR



ARISTIDE MARQUEZ

ASESOR