

An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín	24	123 - 134	Santa Marta-Colombia, 1995	ISSN 0120-3959
------------------------------------	----	-----------	----------------------------	----------------

ANALISIS DE CLASIFICACION DE SERIES TEMPORALES: EL CASO DE LA SALINIDAD EN LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA, COLOMBIA

*Ramón Giraldo H. , Jorge Martínez C. , Luís H. Hurtado T.,
Sven Zea , y Eira R. Madera R.*

RESUMEN

Se realizó una clasificación numérica de 21 estaciones de monitoreo del sistema laguno-estuarino comprendido por la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Complejo Pajarales , de acuerdo a su similitud en el comportamiento de la salinidad del agua. Se utilizó información quincenal comprendida entre enero de 1987 y octubre de 1991. Debido a la estructura de autocorrelación de los datos fue necesario emplear los modelos ARIMA de series de tiempo en primer lugar, y posteriormente aplicar una técnica de clasificación normal con los coeficientes de la representación infinita AR calculados para cada estación. Los resultados del análisis fueron coherentes con las hipótesis planteadas acerca de la distribución de la variable en el sistema.

ABSTRACT

A numerical classification of 21 monitoring stations of the lagoonal - estuarine system comprised by the Ciénaga Grande de Santa Marta and Pajarales complex was carried out according to their similarity in water salinity behavior. Biweekly data from January 1987 to October 1991 was used. Due to the autocorrelation structure of the data, it was necessary to use first time series ARIMA models , followed by normal cluster analysis of the AR coefficients of infinite representation calculated for each station. The results were coherent with hypotheses concerning the distribution of the variable in the system.

INTRODUCCION

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) es una laguna costera tropical con características de estuario, ubicada en la costa norte de Colombia, entre los 10° 43' -11° 00'N y 74° 15' -35'W (IGAC, 1973). Por su gran área(450 km²) y ubicación,

es considerada como uno de los ecosistemas laguno-estuarinos más importantes de la cuenca del Caribe, tanto a nivel ecológico como económico. Por el costado occidental limita con el Complejo Pajarales (CP); por el oriente lo hace con la Sierra Nevada de Santa Marta (la serranía costera más alta del mundo) y por el norte con el mar Caribe (figura 1). El CP es un sistema de lagunas costeras localizado entre los $10^{\circ} 45' - 11^{\circ} 00'N$ y $74^{\circ} 25' - 45'W$ (IGAC, 1973). Se comunica por el occidente con el Río Magdalena por medio del Caño Clarín, por el oriente lo hace con la CGSM a través de los Caños Clarín y Grande y al norte es separado del mar Caribe por la Isla Salamanca (figura 1).

Este ecosistema presenta un avanzado estado de deterioro ambiental (Mancera y Botero, 1993), debido a lo cual se creó un proyecto Colombo - Alemán que busca mejorar las condiciones del mismo, mediante la ejecución de un plan de manejo ambiental. Uno de los aspectos que involucra el plan en su etapa de diagnóstico es la determinación del comportamiento espacio - temporal de las variables más importantes en el sistema.

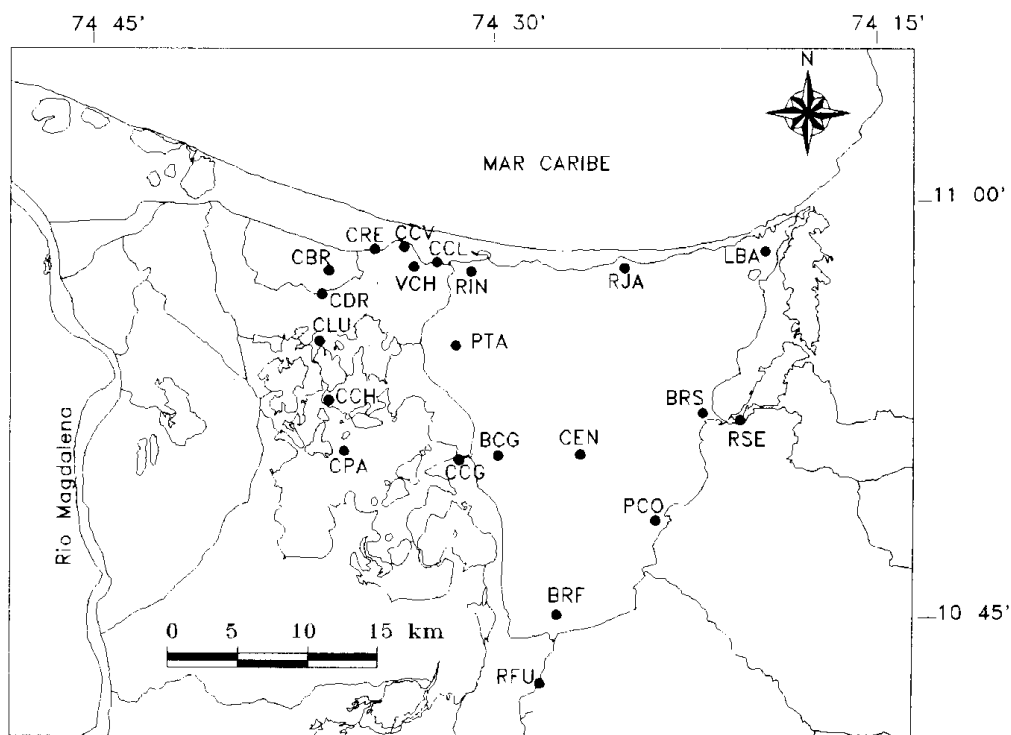


Figura 1. Área de Estudio y ubicación de las estaciones de monitoreo. BRF = Boca Río Fundación; BRS = Boca Río Sevilla; PCO = Punta Congo; CEN = Centro; BCG = Boca de Caño Grande; RIN = Rinconada; RJA = Rincón del Jagüey; CCG = Canal de Caño Grande; CCL = Canal de Caño Clarín; LBA = La Barra; PTA = Punta Tambor; CPA = Ciénaga de Pajarales; CRE = Ciénaga la Redonda; CBR = Caño Bristol; CCV = Caño Cara Vaca; VCH = Vuelta Caño Hondo; CCH = Canal de Caño Hondo; CDR = Caño Dragado; CLU = Ciénaga La Luna; RFU = Río Fundación; RSE = Río Sevilla.

En varios trabajos realizados en el sistema CGSM - CP (Botero, 1988; Vidal, 1995), se ha mostrado que la salinidad del agua es una de las variables que más rige los cambios del mismo. Esto, unido a la idea a-priori de que las condiciones de salinidad no son homogéneas dentro de la región de estudio y a la causalidad que se le atribuye a la hipersalinización de algunas zonas en el deterioro ambiental de este ecosistema, justifica la realización de un estudio que permita esbozar diferencias y tener un conocimiento sobre el comportamiento de dicha variable dentro del sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, se planteó como objetivo de este trabajo realizar una clasificación de las estaciones de monitoreo de la CGSM y del CP de acuerdo a su similaridad en el comportamiento de la salinidad del agua, de tal forma que se pueda juzgar estadísticamente la hipótesis de estratificación espacial de dicha variable.

MATERIALES Y METODOS

La información utilizada para realizar el trabajo comprende mediciones quincenales de salinidad entre enero de 1987 y marzo 1991 en cada una de 21 estaciones de monitoreo de la CGSM y el CP, obtenida de la base de datos fisicoquímicos y biológicos de la CGSM (Santos - Martínez, 1991). En algunos casos hubo necesidad de efectuar promedios para conservar esta estructura, y las observaciones faltantes fueron cubiertas interpolando mediante funciones polinomiales (SAS Institute Inc, 1988a). La tabla 1 presenta las estaciones, con el respectivo periodo de información utilizado; en esta se nota claramente que se dispone de una serie temporal en cada una de las 21 estaciones de monitoreo, y que el tiempo total de muestreo no es el mismo en todas las estaciones.

De acuerdo con el objetivo planteado, el problema se limita a realizar una clasificación automática de series temporales; sin embargo, las condiciones de autocorrelación y de diferencia en los tiempos de muestreo limitan el uso directo de metodologías clásicas multivariadas como el análisis de clasificación jerárquica. Debido a las consideraciones anteriores, se decidió emplear un método alternativo (Piccolo, 1990), que consistió en modelar la serie de tiempo de salinidad correspondiente a cada estación por medio de los modelos ARIMA, utilizando la metodología de Box - Jenkins (Box y Jenkins, 1976), es decir cada serie fue modelada mediante:

$$\Phi_p(B^s)\phi_p(B)\nabla^d\nabla_s^D\tilde{Z}_t = \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)a_t \quad (1)$$

(1) se denomina modelo ARIMA (P,D,Q)_s x (p, d, q), en donde B es el operador de retardo, D y d indican respectivamente el orden de la diferenciación

Tabla 1. Estaciones de monitoreo de la CGSM y CP, y período de información de la variable salinidad del agua en cada una de ellas.

ESTACION	CODIGO	PERIODO DE INFORMACION
Boca del Río Fundación	(BRF)	Enero 1987 - Mayo 1991
Boca del Río Sevilla	(BRS)	Enero 1987 - Mayo 1991
Punta Congo	(PCO)	Enero 1987 - Mayo 1991
Centro	(CEN)	Enero 1987 - Mayo 1991
Boca Caño Grande	(BCG)	Enero 1987 - Mayo 1991
Rinconada	(RIN)	Enero 1987 - Mayo 1991
Rincón del Jagüey	(RJA)	Enero 1987 - Mayo 1991
Canal de Caño Grande	(CCG)	Enero 1987 - Mayo 1991
Caño Clarín	(CCL)	Enero 1987 - Marzo 1991
La Barra	(LBA)	Enero 1987 - Mayo 1991
Punta Tambor	(PTA)	Enero 1987 - Marzo 1991
Ciénaga de Pajarales	(CPA)	Octubre 1988 - Marzo 1991
Ciénaga la Redonda	(CRE)	Octubre 1987 - Marzo 1991
Caño Bristol	(CBR)	Octubre 1987 - Marzo 1991
Caño Cara Vaca	(CCV)	Octubre 1987 - Marzo 1991
Vuelta Caño Hondo	(VCH)	Octubre 1987 - Marzo 1991
Canal de Caño Hondo	(CCH)	Octubre 1987 - Marzo 1991
Caño Dragado	(CDR)	Octubre 1987 - Marzo 1991
Ciénaga La Luna	(CLU)	Octubre 1987 - Marzo 1991
Río Fundación	(RFU)	Octubre 1987 - Marzo 1991
Río Sevilla	(RSE)	Octubre 1987 - Marzo 1991

estacional y regular empleada para convertir la serie en estacionaria, s indica el período estacional, P y p indican el orden de la parte autorregresiva, Q y q indican el orden de la parte de media móvil y a_t es un proceso de ruido blanco. Los modelos fueron escogidos a través del estudio de las funciones de autocorrelación simple y parcial de las series estacionarias, y sus parámetros fueron estimados mediante el algoritmo de mínimos cuadrados no lineales de Marquardt; empleando para esto programa de computador Statgraphics plus version 5 - Sgplus (Statistical Graphics Corporation, 1991).

Una vez modeladas las series de tiempo para cada estación mediante (1), estas fueron expresadas de manera común mediante la representación infinita AR (Box y Jenkins, 1976), es decir para cada estación se calcularon los coeficientes π_i de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
\tilde{Z}_t &= \pi_1 \tilde{Z}_{t-1} + \pi_2 \tilde{Z}_{t-2} + \dots + \mathbf{a}_t \\
&= \sum_{j=1}^{\infty} \pi_j \tilde{Z}_{t-j} + \mathbf{a}_t \\
&= \Pi(\mathbf{B}) \tilde{Z}_t + \mathbf{a}_t
\end{aligned}
\tag{2}$$

Los coeficientes de la representación infinita AR fueron estimados igualando la expresión anterior a (1) e imponiendo la anulaci3n de las potencias B^i . Los c3lculos se realizaron empleando el paquete de computador PEST (Brockwell et al., 1990).

Una medida de la distancia o similaridad entre dos estaciones de monitoreo est3 dada por la distancia euclidiana entre los coeficientes de la representaci3n infinita AR, es decir la distancia entre las estaciones X y Y puede calcularse mediante (Piccolo, 1990):

$$\mathbf{D}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \left(\sum_{j=1}^{\infty} (\pi_{j,x} - \pi_{j,y})^2 \right)^{1/2}
\tag{3}$$

Se puede demostrar que $D(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ existe para cualquier proceso invertible y satisface las propiedades cl3sicas de una m3trica, es decir no negatividad, simetr3a y triangularidad. En Piccolo (1990) se listan algunas propiedades adicionales de (3).

Calculada la matriz de distancia entre las estaciones empleando (3), se procedi3 a aplicar el an3lisis de clasificaci3n jer3rquico, utilizando la t3cnica de aglomeraci3n por ligamiento promedio (UPGMA) (Crisci y L3pez, 1983), para obtener finalmente un dendograma de clasificaci3n. La matriz de distancia y el dendograma de clasificaci3n se hallaron empleando el paquete SIMCLUST (Wolfe y Chester, 1990).

Una vez realizados los agrupamientos se realiz3 un an3lisis de varianza para detectar diferencias significativas entre los grupos conformados con el an3lisis de clasificaci3n. Dicho an3lisis fue realizado con los datos originales, lo que implicaba nuevamente tener en cuenta la estructura de autocorrelaci3n de los datos; por esto se implement3 un an3lisis de varianza de medidas repetidas, tomando como factor principal una variable denominada Zona, con ocho niveles que representan los ocho grupos conformados con la clasificaci3n; se tomaron como r3plicas las estaciones dentro de cada grupo, y como factor de medidas repetidas el tiempo (Gurevitch y Chester, 1986). Esta t3cnica prueba diferencias entre los niveles medios de los tratamientos y entre los patrones de comportamiento a trav3s

del tiempo de estos mismos. En el primer caso reduce cada conjunto de medidas dentro de la misma unidad experimental a una simple suma y procede después de manera análoga a un análisis de varianza (ANOVA) univariado, mientras que en el segundo caso toma como variable dependiente la suma ponderada de las observaciones, utilizando como ponderadores a polinomios ortogonales (Gurevitch y Chester, 1986; SAS Institute inc, 1988b). Teniendo en cuenta lo anterior se calculó la suma de las mediciones de salinidad dentro de cada estación y posteriormente se realizó un ANOVA a una vía con estos datos para probar diferencias entre los niveles promedios de salinidad de las ocho zonas, adicionalmente se realizó una prueba de comparación múltiple de diferencia mínima significativa (DMS) para determinar efectivamente entre cuales de las zonas había diferencias significativas (Sokal y Rohlf, 1981). Estos cálculos fueron realizados en el paquete Statgraphics Sgplus version 5.2 (Statistical Graphics Corporation, 1991). De acuerdo con los propósitos de este trabajo sólo resultó de interés realizar el análisis de tendencias mediante el contraste lineal, para esto se utilizaron datos mensuales de cada estación en la porción del tiempo común a todas ellas, debido a insuficiencia de memoria computacional para realizar los cálculos con más de treinta niveles para el factor de medidas repetidas. Estos resultados se obtuvieron utilizando el paquete SAS (SAS Institute inc, 1988b). El estudio de tendencias de las zonas fue complementado con los gráficos de las series promedios de salinidad de cada una de las ocho zonas.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla 2 se presentan los modelos ARIMA ajustados a las series de salinidad de las estaciones tenidas en cuenta en el análisis. En primer lugar las series fueron convertidas en estacionarias, en la mayoría de los casos solo diferenciando estacionalmente; posteriormente la estructura de autocorrelación fue modelada empleando procesos simples AR(1) o MA(1).

Basados en los modelos de la tabla 2, se calcularon para cada estación 50 coeficientes de la representación infinita AR, esto teniendo en cuenta la convergencia de dichas series. Utilizando dichos coeficientes y la medida de distancia (3), se generó una matriz de distancia entre las estaciones de monitoreo. Empleando esta matriz se generó un dendograma de clasificación mediante la técnica de ligamiento promedio (figura 2).

De acuerdo al resultado del dendograma con una distancia menor de 1.61 se forman 8 grupos de estaciones (tabla 3). Este resultado es consistente con las ideas a priori sobre el comportamiento de la salinidad en la región de estudio.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 4.a podemos concluir de acuerdo

Tabla 2. Modelos ARIMA de 21 series de tiempo correspondientes a mediciones quincenales de salinidad, en igual número de estaciones de la CGSM y CP entre enero de 1987 y marzo de 1991.

ESTACION	MODELO	ESTACION	MODELO
BRF	$(1-0.73749B)(1-B^{24})Z_t = a_t$	CPA	$(1-B^{24})(Z_t - 10.3258) = (1-0.57940)a_t$
BRS	$(1-0.85224B)(1-B^{24})Z_t = a_t$	CRE	$(1-B^{24})(Z_t - 10.8123) = (1-0.67851)a_t$
PCO	$(1-0.87756B)(1-B^{24})Z_t = a_t$	CBR	$(1-B^{24})(Z_t - 10.4918) = (1-0.54881)a_t$
LBA	$(1-0.73749B)(1-B^{24})Z_t = a_t$	CCV	$(1-B^{24})(Z_t - 9.4909) = (1-0.54692)a_t$
CEN	$(1-B^{24})(Z_t - 3.70861) = (1 - 0.64664)a_t$	VCH	$(1-B^{24})(Z_t - 14.7139) = (1-0.56886)a_t$
BCG	$(1-B^{24})(Z_t - 4.83260) = (1 - 0.84825)a_t$	CCH	$(1-B^{24})(Z_t - 17.1132) = (1-0.57084)a_t$
RJA	$(1-B^{24})(Z_t - 3.93748) = (1 - 0.50100)a_t$	CDR	$(1-B^{24})(Z_t - 18.0811) = (1-0.5873)a_t$
RIN	$(1-B^{24})(Z_t - 4.54763) = (1 - 0.63395)a_t$	CLU	$(1-B^{24})Z_t = (1-0.50812)a_t$
CCG	$(1-B^{24})(Z_t - 6.90081) = (1 - 0.72372)a_t$	RFU	$(1-B^{24})Z_t = (1-0.40655)a_t$
CCL	$(1-B^{24})(Z_t - 6.21416) = (1 - 0.48792)a_t$	RSE	
PTA	$(1-B^{24})(Z_t - 3.26504) = (1 - 0.83358)a_t$		

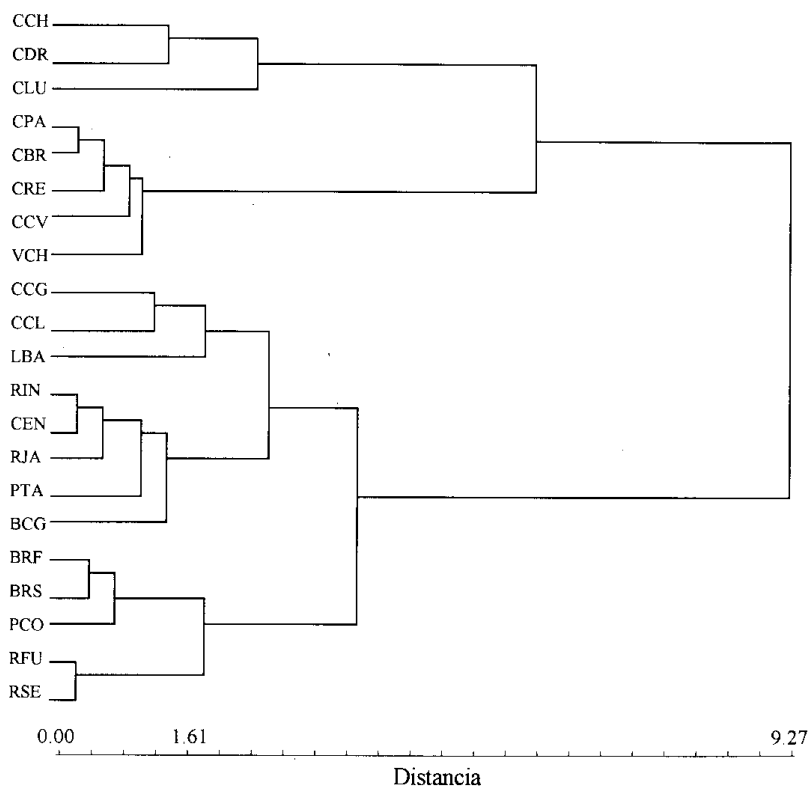


Figura 2. Dendrograma resultante del agrupamiento de estaciones a partir de los coeficientes de la representación infinita AR de las series de tiempo de salinidad, utilizando la distancia euclidiana y la técnica de ligamiento promedio.

Tabla 3. Agrupación de estaciones por zonas, según afinidad con respecto al comportamiento temporal de la salinidad entre enero de 1987 y octubre 1991.

Número	ZONA	ESTACIONES	CODIGOS
I	Ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, canal adentro	Río Fundación	RFU
		Río Sevilla	RSE
II	Boca de los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta	Boca del Río Fundación	BRF
		Boca del Río Sevilla	BRS
		Punta Congo	PCO
III	Triángulo estuarino	La Barra	LBA
IV	Cuerpo de agua de la CGSM	Centro	CEN
		Boca Caño Grande	BCG
		Rincón del Jagüey	RJA
		Rinconada	RIN
		Punta Tambor	PTA
V	Canales de comunicación entre la CGSM y el CP	Canal de Caño Grande	CCG
		Caño Clarín	CCL
VI	Complejo de Pajarales A	Ciénaga de Pajarales	CPA
		Ciénaga la Redonda	CRE
		Caño Bristol	CBR
		Caño Carevaca	CCV
		Vuelta Caño Hondo	VCH
VII	Complejo Pajarales B	Canal Caño Hondo	CCH
		Caño Dragado	CDR
VIII	Complejo Pajarales C	Ciénaga la Luna	CLU

con el nivel de significancia asociado a la fuente zona ($P < 0.01$) que existe diferencia altamente significativa entre los niveles promedios de salinidad de al menos dos de las zonas en que fue clasificado el sistema. Posteriormente en la tabla 5 (Prueba de comparación múltiple de DMS) se muestra que con excepción de las zonas estuario y canales de comunicación, existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los grupos de estaciones encontrados.

De la tabla 4.b podemos concluir que la tendencia de cambio lineal es diferente entre los grupos observados ($P < 0.05$ para el factor zona); esto también es evidente en los gráficos de las series promedios de cada zona (figura 3), en donde se observa que las series de salinidad pertenecientes a las zonas del CP presentan una pendiente positiva claramente mayor a la de las restantes zonas.

Tabla 4. Análisis de varianza de medidas repetidas para la variable salinidad del agua CGSM - CP (1987 - 1991), Zonas (Ríos canal adentro, Bocas de los Ríos, Estuario, Cuerpo de agua, Caños de comunicación, Complejo pajarales A, Complejo pajarales B, Complejo pajarales C).

A. Prueba de hipótesis para efectos entre estaciones.					
Fuente de variación	G.L	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F.
Zona	7	28442.7923	4063.2560	324.41	0.0001
Error	13	162.824	12.5249		
B. Análisis de tendencias, contraste lineal.					
Media	1	13490.4859	13490.4859	1892.27	0.0001
Zona	7	7889.4597	1127.0656	158.09	0.0001
Error	13	92.6805	7.1292		

Tabla 5. Prueba de comparación múltiple de diferencia mínima significativa (DMS), para comparar niveles promedios de las sumas de mediciones de salinidad entre las ocho zonas encontradas con la técnica de clasificación. (X en columnas diferentes indican que hay diferencias con un nivel de significancia menor al 5%).

ZONA	Número de estaciones	Promedio de las sumas	Grupos Homogéneos
Ríos Canal Adentro	2	18.75	X
Bocas de los Ríos	3	93.32	X
Cuerpo de Agua	5	135.9	X
Canales de comunicación	2	147.56	X
Estuario	1	148.71	X
Pajarales A	5	176.06	X
Pajarales B	2	201.22	X
Pajarales C	1	216.11	X

Los resultados del anova validan el agrupamiento realizado, la única excepción es la no diferencia entre la zona estuarina y la de los canales de comunicación. Sin embargo, estas zonas están muy distantes espacialmente (figura 1) y sus niveles de salinidad son consecuencia de fenómenos diferentes. En el caso de la región estuarina el alto nivel de salinidad es debido a su comunicación directa con el mar, mientras que en el de los canales de comunicación es atribuible a la cercanía de estos con la región de pajarales en donde los altos niveles de

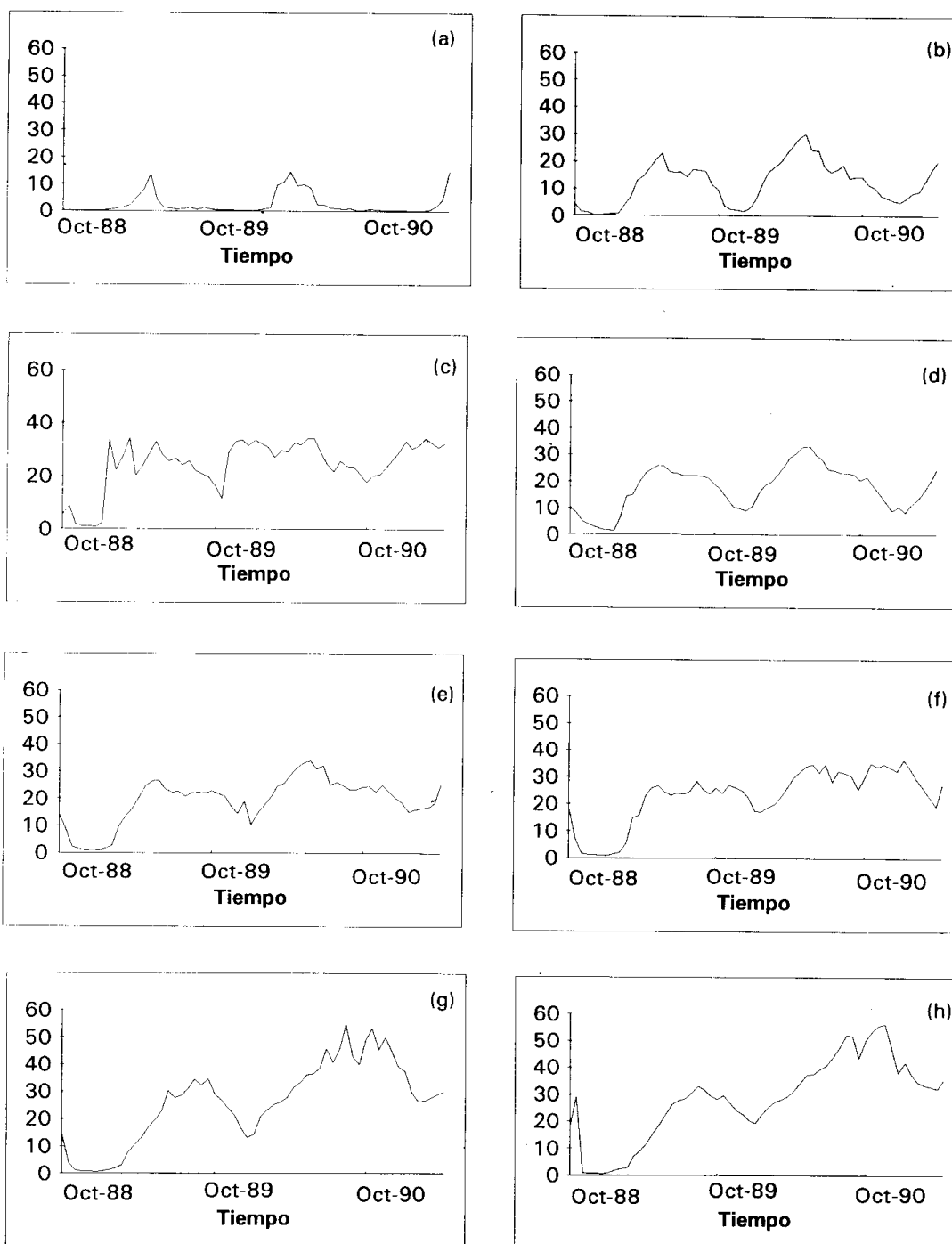


Figura 3. Series promedio de salinidad para cada una de las ocho zonas en que fue subdividido el sistema CGSM - CP. (a). Ríos canal adentro; (b). Bocas de los ríos; (c). Triángulo estuarino; (d). Cuerpo de agua de la CGSM; (e). Canales de Comunicación entre la CGSM y el CP; (f). Complejo de Pajarales A; (g). Complejo de Pajarales B; (h). Complejo de Pajarales C.

salinidad son causados por la interrupción de flujos de agua (Botero, 1990). Lo anterior indica que a pesar de que estas zonas presentan niveles similares de salinidad, deben pertenecer a grupos diferentes, puesto que representan distintas condiciones del ecosistema.

De acuerdo a los grupos conformados podemos decir que la salinidad tiene un gradiente oriente occidente en su comportamiento; las estaciones que están al oriente de la CGSM (estaciones de los ríos canal adentro) son las que tienen niveles más bajos de salinidad, al desplazarnos en sentido oriente - occidente dicho nivel aumenta hasta llegar a las estaciones del complejo pajarales en donde se alcanzan sus máximos valores. Una excepción a este comportamiento es el de la estación La Barra (LBA), que es representativa de la región estuarina y como se mencionó arriba su nivel alto de salinidad es explicable por el intercambio directo de aguas con el mar.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado como parte del proyecto “Estudio ecológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta, 3a. etapa” financiado por el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología COLCIENCIAS. Los autores agradecen al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “ José Benito Vives D’ Andreis” INVEMAR y especialmente a José Ernesto Mancera, jefe del Programa de Lagunas Costeras, por su colaboración en la formulación del trabajo y en la interpretación de los resultados.

BIBLIOGRAFIA

- Box G. E. P y G. M. Jenkins. 1976. Time series analysis: forecasting and control. Holden - Day, San Francisco, 575 p.
- Botero, L. 1988. Estudio ecológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Primera etapa. Inf. Proy. INVEMAR, Santa Marta, 47 p.
- Botero, L. 1990. Massive mangrove mortality on the caribbean coast of Colombia. *Vida Silv. Neotrop.*, 2(2):77 - 78.
- Brockwell, P.J., R.A. Davis, y J.V. Mandarino. 1990. Program PEST version 3.0. New York.
- Crisci, J.V. y M. F. López. 1983. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Monogr. 26 Ser. Biol., Secr. Gen. OEA., Washington, 132 p.
- Gurevitch, J. y S.T. Chester. 1986. Analysis of repeated measures experiments. *Ecology*, 67(1):251-255.
- IGAC. 1973. Monografía del departamento del Magdalena. Inst. Geogr. Agustín Codazzi, Bogotá, 162 p.
- Mancera, J. E. y L. Botero. 1993. Estudio ecológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Delta Exterior del Río Magdalena. III etapa. Inf. Proy., INVEMAR, Santa Marta, 128 p.
- Piccolo, D. 1990. A distance measure for classifying ARIMA models. *Jour. Time Ser. Anal.*, 11(2):153 - 164.

- Santos - Martínez, A. 1991. Base de datos físico-químicos y biológicos de la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Complejo Pajarales. Inf. Proy., INVEMAR, Santa Marta.
- SAS Institute, Inc. 1988 a. SAS/ETS user's guide, release 6.03 edition. SAS Institute, Inc., Cary (NC), 441 p.
- SAS Institute, Inc. 1988 b. SAS/STAT user's guide, release 6.03 Edition. SAS Institute Inc., Cary (NC), 1028 p.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1981. Biometry. The Principles and practice of statistics in biological research, 2a edición. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 859 p.
- Statistical Graphics Corporation. 1991. Statgraphics plus, version 5.2. Reference Manual. Statistical Graphics Corporation, Rockville (MD).
- Vidal, L. A. 1995. Estudio del fitoplancton en el sistema lagunar estuarino tropical Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, durante el año 1987. Tesis M. Sc. Biol. Mar., Univ. Nacional, Bogotá, 270 p.
- Wolfe, N. y A. J. Chester. 1990. Package SIMCLUST user's guide. Nat. Mar. Fish. Ser., New York, 6 p.

DIRECCION DE LOS AUTORES

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR, A.A. 1016, Santa Marta, Colombia. (RGH, RMR, SZ). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Matemáticas y Estadística (JMC), y Departamento de Biología (SZ), Ciudad Universitaria, Santafé de Bogotá, Colombia. Universidad del Quindío, Departamento de Matemáticas, Armenia, Colombia (LHHT).