



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS HOMOGÉNEAS EN LA INTERFASE MAR-AIRE DEL
MAR CARIBE COLOMBIANO Y RELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD
DE PARÁMETROS OCEANICOS Y ATMOSFÉRICOS DE ALGUNOS
PUNTOS REPRESENTATIVOS DE ESTAS ZONAS
Y LA OSCILACIÓN ATLÁNTICO NORTE**

LEIDY JOHANNA RODRÍGUEZ CASTRO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS METEOROLOGÍA
BOGOTA D.C.
Octubre 2011

**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS HOMOGÉNEAS EN LA INTERFASE MAR-AIRE DEL
MAR CARIBE COLOMBIANO Y RELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD
DE PARÁMETROS OCEANICOS Y ATMOSFÉRICOS DE ALGUNOS
PUNTOS REPRESENTATIVOS DE ESTAS ZONAS
Y LA OSCILACIÓN ATLÁNTICO NORTE**

**LEIDY JOHANNA RODRÍGUEZ CASTRO
CÓDIGO: 194126**

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título
Magister en Ciencias-Meteorología

Directora:

Nancy Liliana Villegas Bolaños
Ph D. En Ciencias Físicas y Matemáticas, Ingeniera Oceanóloga

Línea de Investigación:
Metrología Marina
Grupo de Investigación:
Centro de investigación en Oceanología - CENIT

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS METEOROLOGÍA
BOGOTA D.C.

Octubre 2011

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá octubre 2011

Dedicatoria

*A mi padre celestial porque
me ha bendecido con la
oportunidad de estudiar.*

Al amor de mi vida, mi hijo

*Juan Diego la razón de mi existencia, por
que deje de dedicarle tiempo a él, por
quemar neuronas en este proyecto.*

*A mi madre por su inmenso amor y
porque esta siempre conmigo
apoyándome en todas las
etapas de mi vida.*

*A mi Padre porque me ha enseñado a
guerrear en la vida hasta alcanzar mis
sueños.*

*A mis hermanos Marce y Beto por
su ayuda desinteresada.*

*A la familia Escobar Salazar
por su apoyo incondicional, en especial a
Ronald porque a pesar de todo el tiempo
que estuvimos separados y las dificultades
que se presentaron, siempre busco la
manera de animarme a terminar mis
estudios, y como olvidar a mi tío Tato el
salvador económico.*

AGRADECIMIENTOS

A el Banco Mundial porque me adjudico una beca mediante el convenio Conservación Internacional-Universidad Nacional de Colombia (CI-NAL) para realizar mis estudios de posgrados en la Maestría en Ciencias- Meteorología.

Mi inmensa gratitud a la Dra. Nancy Liliana Villegas Bolaños y al Ingeniero Oceanólogo Igor Malikov por todo su apoyo científico, paciencia, dedicación y conocimientos adquiridos durante todo el desarrollo de este documento, y por todas las oportunidades que me ha brindado en muchos aspectos de mi vida.

De igual manera quiero agradecer al grupo de Investigaciones CENIT de COLCIENCIAS y a la Universidad Hidrometeorológica del estado Ruso, quienes me brindaron la oportunidad mediante el programa de estudios “Baltic Floating University” de realizar una práctica de interacción océano-atmosfera en San Petersburgo Rusia, aportando su apoyo científico y económico, de gran importancia para la comprensión de los procesos estudiados es este proyecto de investigación.

RESUMEN

El estudio de la variabilidad de los parámetros oceánicos y atmosféricos del Mar Caribe Colombiano (MCC), se realizó con el fin de encontrar la influencia de la Oscilación Atlántico Norte (OAN) en ellos. Se analizó y describió el comportamiento espacial y temporal de las variables atmosféricas Temperatura del Aire (Ta) y Humedad Relativa (Hr) y, las variables oceánicas Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Salinidad Superficial del Mar (SSM) para el MCC. Se procesaron series de tiempo mensuales para la búsqueda y graficación del promedio climático del periodo 1971 – 2000. El análisis de la distribución espacial identificó tres zonas homogéneas desde el punto de vista oceanográfico. Se determinó el comportamiento anual de las variables en estaciones representativas de las zonas encontradas. El análisis de clúster identificó cuatro masas de aire y cinco masas de agua promedio. Con ayuda de la correlación canónica se determinaron seis puntos representativos de estas zonas. El análisis de las anomalías para las variables meteo-marinas y IOAN, identificó desfases en sus oscilaciones, en la mayoría de los meses. La mayor amplitud del comportamiento temporal de las anomalías se encuentra en la Hr y la menor en la Ta y la TSM. Las periodicidades encontradas para las variables atmosféricas, muestran que el mayor aporte está dado por la oscilación ~1.2 años, y para las oceánicas por la oscilación ~2.7 años. La correlación cruzada permitió encontrar que la componente mejor correlacionada en todas las variables es ~2.7 años. Se comprobó la influencia de la OAN en la variabilidad de los parámetros océano-atmosféricos en el MCC durante el periodo de estudio, siendo mayor con la TSM seguido por la Ta y menor con la Hr. La señal de la OAN son percibidas en las oscilaciones de las variables atmosféricas Ta y Hr con rezagos de 2 meses, mientras que en la variable oceánica TSM con un rezago de 1 a 4 meses.

Palabras Claves: Mar Caribe Colombiano, Zonas homogéneas, puntos representativos, parámetros océano-atmosféricos, Índice de Oscilación Atlántico Norte.

ABSTRACT

The study of the variability of oceanic and atmospheric parameters of the Caribbean Colombian Sea (CCS) was performed in order to find the influence of the North Atlantic Oscillation in them. The spatial and temporal analysis of the atmospheric variables Air Temperature (Ta) and Relative Humidity (Hr); and the oceanic variables Sea Surface Temperature (SST) and Sea Surface Salinity (SSS) were analyzed and described for the CCS. Monthly time series were researched and processed for the graphical representation of the climatic average of the 1971 – 2000 period. The spatial distribution analysis identified three homogenous zones from an oceanographic perspective. The annual behavior of the aforementioned variables in representative stations from the homogeneous zones was determined. Through cluster analysis, five average water masses and four air masses were identified. Using a canonic correlation, six representative points were determined in this zone. The anomaly analysis for the marine meteorological variables and the North Atlantic Oscillation Index (NAOI) identified lags in their oscillations in most of the months. The greatest amplitude of the anomaly temporal behavior was found for Hr, and the smallest for Ta and SST. The periodicities found for the atmospheric variables show that the greatest contribution is given by the oscillation ~1.2 years, and for the oceanic by the oscillation ~2.3 years. Using a cross correlation, it was found that the best correlated component in all the variables is ~2.7 years. The NAO influence in the variability of ocean-atmosphere parameters in the CCS was proved for the period of study, being SST the greatest; followed by Ts and less by Hr. The NAO signal is perceived in the in the atmospheric variables Ta and Hr with 2 month lags, whereas the oceanic variable SST presents lags ranging from 1 month to 4 months.

Keywords: Caribbean Colombian Sea, homogenous zones, representative points, oceanic and atmospheric parameters, North Atlantic Oscillation Index.

CONTENIDO

	Pág.
Resumen	III
Abstract	III
Lista de Figuras.....	III
Lista de Tablas.....	III
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	III
1. ASPECTOS GENERALES.....	20
1. INTRODUCCIÓN.....	20
1.1 Antecedentes.....	20
1.2 Planteamiento del Problema.....	22
1.3 Justificación.....	24
2. OBJETIVOS.....	26
2.1 General	26
2.2 Específicos.....	26
3. ASPECTOS TEÓRICOS.....	27
3.1 MASAS DE AGUA Y MASAS DE AIRE.....	27
3.2 OSCILACIÓN ATLÁNTICO NORTE	30
3.3 GEOLOGIA GENERAL Y MORFOLOGÍA SUBMARINA EN EL MARGEN CONTINENTAL Y LOS FONDOS OCEÁNICOS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO.....	36
3.3.1 Contexto geológico y configuración geotectónica del Caribe Colombiano.....	36
3.4 RELIEVE DE LA COSTA CARIBE COLOMBIANA.....	39

3.5 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS DE LA COSTA CARIBE COLOMBIANA.....	41
3.5.1 Procesos que determinan el estado del tiempo en el MCC.....	44
3.5.1.1 Procesos Sinópticos.....	44
3.5.1.2 Procesos Mesoescalares.....	46
3.5.1.3 Interacción océano-atmósfera en el MCC.....	46
3.5.1.4 Épocas climáticas en el litoral Caribe Colombiano.....	48
3.6 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO.....	51
3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO ESPACIAL.....	54
3.7.1 Análisis de Clúster.....	54
3.7.2 Análisis de Correlación Canónica.....	57
3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO TEMPORAL.....	60
3.8.1 Series de Tiempo.....	60
3.8.2 Análisis Espectral y Filtros.....	61
3.8.3 Análisis de Correlación Cruzada.....	64
4. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	67
4.1 ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS UTILIZADOS.....	67
4.2 MÉTODOS UTILIZADOS.....	67
4.2.1 Procesamiento de la información.....	67
4.2.2 Procesamiento del Análisis Estadístico Espacial.....	69
4.2.2.1 Análisis de clúster, para la determinación de masas de aire y masas de agua en el Mar Caribe Colombiano.....	69
4.2.2.2 Análisis de correlación canónica, para determinar la relación entre las masas de aire y masas de agua en el MCC.....	71
4.2.3 Procedimiento del Análisis Estadístico Temporal.....	76
4.2.3.1 Análisis de Densidad Espectral.....	76
4.2.3.2 Análisis de Correlación Cruzada.....	79

5 ANALISIS Y RESULTADOS.....	81
5.1 DESCRIPCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS Y OCEANOLÓGICAS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO DEL PERIODO 1971- 2000.....	81
5.1.1 Descripción espacial de la Humedad Relativa.....	81
5.1.2 Descripción espacial de la Temperatura del Aire.....	88
5.1.3 Descripción espacial de la Temperatura Superficial de Mar.....	95
5.1.4 Descripción espacial de la Salinidad Superficial del Mar.....	102
5.1.5 Descripción del comportamiento temporal de Hr.....	109
5.1.6 Descripción del comportamiento temporal de Ta.....	111
5.1.7 Descripción del comportamiento temporal de TSM.....	112
5.1.8 Descripción del comportamiento temporal de SSM.....	113
5.2 ZONAS HOMOGÉNEAS EN LA INTERFASE MAR-AIRE DEL MAR CARIBE COLOMBIANO MES A MES.....	115
5.2.1 Identificación mes a mes de las masas de aire sobre el MCC por medio del análisis de clúster.....	115
5.2.2 Identificación mes a mes de las masas de agua sobre el MCC por medio del análisis de clúster.....	121
5.3 ZONAS DE COINCIDENCIA DE DISTRUBUCION ESPACIAL DE LAS MASAS DE AIRE Y MASAS DE AGUA MESUALES SOBRE EL MCC.....	128
5.4 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS MASAS DE AIRE Y MASAS DE AGUA PROMEDIO SOBRE EL MCC.....	134
5.5 ZONAS DE COINCIDENCIA DE DISTRUBUCION ESPACIAL DE LAS MASAS DE AIRE Y MASAS DE AGUA PROMEDIO SOBRE EL MCC.....	138
5.6 ANÁLISIS DE ANOMALÍAS DE LAS SERIES DE TIEMPO DE VARIABLES OCEÁNICAS Y ATMOSFERICAS EN LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS Y EL IOAN.....	141

5.7 ANALISIS ESPECTRAL DE LAS SERIES METEOMARINAS DEL MCC Y EL IOAN, PARA LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS.....	159
5.8 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN CRUZADA ENTRE LAS SERIES METEOMARINAS DEL MCC Y EL IOAN.....	163
5.8.1 Análisis de series iniciales.....	163
5.8.2 Análisis de componentes.....	164
6. CONCLUSIONES	169
REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS	175
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1. Relación de la SSM y TSM de las masas de agua del océano	28
Tabla 3.2. Relación de la Ta y Hr de las masas de aire.	29
Tabla 4.1. Resultados Análisis Correlación Canónica	75
Tabla 4.2. Cuasi Ciclos de la Hr en el punto 3	78
Tabla 4.3. Correlación Cruzada series Iniciales	80
Tabla 5.1. Promedio mensual climático de Hr (%) del periodo 1971-200 para el MCC.	88
Tabla 5.2. Promedio mensual climático de Ta (%) del periodo 1971-200 para el MCC.	96
Tabla 5.3. Promedio mensual climático de TSM (%) del periodo 1971-200 para el MCC.	103
Tabla 5.4. Promedio mensual climático de SSM (%) del periodo 1971-200 para el MCC.	110
Tabla 5.5. Centroides para las masas de aire de enero-abril	121
Tabla 5.6. Centroides para las masas de aire de mayo-agosto.	129
Tabla 5.7. Centroides para las masas de aire de septiembre-diciembre.	125
Tabla 5.8. Centroides para las masas de agua de enero-abril.	128
Tabla 5.9. Centroides para las masas de agua de mayo-agosto.	130
Tabla 5.10. Centroides para las masas de agua de septiembre-diciembre.	132
Tabla 5.11. Índice de Correlación canónica para el mes de enero entre las masas de aire y de agua del MCC.	133
Tabla 5.12. Índice de Correlación canónica para el mes de febrero entre las masas de aire y de agua del MCC.	133
Tabla 5.13. Índice de Correlación canónica para el mes de marzo entre las masas de aire y de agua del MCC.	134
Tabla 5.14. Índice de Correlación canónica para el mes de abril entre las masas de aire y de agua del MCC.	134
Tabla 5.15. Índice de Correlación canónica para el mes de mayo entre las masas de aire y de agua del MCC.	135
Tabla 5.16. Índice de Correlación canónica para el mes de junio entre las masas de aire y de agua del MCC.	135
Tabla 5.17. Índice de Correlación canónica para el mes de julio entre las masas de aire y de agua del MCC.	136
Tabla 5.18. Índice de Correlación canónica para el mes de agosto entre las masas de aire y de agua del MCC.	136
Tabla 5.19. Índice de Correlación canónica para el mes de septiembre entre las masas de aire y de agua del MCC.	137
Tabla 5.20. Índice de Correlación canónica para el mes de octubre entre	137

	las masas de aire y de agua del MCC.	
Tabla 5.21.	Índice de Correlación canónica para el mes de noviembre entre las masas de aire y de agua del MCC.	138
Tabla 5.22.	Índice de Correlación canónica para el mes de diciembre entre las masas de aire y de agua del MCC.	138
Tabla 5.23.	Centroides para las masas de aire promedio.	140
Tabla 5.24.	Centroides para las masas de agua promedio.	142
Tabla 5.25.	Correlaciones para las masas de aire y de agua promedio del MCC.	143
Tabla 5.26.	Cuasi periodos encontrados en la serie Hr por medio de análisis espectral.	166
Tabla 5.27.	Cuasi periodos encontrados en la serie Ta por medio de análisis espectral.	166
Tabla 5.28.	Cuasi periodos encontrados en las series de las variables meteorológicas Hr y Ta por medio de análisis espectral.	167
Tabla 5.29.	Cuasi periodos encontrados en la serie TSM por medio de análisis espectral.	167
Tabla 5.30.	Matriz de correlación entre series iniciales de OAN vs Hr, Ta y TSM	168
Tabla 5.31.	Matriz de correlación entre la componente (~2.7 años) del IOAN y Hr, Ta, TSM	169
Tabla 5.32.	Matriz de correlación entre la componente (~1.2 años) del IOAN y Hr, Ta, TSM	171
Tabla 5.33.	Matriz de correlación entre la componente (~15 años) del IOAN y Hr, Ta, TSM	172
Tabla 5.34.	Matriz de correlación entre la componente (~3.3 años) del IOAN y Hr, Ta, TSM	172
Tabla 5.35.	Matriz de correlación entre la componente (~10 meses) del IOAN y Hr, Ta, TSM	173

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 3.1.	Ubicación a nivel mundial de las masas de aire	29
Figura 3.2.	Dendograma	32
Figura 3.3	Fases de la Oscilación Atlántico Norte	37
Figura 3.4	Índices anuales de la Oscilación Atlántico Norte desde 1990 hasta el 2000	38
Figura 3.5.	Condiciones de la Oscilación Atlántico Norte Fase Positiva	39
Figura 3.6.	Condiciones de la Oscilación Atlántico Norte Fase Negativa	40
Figura 3.7.	Peridiograma	44
Figura 3.8.	Configuración Geotectónica de la esquina Noroccidental de Suramérica.	48
Figura 3.9.	Margen Continental y fondos oceanicos del Mar Caribe Colombiano.	50
Figura 3.10.	Mapa Geomorfológico del MCC	64
Figura 3.11.	Sistema General de Corrientes Marinas Superficiales	65
Figura 3.12.	Mar Caribe Colombiano.	66
Figura 4.1.	Mar Caribe Colombiano y la ubicación de los 92 puntos que se tomaron como referencia.	67
Figura 4.2.	Imagen Surfer 8 ingresando la información del mes de mayo y aplicando el método de interpolación de Kriging	68
Figura 4.3.	Ingreso de la información al Software Statistica para el análisis de clúster de las masas de aire del mes de enero.	70
Figura 4.4.	Imagen elección del método estadístico utilizado para determinar las masas de aire en el mes de enero.	70
Figura 4.5.	Elección de la distancia Euclidea para determinar las masas de aire en el mes de enero.	71
Figura 4.6.	Resultado de la agrupación por distancias de las variables analizadas para el mes de enero.	71
Figura 4.7.	Entrada y organización de datos de los clúster obtenidos mensualmente para el MCC, en el mes de enero.	72
Figura 4.8.	Imagen elección del método estadístico de correlación canónica mes de enero.	73
Figura 4.9.	Inicio de la correlación canónica	73
Figura 4.10.	Selección de dos conjuntos para analizar	74
Figura 4.11.	Confirmación de conjuntos seleccionados	74
Figura 4.12.	Resultados	75
Figura 4.13.	Densidad espectral de la serie de anomalía de Hr para el punto 3, localizada a 78°3'W y 9°3'N.	77
Figura 4.14.	Filtros de la serie de anomalías de Hr para el punto 3.	79
Figura 5.1.	Promedio de Hr (%) del MCC, período 1971-2000 de enero a abril.	83
Figura 5.2.	Promedio de Hr (%) del MCC, período 1971-2000 de mayo a agosto.	84

Figura 5.3.	Promedio de Hr (%) del MCC, período 1971-2000 de septiembre a diciembre.	87
Figura 5.4.	Climatología de Hr (%) del MCC, período 1971-2000	89
Figura 5.5.	Promedio de Ta (°C) del MCC, período 1971-2000 de enero a abril.	91
Figura 5.6.	Promedio de Ta (°C) del MCC, período 1971-2000 de mayo a agosto.	92
Figura 5.7.	Promedio de Ta (°C) del MCC, período 1971-2000 de septiembre a diciembre.	94
Figura 5.8.	Climatología de Ta (°C) del MCC, período 1971-2000	97
Figura 5.9.	Promedio de TSM (°C) del MCC, período 1971-2000- enero-abril.	99
Figura 5.10.	Promedio de TSM (°C) del MCC, período 1971-2000- mayo a agosto.	100
Figura 5.11.	Promedio de TSM (°C) del MCC, período 1971-2000- septiembre a diciembre.	102
Figura 5.12.	Climatología de TSM (°C) del MCC, período 1971-2000	104
Figura 5.13.	Promedio de SSM (PSU) del MCC, período 1971-2000- enero a abril.	106
Figura 5.14	Promedio de SSM (PSU) del MCC, período 1971-2000- mayo a agosto.	107
Figura 5.15.	Promedio de SSM (PSU) del MCC, período 1971-2000- septiembre-diciembre.	109
Figura 5.16.	Climatología de SSM (PSU) del MCC, período 1971-2000.	111
Figura 5.17.	Puntos de referencia para la descripción de las oscilaciones de variables.	112
Figura 5.18.	Oscilaciones anuales de Hr (%) en puntos seleccionados en MCC período 1971-2000	113
Figura 5.19.	Oscilaciones anuales de Ta (°C) en puntos seleccionados en MCC período 1971-2000.	114
Figura 5.20.	Oscilaciones anuales de TSM (°C) en puntos seleccionados en MCC período 1971-2000.	116
Figura 5.21.	Oscilaciones anuales de SSM (psu) en puntos seleccionados en MCC período 1971-2000.	118
Figura 5.22.	Masas de aire superficial del MCC enero-abril	120
Figura 5.23.	Masas de aire superficial del MCC mayo-agosto.	123
Figura 5.24.	Masas de aire superficial del MCC septiembre-diciembre.	124
Figura 5.25.	Masas de agua superficial del MCC enero-abril.	127
Figura 5.26.	Masas de agua superficial del MCC mayo-agosto.	129
Figura 5.27.	Masas de agua superficial del MCC septiembre-diciembre.	131
Figura 5.28.	Masas de Aire promedio MCC.	140
Figura 5.29.	Masas de Agua promedio MCC.	142

Figura 5.30.	Superposición entre las masas de agua y masas de aire promedio sobre el MCC.	144
Figura 5.31.	Superposición resultante entre las masas de agua, masas de aire promedio y la correlación canónica entre las masas de agua y masas de aire.	145
Figura 5.32.	Ubicación de los puntos representativos teniendo en cuenta la superposición.	146
Figura 5.33.	Anomalías de la OAN y la Hr para el punto 3	147
Figura 5.34.	Anomalías de la OAN y la Ta para el punto 3	148
Figura 5.35.	Anomalías de la OAN y la TSM para el punto 3	149
Figura 5.36.	Anomalías de la OAN y la Hr para el punto 10	150
Figura 5.37.	Anomalías de la OAN y la Ta para el punto 10	151
Figura 5.38.	Anomalías de la OAN y la TSM para el punto 10	152
Figura 5.39.	Anomalías de la OAN y la Hr para el punto 56	153
Figura 5.40.	Anomalías de la OAN y la Ta para el punto 56	154
Figura 5.41.	Anomalías de la OAN y la TSM para el punto 56	155
Figura 5.42.	Anomalías de la OAN y la Hr para el punto 59	156
Figura 5.43.	Anomalías de la OAN y la Ta para el punto 59	157
Figura 5.44.	Anomalías de la OAN y la TSM para el punto 59	158
Figura 5.45.	Anomalías de la OAN y la Hr para el punto 62	159
Figura 5.46.	Anomalías de la OAN y la Ta para el punto 62	160
Figura 5.47.	Anomalías de la OAN y la TSM para el punto 62	161
Figura 5.48.	Anomalías de la OAN y la Hr para el punto 65	162
Figura 5.49.	Anomalías de la OAN y la TSM para el punto 65	163
Figura 5.50.	Anomalías de la OAN y la TSM para el punto 65	164
Figura 5.51.	Resultados del análisis espectral de Hr para el punto 3	165

LISTA DE ANEXOS

- Figura A 1. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de enero.
- Figura A 2. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de febrero.
- Figura A 3. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de marzo.
- Figura A 4. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de abril.
- Figura A 5. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de mayo.
- Figura A 6. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de junio.
- Figura A 7. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de julio.
- Figura A 8. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de agosto.
- Figura A 9. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de septiembre.
- Figura A 10. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de octubre.
- Figura A 11. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de noviembre.
- Figura A 12. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para el mes de diciembre.
- Figura A 13. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta promedio.
- Figura A 14. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de enero.
- Figura A 15. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de febrero.
- Figura A 16. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de marzo.
- Figura A 17. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de abril.
- Figura A 18. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de mayo.
- Figura A 19. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de junio.
- Figura A 20. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de julio.
- Figura A 21. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de agosto.

- Figura A 22. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de septiembre.
- Figura A 23. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de octubre.
- Figura A 24. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de noviembre.
- Figura A 25. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM analizadas para el mes de diciembre.
- Figura A 26. Dendograma Resultado de la agrupación por distancias de las variables TSM y SSM promedio.
- Figura A 27. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Hr para el punto 3.
- Figura A 28. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Hr para el punto 10.
- Figura A 29. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Hr para el punto 56.
- Figura A 30. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Hr para el punto 59.
- Figura A 31. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Hr para el punto 62.
- Figura A 32. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Hr para el punto 65.
- Figura A 33. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Ta para el punto 3.
- Figura A 34. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Ta para el punto 10.
- Figura A 35. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Ta para el punto 56.
- Figura A 36. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Ta para el punto 59.
- Figura A 37. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Ta para el punto 62.
- Figura A 38. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la Ta para el punto 65.
- Figura A 39. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la TSM para el punto 3.
- Figura A 40. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la TSM para el punto 10.
- Figura A 41. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la TSM para el punto 56.
- Figura A 42. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la TSM para el punto 59.
- Figura A 43. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la TSM para el punto 62.
- Figura A 44. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la TSM para el punto 65.
- Figura A 45. Resultados del análisis espectral y cuasi ciclos de la OAN.
- Figura A 46. Filtrado de Componentes de Hr punto 3
- Figura A 47. Filtrado de Componentes de Hr punto 10
- Figura A 48. Filtrado de Componentes de Hr punto 56
- Figura A 49. Filtrado de Componentes de Hr punto 59
- Figura A 50. Filtrado de Componentes de Hr punto 62
- Figura A 51. Filtrado de Componentes de Hr punto 65
- Figura A 52. Filtrado de Componentes de Ta punto 3
- Figura A 53. Filtrado de Componentes de Ta punto 10
- Figura A 54. Filtrado de Componentes de Ta punto 56
- Figura A 55. Filtrado de Componentes de Ta punto 59
- Figura A 56. Filtrado de Componentes de Ta punto 62
- Figura A 57. Filtrado de Componentes de Ta punto 65
- Figura A 58. Filtrado de Componentes de TSM punto 3
- Figura A 59. Filtrado de Componentes de TSM punto 10
- Figura A 60. Filtrado de Componentes de TSM punto 56
- Figura A 61. Filtrado de Componentes de TSM punto 59
- Figura A 62. Filtrado de Componentes de TSM punto 62
- Figura A 63. Filtrado de Componentes de TSM punto 65
- Figura A 64. Cuasi periodos encontrados en la serie Hr por medio de análisis espectral
- Figura A 65. Cuasi periodos encontrados en la serie Ta por medio de análisis espectral

- Figura A 66 Cuasi periodos encontrados en la series de las variables meteorológicas Hr y Ta por medio de análisis espectral
- Figura A 67 Cuasi periodos encontrados en la serie TSM por medio de análisis espectral
- Figura A 68 Cuasi periodos encontrados en la serie IOAN por medio de análisis espectral
- Figura A 69 Matriz de correlación entre series iniciales de OAN vs Hr, Ta y TSM
- Figura A 70 Matriz de correlación entre la componente (~2.7 años) del IOAN y Hr, Ta ,TSM
- Figura A 71 Matriz de correlación entre componentes (~1.2 años) del IOAN y Hr, Ta TSM
- Figura A 72 Matriz de correlación entre componentes (~15 años) del IOAN y Hr, Ta TSM
- Figura A 73 Matriz de correlación entre componentes (~3.3 años) del IOAN y Hr, Ta TSM
- Figura A 74 Matriz de correlación entre la componente (~10meses) del IOAN y Hr, Ta TSM

ASPECTOS GENERALES

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El estudio de zonas homogéneas en aguas superficiales y verticales se ha venido desarrollando desde hace varios años, con el fin de conocer la dinámica del océano y la circulación atmosférica. Dentro de estos estudios está el desarrollado por Monente et al (1994) quienes analizando los trabajos realizados anteriormente por Ryther et al (1967), Morris et al (1981) y Borstad (1982) estudiaron el origen y la composición de las masas de agua que ingresan al Caribe Suroriental. En ese estudio se analizaron las características de los parámetros que definen a las masas de agua, y se estableció una salinidad de 36 ups (Gibbs, 1967) como aquella que permite diferenciar entre las masas de agua influenciadas por aguas continentales y las masas de agua que no lo están. Este estudio se hizo para masas de aguas superficiales y verticales, mediante información procedente de las campañas realizadas en la Estación de Investigaciones Marinas de Margarita. En el trabajo propuesto por Monente et al (1994), no se presenta una clasificación específica de las masas de agua superficiales y verticales, sino que, se analiza el origen de las masas de agua estudiando su comportamiento mes a mes, y finalmente estudian la composición química de las masas de agua que ingresan al Caribe Suroriental y se compara con algunos resultados obtenidos en 1967, 1981, 1982. A diferencia del trabajo realizado por Monente et al (1994), el presente trabajo pretende identificar las zonas homogéneas en las aguas superficiales y en la capa superficial atmosférica del Mar Caribe Colombiano (MCC) en el periodo 1971- 2000.

En forma más general sobre la identificación de zonas homogéneas verticales, en 1997 (Gallegos y Czitrom) se presenta un estudio sobre los aspectos de la oceanografía física regional del Mar Caribe, donde se analiza la fisiografía, la interacción océano-atmósfera, hidrografía, y la circulación superficial del Mar Caribe (entendido como el Gran Caribe), dentro de la hidrografía se hace una clasificación a nivel vertical de las masas de agua, mediante un diagrama de temperatura vs salinidad (diagrama T-S) realizado con datos tomados con CTD durante la campaña oceanográfica realizada en el Norte del Mar Caribe en abril de 1991. La presente investigación propone una identificación de masas de agua y masas de aire a nivel superficial, para el periodo de 1971-2000 en el MCC, a diferencia del trabajo realizado por Gallegos et al (1997), donde la clasificación es para masas de agua a nivel vertical mediante diagramas T-S en un periodo de tiempo diferente y donde además se analizan aspectos de oceanografía regional para una zona más amplia que el MCC.

Por otro lado la identificación de zonas homogéneas en la interfase mar-aire o también conocida como caracterización de masas de agua y de masas de aire superficiales ha sido estudiada de forma integral por algunos autores en otra región del territorio marino colombiano. Entre éstos trabajos se encuentran los realizados por Moreno et al (2008) y Moreno (2009), en donde se desarrolló un estudio que permitió suministrar puntos geográficos para la ubicación de estaciones de monitoreo hidrometeorológico, de la Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC) analizando variables como Ta, Hr, TSM y SSM del período 1971 - 2000. Mediante el análisis de clúster se realizó una clasificación de masas de agua y una de masas de aire superficiales, determinando su climatología mes a mes. Finalmente, aplicando correlación canónica con las variables descritas entre las masas de agua y de aire, encontraron la mejor correlación que permitió la identificación de puntos representativos para la ubicación de estaciones hidrometeorológicas de monitoreo en la CPC. En el presente trabajo se pretende identificar zonas homogéneas en la interfase mar-aire como lo proponen los autores mencionados anteriormente, usando las mismas variables, el mismo periodo y utilizando la misma metodología. La diferencia radica en que el área de estudio es el MCC, teniendo en cuenta que en esta zona no se ha hecho una caracterización de zonas homogéneas en aguas superficiales, como tampoco en la capa superficial atmosférica, y que la identificación de puntos representativos de cada zona homogénea se utilizará para analizar si existe una correlación entre la variabilidad de los parámetros océano-atmosféricos de estos puntos representativos y la OAN y no para ubicar estaciones hidrometeorológicas de monitoreo como en los anteriores ejemplos.

Hasta aquí se ha hablado de caracterización de zonas homogéneas en la interface mar-aire, las cuales se pretenden correlacionar con la OAN uno de los fenómenos que se presentan en el Atlántico Norte región donde se encuentra el área de estudio. La OAN ha sido poco estudiada en el MCC, aún así, dentro de los estudios realizados sobre la OAN en la región está el desarrollado en el 2006 (Bernal et al) donde se analizó la variabilidad espacio temporal de la TSM a lo largo de la zona costera del Caribe Colombiano, mediante el análisis de series de tiempo mensuales entre 1982 y 2000. El análisis abarcó la variación espacial con relación al ciclo anual y los fenómenos, El Niño Oscilación Sur (ENOS), la OAN, la tendencia a largo plazo y los dos chorros tropicales superficiales atmosféricos que afectan la climatología de la esquina noroccidental de Sudamérica (chorro superficial de San Andrés y del Chocó). A diferencia del trabajo desarrollado por Bernal et al (2006), la presente investigación se centrará en el análisis de la relación entre la OAN y la variabilidad de parámetros Hr, Ta, TSM y SSM de los puntos representativos identificados en la interfase mar-aire del MCC.

Otro de los estudios desarrollados con relación a la OAN es el de Poveda et al (1996) donde analizaron la dependencia del ciclo anual de la hidrología de Colombia, con

respecto a la OAN y El Niño Oscilación del Sur (ENOS) utilizando resultados del Proyecto de Reanálisis Climático (National Center For Environmental Prediction (NCEP)/ National Center For Atmospheric Research (NCAR) <http://www.cpc.noaa.gov/products/wesley/reanalysis.html>), para el periodo 1982-1994 identificando los mecanismos de la circulación involucrados en las anomalías climáticas en la región de Sur América tropical durante las fases extremas del ENSO (El Niño y la Niña) y la OAN.

En el 2008 (Ruiz et al) se estudió la influencia del río Sinú y del Mar Caribe en el sistema lagunar de Cispatá mediante un análisis anual e interanual, y la tendencia de las series de tiempo hidrológicas (precipitación y caudal) y marinas (TSM). Estas series fueron correlacionadas con los índices macroclimáticos: Índice Oceánico El Niño (ONI), Índice Oscilación Atlántico Norte (IOAN) y Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), a partir de registros de estaciones de caudal ubicadas en la represa de Urrá estudiando sus efectos sobre el sistema lagunar. Para cuantificar el grado de dependencia lineal entre las variables macroclimáticas e hidrológicas estimaron coeficientes de correlación cruzada con valores de rezago mensuales entre -12 y 12 meses. El presente trabajo pretende analizar la posible relación de la variabilidad de parámetros oceánicos y atmosféricos de la interfase mar-aire con la OAN, mediante un análisis de correlación cruzada entre el IOAN y los puntos representativos encontrados de acuerdo con la homogeneidad integral de la interfase mar-aire para un período 1971 - 2000.

1.2 Planteamiento del Problema

Los procesos que se presentan en el océano determinan el comportamiento de factores ambientales como el clima, debido a que el océano y la atmósfera interactúan térmica, hidrológica y dinámicamente, intercambiando calor, masa e impulsos (Knauss, 1996). La interacción entre el océano y la atmósfera ha hecho que se genere una gran gama de fenómenos que afectan a la humanidad entera ya sea por acción directa o por efecto de teleconexiones.

Dentro de algunos parámetros que son analizados para estudiar las interacciones océano-atmosféricas están la TSM, SSM, Hr y Ta. Particularmente la TSM y la SSM son parámetros oceánicos utilizados como indicadores ambientales, éstos están relacionados con aspectos físicos como corrientes marinas, intensidad de los vientos superficiales, dinámica de la capa de mezcla, precipitación e intensidad de la radiación solar, surgencias, cambios del nivel del mar y también permiten hacer una clasificación de zonas homogéneas tanto horizontales (superficiales) como verticales (Stewart, 2005). Así mismo, la Ta, Hr y Presión atmosférica (Pa) son parámetros atmosféricos que combinados definen el tiempo meteorológico de un momento concreto y el clima de una zona de la Tierra en un período de tiempo. Lo que hace que el estudio de la variabilidad espacial y temporal de estos parámetros en cualquier región del Océano

Mundial, y en este caso en el MCC, sea importante desde el punto de vista físico, climático y oceanológico.

Por otro lado el estudio de las condiciones océano-atmosféricas y su interacción es un tema aun por explorar, los pocos trabajos (la mayoría realizados por buques extranjeros) han ayudado a entender a grandes rasgos estas interacciones en aguas colombianas, es por esto que el presente trabajo pretende unirse con dichos estudios con la finalidad de conocer mejor estas interacciones en el MCC y su relación con algunos de los fenómenos como la Oscilación Atlántico Norte (OAN).

La OAN es conocida desde hace varios años y según los estudios desarrollados alrededor de esta, (Poveda et al, 1996; Quian et al, 2000; Parra et al, 2003 y Añel et al, 2005) de su dinámica depende que los inviernos en el Norte de Europa sean húmedos y templados ó secos y fríos. Esta oscilación ha cobrado importancia en los últimos años dentro de la comunidad científica, por razones que se añaden al crucial efecto que su dinámica ejerce sobre la variabilidad climática (Sánchez et al, 2005). Aunque se han desarrollado varios estudios alrededor de ésta, valdría la pena realizar una investigación que permita determinar alguna relación, entre la variabilidad de parámetros de zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC y la OAN.

En virtud de lo anterior, se propone un proyecto de investigación donde se identifiquen zonas homogéneas en aguas superficiales y en la capa superficial atmosférica tanto mensuales como promedio, establecidas mediante una clasificación obtenida por análisis de clúster. Los datos base para esta clasificación serán series de tiempo mensuales del período 1971-2000, de TSM en grados centígrados (°C), SSM unidades practicas de sal (psu), Ta (°C) grados centígrados y Hr porcentaje (%). Estos datos serán tomados del International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS) <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.coads.1deg.html>. Además, se propone encontrar la posible relación de la variabilidad de estos parámetros oceánicos y atmosféricos en la interfase mar-aire con el comportamiento de la OAN. Para lo cual, después de haber identificado zonas homogéneas, se aplicará una correlación canónica, con el fin de extraer algunos puntos representativos, y así finalmente, hacer una correlación cruzada entre cada punto y la OAN.

Por lo tanto, la pregunta de investigación planteada como formulación del problema es:
¿Cuáles son las zonas homogéneas en la interfase mar-aire del Mar Caribe Colombiano y qué relación hay entre la variabilidad de parámetros oceánicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas con la Oscilación Atlántico Norte?

Las preguntas que sirven de apoyo para la sistematización del problema son:

- ✦ ¿Cuáles son las zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC?
- ✦ ¿Cuáles son los puntos representativos de las zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC?
- ✦ ¿Qué muestra el análisis de las series de tiempo de anomalías de las variables oceánicas y atmosféricas en los puntos representativos identificados, en el periodo 1971-2000?
- ✦ ¿Cuál es el comportamiento del Índice de Oscilación de Atlántico Norte en el periodo comprendido de 1971 al 2000?
- ✦ ¿Cuál es la correlación entre los parámetros oceánicos y atmosféricos de cada punto representativo en la interfase mar-aire del MCC y el IOAN en el periodo de estudio?

1.3 Justificación

El estudio de las condiciones oceanológicas y su interacción con la atmosfera cada vez inquieta más a los investigadores, ya que buscan entender los procesos que permiten determinar factores ambientales como el clima.

Con relación a la variabilidad climática, el presente trabajo se centra en uno de los fenómenos atmosféricos que se genera en el Océano Atlántico Norte, la OAN buscando la existencia de la relación entre los parámetros oceánicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de las zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC al paso de esta oscilación.

Los estudios desarrollados sobre la OAN muestran que esta oscilación tiene influencia en las características del clima zonal, y que por efecto de teleconexiones influye también en zonas que se encuentran más allá de su área de acción directa, como lo son las aguas tropicales de la India y el Océano Pacífico (Sánchez et al, 2005). Esta oscilación se identificó por primera vez en 1924, y se ha considerado después del “El Niño” como uno de los fenómenos más dominantes de la variabilidad climática (Hurrell, 1995; Hurrell, 1996; Rogers, 1997, Quian et al., 2000).

Las fases positiva y negativa de la OAN, provocan condiciones meteorológicas diferentes. Donde se ven afectadas las cosechas, la gestión del agua, el suministro de energía, la pesca y por ende las personas que habitan la región donde tiene influencia este fenómeno como Norte América (México, Estados Unidos, Canadá entre otros) y en el otro extremo las islas y la parte continental que conforma Europa Noroccidental (Sánchez et al, 2005; Trigo et al., 2004a; 2004b), por lo que todas las investigaciones que se puedan generar alrededor de esta oscilación y que puedan aportar en el conocimiento de la dinámica de la OAN suele ser un aporte significativo.

El estudio de la OAN ha sido de gran interés entre la comunidad científica, no solo por los efectos que su dinámica ejerce en la variabilidad climática (Sánchez et al., 2005), sino también por la influencia que tiene esta oscilación sobre los ecosistemas (Añel et al, 2005). Las variaciones de producción de zooplancton, así como las fluctuaciones de los diferentes caladeros de peces en el Atlántico Norte, están influenciados por los cambios en la SSM y los vientos asociados a las variaciones de la OAN (Añel et al, 2005). Además esta oscilación se ha considerado incluso como la responsable del lugar donde se forman nuevas aguas profundas influyendo así, en la circulación termohalina (Sánchez, 2005).

En el presente estudio, además de identificar zonas homogéneas en la interfase mar-aire en el MCC, se realizará el análisis de la relación entre la variabilidad en los parámetros océano-atmosféricos de la región y la OAN, durante el período comprendido entre 1971 al 2000. Este trabajo se justifica desde el punto de vista metodológico, ya que se utilizará un análisis de clúster para la identificación de zonas homogéneas, mediante series de tiempo mensuales de TSM (°C), SSM (psu), Ta (°C) y Hr (%) durante el periodo de estudio, lo cual no se había realizado para el MCC . Además, se realizará una correlación canónica entre las variables encontradas, con el fin de extraer puntos representativos para cada una de estas zonas teniendo en cuenta la homogeneidad integral de la interfase y así, por medio de análisis espectral y de correlación cruzada entre los parámetros oceánicos y atmosféricos de cada punto representativo y el IOAN, determinar la influencia de la OAN en el comportamiento oscilatorio de TSM, SSM, Ta y Hr del MCC.

Por lo tanto, desde el punto de vista de justificación práctica, el proyecto obtendrá resultados que beneficiarán a entidades como: La Comisión Colombiana del Océano (CCO), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" (INVEMAR) entre otros. A nivel internacional sus resultados pueden contribuir a entidades como la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Grupo de Observaciones de los Océanos (OOPC), Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), Sistema Mundial de Observación de los Océanos (GOOS), Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) y aquellos investigadores que puedan encontrar en este proyecto un aporte para futuras investigaciones.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Identificar las zonas homogéneas en la interfase mar-aire del Mar Caribe Colombiano y la relación entre la variabilidad de parámetros oceánicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas con la Oscilación Atlántico Norte.

2.2 Especificos

Establecer las zonas homogéneas en la interfase mar-aire del Mar Caribe Colombiano.

Determinar los puntos representativos de las zonas homogéneas en la interfase mar-aire del Mar Caribe Colombiano.

Analizar las anomalías que presentan las series de tiempo de las variables oceánicas y atmosféricas de los puntos representativos identificados, en el periodo 1971 - 2000.

Estudiar el comportamiento del Índice de Oscilación de Atlántico Norte en el periodo comprendido del 1971 al 2000.

Identificar la correlación entre los parámetros oceánicos y atmosféricos de cada punto representativo en la interfase mar-aire del Mar Caribe Colombiano y el IOAN en el periodo de estudio.

3. ASPECTOS TEORICOS

3.1 MASAS DE AGUA Y MASAS DE AIRE

En el océano es posible identificar zonas donde el agua tiene propiedades características bastante homogéneas. Una zona con propiedades homogéneas en los valores de temperatura y salinidad se conoce con el nombre de masa de agua, y es posible identificar estas zonas o masas de aguas tanto horizontal como verticalmente.

Las masas de agua se forman por procesos físicos meteorológicos en la superficie como: enfriamiento, calentamiento, radiación, evaporación o precipitación, fusión de hielo etc. Y por mezcla superficial en las masas de agua que se transportan por efecto de las corrientes como: fenómeno de convergencia, divergencia y surgencia, convección profunda y subducción. Una vez formada una masa de agua ésta se hunde debido a su densidad hasta una determinada profundidad o se distribuye hacia otras regiones (Stewart, 2005).

El estudio de las masas de agua permite entender una gran variedad de procesos oceánicos. A partir de las masas de agua se puede inferir algunas otras características como su origen, movimientos, e incluso se puede determinar sus propiedades biológicas, es por esto necesario estudiarlas tanto a nivel vertical como a nivel horizontal (superficiales).

A nivel superficial, en el océano mundial se distinguen las siguientes masas de agua: Agua Ártica (AA), Agua Subártica (AS), Agua Atlántica Sur (AAS), Agua Atlántica Norte (AAN), Agua Mediterránea (AM), Agua Indica (AI), Agua Pacífica Sur (APS) y Agua Pacífica Norte (APN) (representan una generalización de las masas de agua superficial), estas se caracterizan porque tienen un valor promedio de Temperatura Superficial del Mar (TSM) y de Salinidad Superficial del Mar (SSM), en la tabla 3.1 se puede observar los valores promedio característicos de cada una de estas masas de agua.

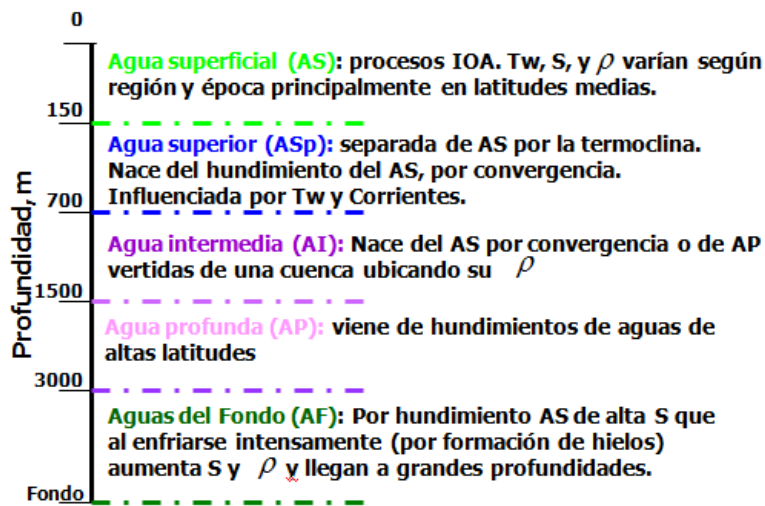
A nivel vertical también se han identificado algunas masas de agua en el océano como: Agua Superficial (AS), Agua Superior (ASp), Agua Intermedia (AI), Aguas profundas (AP) y Aguas de Fondo (AF) (figura 3,2).

Tabla 3.1. Relación de la SSM y TSM de las masas de agua del Océan

Masa de Agua	Salinidad (ups)	Temperatura (°C)
Agua Antártica	33,80 - 34,76	2,0 - 6,1
Agua Subantártica	33,70 - 34,80	5,0 - 10,0
Agua Atlántica Sur	34,57 - 35,70	7,5 - 18,0
Agua Atlántica Norte	35,03 - 36,20	7,5 - 18,0
Agua Mediterránea	35,00 - 36,50	4,0 - 12,0
Agua Indica	34,50 - 35,71	7,7 - 16,0
Agua Pacífica Sur	34,47 - 35,64	6,2 - 17,0
Agua Pacífica Norte	34,02 - 34,74	9,0 - 17,05

Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/sec_9.html

Tabla 3.2. Masas de agua a nivel vertical



Fuente: Villegas 2009

En cuanto a las masas de aire Bergeron (1929) fue el primero en hablar de este término, y definió a una masa de aire como “una porción de la atmósfera cuyas propiedades físicas son más o menos uniformes en la horizontal y su cambio abrupto en los bordes” (<http://horacio9573.blogspot.com/2006/11/masas-de-aire-y-frentes.html>). Una masa de aire tiene una gran extensión horizontal (500 a 5000 km) y vertical (0,5 a 20 km) y se caracteriza por tener cierta uniformidad en sus propiedades físicas principalmente en la temperatura del aire (T_a) y la humedad relativa (H_r).

La atmósfera es un todo constituido por porciones considerables de masas de aire que tienen lugar en su primera capa, es decir, la troposfera. Las masas de aire adquieren sus propiedades de las regiones donde se forman. Una masa de aire se forma en una porción extensa de la superficie de la Tierra, ésta es llamada región de origen, y se genera debido al estancamiento o al movimiento lento de las corrientes de aire que permanecen en contacto el tiempo suficiente para adquirir una temperatura y un determinado contenido de humedad (http://www.educaplus.org/climatic/03_masasaire.html).

Cuando la masa de aire sale de su región de origen, sus propiedades se modifican en función de la superficie sobre la cual se mueve y el tiempo empleado. Como la llegada de la masa de aire trae consigo la variación de las condiciones atmosféricas del lugar, es conveniente conocer su procedencia, ya que, sabiendo ésta será más fácil predecir la variación atmosférica en el lugar; así por ejemplo, si una masa de aire que se aproxima procede de una superficie oceánica deberá esperarse a que llegue cargada de humedad.

Las masas de aire se clasifican según su temperatura en: Masa de Aire Ártica (A), Antártica (AA), Polar (P), Tropical (T) y Ecuatorial (E), y por la humedad del aire en marítima (m) y continental (c). La figura 3.1 muestra la ubicación de las masas de aire a nivel mundial.

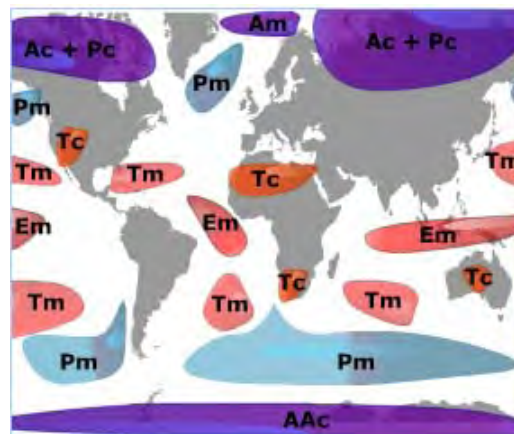


Figura 3.1. Ubicación a nivel mundial de las masas de aire.
http://www.educaplus.org/climatic/03_fact_masasaire.html

La tabla 3.2 muestra las características de las masas de aire y algunas de sus propiedades.

Tabla 3.2. Relación de la Ta y la Hr de las masas de aire.

Identificación de zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC y relación entre la variabilidad de parámetros oceanicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas y la OAN.

Masa de Aire	Símbolo	Temperatura (°C)	Humedad Específica (g/kg)	Propiedades
Ártica continental Ártica continental invierno	Ac AAc	-55 a -35	0.05 a 0.2	Muy fría, muy seca, muy estable
Polar continental invierno verano	Pc	-35 a -20 5 a 15	0.2 a 0.6 4 a 9	Fría, seca y muy estable Fría, seca y estable
Polar marítima invierno verano	Pm	0 a 10 2 a 14	3 a 8 5 a 10	Fresca, húmeda e inestable Fresca, húmeda e inestable
Tropical continental	Tc	30 a 42	5 a 10	Cálida seca e inestable
Tropical marítima verano	Tm	22 a 30	15 a 20	Cálida, húmeda, estabilidad variable
Ecuatorial marítima	Em	Aprox. 27	Aprox. 19	Cálida, muy húmeda e inestable

Fuente: <http://personal.redestb.es/artana/meteoclub/masas.htm>

3.2. OSCILACIÓN ATLÁNTICO NORTE

La Oscilación Atlántico Norte (OAN) es la alternación de la masa atmosférica entre las regiones subtropical y subpolar del océano Atlántico Norte (Poveda, et al 1997). Esta oscilación es un fenómeno climático que se genera en el Norte del Océano Atlántico, y se estudia básicamente a través del Índice de Oscilación Atlántico Norte (IOAN). Este índice es calculado de dos formas; por ejemplo la Universidad de East Anglia, que cuenta con datos calculados desde 1820 lo calcula en base a la diferencia de las presiones atmosféricas normalizadas en Ponta Delgada (Islas Azores) y Akureyri (Islandia), valores positivos del índice indican altas presiones en Azores y bajas profundas en Islandia mientras que valores negativos indican debilidad en las presiones atmosféricas normalizadas en ambos polos. La NOAA por su parte, lo calcula mediante un análisis completo de las anomalías de geopotencial a 500 hpa entre los 20 y 90°N. Esta serie requiere datos de reanálisis más complejos (los del NCEP/NCAR) que la serie de presión de dos estaciones, por lo que la serie de la NOAA se inicia solo desde 1950. Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó la serie de la NOAA.

La influencia de la OAN sobre las condiciones meteorológicas ha sido caracterizada durante las últimas décadas por Hurrell (2006), Thompson y Wallace (1998). Y se ha identificado que debido a que la OAN es más intensa en invierno, la gran mayoría de los estudios hacen referencia particularmente a esa época del año.

En la figura 3.3 se pueden identificar las dos fases, en ésta se observa la intensidad de la presión atmosférica representada en la escala inferior, donde el color blanco representa una baja presión y el color azul una alta presión. En la fase positiva estos colores se observan muy fuertes por lo que su diferencia de presión es mayor; y en la fase negativa estos son más tenues con la diferencia de presión es menor.

Cada una de estas fases provoca condiciones meteorológicas diferentes alrededor del Atlántico Norte, considerándose como uno de los elementos causantes de la variabilidad climática, sobre todo durante el periodo invernal en muchos países del hemisferio Norte (Rivero, 2005) y se dice que reproduce aproximadamente el 60% de la varianza total de la presión del nivel del mar, (Gimeno, 2003), lo que hace que se vean afectadas las cosechas, el suministro de energía, la pesca y por ende a las personas que habitan estas regiones (Trigo et al, 2002, 2004b).

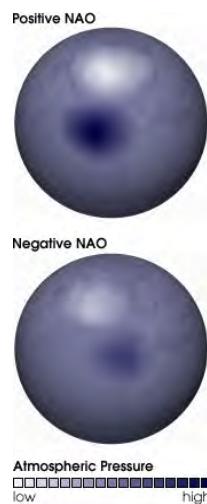


Figura 3.3. Fases de OAN

Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/Oscilaci%C3%B3n_del_Atl%C3%A1ntico_Norte

En la figura 3.4 se muestra la tendencia de las anomalías del IOAN desde 1900 hasta el 2004, se suele considerar que un año es de OAN positiva (OAN+ ó fase positiva) cuando el valor del índice es mayor a 1.0 y OAN negativa (OAN – ó índice negativo) cuando el valor del índice es -1. En ésta figura, se ve que hay épocas donde este índice cambia de año a año como sucedió entre 1908-1912, 1925-1932 y 1954-1961 aproximadamente, pero también se observa que hay épocas donde permanece en una fase en intervalos que duran varios años como 1905-1909, 1920-1924 etc. Se observa un importante aumento de las anomalías positivas, especialmente en el último cuarto del siglo XX desde 1970 aproximadamente.

Identificación de zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC y relación entre la variabilidad de parámetros oceanicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas y la OAN.

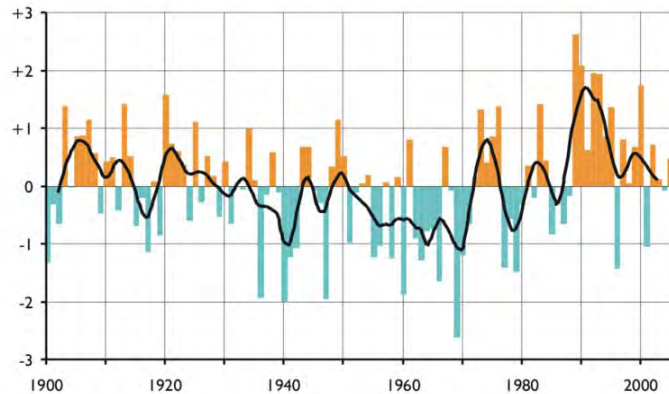


Figura 3.4. Tendencia de las anomalías del IOAN desde 1900 hasta el 2004
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Oscilaci%C3%B3n_del_Atl%C3%A1ntico_Norte

La tendencia a una fase positiva en los últimos años, ha motivado a estudios recientes, donde se ha observado que las anomalías más pronunciadas han ocurrido desde el invierno de 1989 (Hurrell 1995) cuando se han registrado los valores positivos de un índice de la NAO.

El IOAN, presenta una considerable variabilidad interestacional e interanual, siendo de gran interés la persistencia en las últimas décadas a la fase positiva, ya que esta variación controla las fluctuaciones en la velocidad y dirección de los vientos superficiales del Oeste de las latitudes medias del Atlántico Norte, así como el transporte meridional de calor y vapor de agua lo que lleva como consecuencia cambios en los patrones de temperatura y precipitación en el Atlántico Norte (Rivero, 2005).

La figura 3.5 se observa la serie de la NOAA calculada mediante las anomalías de geopotencial a 500 hpa entre 20 y 90°N. Este gráfico tiene valores desde 1950 hasta la actualidad, en el se presentan todos los valores de los meses, el máximo el mínimo y la media anual (que es el dato que comenta todo el mundo).

Identificación de zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC y relación entre la variabilidad de parámetros oceanicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas y la OAN.

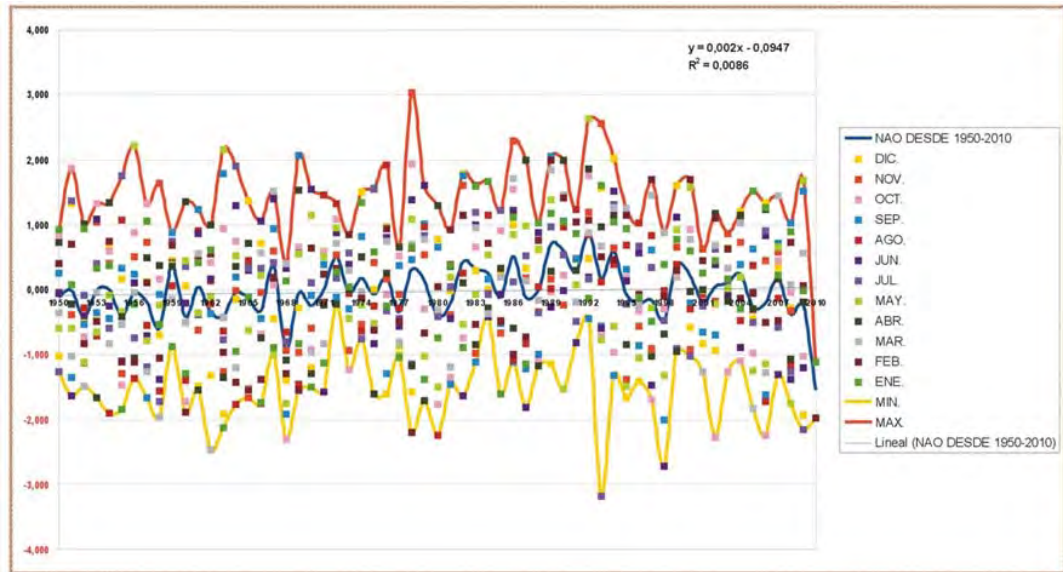


Figura 3.5. IOAN Calculado por la NOAA desde 1950 hasta la actualidad
Fuente: <http://yfrog.com/66nao> 19502010j

La figura 3.6 muestra el Atlántico Norte con una OAN positiva, esta fase presenta vientos del Oeste fuertes que penetran en las latitudes altas de Eurasia. El centro de presión subtropical es mayor de lo normal mientras, que el centro de baja presión en Islandia es más profundo de lo normal, ocasionando al Este de los Estados Unidos condiciones invernales moderadas y húmedas.

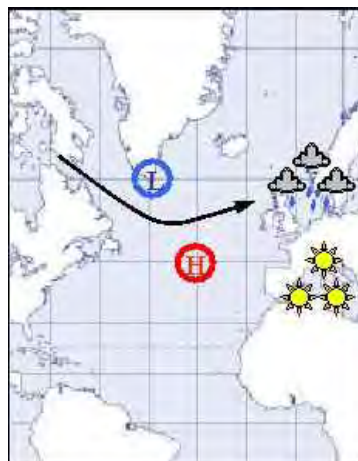


Figura 3.6. Condiciones de la OAN Fase Positiva

Fuente: www.atmosphere.mpg.de/~1Los_oceanos_y_el_clima/La_Oscilaci3n_del_Atlantico_Norte_3wa.html

Esta fase se caracteriza porque hay muchas tormentas sobre el Océano Atlántico Norte, y estas tormentas a su vez llevan aire caliente que contiene grandes cantidades de vapor de agua al Norte de Europa haciendo que aquí los inviernos sean más húmedos y cálidos. Más al sur, los vientos llevan aire frío y seco de la tierra a la zona mediterránea haciendo que los inviernos sean soleados pero fríos (Sánchez, 2005).

La fase positiva:

- + Muestra generalmente una presión más fuerte en las islas de los Azores (65°N) y una presión más baja de lo normal en el punto bajo islandés (38°N).
- + La gran diferencia de la presión da lugar a fuertes tormentas en invierno que cruzan el Océano Atlántico.
- + Esta fase da lugar a inviernos cálidos y húmedos en Europa, e inviernos fríos y secos en Groenlandia y el norte de Canadá.
- + Los E.E.U.U. del este experimentan condiciones suaves y húmedas en invierno.

La figura 3.7 representa las condiciones de la OAN en fase negativa, las masas de aire Atlánticas penetran poco en el interior, en donde domina el frío del anticiclón siberiano de invierno. En esta fase las tormentas de invierno son más débiles y menos frecuentes. Estas tormentas siguen un recorrido más al sur que aquéllas que están asociadas a las condiciones de OAN positiva, y llevan aire cálido y húmedo al Mediterráneo. Tales tormentas también permiten que llegue aire frío del Noreste al Norte de Europa. Este viento del Norte viaja desde el Polo Norte sobre el Mar de Groenlandia enfriando el agua lo suficiente como para que descienda y se formen nuevas aguas profundas (Sánchez et al, 2005).



Figura 3.7. Condiciones de la OAN Fase Negativa

Fuente: www.atmosphere.mpg./1Los_oceanos_y_el_clima/La_Oscilación_del_Atlántico_Norte_3wa.html

La fase negativa:

- ✦ Muestra una presión débil tanto en el punto bajo islandés como en el punto alto subtropical.
- ✦ El pequeño gradiente de la presión da lugar a menos tormentas débiles en invierno que van desde el Oeste hacia el Este. Traen el aire húmedo hacia el Mediterráneo y aire frío hacia el Norte de Europa.
- ✦ La costa del Este de los E.E.U.U. experimenta brotes de un aire más frío y por lo tanto condiciones atmosféricas nubladas, pero sin precipitaciones. Groenlandia, sin embargo, presenta temperaturas de invierno más suaves.
- ✦ La pequeña diferencia de presión permite que el aire del Norte llegue al Norte de Europa haciendo que los inviernos sean secos y soleados pero fríos (Sánchez et al 2005).

Por otra parte, la tendencia en la OAN produce varios cambios notables en el clima y el tiempo sobre las latitudes medias y altas del hemisferio Norte, así como en ecosistemas marinos y terrestres. Entre estos cambios están:

- ✦ Aumento de los vientos subpolares del Oeste desde la superficie a la estratosfera más baja (Thompson et al. 1999).
- ✦ Inviernos más suaves en Europa, corrientes bajas a través de Asia, inviernos más severos sobre el Este de Canadá y el Atlántico Noroeste (Hurrell 1995; Hurrell 1996).
- ✦ Cambios regionales en los modelos de la precipitación (Hurrell 1995) dando por resultado el avance de algunos Glaciares Europeos del Norte y el retroceso de los Glaciares Alpinos.
- ✦ Cambios en la cubierta de hielo en ambos mares de Labrador y de Groenlandia así como sobre el ártico.
- ✦ Disminuciones en la presión media a nivel del mar sobre el ártico.
- ✦ Cambios en las características físicas del agua de mar en el ártico.
- ✦ Cambios en la intensidad de la convección en los mares Labrador y los de Groenlandia e Islandia la cuál alternadamente influencia la fuerza y el carácter de la circulación atlántica meridional.
- ✦ Tendencia en el Atlántico Norte de ondas superficiales altas.
- ✦ Cambios en la producción del zooplancton y en la distribución de pescados.
- ✦ Cambios en la longitud de la estación de crecimiento sobre Europa, y cambios en los procesos dinámicos de la población de varias especies terrestres.

3.3 GEOLOGIA GENERAL Y MORFOLOGÍA SUBMARINA EN EL MARGEN CONTINENTAL Y LOS FONDOS OCEÁNICOS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO

El MCC hace parte de la masa de agua llamada Gran Caribe, el conjunto de países de tierra firme que hacen parte de éste son: México, todos los países centroamericanos hasta Panamá, incluido el Salvador y los países del Norte de Suramérica, Venezuela, Guyana, Guyana Surinam y por supuesto la Costa Caribe Colombiana.

El Gran Caribe y por ende el Mar Caribe Colombiano y el Caribe Colombiano gozan de una privilegiada posición en el planeta, ocupando una significativa porción que se denomina Zona Intertropical, lo que hace referencia a la porción marina y terrestre enmarcada latitudinalmente por el Trópico de Cáncer al Norte y el Trópico de Capricornio al Sur (CIOH, 2010).

Es importante resaltar que la región Caribe Colombiana cuenta con una parte continental y una parte insular. El Caribe Colombiano insular está representado principalmente por el archipiélago de San Andrés, Providencia, Santa Catalina, los cayos de Roncador, Quitasueño, Serranía y demás cayos, islotes adyacentes y bajos coralinos. La región insular del Caribe Colombiano le permite al país extender su territorio en ultramar tanto en el sentido de la latitud como de la longitud, lo que es una importante ventaja debido a que junto con sus posesiones en el Pacífico se puede afirmar que Colombia es 50% mar.

El presente estudio, tomó la porción del cuerpo de agua comprendida en un rango latitudinal entre 8°3'N hasta 13°N, desde el límite con Panamá en el Suroeste, en longitud 79° W, hasta la alta Guajira al Noreste longitud 71°3'W.

3.3.1 Contexto Geológico y Configuración Geotectónica del Caribe Colombiano

El Caribe Colombiano es una región que se encuentra ubicada dentro de un ambiente tectónico compresional con componentes direccionales producto de la interacción entre la placa continental Suramericana y las placas oceánicas Caribe y Nazca (Taboada et al, 2000, Trenkamp et al, 2002). El movimiento relativo de estas placas ha generado arcos magmáticos entre el Jurásico y el Paleógeno, la acreación de fragmentos de corteza oceánica (ofiolitas) del Jurásico-Cretácico y la formación de cinturones plegados denominados como Sinú y San Jacinto (Toto y Kellogg 1992, Ingeominas 2003).

En la figura 3.8 se muestra la configuración geotectónica de la esquina Noroccidental de Suramérica. En negro se presenta el bloque Norandino (BNA) donde se encuentra localizado el Caribe Colombiano. También se observa la placa Nazca (Nzc), la placa

Identificación de zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC y relación entre la variabilidad de parámetros oceanicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas y la OAN.

Cocos (Coc), la placa Caribe (Car), La placa Norteamericana (NA) y la placa Africana (Afr).

La plataforma continental del Caribe Colombiano se extiende por más de 110 Km entre el Golfo de Urabá y la Península de la Guajira, estando limitada de forma general por la cota batimétrica de -200 m, donde sus valores varían desde valores mínimos en cercanía a Santa Marta hasta valores superiores a 50 Km en la zona del Golfo de Morrosquillo (López, 2005). El talud continental está limitado entre las cotas batimétricas de -200 m y -3500 m, con una amplitud inferior a 100km, este rasgo representa la forma de un arco que cambia de orientación Norte-Nororiente en su esquina Suroccidental a una tendencia Oriente-Nororiente (Fig 3.9).



Figura 3.9. Configuración Geotectónica de la esquina Noroccidental de Suramerica
Fuente. Rangel et al 2010.

Las características geomorfológicas y sedimentarias del Caribe Colombiano son consecuencia de los fenómenos que intervienen en diferentes escalas de tiempo y espacio como: La Tectónica regional, que responde a la interacción entre las placas Suramérica, Nazca y Caribe. El aporte de sedimentos terrígenos provenientes del sistema montañoso de los Andes colombianos y la Sierra Nevada de Santa Marta a través de los ríos Atrato, Sinú, Magdalena y Ranchería que se depositan en la plataforma continental. El fenómeno de diapirismo de lodo que es consecuencia de procesos sedimentarios y tectónicos. Variaciones en el nivel del mar durante el Holoceno. Finalmente a la dinámica marina actual influenciada por procesos tectónicos, sedimentológicos, marino costeros, climáticos, biológicos y antropogénicos (Rangel et al 2009).

En el MCC se caracterizan cuatro sectores con geomorfología y sedimentología distintivas como se observa en la figura 3.10, el primer sector es el de la Guajira que posee una plataforma continental que se va ampliando hacia el Oriente desde inmediaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, ésta plataforma continental presenta amplitudes entre 8 y 17 Km, finalizando entre los -90 y -130 m de profundidad donde su declive aumenta paulatinamente constituyendo el talud continental (Cuignon, 1987). El segundo es el sector Tayrona caracterizado por la ausencia de una verdadera plataforma continental tratandose de un talud muy cercano a la costa con pendientes altas y variables entre 2° y 18° que se encuentra cortado por valles estrechos y cañones orientados de manera oblicua y perpendicular a la costa. El tercer sector es el Delta del Magdalena que presenta una plataforma estrecha (< 2 Km) lo que provoca que un alto porcentaje de la carga sedimentaria transportada por el rio se deposite de manera directa sobre el talud continental. En este sector predominan los sistemas de flujo representados por canales y cañones que nacen en la plataforma prolongandose hasta la parte inferior del talud permitiendo el desarrollo de corrientes turbias.



Figura 3.10. Margen Continental y fondos oceanicos del Mar Caribe Colombiano.

Fuente.Rangel et al 2010

Las características sedimentológicas presentan un marcado dominio de sedimentos detríticos lodosos a areno-lodosos. Por último el sector del Sinú influenciado por la presencia del denominado cinturón del Sinú que exhibe una geomorfología submarina compleja de relieves positivos, escarpes, antiformal y canales enterrados. La mayoría de estas geoformas son producto del fenómeno de diapirismo de lodo y de la actividad tectónica de la zona. Los sedimentos terrígenos se restringen hacia la desembocadura del canal del Dique y los ríos Sinú y Atrato (Rangel et al, 2009).

3.4. RELIEVE DE LA COSTA COLOMBIANA

En cuanto al relieve del sector costero del Caribe Colombiano se tienen llanuras, serranías, sistemas aislados y depresiones:

- ✦ La llanura que es la porción más o menos plana que ocupa casi la totalidad del espacio que se considera, donde se ve alterada esta continuidad por la Sierra Nevada de Santa Marta.
- ✦ Las Serranías están representadas en las estribaciones de las tres cordilleras así: en la cordillera Oriental por la Serranía de Penjá, en la cordillera Central por la Serranía de San Lucas y la cordillera Occidental por la Serranías de Abibe, San Jerónimo y Ayapel.
- ✦ Sistemas Aislados como los Montes de María, Oca al occidente y La Macuira en medio del desierto guajiro.
- ✦ La depresión que se encuentra representada por la mayor cuenca de sedimentación del país, depresión Momposina.

Estas unidades fisiográficas representan para la región una gran importancia, ya que constituyen el elemento regulador del clima y la oferta hídrica, especialmente la Sierra Nevada de Santa Marta. Para una mejor caracterización del área se han identificado seis subregiones claramente definidas las cuales tienen influencia en la climatología del Caribe Colombiano y por ende del MCC (Gámez, 2008):

- a. Subregión Península de la Guajira: Esta se caracteriza por que al occidente cuenta con un paisaje exótico de llanuras modeladas por la acción de los ríos y el mar donde se destacan algunos pequeños deltas. Al oriente sobresalen algunas serranías de escasa altitud (Parash, Cocinas, Chimare) y muy especialmente los Montes de la Macuira (828 m.s.n.m.) lo que hace que se constituya en un importante centro de condensación de los vientos Alisios del Noreste, dando lugar en medio del desierto guajiro a una selva húmeda, la Península se caracteriza por que al Norte es seca y al Sur es mas húmeda.
- b. Subregión Sierra Nevada de Santa Marta: Esta subregión es de forma piramidal con aproximadamente 120 Km de longitud a cada lado y tiene una altura que alcanza los 5.775 msnm en sus picos Colón y Bolívar, se constituye así en el macizo montañoso más alto del mundo cercano al mar. Dada su altura exhibe todos los pisos térmicos por lo que ecosistémicamente cuenta con una altísima biodiversidad expresada en ocho tipos diferentes de formaciones vegetales que son representativo de toda América tropical: Húmedo ecuatorial, tropical aiternohígrico, subserofitico, desértico tropical, selva subandina, selva andina, páramo, superpáramo y piso nival. Existen algunas diferencias climáticas en la Sierra, según el lado considerado, así en lo

referente a la humedad, tiene un lado húmedo el oriental frente a los vientos Alisios, otro semihúmedo frente al mar y uno bastante seco en la vertiente occidental.

- c. Subregión Depresión Momposina: Es una llanura baja, cenagosa, de clima cálido y húmedo, se extiende desde la confluencia del Brazo Mompox y Brazo Loba hasta donde el Cauca entrega sus aguas al Magdalena, un punto llamado Coyongal; incluye la porción de territorio conocida como el Cono Deltaico del Cauca y a la Región de la Mojana. En la Depresión Momposina se forma un delta interior donde convergen las aguas del Magdalena, el Cauca y el San Jorge, inundando anualmente la zona desde abril hasta noviembre. Esta zona está sometida a un constante proceso de hundimiento debido al peso de los sedimentos y a su localización entre fallas geológicas activas. Los cálculos de este fenómeno de subsidencia indican que fluctúa entre 0.9 y 2.5 mm por año. En los últimos 2.000 años, la zona ha podido hundirse entre 1.8 y 5 m (Datos Proyecto Colombo-Holandés, Cuenca Magdalena, Cauca).
- d. Subregión Planicie del Caribe: Su ubicación corresponde a la franja litoral propiamente dicha, es decir la que mantiene contacto directo con el mar y se extiende desde el departamento del Cesar hasta las estribaciones de las cordilleras central y occidental. Presenta variadas geoformas como mesas de poca elevación cortadas por la erosión, llanuras de construcción fluvial y marina o combinada y en el litoral, terrazas marinas expuestas, golfos de gran desarrollo como el de Morrosquillo y Urabá, así mismo, las bahías de Santa Marta, Cispatá y Cartagena. Aunque predomina la llanura costera, merecen mencionarse algunos relieves sobresalientes como las estribaciones de las serranías de San Jacinto y Abibe así mismo el Cerro de la Popa en Bolívar.
- e. Subregión del bajo Magdalena: Compreendida entre la confluencia de los brazos Mompox y Loba hasta Bocas de Cenizas, es decir la llanura fluiodeltaica del río Magdalena en su curso bajo. Su dinámica geológica junto con la del área de la Depresión Momposina se caracterizan por un marcado hundimiento tectónico y compactación de sedimentos, diferenciándose el Bajo Magdalena por contar con los complejos cenagosos que le sirven de amortiguadores naturales en tiempo de crecidas, destacándose la Ciénaga Grande de Santa Marta, La de las Piedras y otros espejos de aguas.
- f. Subregión insular San Andrés y Providencia: Representa al Caribe colombiano en ultramar, con una superficie expresada tanto en las islas como en mar territorial. El paisaje es producto de la acción combinada de la tectónica y el vulcanismo; en la parte litoral presenta barreras coralinas, playas arenosas de origen orgánico a partir del esqueleto de corales y otros animales de origen marino y acantilados, todos de

especial belleza, donde se destacan los arrecifes coralinos. Las máximas alturas se presentan en Providencia ya que en San Andrés no superan los 1000 m.s.n.m.

3.5 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS DE LA COSTA CARIBE COLOMBIANA

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, la expresión del comportamiento de la atmósfera, que se caracteriza por los estados y las evoluciones del tiempo en una porción determinada del espacio, referidos a un periodo determinado y suficientemente largo (Eslava, 1994). La Climatología Colombiana y por lo tanto la Climatología de la Costa Caribe Colombiana y el MCC ha sido estudiada por algunos autores durante varias décadas, a continuación se recopilan algunos aportes de los aspectos Climatológicos del Caribe Colombiano.

La posición del país en la zona tropical, hace que sea participe de las mayores proporciones de energía que el sol le transfiere a la tierra. En los trópicos se absorbe la mayor parte de energía solar que luego es transferida a la atmósfera, configurándose así en el motor que determina el desplazamiento del aire entre las latitudes ecuatoriales y polares mediante una circulación meridional. Lo que hace que no se presente una marcada estacionalidad climática como ocurre en zonas templadas. En esta zona se presentan periodos estacionales menos evidentes, que se manifiestan por cambios en el comportamiento de los vientos y las precipitaciones, directamente relacionados con el movimiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Estos periodos estacionales se reconocen comúnmente con el nombre de época seca, una época de transición y una época lluviosa (Salzwedel et al 1983, Blanco 1988, Botero et al 2000, Andrade 2001, CIOH 2010). Estas épocas climáticas pueden cambiar en duración e intensidad debido a factores como son la influencia del Sistema de los Monzones Americanos, corrientes de vientos atmosféricos de bajo nivel, eventos de El Niño y La Niña y Ondas del este (Nystuen et al 1993, Andrade et al 2001, Bernal et al 2006) de las cuales se hablara detalladamente más adelante. También estudios muestran que existen otros factores que actúan también sobre las características climáticas de Colombia, como las condiciones físicas que son propias de la posición geográfica del territorio colombiano, como lo son forma, orientación, rango de latitudes, topografía, vegetación, presencia agua-mar, no continentalidad, distancia al litoral entre otras (Eslava, 1994).

- ✦ Vientos Alisios: La región ecuatorial es el sitio de reunión de los dos sistemas de vientos Alisios (Noreste y Sureste) que se encuentran en la zona llamada Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Esta zona es una región de baja presión orientada de Oriente a Occidente cerca del Ecuador, donde los vientos Alisios del Noreste que son generados como un flujo alrededor de la alta del Atlántico Norte se encuentran con los vientos Alisios del Sur generados como un flujo alrededor

de las altas del Pacífico Sur y Atlántico Sur (Zea et al, 2000). En esta zona se genera gran cantidad de nubosidad y por lo tanto fuertes precipitaciones, debido a que estos vientos convergen el aire húmedo que se encuentra en la zona. Estos vientos pueden variar de dirección por efectos locales de topografía y rozamiento; sin embargo son conocidos por su persistencia y regularidad.

La dirección del viento en la zona costera del Caribe colombiano generalmente muestra una tendencia Noreste-Sureste. Durante la época seca se presentan valores promedios de velocidad entre 6,0 y 7,0 m/s con valores máximos de 18,4 m/s (Franco et al, 2005). En época de transición la intensidad disminuye con valores promedio de 2,4m/s, presentándose un ligero incremento en junio y agosto “veranillo de san Juan”, mientras que en época húmeda se observa una reducción significativa de la velocidad de los vientos con valores promedio de 1,02 m/s (Andrade 1993, Franco et al 2005, IDEAM 2009).

- ✦ La ZCIT se desplaza latitudinalmente desde los 2° hasta 11°N determinando las estacionalidad en el Caribe colombiano. Entre enero y febrero se desplaza hacia el sur permitiendo la influencia de los vientos Alisios de Noreste dando lugar a la época seca, entre septiembre y noviembre se desplaza hacia el Norte entre los 7° y 11° ocasionando la época húmeda. Entre marzo hasta agosto se presenta el periodo de transición causado por el tránsito de la ZCIT (León, et al. 2000).
- ✦ La Precipitación: Sobre las precipitaciones en la región Caribe colombiana, Montealegre (1986) concluye que su distribución es así: En la alta Guajira la precipitación total anual es inferior a 500 mm incrementándose hacia la parte media y baja donde alcanza los 1000 mm. La sierra Nevada de Santa Marta conforma una zona meteorológica desligada del comportamiento general de la región, en la zona Norte se registran precipitaciones superiores a 2500 mm mientras que en la zona Oriental y Suroriental son de 1500 mm. En Cartagena y Barranquilla se registra una precipitación anual de 1000 mm aproximadamente. En las llanuras de Córdoba Sucre, Magdalena y Cesar y hacia el litoral del Urabá oscila entre 1500 y 2500 mm. En las llanuras del Caribe la precipitación aumenta del litoral hacia el interior. Mientras que en las estribaciones de las cordilleras occidental y central supera los 3500 mm
- ✦ Monzones: Esta zona se ve influenciada también por los monzones, los cuales son vientos estacionales que se producen por el desplazamiento del cinturón ecuatorial y son producidos por el contraste de las propiedades térmicas entre el continente y el océano generando cambios estacionales en la dirección del viento. La absorción de la energía solar genera un aumento de la temperatura superficial siendo mayor en el continente que en el océano. En el continente americano se presentan tres

sistemas de monzónicos: Suramérica, Centroamérica y Norteamérica cada uno de ellos generando condiciones climáticas alrededor de las Américas.

- ✦ Corrientes de vientos atmosféricos de bajo nivel: En la estratosfera o en la alta troposfera, se observan corrientes aéreas que son lo suficientemente fuertes para que se les pueda considerar como chorros. El eje de estas corrientes es casi horizontal, y se conocen con el nombre de “corriente en chorro” (Eslava, 1994) o corriente de vientos atmosféricos de bajo nivel y son definidas por la OMM como “Una corriente tubular aplastada, casi horizontal, cerca de la tropopausa centrada en una línea de máxima velocidad y caracterizada por fuertes cizalladura horizontal y vertical de viento. La velocidad máxima debe ser superior a 60 nudos ($\approx 110 \text{ Km/h}$)”. La región Noroccidental de Suramérica se encuentra influenciada por la presencia de estas corrientes que presentan su mayor intensidad entre 900 y 1000 hpa, asociado con fuertes gradientes océano-tierra-atmosfera (Hastenrath, 1991). En Colombia se distinguen el Chorro del Occidente Colombiano o Chorro de Chocó (Poveda, 1998; Poveda y Mesa, 1999) y el Chorro de San Andrés también conocido como el Chorro de bajo nivel del Caribe (Magaña et al, 1999; Amador et al, 1999), la acción de estos dos chorros superficiales contrarios en su dirección influyen también en el sistema climático del litoral Caribe Colombiano (Arias, 2005). En el caso del Chorro del Chocó, este se encuentra localizado en los 5°N , es un Chorro de bajo nivel mas o menos a 850 hpa, con velocidades de 2 m/s en el trimestre marzo-abril-mayo y es máximo con velocidades de 6 m/s en el trimestre septiembre-octubre-noviembre (Poveda, 1998). El Chorro de San Andrés está localizado entre la latitud 13 y 15°N y tiene un núcleo más intenso debajo de los 900 hpa con velocidades máximas mayores de 10 m/s en los trimestres diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto y velocidades mínimas en el trimestre septiembre-octubre-noviembre (Poveda, 1998). El Chorro del Chocó está directamente relacionado con los alisios del Sureste, y es el responsable de la advección de humedad desde el Pacífico sobre el continente, está directamente relacionado con los patrones de precipitación y la ocurrencia de Sistemas Conectivos de Mesoescala en Colombia. Mientras que el Chorro de San Andrés se encuentra relacionado con los alisios de Noreste sobre el Océano Pacífico Oriental, este se relaciona con el clima seco sobre la región de la Guajira por la alta divergencia de humedad directamente asociada a la dinámica del chorro (Poveda, 1998).
- ✦ El Niño Oscilación del Sur (ENOS): En el Pacífico tropical se presentan eventos cálidos y fríos conocidos como “El Niño Oscilación Sur (ENOS)” en los cuales las condiciones atmosféricas y oceanográficas en el Océano pacífico se modifican. Estas variaciones son estudiadas mediante el Índice de Oscilación del Sur (IOS), cuando este índice es negativo se genera EL Niño y cuando es positivo La Niña,

estos eventos ocurren en intervalos entre dos y siete años alcanzando una duración entre 12 y 18 meses.

Se ha logrado establecer que las dos fases del ENOS producen alteraciones de forma irregular en la cantidad y distribución de las lluvias sobre el territorio colombiano. Durante los eventos cálidos El Niño se ha observado una reducción de precipitaciones con un cubrimiento superior al 80% en las llanuras del Caribe (Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena, Cesar y la Guajira) mientras que en el evento La Niña en esta zona se produce un aumento de las lluvias con una cobertura entre 60 y 80% (Montealegre 1996).

El trabajo desarrollado por Giannini et al (2000) concluyen que durante la fase madura de El Niño se presentan condiciones en promedio más húmedas en el Noreste del Caribe (Yucatán, la Costa Caribeña de Honduras, y Cuba), y más secas en Suroeste (Costa Rica y el Norte de Suramérica). En el MCC no se han estudiado con detalle los cambios generados por los eventos El Niño y La Niña, pero si sean detectado modificaciones en los ciclos climáticos que pueden influenciar las condiciones oceanográficas, como los estudios desarrollados por Pabón et al (1998), Rodríguez et al (2003), Franco et al (2005), Caviedes (1998) y Pétus et al (1997).

3.5.1 Procesos que determinan el estado del tiempo en el MCC

Según León et al (2000), Pabón et al (2001), y Melo et al (2002) el clima del Caribe colombiano se ve influenciado por los siguientes procesos.

3.5.1.1 Procesos Sinópticos

Ondas del Este en el Caribe: Las cuales son perturbaciones de tipo ondulatorio que aparecen en el flujo de los vientos. Pabón (1990) afirma que en la atmósfera en la zona tropical del Atlántico es posible observar dos tipos de Ondas del Este: Ondas en los alisios del Noreste y ondas en la ZCIT. Algunas fases de estas ondas están relacionadas con movimientos verticales ascendentes, afluencia de energía, zonas de convergencia relativamente alta en la troposfera baja y convección intensa que trae como consecuencia la formación de nubosidad convectiva; en las otras fases se tiene divergencia en las capas inferiores de la tropopausa, subsidencia y condiciones adversas para el desarrollo de nubosidad de tipo convectivo. Estas ondas presentan curvatura ciclónica y deforman el campo de presión. La importancia de las ondas del Este (son denominadas así debido a su desplazamiento de Este a Oeste), frecuentes en la temporada lluviosa del Norte del país, radica en que el paso de una de ellas sobre un lugar dado produce alteraciones en el estado del tiempo, el cual se va deteriorando paulatinamente. Además, aunque solo un número reducido de ellas se intensifica, una gran parte de los huracanes tienen su origen en ellas. Tienen

espesores de 6 a 8 km, en promedio unos 2.000 km de longitud y se desplazan a velocidades de 15 a 30 km/h (CIOH 2010). En las imágenes de satélites meteorológicos estas ondas aparecen como una agrupación nubosa de dimensión aproximada de 500 km², formado esencialmente por nubes cirrus que cubren la línea o zona de mayor actividad, donde se observan cumulonimbos.

La mayoría están precedidas por la caída de valores de presión atmosférica con pocas nubes, sin lluvias ni nieblas. La nubosidad se incrementa a medida que se aproxima el eje de la onda y luego comienzan a observarse núcleos con nubosidad de altura media y alta y algunos chubascos. El viento cambia de dirección del Noreste al Este. La temperatura no sufre mayores cambios o pasa a ser ligeramente más alta. A la derecha del eje el viento gira del Este al Sureste acompañado de tormentas, aumenta la presión y el contenido de humedad de la masa de aire. Una vez que la onda en su avance hacia el Oeste ha cruzado sobre determinado lugar y se aleja del mismo, las condiciones del tiempo se normalizan y se imponen nuevamente los vientos Alisios. Cuando se presentan tormentas al Oeste de la vaguada, es decir antes del cruce del eje de la misma, estas manifestaciones son indicativas de la inestabilización que se presenta en la onda, la cual puede intensificarse hasta niveles en los cuales se originan los huracanes. Las ondas débiles son a menudo difíciles de localizar con exactitud pues van acompañadas de poco cambio en el tiempo y solamente producen un incremento en la nubosidad sobre tierra en horas diurnas y sobre el mar en horas nocturnas.

Las corrientes de aire que se desarrollan en la costa Oeste de África hacen su recorrido a través del océano Atlántico, algunas de éstas se convierten en tormentas tropicales e incluso pueden convertirse en huracanes del Atlántico, especialmente en áreas de baja presión del Caribe Oriental. Por lo tanto, el Gran Caribe por su ubicación, es un lugar propenso a la aparición de huracanes, éstos pueden presentarse entre junio y diciembre, adquiriendo mayor fuerza entre agosto y septiembre. En promedio se producen anualmente 9 tormentas tropicales donde 5 de éstas alcanzan la intensidad de huracanes. El Centro Nacional de Huracanes afirma que en el Gran Caribe han ocurrido 385 huracanes entre 1494 y 1990.

- ✦ **Frentes Fríos:** Son una franja de mal tiempo que ocurre cuando una masa de aire frío se acerca a una masa de aire caliente. El aire frío, siendo más denso, genera una "cuña" y se mete por debajo del aire cálido. Los frentes fríos se mueven rápidamente, son fuertes y pueden causar perturbaciones atmosféricas tales como tormentas de truenos, chubascos, tornados, vientos fuertes y cortas tempestades de nieve antes del paso del frente frío. Dependiendo de la época del año y de su localización geográfica, los frentes fríos pueden venir en una sucesión de 5 a 7 días.

Sobre el mar Caribe los frentes fríos empiezan a transitar desde diciembre hasta marzo provenientes de las altas latitudes, descendiendo en ocasiones hasta los 10° Norte. Estos sistemas frontales generalmente ocasionan aumentos significativos en el gradiente de presión en el área, generan incrementos en la intensidad de los vientos y en la altura del oleaje o mar de leva.

✦ **Ciclones Tropicales:** Estos son sistemas de baja presión que se observan en la zona donde actúan los Alisios del Noreste y Sureste, caracterizados por la intensidad de los vientos, nubosidad de tipo convectivo, abundantes lluvias y por supuesto valores bajos de presión. Se pueden clasificar según el valor de velocidad del viento en: depresiones tropicales con velocidades menores a 16 m/s, tormentas tropicales con velocidades entre 16 m/s y 33 m/s y huracanes donde las velocidades alcanzan valores superiores a 33 m/s. En el MCC los ciclones tropicales se presentan entre junio a noviembre (Ortiz, et al 2007). Estos vientos fuertes cuando interactúan con la superficie del mar, producen alto oleaje, mar de leva, mar de fondo y marea de tempestad en la costa.

3.5.1.2 Procesos Mesoescalares

En la zona costera se encuentran procesos de circulación mesoescalares de brisa mar-tierra que se manifiestan durante el día y brisas tierra-mar durante la noche. Dependiendo de las condiciones generadas por sistemas sinópticos de mayor escala se pueden desarrollar plenamente o se aniquilan con lo que se generan variaciones diarias de tiempo atmosférico en una franja paralela al litoral que puede alcanzar hasta 3 km de ancho sobre el mar y la tierra.

Los procesos locales se presentan cuando la humedad es elevada generando un fuerte calentamiento diurno que produce procesos convectivos fuertes que dan origen a fenómenos como tormentas eléctricas, vendavales y granizo (Pabón et al 2001).

3.5.1.3 Interacción océano-atmosfera en el MCC

Tanto la capa superficial, como la capa intermedia y la capa profunda del océano presentan una circulación estrechamente vinculada con la circulación atmosférica.

El desplazamiento de las masas de agua presenta dos categorías de movimientos: las olas, que son movimientos periódicos constituidos por una serie regular de crestas y depresiones; y las corrientes, que son el movimiento de una masa de agua como flujo en una dirección dada.

★ **Olas:** La dirección, el periodo y la altura del oleaje en la costa Caribe colombiana están directamente relacionados con el patrón de los vientos, a mayor energía del

viento mayor es la altura de la ola (Posada et al, 2006). En época seca en el Caribe colombiano (diciembre-marzo) los vientos son fuertes en la Guajira y las direcciones predominantes son Este y Este-Norte, en esta zona la altura promedio de la ola es de 2.1 m. Mientras que en el Magdalena el oleaje llega del Noroeste y Este con una altura de 2.4 m y en la zona sur el oleaje proviene del Norte, Noreste y Noroeste con un importante componente Sur y una altura de 2.3 m. Los valores van disminuyendo a medida que cambia la época climática en el Caribe colombiano; en época de transición (junio-julio) el oleaje en la zona Norte presenta valores promedio de 1.8 m en el Magdalena de 2.0 m y en la zona Sur de 1.8 m (INVEMAR-ANH-2008).

En época húmeda (abril-junio) se presentan los menores valores de altura de ola con un valor promedio de 1.7 m en el Norte, 1.8 m en la región Sur y 1.6 m en el Magdalena. Así mismo en el periodo de junio-noviembre el paso de los huracanes produce trenes de oleaje que generan algunas elevaciones importantes en el nivel del mar (Andrade et al, 2000).

- ★ Mareas: La mayor parte del mar Caribe presenta un valor medio mareal a 0.20 m. En la parte continental de Nicaragua y en el extremo Suroriental del Caribe el rango mareal excede los 0.40 m. La marea tiene influencia en el proceso costero, especialmente en las corrientes de los estuarios y las bahías, particularmente para el MCC la marea presenta un rango entre 0.20 y 0.30 m y rara vez excede los 0,50 m, por lo que no es significativa en cuanto a su contribución a la variable de las corrientes oceánicas de la zona (Wiedemann 1973, Kjerfve 1981, Morales 2004).

La marea en el Caribe colombiano es mixta diurna, lo que quiere decir que se presenta una pleamar (elevación) y una bajamar (descenso) durante el día, y mixta semidiurna cuando se presentan dos pleamares y dos baja mares (uno más alto y uno más bajo que el otro) durante un día. Estos patrones se presentan con cierta irregularidad (Kjerfve 1981, Andrade et al, 2003). En Cartagena e Islas del Rosario la marea es mixta diurna mientras que en San Andrés es mixta semidiurna (Morales 2004).

- ★ Surgencias: La surgencia es una situación en la cual el agua de mar profunda, asciende debido, en principio a la acción de los vientos que soplan paralelamente a la costa: Cuando los vientos soplan hacia el ecuador, a lo largo de las costas occidentales, las aguas superficiales son arrastradas hacia las bajas latitudes (Ecuador) y la fuerza Coriolis desvía las aguas costeras hacia altamar, por lo cual el agua fría de la profundidad asciende y reemplaza a las aguas costeras superficiales que han sido desviadas (Eslava 1994).

En la zona Norte del Mar Caribe colombiano frente a la Guajira se presenta un movimiento ascendente de aguas subsuperficiales (surgencia) ocasionado por la

fricción de viento sobre la capa superficial (transporte de Ekman). Esta surgencia ocurre prácticamente durante todo el año y es mayor en época seca y menor en época húmeda. En algunas ocasiones se generaliza a lo largo de la costa colombiana desde la Guajira hasta la Punta canoas Bolívar (Ramírez 1983). En época seca la surgencia costera presenta dos centros de intensidad máxima donde los Alisios son más veloces y frecuentes, uno al Norte y al Oeste del Cabo de la Vela en la Guajira y otro frente al cabo de la aguja entre el limite oriental del Parque Natural Tayrona y el Rodadero en Santa Marta.

En la Guajira los fuertes vientos desplazan la capa superficial penetrando hasta una profundidad de 150 m, alterando la estratificación superficial del Caribe colombiano (Andrade et al, 2005). Las aguas superficiales son remplazadas por aguas profundas provenientes de la Masa de Agua Subsuperficial Subtropical (Wüst 1964, Hernández et al, 2000).

3.5.1.4 Épocas climaticas en el litoral Caribe Colombiano.

La climatología del Caribe Colombiano presenta dos estaciones como se dijo anteriormente una seca y una húmeda, la estación seca se observa entre los meses de diciembre a marzo y durante el resto del año tenemos una estación húmeda, que se puede ver interrumpida por algunos mínimos relativos en los meses de julio y agosto este periodo es conocido comúnmente como “el veranillo de San Juan” (Pujos et al, 1988; Mesa et al, 1997). La estación seca y el veranillo están relacionados con el Chorro de San Andrés, cuando este es más fuerte se presenta una época seca en toda la Costa Caribe Colombiana, coincidiendo con los alisios del Noreste muy fuertes o intensos. Asimismo durante el “veranillo” el Chorro de San Andrés presenta las velocidades más altas del ciclo anual.

✦ La época seca desde diciembre hasta marzo (aunque algunos autores la identifican de diciembre a abril, debido a diferentes factores que hacen que cambien en duración e intensidad), se caracteriza por vientos fuertes del sector Norte-Noreste y lluvias débiles y escasas. La ZCIT durante la última semana de diciembre se mantiene estable sobre los 8°N, incrementando la nubosidad sobre el área del litoral Caribe centro y litoral Caribe sur, para posteriormente durante los meses de enero a marzo, descender notablemente hasta los 4°N.

En esta época pueden presentarse los denominados "Mares de Leva", ocasionados por la incursión en aguas del Mar Caribe de Frentes Polares provenientes del Hemisferio Norte, cuando alcanzan a llegar a los 15°N. Durante el inicio de la época seca sobre el Mar Caribe, lo más significativo son los avances de los extremos sur de los frentes fríos, más exactamente entre la península de Yucatán, las Antillas mayores

(Cuba y República Dominicana) hasta el centro del Mar Caribe, entre las latitudes 15°N a 11°N, trayendo consigo abundantes vientos y descensos paulatinos en la Ta.

En la época seca se presenta el incremento paulatino de los vientos Alisios en los primeros días, debido a dos sistemas de alta presión que se posicionan, el primero sobre aguas del Atlántico Norte (Azores), y el segundo sobre el Norte del Caribe colombiano, posteriormente, como es común para la época seca, el flujo sinóptico de los vientos alisios del Noreste, dominan toda el área del MCC y presentan las mayores intensidades sobre el Norte y Centro del Mar Caribe con valores promedio de velocidad entre 6 y 7 m/s, y valores máximos de 18.4 m/s (Franco et al, 2005).

Como fenómeno significativo para esta época seca, sobre el litoral Caribe colombiano, cabe resaltar la permanencia semicontinua de la baja presión del Darién, sobre el litoral Caribe sur, lo que genera un incremento en la nubosidad y algunas lluvias aisladas hacia el Golfo de Urabá. Por otra parte, el comportamiento de la nubosidad comienza su aumento a medida que transcurre el mes de marzo, y por ende disminuye la influencia de los vientos alisios del Noreste, ocasionando algunas precipitaciones sobre el área del litoral Caribe sur.

✦ La primera época húmeda (abril - junio): Se caracteriza por vientos débiles, de orientación variable y por un régimen de lluvias abundantes. Durante el inicio de la primera época húmeda sobre el MCC, comienza a percibirse el ascenso paulatino de la ZCIT sobre los 8°N, así como la reactivación de la baja presión anclada de Panamá, con lo cual se presentan las primeras precipitaciones. Para el litoral Caribe sur (Golfo de Urabá), estas precipitaciones se registran de forma moderada y fuerte durante el transcurso de la primera época húmeda.

El régimen de vientos durante el comienzo de la temporada, se mantiene bastante constante a lo largo del litoral Caribe Norte (Santa Marta a Punta Espada) y centro (Santa Marta a Delta Río Sinú), manteniéndose en dirección Noreste y Este con valores promedio de 1.02 m/s (Andrade, 1993. IDEAM 2009). Es de resaltar que el comportamiento del viento para esta época, tiende a disminuir su intensidad debido al desplazamiento de la alta presión del Atlántico Norte hacia las altas latitudes (Azores).

✦ La época de transición también denominado "*Veranillo de San Juan*" (junio-julio). Se caracteriza por vientos uniformes y fuertes de dirección Norte y Noreste. El inicio de esta época marca también el comienzo de la temporada de Huracanes en el área del Océano Atlántico Norte, Golfo de México y Mar Caribe que se extiende hasta el mes de noviembre, debido a la intensificación de las ondas tropicales del Este.

La evolución de los parámetros hidrológicos e hidrodinámicos de la región está en estrecha relación con los períodos climáticos identificados. Las variaciones climáticas

estacionales definen la dirección e intensidad de las corrientes regionales y locales, la dirección e intensidad del oleaje y el régimen de precipitaciones.

Se establece una TSM media anual de 28 °C, las variaciones observadas en la temperatura media no superan los 2 °C, esto se debe principalmente a que la temperatura de la superficie del océano presenta fluctuaciones mínimas durante todo el año.

La dirección del viento en zona costera del Caribe colombiano muestra que en época de transición la intensidad disminuye con valores promedio de 2.4 m/s, presentando un ligero incremento en julio-agosto en el “veranillo de San Juan”.

- ✦ La segunda época húmeda (agosto a noviembre): En esta época suelen presentarse los denominados Ciclones Tropicales ó Huracanes, los cuales pueden aumentar el régimen de lluvias en todo el Caribe colombiano. Se caracteriza por una cobertura nubosa sobre el Mar Caribe durante el inicio de esta época, por lo general, se mantiene en la escala de despejado a semicubierto en casi toda el área. Así mismo, a comienzo de agosto, se observa el ascenso paulatino de la ZCIT, asociada a un sistema de baja presión de 1008 mb, sobre el centro del litoral Caribe y parte del Mar Caribe Centro. El comportamiento de la ZCIT al finalizar el mes, se mantiene por encima de los 9°N, lo que ocasiona incrementos en las precipitaciones, acompañadas de tormentas eléctricas.

La alta presión de Azores, sistema que regula la incidencia de los vientos alisios para el océano Atlántico y Mar Caribe, para la época húmeda, se mantiene sobre los 30°N, lo cual favorece que la presión atmosférica se mantenga regulada por la ZCIT y los diferentes sistemas meteorológicos que transcurren sobre esta área. De acuerdo con las cartas sinópticas, la presión atmosférica observa una oscilación en el centro del Mar Caribe de 1010 mb a 1012 mb. Así mismo, sobre el Noroeste se mantiene oscilando con valores de 1012 mb a 1015 mb (CIOH 2010).

A medida que transcurre la segunda época húmeda, el océano se sigue calentando por lo cual muchos de los sistemas tropicales se fortalecen, como es el caso de las ondas del Este, por lo general, cada una de estas ondas, al transitar sobre aguas de la cuenca Caribe, genera aumentos en la cobertura nubosa, acompañadas de abundantes precipitaciones.

Identificación de zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC y relación entre la variabilidad de parámetros oceanicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas y la OAN.

procedencia de los vientos está más asociada a la ZCIT, que a los vientos Alisios, llegándose a presentar vientos en dirección Oeste Suroeste durante este mes con velocidades que oscilan en general entre los 5 a 10 nudos. Esta debilidad de los vientos permite que la altura del oleaje para este mes en el Norte del litoral Caribe no supere los 2.5 m de altura.

3.8 ASPECTOS OCEANOGRAFICOS DEL MAR CARIBE Y EL MCC

El Gran Caribe es un mar mediterráneo que se encuentra situado a lo largo de la Placa del Caribe. Es un mar semicerrado rodeado por las masas de tierra de América del Sur y América central, y separado del Océano Atlántico por las dorsales asociadas al arco de las Islas Antillas. Su fondo marino se divide en 5 cuencas oceánicas: Granada, Venezuela, Colombia, Caimán y Yucatán. Estas cuencas están separadas entre sí por cuatro elevaciones del fondo marino conocidas como dorsales (Figura 3.11).

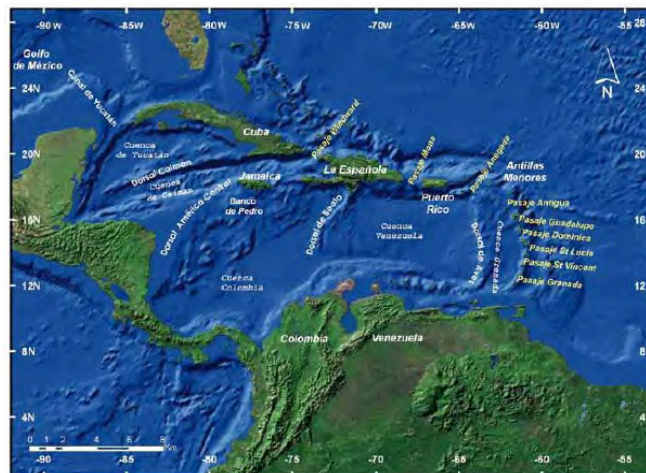


Figura 3.11. Mapa Geomorfológico del Mar Caribe

Tomado de: Lozano et al 2010

El área que ocupa el MCC cubre aproximadamente 540.876 km² con una línea de costa de 1760 km que se extiende desde cabo Tiburón, en límites con Panamá hasta la Península de la Guajira, en límites con Venezuela. El MCC presenta una diferenciación entre los sectores Suroccidental y Noroccidental debido a las interacciones océano-atmosféricas cuando predominan los vientos Alisios del Nororiente (Bernal et al, 2006). El sector Suroccidental se caracteriza por presentar condiciones típicas de mares tropicales, se extiende desde el Golfo de Urabá en límites con Panamá hasta la desembocadura del río Magdalena, incluyendo la zona del Archipiélago de San Andrés y Providencia, mientras que el sector Nororiental presenta condiciones oceanográficas estacionales similares a aguas subtropicales, comprende

la zona desde el Oriente de la desembocadura del Río Magdalena, hasta la punta de la Península de la Guajira (Botero et al, 2000; Bernal et al, 2006)

La Cuenca de Colombia ocupa alrededor del 40% del Mar Caribe. Las condiciones oceánicas en esta área han sido muy poco estudiadas en comparación a la región oriental del Caribe. La variación de la circulación de la cuenca de Colombia es entendida solo a escala regional y se conoce poco a escala interanual y mesoescala (Wüst 1964, Gordon 1967, Andrade et al, 2000).

Los puntos más profundos se encuentran en la depresión de las Islas Caimán alcanzando 7.686 m. A pesar de esto, el Mar Caribe es considerado un mar relativamente poco profundo en comparación con otros grandes cuerpos de agua. El suelo submarino tiene dos fosas oceánicas: La fosa Caimán y la Fosa de Puerto Rico, las cuales ponen el área en alto riesgo de terremotos. Los terremotos submarinos plantean amenazas de tsunamis que podrían tener efectos devastadores en las islas.

★ Corrientes: El sistema de corrientes en el mar Caribe está formado principalmente por; la corriente Ecuatorial Norte proveniente desde las costas de África en dirección Oriente-Occidente hasta las costas de Suramérica, allí se une con la Corriente de Guyana (una corriente que se genera frente a las costas de Brasil por la división de la corriente Ecuatorial Sur) y se dirigen hacia el mar Caribe. Cuando llega a los límites del mar Caribe esta corriente se divide en la Corriente de las Antillas y la Corriente del Caribe. La Corriente del Caribe transporta grandes volúmenes de agua hacia el mar Caribe, entrando a través del arco de las Antillas hacia el Noroccidente, hasta cruzar por el canal de Yucatán hacia el Golfo de México (Figura 3.12).

La principal fuente de energía para el movimiento en el mar Caribe, después de los efectos de las corrientes Norecuatorial y la Guyana, se deriva del viento. Los vientos Alisios que entran al mar Caribe proveniente del Nororiente y Oriente son la fuerza motriz de las corrientes superficiales. Afectando las aguas superficiales hasta los 300 m de profundidad (Gordon 1967).

Las corrientes en el mar Caribe colombiano están influenciadas, además de los vientos Alisios, por tres condiciones generales: la corriente del Caribe (desde la superficie hasta aproximadamente 160 m de profundidad hasta el occidente), la contracorriente Panamá-Colombia (con intensidades que varían con la profundidad), y la corriente profunda del Caribe (que presenta un lento movimiento hacia el oriente) (Andrade et al.2003) (Figura 3.12).

Identificación de zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC y relación entre la variabilidad de parámetros oceanicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas y la OAN.



Figura 3.12. Sistema General de Corrientes Marinas Superficiales
Tomado de: Lozano et al 2010.

Los vientos Alisios crean un comportamiento casi estacional en las corrientes, generando la aparición de áreas de surgencia de aguas subsuperficiales frente a la Guajira y a la Sierra Nevada de Santa Marta, que a su vez se ven favorecidas por la dirección Nororiental y Suroccidental de la línea de costa (Andrade et al, 2003).

Las corrientes marinas en el área sur del Caribe colombiano están dominadas por la contracorriente Panamá-Colombia y el giro Panamá-Colombia. En esta zona se ha registrado un flujo con dirección hacia el Oriente, entre la Corriente del Caribe y la Costa Caribe colombiana, que puede estar relacionado con un giro ciclónico que domina la cuenca de Colombia. La contracorriente que se produce por el giro ciclónico de Panamá-Colombia (con intensidad que varía con la profundidad), localizada en el Golfo del Darién (Andrade et al, 2000) disminuye su intensidad hacia el Oriente desde 6 sv (1 severdrup = $10^6 \frac{m^3}{s}$) hasta 1sv en la Guajira. Esto es debido a que la mayor parte del transporte de la corriente recircula en el Giro ciclónico de Panamá-Colombia. En la Guajira, la contracorriente se sumerge para ser una corriente subsuperficial bajo el centro de surgencias, con el núcleo de máxima velocidad a 200 m de profundidad. La dinámica de la contracorriente está controlada principalmente por los vientos. Durante la época en la que los Alisios del Noreste son máximos la surgencia de la Guajira es máxima y la contracorriente es subsuperficial, mientras que en la época húmeda sucede lo contrario y la contracorriente puede manifestarse en superficie a lo largo de toda la costa Caribe colombiana (Andrade et al, 2000).

El promedio de TSM para el Gran Caribe es de 28°C mientras que la SSM promedia es de 35 a 36 psu. Sobre la variabilidad interanual de la TSM, Bernal et al (2006) analizaron la variabilidad espacio temporal de la TSM a lo largo de la zona costera del

Identificación de zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC y relación entre la variabilidad de parámetros oceanicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas y la OAN.

Caribe Colombiano para cuadrantes $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, como indica la figura 3.13 (en 8 puntos) mediante el estudio de series de tiempo mensuales entre 1982 y 2000.

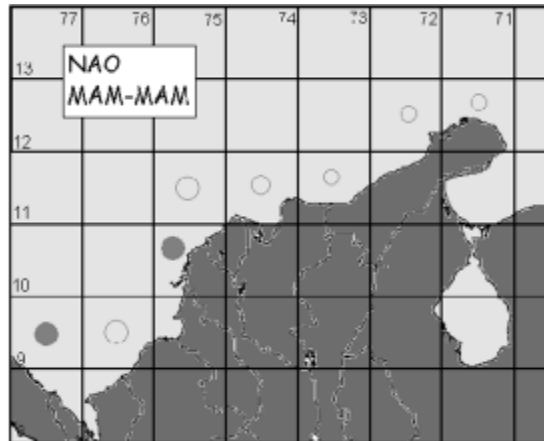


Figura 3.12. Mar Caribe Colombiano
Fuente: Bernal et al, 2006

Los resultados obtenidos por Bernal et al (2006) muestran que la TSM, son bajas en la época seca de diciembre a abril, y altas en época húmeda de mayo a noviembre, con un mínimo relativo en agosto. La variabilidad espacial en el ciclo estacional presenta temperaturas más altas en Suroeste menor amplitud anual y un enfriamiento de julio-agosto menos intenso que en Noreste.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO ESPACIAL

3.7.1 Análisis de Clúster

El análisis de clúster (utilizado por primera vez por Tryon, 1939), es un conjunto de técnicas que se utilizan para clasificar los objetos o grupos homogéneos llamados conglomerados, con respecto a algún criterio de selección predeterminado. Los objetos dentro de cada grupo son similares si guardan alta homogeneidad interna, y diferentes si tienen alta heterogeneidad externa, lo que quiere decir que si la clasificación es óptima, los objetos dentro de cada clúster estarán cercanos unos de otros y los clúster diferentes estarán muy separados (Figueras, 2001). El análisis de clúster tiene como propósito, agrupar aquellos objetos que reúnan idénticas características, y se convierte así en una técnica de análisis exploratorio diseñada para revelar las agrupaciones naturales dentro de una colección de datos. Este análisis no hace ninguna distinción entre variables dependientes e independientes, sino que calcula las relaciones interdependientes de todo el conjunto de variables (Peña 2002). El análisis de clúster es conocido también con el nombre de análisis de conglomerados, taxonomía numérica o reconocimiento de patrones.

La idea general del análisis de clúster es la siguiente: se desea repartir n datos, de dimensión p en conglomerados o grupos (clúster) formados por datos que son parecidos entre sí (Ec. 1). El objetivo del análisis es conseguir que los propios datos sugieran una agrupación adecuada (esta técnica de análisis de conglomerados se pueden usar, tanto para datos cualitativos como cuantitativos, con algunas diferencias).

$$X = x_{i_1}, \dots, x_{i_n} \quad (1)$$

Por lo general para realizar un análisis de clúster se utiliza la siguiente metodología:

- ✦ Selección de la muestra de datos: Depurar datos atípicos, teniendo cuidado en que no haya pérdida de información o que su alteración sea mínima.
- ✦ Selección y transformación de variables a utilizar en la clasificación de los clúster.
- ✦ Selección de concepto de distancia o similitud y medición de las mismas: Para definir los conglomerados hay que elegir previamente algún criterio que permita cuantificar lo “distinto” o “parecidos” que son los datos, para lo cual se utilizan medidas de similitud que definen proximidad, y caracterizan la distancia entre los objetos. Las distancias métricas más usuales son euclídea y la distancia de Mahalanobis (Peña, 2002). Para determinar la distancia entre conglomerados se realiza un procedimiento en el cual, los algoritmos empiezan con n conglomerados (uno por cada observación individual), que se van uniendo por afinidad en pasos sucesivos, de modo que en cada etapa los conglomerados son subconjuntos de los que se obtienen en las etapas subsiguientes.

En el presente trabajo se utilizó la distancia euclídea, que es un índice cuantitativo que determina la distancia geométrica en el espacio multidimensional y mide la separación existente entre dos unidades de observación, según los valores que ellas posean en un conjunto de variables, y se calcula como (Ec. 2):

$$\text{Distancia } (x, y) = \sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

- ✦ Selección y aplicación del criterio de agrupación: Es el algoritmo de clasificación (división para la obtención de los clúster), entre los más usuales están (Figueras, 2001):

Método de encadenamiento simple ó vecino más próximo (single linkage): La similitud entre dos conglomerados se calcula mediante la máxima similitud entre sus respectivos elementos.

Método de encadenamiento complejo ó vecino más lejano (complete linkage): La similitud entre dos conglomerados se calcula mediante la mínima similitud entre sus respectivos elementos.

Método de agrupación de centroides: Se calcula la distancia entre los vectores de medias.

El proceso del algoritmo puede resumirse en el historial de aglomeración, que es una tabla en la que se indica en cada paso los conglomerados que se unen y las distancias o similitudes entre ellos, también puede representarse gráficamente en un dendrograma como el que se observa en la figura 3.2, donde se identifica claramente el número de clúster que para este ejemplo son 7.

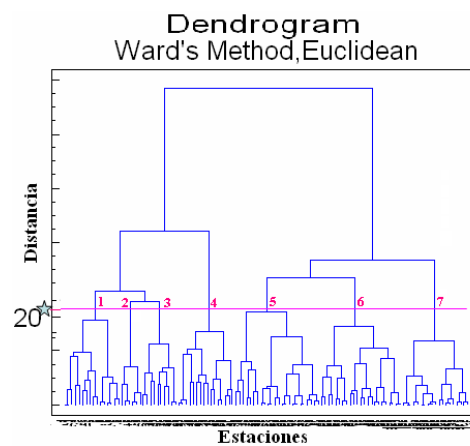


Figura 3.2: Dendrograma

El resultado final del algoritmo puede variar mucho dependiendo de la medida de similitud o distancia utilizada y de cuál sea el criterio (vecino más próximo, vecino más lejano, agrupación de centroides) que se utilice para definir la distancia entre los conglomerados.

✦ Al final se determina la estructura correcta es decir el número óptimo de grupos, (Wilkes, 1995) para ello existen algunas técnicas como la observación de la variación intragrupal que pueden ayudar, sin embargo, la elección depende en gran parte de los criterios y conocimientos previos del investigador, es este caso por ejemplo la elección depende de los procesos físicos de la atmósfera y el océano en la región de estudio el MCC.

En el presente trabajo se utilizó el análisis de clúster para clasificar masas de aire y masa de agua para cada mes, y masas de agua y aire promedio en el periodo de estudio, en el MCC, se eligió la métrica Euclidiana y el método de agrupación de centroides.

3.7.2 Análisis de Correlación Canónica

El análisis de correlación canónica es un método multivariante desarrollado por Harald Hotelling (Olkin, 2003). Su objetivo es buscar las relaciones que pueda haber entre dos grupos de parámetros y su validez. La correlación canónica es una correlación lineal y por tanto solo busca relaciones lineales entre los parámetros. Esta se utiliza cuando un conjunto de parámetros puede dividirse en dos grupos, en este caso los parámetros atmosféricos y los oceánicos, de los cuales se pretende estudiar su relación.

Las correlaciones canónicas constituyen una generalización de las correlaciones simples y múltiples. Para el caso de las correlaciones simples, éstas estiman la relación existente entre dos variables, la variable independiente X y la dependiente Y ; mientras que las correlaciones múltiples estiman la relación entre un conjunto de variables independientes X_i y una sola variable dependiente Y . Las correlaciones canónicas estiman la correlación existente entre un conjunto de variables independientes X_i y otro conjunto de variables dependientes Y_i .

Desde un punto de vista metodológico el uso de las correlaciones canónicas exige varias reflexiones, una de éstas es acerca del número de variables o parámetros que componen el grupo X y el grupo Y . Si son muchas, es posible que en cada grupo haya baja correlación, lo que quiere decir que se están incluyendo dos o más variables que miden lo mismo. Por otro lado, si son muy pocas es posible que no se acierte al incluir aquellas que realmente tienen mayor fuerza explicativa.

Otra reflexión hace referencia a que el comportamiento ideal de las variables es aquel que presenta alta correlación dentro de cada grupo, tanto en el de las X como en las Y y máxima entre los dos grupos. Lo que implica una elección afinada de aquellas variables más relevantes y significativas tanto en el grupo de las X como en el grupo de las Y .

Como ejemplo particular se dispone de un conjunto de n datos y k variables que pueden subdividirse en dos grupos: donde el primero contempla p variables y el segundo q variables, entonces $p + q = k$. En este caso p representa los parámetros atmosféricos y q parámetros oceanológicos. Se llamará X a la matriz $(n \times p)$, esta contiene los valores de las p primeras variables de los n datos, y Y a la matriz $(n \times q)$ que contiene los valores de las segundas variables medidas sobre los mismos n datos. Para este caso $n = 92$, que son los puntos de grilla ó estaciones donde se toman los valores de los parámetros. Para medir la relación entre los dos conjuntos se busca una relación lineal de las p primeras variables que tengan la máxima

correlación con una combinación lineal de las q segundas variables. Estas combinaciones son llamadas variables canónicas y están representadas por X^* y Y^* , para determinarlas se utilizan (Ec. 3 y 4):

$$X^* = X\alpha = \sum_{i=1}^p \alpha_i x_i \quad (3)$$

Donde X^* representa una combinación lineal de los parámetros atmosféricos Ta y Hr, mientras que Y^*

$$Y^* = Y\beta = \sum_{j=1}^q \beta_j y_j \quad (4)$$

Representa la combinación lineal de los parámetros TSM, SSM.

Para la definición de las variables canónicas es necesario que cada par de variables se construyan de tal forma que exista una “fuerte asociación lineal entre ellas”, se desea encontrar los vectores α y β de modo que las nuevas variables X^* y Y^* tengan la máxima correlación, que cada variable canónica este no correlacionada con otras variables canónicas y que cada variable canónica tenga varianza 1 es decir:

$$Corr[X_M^* Y_M^*] \geq 0 \quad (5)$$

$$Corr[X_k^* Y_M^*] = \begin{cases} r_c, k = M \\ 0, k \neq M \end{cases} \quad (6)$$

$$Var[X^*] = Var[Y^*] = 1$$

En la ecuación 6, r_c es la correlación canónica. El análisis de la correlación canónica permite establecer la relación entre los parámetros atmosféricos y oceanológicos, y también permite señalar que éste análisis es útil para determinar los modos dominantes de covarianza entre los dos conjuntos de datos (Climlab, 2000).

El cálculo de las variables canónicas se realiza a partir de matrices de varianza y covarianza [S_c] de las variables iniciales X y Y

$$[S_c] = \begin{bmatrix} [S_{XX}] & [S_{XY}] \\ [S_{YX}] & [S_{YY}] \end{bmatrix} \quad (7)$$

$(p \times p)$ $(p \times q)$
 $(q \times p)$ $(q \times q)$

Donde S_c indica la correlación de tipo lineal que existe entre cada par de variables canónicas, esta correlación se define mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

$[S_{XX}]$ es la matriz de varianza y covarianza de las p variables en X

$[S_{yy}]$ es la matriz de varianza y covarianza de las q variables en Y

$[S_{XY}]$ $[S_{YX}]$ son las matrices de covarianza entre cada uno de los elementos de X y Y.

Las correlaciones canónicas r_c entre las combinaciones lineales o variables canónicas que se determinen están dadas por la raíz cuadrada de los valores propios diferentes de cero de las matrices:

$$[M_x] = [S_{XX}]^{-1} [S_{XY}] [S_{YY}]^{-1} [S_{YX}] \quad (8)$$

$$[M_y] = [S_{YY}]^{-1} [S_{YX}] [S_{XX}]^{-1} [S_{XY}] \quad (9)$$

Los vectores canónicos α y β serán los respectivos vectores propios de las matrices que satisfacen:

$$[M_x] \alpha = r_c^2 \alpha \quad (10)$$

$$[M_y] \beta = r_c^2 \beta \quad (11)$$

Se puede interpretar a las variables canónicas analizando los coeficientes α_i y β_i ya que estos indican la ponderación de los parámetros atmosféricos y oceanológicos. Los pesos indican la importancia de un parámetro atmosférico con relación a uno oceanológico (Dillon y Goldstein, 1984).

Los coeficientes α_i y β_i permiten relacionar la capacidad predictiva que tiene una variable canónica sobre la variabilidad de un conjunto de parámetros, en particular si el primer conjunto hace referencia a los parámetros atmosféricos, el coeficiente de redundancia permite establecer que tanto las variables canónicas contribuyen a explicar la variabilidad oceanológica. Por lo tanto, un alto coeficiente de redundancia es decir valores próximos a 100% indicarán que una variable canónica de los parámetros atmosféricos permite explicar la variabilidad oceanológica.

Una vez realizado el primer cálculo de las correlaciones canónicas pueden eliminarse aquellas variables tanto del grupo de las X como del grupo de las Y que menos influencia explicativa presenten. Así se realiza un segundo cálculo y se comprueban los resultados obtenidos que naturalmente serán distintos al primero. Si se sigue ensayando y comparando resultados se llega a conclusiones importantes no sólo sobre la más alta correlación canónica obtenida sino de aquellos conjuntos de variables que intervienen en tal correlación así como de aquellas otras variables que hayan sido eliminadas por su escasa aportación (Olkin, 2004)

(<http://html.rincondelvago.com/correlaciones-canonicas.html>).

3.8 ANALISIS ESTADISTICO TEMPORAL

3.8.1 Series de Tiempo

Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones tomadas en instantes específicos, generalmente a intervalos iguales, ordenados cronológicamente y normalmente espaciados entre sí de manera uniforme. El análisis de series temporales comprende métodos que ayudan a interpretar este tipo de datos, extrayendo información representativa, tanto referente a los orígenes o relaciones subyacentes como a la posibilidad de extrapolar y predecir su comportamiento futuro (Wilkis, 2006).

Matemáticamente una serie de tiempo se define por los valores y_1, y_2, \dots de una variable Y

En tiempos t_1, t_2, \dots lo que quiere decir que Y en función de t , esto se denota (Ec. 12):

$$Y = F(t) \quad (12)$$

Los movimientos característicos de series en el tiempo se representan mediante un grafico que describe un punto moviéndose con el paso del tiempo. La experiencia con muchos ejemplos de las series de tiempo ha revelado ciertos movimientos o variaciones características que aparecen a menudo, y cuyo análisis es de gran interés por múltiples razones, entre ellas está el problema de predicción de futuros movimientos (Murray, 1991).

Los movimientos característicos de series de tiempo se pueden clasificar en cuatro tipos principales a menudo llamados componentes de una serie de tiempo.

- ✦ Movimiento a largo plazo o seculares: se refiere a la dirección general en la que el gráfico de una serie de tiempo parece progresar en un largo periodo de tiempo. Este se puede analizar mediante una curva de tendencia, en trazo discontinuo.

- ✦ Movimientos característicos o variaciones cíclicas: Se refiere a las oscilaciones a largo término, en torno a una recta o curva de tendencia, estos ciclos pueden ser periódicos o no, lo que quiere decir que pueden seguir o no esquemas repetidos en intervalos iguales de tiempo.
- ✦ Movimientos estacionales o variaciones estacionales: Se refiere a los esquemas idénticos o casi idénticos que una serie de tiempo parece seguir durante meses correspondientes en años sucesivos. Tales movimientos se deben a sucesos recurrentes de que tienen lugar anualmente.
- ✦ Movimientos irregulares o aleatorios: Se refiere a los movimientos esporádicos de las series en el tiempo debidos a sucesos de azar. Si bien se suele suponer que tales sucesos producen variaciones que pierden su influencia tras poco tiempo, cabe la posibilidad de que sean tan intensos que den lugar a nuevos movimientos cíclicos o de otro tipo.

El análisis de series de tiempo consiste en describir (matemáticamente, en general) los movimientos componentes que están presentes. Una técnica para analizar series de tiempo es suponer que la serie en el tiempo tiene por variable Y el producto de varias variables T , C , S , L que producen movimientos de tendencia, cíclicos, estacionales, e irregulares respectivamente.

$$Y = T \times C \times S \times L = TCSL \quad (13)$$

En el análisis de series de tiempo se requiere investigar los factores T , C , S , L y se conoce como una descomposición de una serie de tiempo en componentes básicos (Murray, 1991), lo cual se realiza por medio de filtros de las periodicidades o componentes que se hallan luego de un análisis espectral del serie.

3.8.2. Análisis Espectral y Filtros

Existen dos tipos de técnicas de análisis estocástico, las basadas en el dominio tiempo y las basadas en el dominio de la frecuencia. La modelación de los procesos estocásticos en el dominio del tiempo se apoya en el cálculo de los coeficientes de autocorrelación, que se expresan en función del “retraso” ó “adelanto” entre observaciones estudiadas, lo cual lleva al modelamiento de dependencias entre variables. Mientras que la modelación de los procesos estocásticos en el dominio de la frecuencia se apoya en el análisis de densidad espectral. La aplicación del análisis de densidad espectral permite la modelación de la distribución de la variable por medio de la “función de densidad espectral”, y la cuantificación de la correlación espacial entre variables por medio de la “coherencia espectral” (Aguilo, 1993). La aplicación de la Transformada de Fourier en una serie de tiempo da como resultado una función de la frecuencia que permite ver y comparar las distintas periodicidades presentes en la serie (Shumway y Stoffer, 2006).

El análisis espectral es una herramienta matemática muy útil para el investigador de cualquier disciplina científica en la cual se requiera una depuración de los datos de partida debido a que las series presentan comportamientos cíclicos y periodicidad. El análisis espectral de una serie de tiempo X_t y de longitud n , permite descomponer su variabilidad en diferentes escalas de tiempo, expresándolas como una suma de funciones trigonométricas (Storch y Zwiers, 1999), donde muchas de las escalas de frecuencia a menudo coexisten, dependiendo de la naturaleza del problema.

En las series de tiempo, solo se trabaja con series discretas, con información en intervalos de tiempo definidos, lo que permite que en el espectro solo se pueda estimar tan sola la intensidad relativa de algunas frecuencias.

La frecuencia está determinada por ω , y sus unidades son en ciclos por tiempo, y el período de una serie de tiempo, está definido como el tiempo en un ciclo, es decir (Ecu. 14):

$$T = \frac{1}{\omega} \quad (14)$$

La noción general de la periodicidad puede ser más precisa mediante la introducción de algunos términos. Por ejemplo con el fin de conocer la velocidad a la que una serie oscila, se define primero como un ciclo completo de período de una función seno o coseno dada sobre un intervalo de tiempo de longitud 2π así (Ecu. 15):

$$x_t = A \cos(2\pi\omega t + \varphi) \quad (15)$$

Para $t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, donde ω es un índice de frecuencia, que se define en ciclos por unidad de tiempo con una determinada amplitud, la función φ es la fase, y determina el punto inicial de la función coseno. Se puede introducir la variación aleatoria en esta serie temporal, permitiendo a la amplitud y a la fase variar aleatoriamente.

La función de autocovarianza es la suma de los componentes periódicos con un peso proporcional a la varianza σ_k^2 . Por lo tanto x_t es de media cero, y un proceso estacionario con varianza:

$$\gamma(0) = E(x_t^2) = \sum_{k=1}^q \sigma_k^2 \quad (16)$$

La ecuación 16 muestra la variación total como la suma de las diferencias de cada uno de los componentes. El conjunto de elementos α_k^2 se representan en un grafico llamado periodograma, este permite detectar las escalas de tiempo (ciclos) que sintetizan la más alta variabilidad en la serie de tiempo X_i , el periodograma es el instrumento adecuado para la detección de procesos periódicos puros (Fig. 3.7), mide los aportes a la varianza total de la serie de componentes periódicos de una frecuencia determinada, si el periodograma presenta un "pico" en una frecuencia, indica que dicha frecuencia tiene mayor "importancia" en la serie que el resto (Caicedo, 2000), es decir que a partir de este se identifican las periodicidades más significativas de la variable correspondiente a los picos más pronunciados, lo que corresponde a la de mayor densidad espectral. En la figura 3.8 se muestra un periodograma en el cual se señalan las periodicidades más significativas.

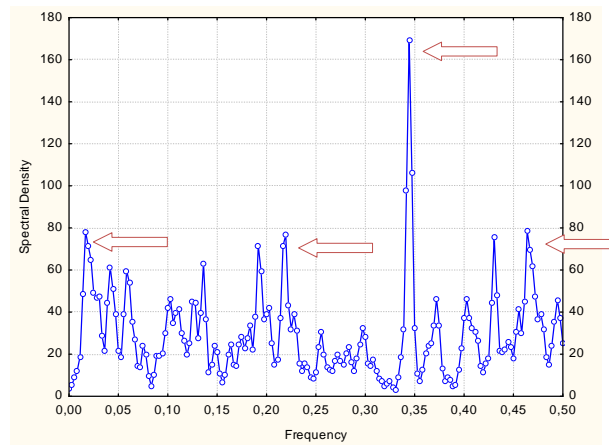


Figura 3.8. Periodograma.

El filtro de datos corresponde a un proceso estadístico en donde se definen los ciclos de una serie de datos, existen diferentes tipo de filtros, de pasa baja, de pasa alta y de pasa banda. El filtro pasa banda es el que se utiliza en este trabajo, el cual consiste en filtrar una serie de datos limitada entre dos frecuencias, f_1 denominada corte inferior y f_2 denominada corte superior, estas nos permiten determinar los extremos de los puntos de mayor frecuencia resultantes del análisis espectral, determinando así la distribución del ciclo escogido en la serie (Shumway y Stoffer, 2006).

3.8.3 Análisis de Correlación Cruzada

Para hacer el Análisis de Correlación Cruzada se consideran dos procesos conjuntamente estacionarios x_t y y_t , para $x_t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. La covarianza cruzada de orden k entre x_t y y_t está definida como:

$$\gamma_{xy}(k) = E[(X_t - \mu_x)(y_{t+k} - \mu_y)] \quad (17)$$

Para $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Como la función de k , $\gamma_{xy}(k)$ es llamada la función de covarianza cruzada entre x_t y y_t .

La estandarización de $\gamma_{xy}(k)$ produce la función de correlación cruzada (FCC)

$$\rho_{xy}(k) = \frac{\gamma_{xy}(k)}{(\sigma_x \sigma_y)} \quad (18)$$

Para $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, donde σ_x y σ_y son las desviaciones estándar de los procesos x_t y y_t

La FCC mide no solamente la fortaleza de la relación, sino también su dirección. Esta última propiedad es útil para identificar variables causales. Por esta razón, es importante examinar la FCC tanto para los valores positivos de k como para los negativos. Para valores negativos y positivos de k , la FCC describe la influencia lineal de los valores pasados de y_t sobre x_t . El gráfico de la FCC contra k , llamado correlograma cruzado, es útil para visualizar estas relaciones.

Dada una realización de n periodos del proceso estacionario bivalente x_t y y_t , la FCC se estima con la función de correlación cruzada muestral (FCCM) (Castaño et al, 2008):

$$\hat{\rho}_{xy}(k) = \frac{\hat{\gamma}_{xy}(k)}{\hat{\sigma}_x \hat{\sigma}_y} \quad (19)$$

Para $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, donde

$$\hat{\gamma}_{xy}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}), \quad \text{S} \quad (20)$$

$$i \quad K \geq 0$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{t=1-k}^n (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}), \quad \text{Si } K < 0 \quad (21)$$

Y donde $\hat{\sigma}_x = [\hat{\gamma}_{xx}(0)]^{1/2}$, $\hat{\sigma}_y = [\hat{\gamma}_{yy}(0)]^{1/2}$, \bar{x} y \bar{y} son las desviaciones estándar y las medias muestrales de las series x_t y y_t , respectivamente.

El análisis de correlación cruzada es un método que sirve para estimar el grado en que dos series están correlacionadas, en este se tiene en cuenta además pasos en el tiempo para la búsqueda de su mejor correlación (Van Storch y Zwiers, 1999). Considerando dos series $x_{(i)}$ y $y_{(i)}$ donde $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$. Los pasos, adelantos o retrasos de la correlación cruzada r se define como:

$$r = \frac{\sum_i [(x_{(i)} - mx) * (y_{(i-d)} - my)]}{\sqrt{\sum_i (x_{(i)} - mx)^2} \sqrt{\sum_i (y_{(i-d)} - my)^2}} \quad (22)$$

Donde mx y my son los medios de la serie. Si lo anterior se calcula para todos los retrasos $d = 0, 1, 2, \dots, N-1$, se espera que el resultado de una serie de correlación cruzada de dos veces la longitud de la serie original, entonces los pasos adelantos o retrasos de la correlación calculada para todos los retrasos $x(d)$ se define como:

$$r(d) = \frac{\sum_i [(x_{(i)} - mx) * (y_{(i-d)} - my)]}{\sqrt{\sum_i (x_{(i)} - mx)^2} \sqrt{\sum_i (y_{(i-d)} - my)^2}} \quad (23)$$

El rango de los retrasos y , y por tanto de la longitud de la serie de correlación cruzada puede ser menor que N . El denominador de la expresión anterior sirve para normalizar los coeficientes de correlación tal que $-1 < r(d) \leq 1$, son los límites que indica la correlación máxima y 0 indica que no hay correlación. Una alta correlación negativa indica una alta correlación pero inversamente proporcional a la serie comparada (Bourke, 1996).

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

4.1 AREA DE ESTUDIO Y DATOS UTILIZADOS

El Mar Caribe Colombiano (MCC) se localiza entre las latitudes 8°3'N hasta 13°N, y desde el límite con Panamá en el Suroeste en longitud 79°W, hasta la alta Guajira al Noreste en la longitud 71°3'W. En la figura 4.1, se presentan enumerados los 92 puntos de grilla que se tomaron como referencia para la realización de la investigación.

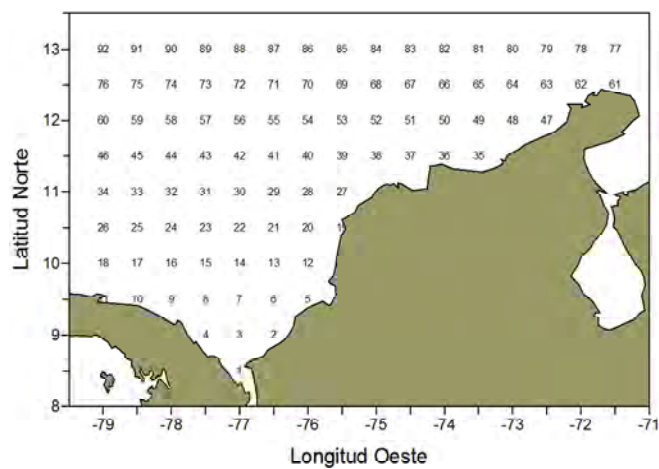


Figura 4.1 Mar Caribe Colombiano y la ubicación de los 92 puntos de grilla que se tomaron como referencia.

Los datos utilizados son series de tiempo mensuales promedio del periodo 1971-2000 de Ta (°C), Hr (%), TSM (°C) y SSM (psu), tomadas del International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS) <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.coads.1deg.html>.

4.2 MÉTODOS UTILIZADOS

4.2.1 Procesamiento de la Información

Debido a que la información de las variables atmosféricas Ta (°C) y Hr (%) y las variables oceanológicas TSM (°C) y SSM (psu) (series de tiempo mensual promedio del periodo 1971-2000) tenían algunos datos faltantes espacialmente, fue necesario complementarlas a través del método de interpolación de kriging.

Identificación de zonas homogéneas en la interfase mar-aire del MCC y relación entre la variabilidad de parámetros oceanicos y atmosféricos de algunos puntos representativos de estas zonas y la OAN.

Este método se aplicó utilizando el software Surfer 8 (Surfer Versión 8.02, 2002), teniendo en cuenta el siguiente proceso:

Se organizó la información en una tabla de datos del software mencionado (surfer worksheet), por longitud, latitud, mes y año. Las longitudes tomadas en cuenta van desde 79°W hasta 71°3'W y las latitudes desde 8°3'N hasta 13°N. Se aplicó el método de interpolación de kriging, de tal manera que las distancias entre las longitudes y latitudes sea de 0°3'W y 0°3'N respectivamente. Este procedimiento se realizó con cada una de las variables. La información resultante del cálculo realizado a través de la interpolación aplicada se utilizó para obtener los datos faltantes.

La figura 4.2 muestra cómo se ingresó la información en el software, siguiendo el mismo procedimiento para cada variable utilizando la información para un periodo de 30 años (1971-2000). Cada año procesado arrojó 12 reportes estadísticos llamados REPORT STATISTICS con el formato RFT, 12 reportes de los puntos de grilla espaciados denominados REPORT GRIDDING de formato GRD, y 12 gráficas SURFER GRID de formato plot, los cuales fueron la base para el posterior análisis visual de las variables atmosféricas y oceanológicas.

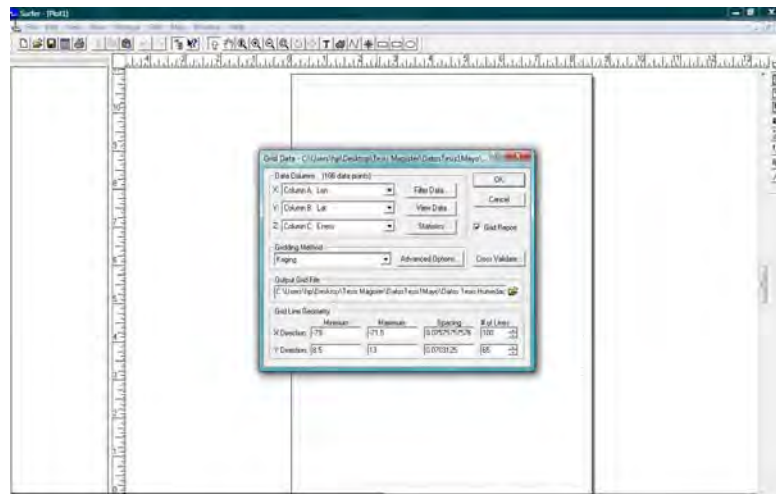


Figura 4.2 Imagen Surfer 8 Ingresando la información del mes de mayo y Aplicando el método de interpolación de Kriging.

Luego de la interpolación, se complementó la información y ésta se organizó por longitud, latitud y meses para los 30 años. Seguidamente se calculó el promedio climático para cada punto (92 puntos).

Se graficó la distribución espacial del promedio climático de los parámetros océano – atmosféricos con el fin de analizar mes a mes la distribución espacial de cada variable y de determinar desde el punto de vista oceanológico como primera aproximación, las



zonas homogéneas de la región. De cada zona se escogieron puntos representativos para su graficación temporal y el análisis de su comportamiento anual. Estas gráficas, tanto espaciales como temporales se muestran en el capítulo de resultados.

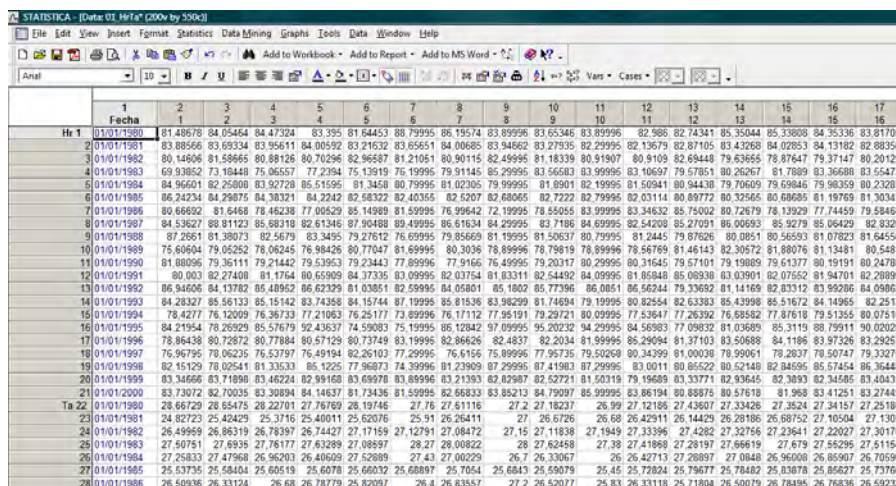
4.2.2 Procedimiento del Análisis Estadístico Espacial

4.2.2.1 Análisis de clúster, para la determinación de masas de aire y masas de agua en el Mar Caribe Colombiano.

Para la identificación de zonas homogéneas atmosféricas (masas de aire) y oceanológicas (masas de agua) a nivel superficial, es decir en la interfase mar-aire del MCC se realizó el análisis de clúster, utilizando la distancia euclídea a través del software Statistica 8 (StatSoft, 2007).

Para determinar las masas de aire se utilizaron series de tiempo mensuales promedio del periodo 1971-2000 de variables atmosféricas Hr y Ta. Esta información fue organizada año a año, teniendo en cuenta los 92 puntos de grilla. En la figura 4.3 se muestra la organización de la información en el Software Statistica 8 (StatSoft, 2007), tomando como ejemplo la información de los meses de enero del periodo de estudio.

Una vez organizada la información de las variables atmosféricas Hr y Ta, se seleccionó toda la información que se iba a analizar, y en la fila superior del software se escogió Statistics,  Multivariate Exploratory Techniques y  Cluster Analysis.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Hr 1	01/01/1980	81.48678	84.05454	84.47324	83.395	81.64453	88.79995	86.19574	83.89996	83.65346	83.89996	82.986	82.74341	85.35044	85.33608	84.55336	83.81705
Hr 2	01/01/1981	83.88566	83.69334	83.55611	84.00592	83.21632	83.65651	84.06685	83.94662	83.27935	82.29995	82.13679	82.87105	83.43268	84.02853	84.13182	82.88356
Hr 3	01/01/1982	80.14606	81.58665	80.88126	80.70296	82.96687	81.21051	80.90115	82.49995	81.18339	80.91907	80.9109	82.69448	79.63665	78.87647	79.37147	80.20129
Hr 4	01/01/1983	69.93852	73.18448	75.06557	77.2394	75.13919	75.19995	79.91145	85.29995	83.56683	83.99995	83.10697	79.67851	80.26267	81.7889	83.36688	83.56473
Hr 5	01/01/1984	84.56501	82.25000	83.52728	85.51595	81.34450	80.79995	81.02305	79.99995	81.8901	82.19995	81.50941	80.94430	79.70609	79.69845	79.96359	80.23287
Hr 6	01/01/1985	86.24234	84.28075	84.38321	84.2242	82.68322	82.40365	82.6207	82.68065	82.7222	82.79995	82.03114	80.89772	80.92665	80.66665	81.19769	81.30347
Hr 7	01/01/1986	80.66662	81.6468	78.46238	77.00529	85.14989	81.59995	76.99642	72.19995	78.55055	83.99995	83.34632	85.75002	80.72679	77.74459	79.58468	
Hr 8	01/01/1987	84.53627	80.81123	85.68318	82.61346	87.90488	89.49995	86.61634	84.29995	83.7196	84.69995	82.54208	85.27091	86.00693	85.9279	85.06429	82.8326
Hr 9	01/01/1988	87.2661	81.38073	82.5679	83.3495	79.27612	76.69995	79.85669	81.19995	81.50637	80.79995	81.2445	79.87626	80.0851	80.56593	81.07823	81.64556
Hr 10	01/01/1989	75.80664	79.05252	78.06245	76.98426	80.77047	81.89995	80.3039	78.89996	78.79619	78.89996	78.58789	81.46143	82.30572	81.88076	81.13481	80.5481
Hr 11	01/01/1990	81.80995	79.36111	79.21442	79.53953	79.23443	77.89996	77.9166	76.49995	79.20317	80.29995	80.31645	79.57101	79.19889	79.61377	80.19191	80.24788
Hr 12	01/01/1991	80.003	82.27408	81.1764	80.65908	84.37335	83.09995	82.03754	81.83311	82.54492	84.09995	81.85848	85.09338	83.03901	82.07552	81.94701	82.29899
Hr 13	01/01/1992	86.94606	84.13782	85.48952	86.62329	81.03851	82.59995	84.05801	85.1802	85.77396	86.0851	86.86244	79.33682	81.14169	82.83312	83.98286	84.09662
Hr 14	01/01/1993	84.28327	85.56133	85.15142	83.74358	84.15744	87.19995	85.81538	83.98299	81.74694	79.19995	80.82554	82.63383	85.43988	85.51672	84.14965	82.2513
Hr 15	01/01/1994	78.4277	76.12009	76.36733	77.21063	76.25177	79.89996	76.17112	77.95191	79.29721	80.09995	77.53647	77.26392	76.88562	77.81618	79.51355	80.07516
Hr 16	01/01/1995	84.21954	78.26929	85.57679	82.43831	74.59083	75.19995	85.12842	97.09995	95.20232	94.29995	84.56983	77.09832	81.03889	85.31119	88.79111	90.02028
Hr 17	01/01/1996	78.86438	80.72872	80.77884	80.57129	80.73749	83.19995	82.86626	82.4837	82.2034	81.99995	85.29094	81.37103	83.50688	84.1186	83.97326	83.29257
Hr 18	01/01/1997	76.96795	78.06235	76.52797	76.49194	82.26103	77.29995	76.6156	75.89996	77.95735	79.50269	80.34399	81.00038	78.99061	78.2837	79.50747	79.3275
Hr 19	01/01/1998	82.15129	78.02541	81.33533	85.1225	77.96873	74.39996	81.23909	87.29995	87.41983	87.29995	83.0011	80.85522	80.52148	82.84695	85.57454	86.36448
Hr 20	01/01/1999	83.34666	83.71896	83.46224	82.99168	83.69978	83.89996	83.21393	82.82987	82.52721	81.50319	79.19689	83.33771	82.93645	82.3893	82.34565	83.40431
Hr 21	01/01/2000	83.73072	82.70035	83.30894	84.14837	81.73436	81.59995	82.86833	83.88213	84.79097	85.09995	83.86194	80.88876	80.57618	81.968	83.47251	83.27449
Ta 22	01/01/1980	28.68729	28.65475	28.22701	27.76769	28.19746	27.76	27.51116	27.2	27.18237	26.99	27.12186	27.43607	27.33408	27.3824	27.34157	27.25186
Ta 23	01/01/1981	24.82723	25.42429	25.3716	25.40011	25.62076	25.51	26.26411	27	26.6726	26.68	26.42911	26.14429	26.28186	26.68752	27.10504	27.1305
Ta 24	01/01/1982	26.49959	26.86319	26.78397	26.74427	27.17159	27.12791	27.08472	27.15	27.11838	27.1949	27.33396	27.4282	27.32756	27.23641	27.22027	27.30176
Ta 25	01/01/1983	27.50751	27.6936	27.76177	27.63289	27.58997	28.27	28.00822	28	27.62458	27.38	27.41868	27.28197	27.66619	27.679	27.56295	27.51154
Ta 26	01/01/1984	27.25833	27.47960	26.96203	26.40609	27.52809	27.43	27.00229	26.7	26.33967	26	26.42713	27.28997	27.0848	26.96008	26.85967	26.70596
Ta 27	01/01/1985	25.03735	25.58404	25.60519	25.6078	25.66032	25.68887	25.7054	25.6843	25.58979	25.45	25.78804	25.79877	25.78482	25.81878	25.85607	25.7766
Ta 28	01/01/1986	26.50936	26.33124	26.68	26.78779	25.82097	26.4	26.83557	27.2	26.52077	25.83	26.33118	25.71804	26.50079	26.78495	26.76836	26.59322

Figura 4.3. Ingreso de la información al Software Statistica para el análisis de clúster de las masas de aire del mes de enero.

La figura 4.4 muestra cómo se organizó la información y el método estadístico escogido.

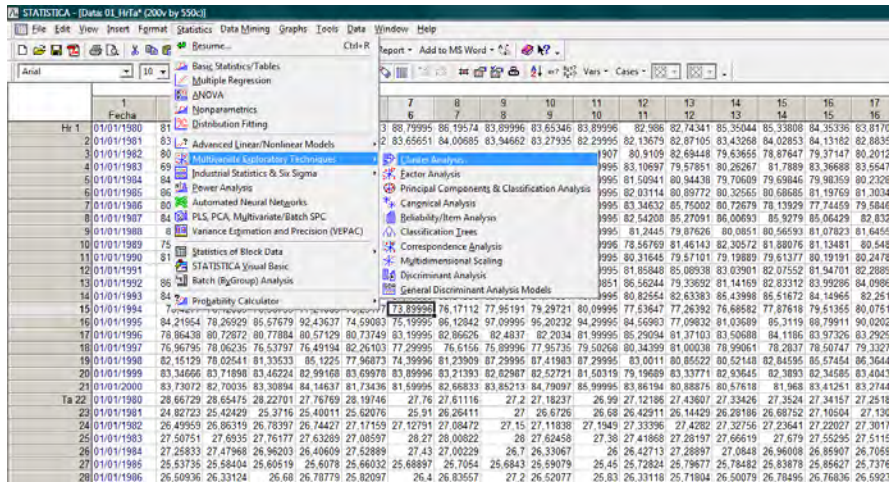


Figura 4.4. Imagen elección del método estadístico utilizado para determinar las masas de aire en el mes de enero.

Para definir los conglomerados hay que elegir previamente algún criterio que permita cuantificar lo “distinto” o “parecido” que son dos datos, por lo que se prosiguió a elegir la métrica y el método de clasificación. La distancia que se utilizó en este caso fue la métrica euclídea, y el método de agrupación de centroides. En la figura 4.5 se observa la métrica escogida para determinar las masas de aire.

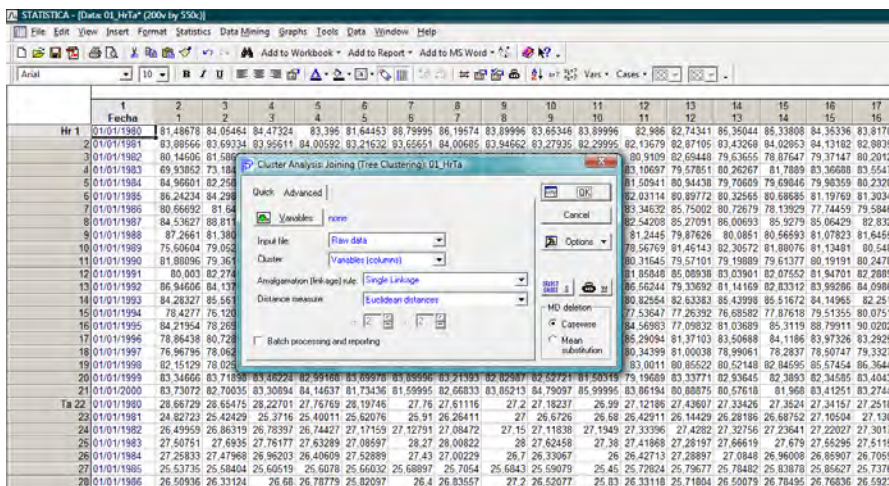


Figura 4.5. Elección de la distancia euclídea para determinar las masas de aire en el mes de enero.

En la figura 4.6 se observa la agrupación que arrojó el programa con las respectivas asociaciones que estableció la homogeneidad de los datos. La gráfica es un ejemplo del dendograma que permite determinar el número de clúster. De esta manera se determina la distancia óptima, y a partir de ese mismo valor, se busca en el dendograma el número de conglomerados que resultarían. En el ejemplo se observan 5 clústers, agrupados por la semejanza en los valores de Hr y Ta, lo cual corresponde a 5 masas de aire.

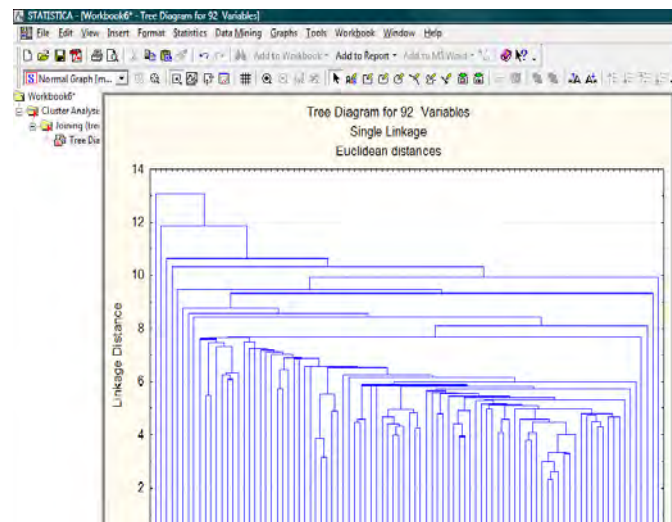


Figura 4.6. Resultado de la agrupación por distancias de las variables Hr y Ta analizadas para enero.

Este procedimiento descrito, se utilizó para determinar las masas de agua y masas de aire para cada mes y en promedio del periodo de estudio, las cuales se muestran en el capítulo de resultados con sus respectivas gráficas.

4.2.2.2. Análisis de correlación canónica, para determinar la relación entre las masas de aire y masas de agua en el MCC.

Con el fin de encontrar la correlación entre las variables atmosféricas (Ta y Hr) y las oceánicas (TSM y SSM) de cada masa de aire y masa de agua determinada, y que posteriormente sirva de base para extraer los puntos representativos del MCC, se aplicó la correlación canónica mediante el siguiente proceso:

Luego de clasificada la información por medio del análisis de clúster, se procedió a organizar los datos de acuerdo a la ubicación de las masas de aire y de agua mensuales. Se trabajó con el software Statistica 8 (StatSoft, 2007), y se ingresó la información organizada por masas. La figura 4.6 muestra cómo se organizaron los

datos de los clúster obtenidos mensualmente para el MCC para el análisis canónico en el mes de enero.

The screenshot shows the STATISTICA software interface with a data table titled 'Datos Promedio (234 by 256)'. The table has 14 columns labeled 'Masa I' through 'Masa II' and 34 rows of numerical data. The data represents monthly cluster information for MCC in January.

Figura 4.7. Entrada y organización de datos de los clúster obtenidos mensualmente para el MCC, en el mes de enero.

La figura 4.8 muestra el método estadístico escogido para el análisis canónico.

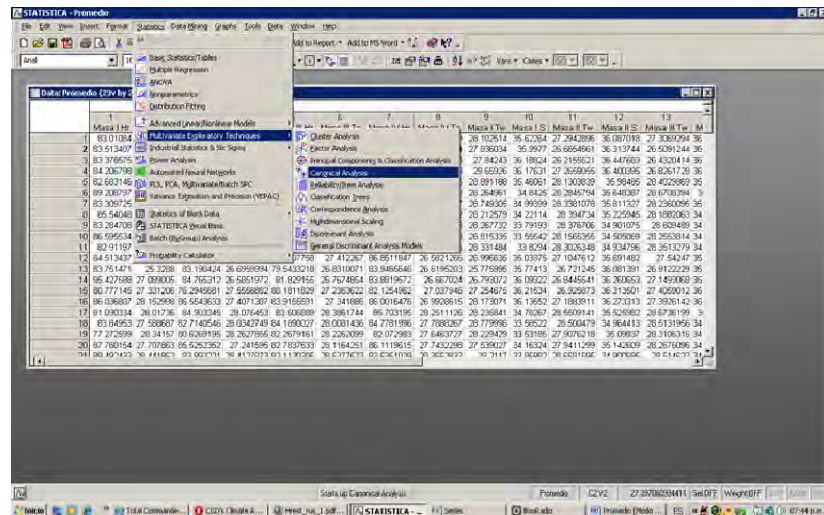


Figura 4.8. Imagen elección del método estadístico de correlación canónica mes de enero.

Tomando como datos de entrada la anterior información, el procedimiento consistió en aplicar el análisis de correlación canónica entre el grupo de variables atmosféricas de

Aspectos Metodológicos

cada uno de los clúster y las variables oceanológicas. El procedimiento encuentra combinaciones lineales entre los dos conjuntos, en cada caso se toma la combinación que tenga el coeficiente de correlación canónica más alto. La figura 4.9 muestra la selección de los datos.

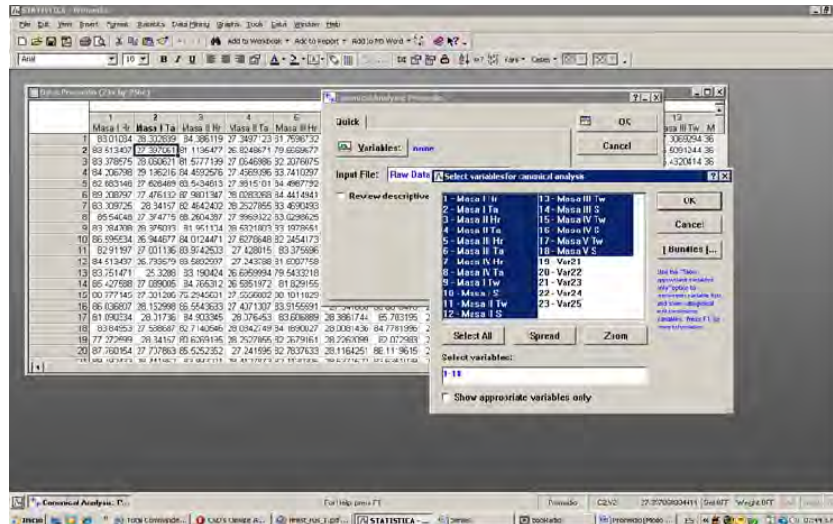


Figura 4.9. Inicio de la correlación canónica.

La figura 4.10 muestra la elección de los dos conjuntos a analizar.

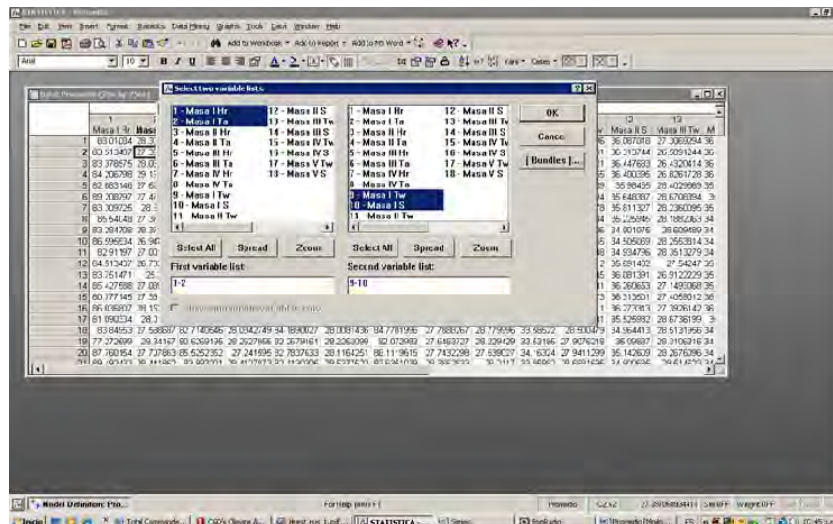


Figura 4.10. Selección de dos conjuntos para analizar.

La figura 4.11 muestra la confirmación de los dos conjuntos seleccionados.

Aspectos Metodológicos

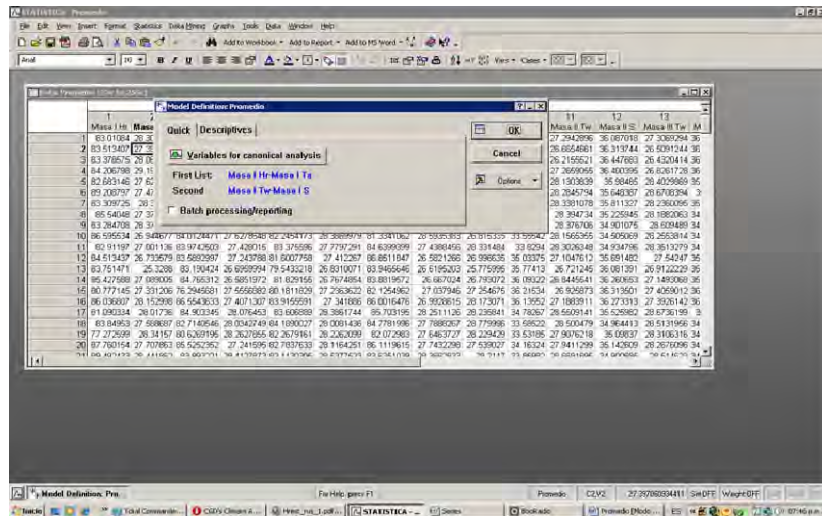


Figura 4.11. Confirmación de conjuntos seleccionados

La figura 4.12 muestra los resultados obtenidos.

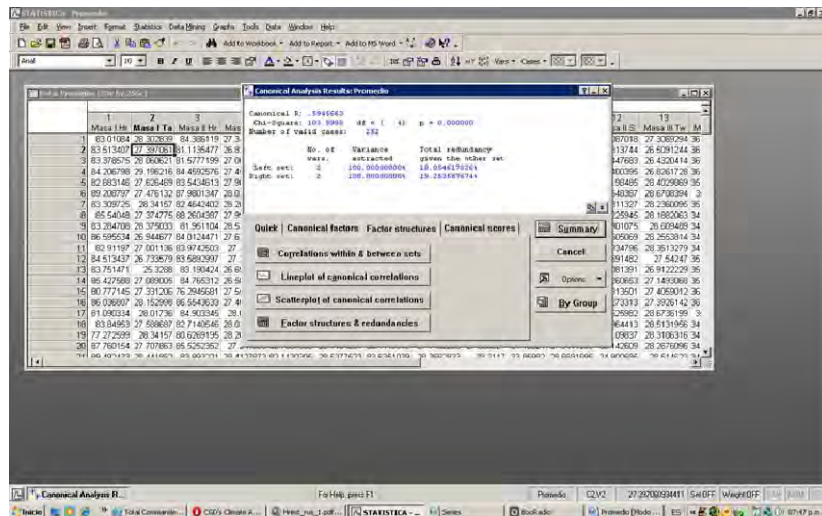


Figura 4.12. Resultados

De esta manera se realizaron las correlaciones entre las combinaciones de cada una de las masas de aire y de agua en cada mes y las masas promedio.

El programa arroja para cada correlación una primera tabla de resultados. La tabla 4.1 es un ejemplo de la correlación entre la masa de aire I y la masa de agua I del mes de enero.

Tabla 4.1. Resultados Análisis Correlación Canónica

		Canonical Analysis Summary (Enerc)	
		Left Set	Right Set
N=21		Canonical R: .78163 Chi ² (4)=17.223 p=.00175	
No. of variables		2	2
Variance extracted		100.000%	100.000%
Total redundancy		41.5947%	42.1402%
Variables:	1	Masa I Hr	Masa I Tw
	2	Masa I Ta	Masa I S

Los resultados se analizan así:

- ✦ R representa el coeficiente de correlación canónica, para este caso es el 0.78
- ✦ Chi representa la prueba estadística utilizada.
- ✦ P es la probabilidad. Se observa que, en este ejemplo, la probabilidad es altamente significativa $p < 0.002$.
- ✦ Número de variables, que para este caso son dos, representa al conjunto de la izquierda compuesto por las variables de las masas de aire (Hr y Ta) y el conjunto de la derecha por las variables de las masas de agua (TSM y SSM).
- ✦ La varianza extraída, representa la media de todas las raíces canónicas. Los valores son iguales a la dispersión promedia, extraída de las variables del conjunto correspondiente. Las dos raíces extraen un 100% de la varianza (dispersión) del conjunto izquierdo de variables y los mismos 100%, del conjunto derecho de las variables.
- ✦ La redundancia total, muestra el porcentaje de la dispersión que un conjunto de variables explica con relación a la dispersión del otro conjunto. En el ejemplo, utilizando los valores de todas las raíces canónicas y obteniendo los valores de las variables en el conjunto de la derecha, se explica, en promedio, un 41.6% de la dispersión de las variables del conjunto izquierdo. Del mismo modo, se explican 42.1% de la variabilidad en el grupo de la derecha, por los valores de las variables del conjunto izquierdo.

Esta información arrojada por el software para cada de las combinaciones entre las masas de agua y de aire mes a mes y en promedio, fue analizada y se presentan en este trabajo los resultados más significativos para el objetivo propuesto.

Después de obtener los resultados de la correlación canónica, para las masas de aire y de agua de cada mes y las masas de aire y de agua promedio, se procedió a validar estos resultados, mediante un análisis basado en el conocimiento previo del régimen atmosférico y oceanológico de la región. Con este fin se estudiaron las variaciones

espacio-temporales de Ta, Hr, TSM y SSM con la ayuda de las gráficas de masas de aire promedio, las masas de agua promedio y el coeficiente de correlación canónica encontrado en las posibles combinaciones. Esto se realizó mediante la superposición de las gráficas, con el fin de ver si los resultados eran acordes a la distribución espacial de las masas en el MCC. De esta forma se obtuvo los resultados finales para determinar la ubicación de los puntos representativos a tener en cuenta en el análisis estadístico temporal de la variabilidad de los parámetros océano atmosféricos a causa de la OAN.

4.2.3 Procedimiento del Análisis Estadístico Temporal

4.2.3.1 Análisis de Densidad Espectral

Para estudiar la composición interna de cada serie de tiempo de los seis puntos representativos escogidos en la correlación canónica, e identificar los ciclos (periodicidades) de los fenómenos naturales que influyen en el comportamiento oscilatorio de las variables atmosféricas, oceanológicas y del IOAN, se realizó el cálculo de la densidad espectral y la determinación de los ciclos.

El análisis espectral se realizó a las series de datos de anomalías de Hr, Ta, TSM y el IOAN en los seis puntos representativos. A partir del análisis espectral se obtienen diferentes periodicidades (ciclos) de escala interanual presentes en cada serie de datos, mediante el cálculo de la densidad espectral. Las frecuencias encontradas en este análisis permitieron con la ecuación (57) hallar el periodo en años correspondiente a cada ciclo o fenómeno natural presente en cada serie.

$$P = \frac{1}{f} \quad (57)$$

Para cada variable en cada punto seleccionado se realizó una gráfica (periodograma), y a partir de esta se determinaron las periodicidades más significativas, las cuales fueron identificadas teniendo en cuenta su mayor aporte en el comportamiento oscilatorio.

En la figura 4.13, se observa un ejemplo del periodograma resultante del análisis espectral realizado a la serie de Hr en el punto 10. La densidad espectral de las series analizadas muestra que las estructuras internas de las series iniciales están compuestas por oscilaciones que representan fenómenos naturales con diferentes periodicidades como se observa en la figura.

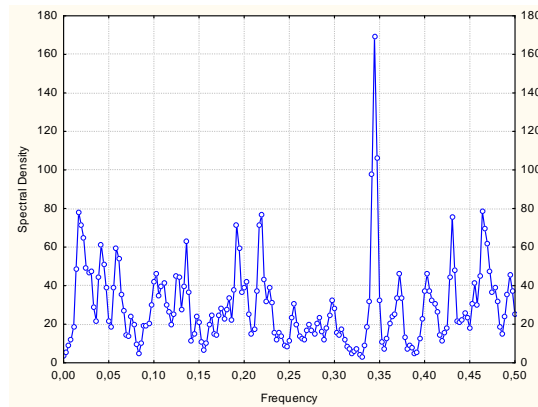


Figura 4.13. Densidad espectral de la serie de anomalía de Hr para el punto 10 localizada a 78°3'W y 9°3'N

Seguidamente se realizaron tablas en las que se muestra la información sobre los ciclos de mayor aporte a la oscilación de cada variable analizada, con sus respectivos valores de frecuencia mínima y máxima que determinan los límites utilizados en el proceso de filtración de cada ciclo o componente de la serie.

Las tablas se organizaron teniendo en cuenta los ciclos de mayor aporte, de las cuales, como ejemplo se muestra la tabla 4.2 para la Hr del punto 3, y las demás pueden observarse en los anexos. La tabla 4.2 presenta los valores de frecuencia, densidad espectral y periodo en años, ordenados de acuerdo a su mayor aporte en el comportamiento oscilatorio de la serie inicial.

Tabla 4.2. Cuasi Ciclos de la Hr en el punto 3

Frecuencia Izquierda	Frecuencia (f)	Frecuencia Derecha	Periodo (1/f) en años	Periodo en meses
0,3305556	0,3444445	0,3555556	0,24	2,90
0	0,01666667	0,03611111	5,00	60,00
0,4583333	0,4638889	0,4861111	0,18	2,16
0,2083333	0,2194444	0,2361111	0,38	4,56
0,4194444	0,4305556	0,4388889	0,19	2,32
0,1861111	0,1916667	0,1972222	0,43	5,22
0,1305556	0,1361111	0,1416667	0,61	7,35
0,0361111	0,04166667	0,05277778	2,00	24,00
0,05277778	0,05833333	0,06944445	1,43	17,14
0,08333334	0,1027778	0,1194444	0,81	9,73
0,3555556	0,3722222	0,3805556	0,22	2,69
0,3888889	0,4027778	0,4194444	0,21	2,48

En la figura 4.14 se graficó la serie de tiempo de la Hr para el punto 3 y las periodicidades encontradas a manera de ejemplo, lo cual también se realizó para las otras variables en cada uno de los puntos seleccionados.

En la serie de Hr del punto 3, se extrajeron las periodicidades cuasi 2.7 años, cuasi 1.2 años y 10 meses, las cuales se muestran a la par con la serie inicial, con el fin de analizar si el comportamiento oscilatorio de estos cuasi ciclos, coincide con el comportamiento temporal oscilatorio de la serie inicial, o si se encuentran en desfase (Fig. 4.14).

Este procedimiento se realizó también con la Hr, Ta, TSM, (en cada uno de los puntos seleccionados) y el IOAN, se organizó en tablas y así se determinaron los cuasi periodos que mayor aporte dan a las oscilaciones para cada una de las variables. En este proceso se tuvo en cuenta que, los cuasi ciclos fueran coincidentes en todas las variables analizadas y que a su vez, estos ciclos estuvieran presentes en la OAN. Lo cual permitió identificar cinco periodicidades para las variables océano-atmosféricas estudiadas y el IOAN, donde el de mayor aporte es el cuasi periodo 2,7años seguido por ~1,2años, ~15años, ~3,3años, y finalmente ~0.8años.

Con el fin de extraer las periodicidades encontradas en las series de los seis puntos seleccionados, se realizó el proceso de filtro “pasa banda” obteniendo las componentes de cada serie, a través del software Originpro (Originpro. 2003). El cual consistió en filtrar una serie de datos limitada entre la frecuencia de la izquierda y la frecuencia de la derecha, estas permitieron determinar los extremos de los puntos de mayor frecuencia resultantes del análisis espectral, determinando así la distribución del ciclo escogido en la serie (Shumway y Stoffer, 2006).

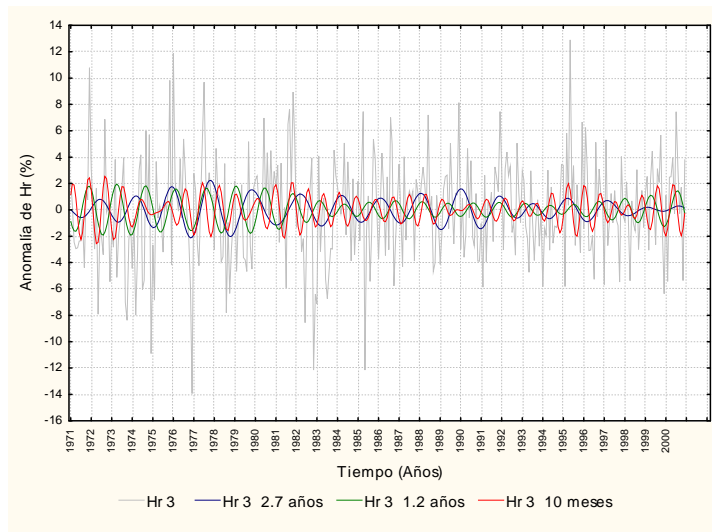


Figura 4.14. Filtros de la serie de anomalía de Hr para el punto 3.

4.2.3.2 Análisis de Correlación Cruzada

Se analizaron las variables océano-atmosféricas Hr, Ta y TSM con el fin de determinar la posible relación entre el comportamiento oscilatorio de estos parámetros, a través de la identificación del tiempo de respuesta o rezago ante la OAN.

Para encontrar la influencia de la OAN y de los diferentes procesos naturales representados en las componentes extraídas de las series, en las oscilaciones de las variables atmosféricas y oceanológicas, se realizó la correlación cruzada. Para este proceso se utilizó el Software Statistica 8 (StatSoft, 2007). Específicamente se trabajó con el módulo de análisis de series de tiempo, escogiendo la opción de correlación cruzada, siendo el dato de entrada el IOAN y sus componentes. Los datos a correlacionar son las series de anomalías de cada variable analizada y sus respectivas componentes para cada uno de los seis puntos escogidos.

La correlación cruzada se analizó teniendo en cuenta el tiempo de respuesta de las variables océano-atmosféricas estudiadas ante las señales de la OAN, mediante rezagos en meses. De tal manera que, con el software Statistica8 (StatSoft, 2007), se pudieron definir los meses de adelanto ó retraso en la influencia de una serie sobre el comportamiento oscilatorio de otra. Para la presentación de los resultados de la correlación cruzada, se organizaron tablas donde se ubicaron los seis puntos escogidos, en las cuales, se muestran las series iniciales, anomalías, series de las componentes de densidad espectral, IOAN y sus componentes para ~2.7años, ~1.2años, 15años, ~3.3años y 10 meses de periodo.

En la tabla 4.3 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos de la correlación cruzada, ésta tabla indica las correlaciones entre las series de tiempo (iniciales), donde se puede apreciar el grado de incidencia del fenómeno océano-atmosférico sobre la variable estudiada y el rezago con el que se presenta dicha influencia. Este rezago se observa en paréntesis y puede representar un adelanto (valor positivo) o un retraso (valor negativo) correspondiente a meses identificada en la segunda serie con respecto a la primera.

Aspectos Metodológicos

Tabla 4.3: Correlación Cruzada series iniciales

	Hr 3	Hr 10	Hr 56	Hr 59	Hr 62	Hr 65	Ta 3	Ta 10	Ta 56	Ta 59	Ta 62	Ta 65	Tw 3	Tw 10	Tw 56	Tw 59	Tw 62	Tw 65
NAO	-0.12(0)	-0.11(5)	0.11(-4)	-0.13(-14)	-0.12(-14)	-0.17(9)	0.16(-7)	0.14(5)	-0.17(3)	-0.14(3)	0.11(-14)	-0.15(1)	0.1(-7)	-0.13(3)	-0.15(3)	-0.16(4)	-0.11(2)	-0.19(2)
Hr 3		0.25(0)	-0.1(10)	0.05(0)	-0.10(-7)	-0.13(-4)	-0.38(0)	-0.12(5)	0.11(-3)	0.11(-4)	0.1(-4)	0.16(-4)	-0.17(0)	-0.18(15)	0.16(-4)	0.13(-3)	0.10(-4)	0.13(-3)
Hr 10			0.12(-13)	0.15(-15)	0.11(-3)	-0.11(-14)	-0.17(-4)	-0.41(0)	-0.13(9)	-0.11(12)	-0.12(-3)	-0.15(8)	-0.15(7)	-0.15(7)	-0.1(0)	-0.1(12)	0.10(-8)	0.13(-5)
Hr 56				0.37(0)	0.16(2)	0.16(0)	-0.11(8)	0.17(-4)	0.17(-3)	0.2(-6)	0.16(-3)	0.13(-3)	0.08(-2)	-0.12(11)	0.14(-5)	0.13(-5)	0.13(-7)	0.14(-5)
Hr 59					0.17(-1)	0.14(-2)	0.13(-6)	0.16(-8)	0.14(-2)	-0.14(0)	0.15(-6)	0.14(-7)	0.09(-8)	-0.11(12)	0.12(-7)	0.08(-4)	0.1(4)	0.08(4)
Hr 62						0.26(0)	-0.11(8)	0.1(0)	0.18(-7)	0.17(-9)	-0.37(0)	-0.18(0)	0.13(1)	0.18(-7)	0.19(-10)	-0.16(0)	-0.31(0)	-0.15(0)
Hr 65							0.12(4)	0.1(3)	0.15(-5)	0.14(-5)	0.13(-5)	-0.43(0)	0.13(4)	0.17(-10)	-0.21(0)	-0.12(0)	-0.21(0)	-0.26(0)
Ta 3								0.31(0)	0.30(-5)	0.34(0)	0.30(-6)	0.28(-6)	0.50(0)	0.17(2)	0.28(-6)	0.26(2)	0.28(-6)	0.24(-7)
Ta 10									0.29(-1)	0.31(0)	0.28(-3)	0.26(1)	0.22(-5)	0.20(0)	0.28(0)	0.26(-3)	0.25(-8)	0.28(1)
Ta 56										0.74(0)	0.60(0)	0.51(0)	0.33(0)	0.31(-1)	0.67(0)	0.64(0)	0.47(0)	0.54(0)
Ta 59											0.59(0)	0.55(0)	0.37(0)	0.31(-2)	0.67(0)	0.70(0)	0.47(0)	0.51(0)
Ta 62												0.62(0)	0.25(-2)	0.23(-2)	0.61(0)	0.56(0)	0.68(0)	0.58(0)
Ta 65													0.22(-1)	0.21(-1)	0.57(0)	0.49(0)	0.52(0)	0.63(0)
Tw 3														0.30(0)	0.26(0)	0.33(0)	0.18(-6)	0.19(-7)
Tw 10															0.27(1)	0.35(2)	0.20(0)	0.27(1)
Tw 56																0.75(0)	0.54(0)	0.59(0)
Tw 59																	0.56(0)	0.56(0)
Tw 62																		0.66(0)

El mismo procedimiento se realizó entre series de anomalías de las variables y el IOAN con ~2.7 años, ~1.2 años, 15 años, ~3.3 años y 10 meses de periodo. Los resultados muestran el coeficiente de correlación con sus respectivos rezagos, caracterizando una relación particular entre las series.

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 DESCRIPCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS Y OCEANOLÓGICAS DEL MCC COMO PROMEDIO CLIMÁTICO DEL PERIODO 1971-2000.

La distribución espacial del promedio climático de Hr, Ta, TSM y SSM del período 1971-2000, se analiza con el fin de determinar en forma aproximada desde el punto de vista oceanológico, las zonas homogéneas de la región y escoger de cada una de ellas puntos representativos para la descripción de su comportamiento anual, base para la comparación de los análisis estadísticos espaciales y temporales realizados posteriormente.

5.1.1 Descripción espacial de la Humedad Relativa.

En la figura 5.1a, se presenta la distribución espacial del promedio climático de la Hr para enero, con valores que varían entre 79.2% y 85.3%. Se observa una zona de alta Hr con promedio del 85% entre los 72°-73°W y 11°3'-12°3'N cerca a la Península de la Guajira, donde el núcleo más alto se ubica en los 72°3'W y 12°3'N con un valor de 85.3%. Las zonas de valores bajos se encuentra una entre los 78°-78°3'W y 11°3'-12°N con un promedio de 79.6% y otra entre 76°-76°3'W y 9°3'-10°N con un valor de 81.4%, el núcleo de valores mínimos de 79.2% está localizado en 78°3'W y 11°3'N. Desde la costa Occidental hacia el Noroccidente, los valores de Hr disminuyen. En el centro de la MCC la Hr se registra alrededor de 82%.

Para febrero (figura 5.1b) se observan valores de Hr que varían entre 79.3% y 85.1%. La zona de valores altos de Hr se ubican entre 72°3'-73°W y 11°-12°N desplazándose 0.3° hacia el Occidente y hacia el Sur con respecto al mes anterior. El núcleo más alto se ubica en las coordenadas 72°3'W y 12°N con un valor de 85,1%. La zona de valores menores de Hr se encuentra en la esquina Noroccidental del MCC entre 78°-78°3'W y 12°-13°N con un valor de 79.4% desplazándose 1° hacia el Norte con relación al mes anterior. El núcleo de valores mínimos de 79.3% se encuentra localizado en 77°3' y 12°3'N. Los valores de Hr disminuyen desde la Península de la Guajira hacia el Sur de la costa Caribe colombiana y hacia el Occidente del MCC, en febrero se presenta una configuración muy parecida a la del mes de enero.

En marzo los valores de Hr varían entre 79.9% y 85.1% (Fig. 5.1c). El valor más alto disminuye 0.3% con respecto al mes anterior, mientras que el valor más bajo aumenta 0.6% con respecto al mismo mes. Se observan dos zonas con valores altos, una se encuentra entre 72°-74°W y 11°3'-12°3'N con un valor de 84.7% en promedio, y la otra entre los 76°-76°3'W y 10°-1°3' con 83.8%, el núcleo más alto se ubica entre 73°3'W y

11°3'N con un valor de 85.1%. Desde la costa Panameña hacia el Noroccidente la Hr disminuye siendo la esquina Noroccidental la zona que presenta valores mínimos de Hr, entre 77°-79°W y 12°-13°N con un valor promedio de 80.5%. El núcleo más bajo se ubica entre 77°W y 13°N con un valor de 79.9%. En el extremo Noroccidental la Hr varía entre 83.4 y 84%, mientras que en el centro del MCC la Hr promedio varía entre 83.1% y 82.2%.

En abril los valores de Hr varían entre 80.9 % y 86.4% (Fig. 5.1d), aumentando significativamente con respecto al mes anterior. En este mes se observan cuatro zonas con valores altos de Hr. Una se encuentra entre 73°-74°W y 11°-11°3'N con un valor promedio de 85.9%, otra zona entre 72°3'W y 12°3'N con un valor de 86.2%, y las otras dos zonas se localizan en las coordenadas 76°3'W-10°3'N y 78°3'W-9°3'N con un valor de 83.8%. El núcleo alto de Hr se encuentra ubicado en las coordenadas 73°3'W-11°3'N con un valor de 86.4%. La distribución de los valores de Hr sobre el MCC en abril es diferente con respecto a los meses anteriores, en este mes hay dos zonas con valores bajos de Hr, una se encuentran al Noroccidente entre 77°3'W y 12°-13°N y la otra en el Golfo de Darién entre 76°3'W y 9°-9°3'N con un valor de 82.6%. El núcleo de Hr baja se ubica entre 77°3'W-12°3'N con un valor mínimo de 80.9%. En el extremo Nororiente del MCC la Hr varía entre 84.7 y 85.6%.

En mayo la Hr varía entre 82.4% y 86.2% (Fig. 5.2a). Se observan varias zonas de valores altos localizados así: una zona está entre 71°3'-72°W y 12°3'N con un valor de 86.2% cerca de Punta Gallinas y el Cabo de la Vela, en las coordenadas 74°-74°3'W y 11°-11°3'N se observa otra zona con alta Hr de 85.3%, y otra zona con valores altos se localiza entre 77°-77°3'W y 10°-10°3'N con un valor de 84.1%. Las zonas de valores bajos se encuentran entre 78°3'W y 13°N en la esquina Noroccidente con 82.6% de Hr, y cerca del Golfo de Darién con un valor de 83.5%. En el extremo Nororiente del MCC la Hr varía entre 85% y 85.8%. En mayo la Hr aumenta con respecto al mes anterior

En junio los valores de Hr varían entre 82.5% y 85.8% (Fig. 5.2b). Sobre la Costa Panameña se observa una zona de alta Hr entre 78°3'W y 9°3'N con un valor de 85% y cerca a la Península de la Guajira hay otra zona con valores altos de Hr entre 71°-72°3'W y 12°-12°3'N con un valor de 85.3%, el núcleo de alta Hr se ubica entre 71°3'W y 12°3'N con un valor de 85.8%. Se observan dos zonas de valores mínimos de Hr, una de estas zonas se encuentra en el Norte del MCC en las coordenadas 77°-78°W y 12°-13°3'N con un promedio de 82.9%, el núcleo con el valor mínimo se encuentra en 75°3'W y 13°N y es de 82.5%. Aproximadamente sobre los 13°N de Occidente a Oriente la Hr oscila alrededor de los 83%. En junio disminuyen los valores altos de Hr y aumentan los bajos con respecto al mes anterior.

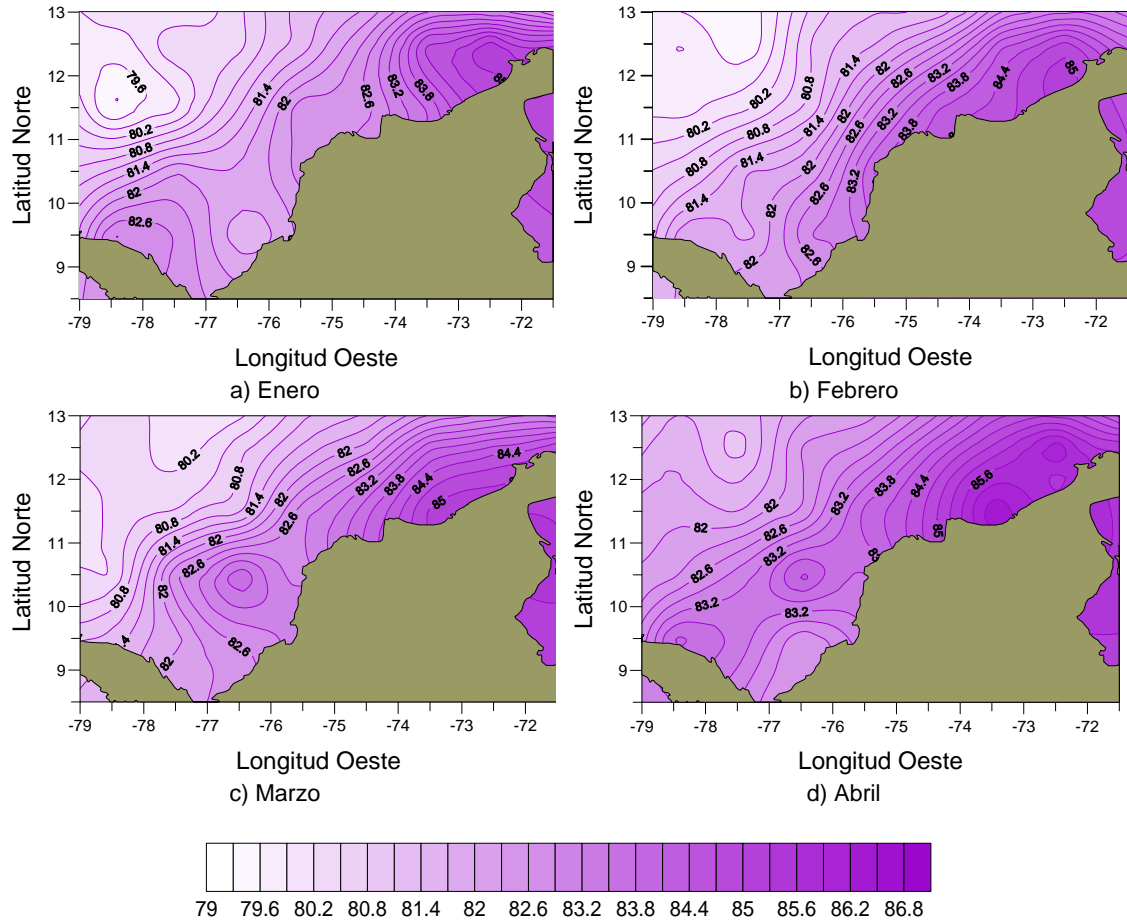


Figura 5.1. Promedio de Hr (%) del MCC, período 1971-2000 de enero a abril
 Líneas iguales de Humedad Relativa cada 0.3 %

Para el mes de julio los valores promedio de Hr varían entre 82.1% y 86.1% (Fig. 5.2c). La zona de valores altos de Hr se observa sobre la Península de la Guajira entre 72-72°3'W y 12°3'N con un valor de 85.6% y entre 75°3'-76°W y 10°3'N la Hr tiene un valor de 83.5%. Aproximadamente sobre los 12°-13°N de Occidente la Hr oscila alrededor de los 82.9% y 82%. En el extremo Nororiente del MCC la Hr varía entre 84.4 y 85.6%. En julio se observa una leve disminución de la Hr con respecto al mes anterior.

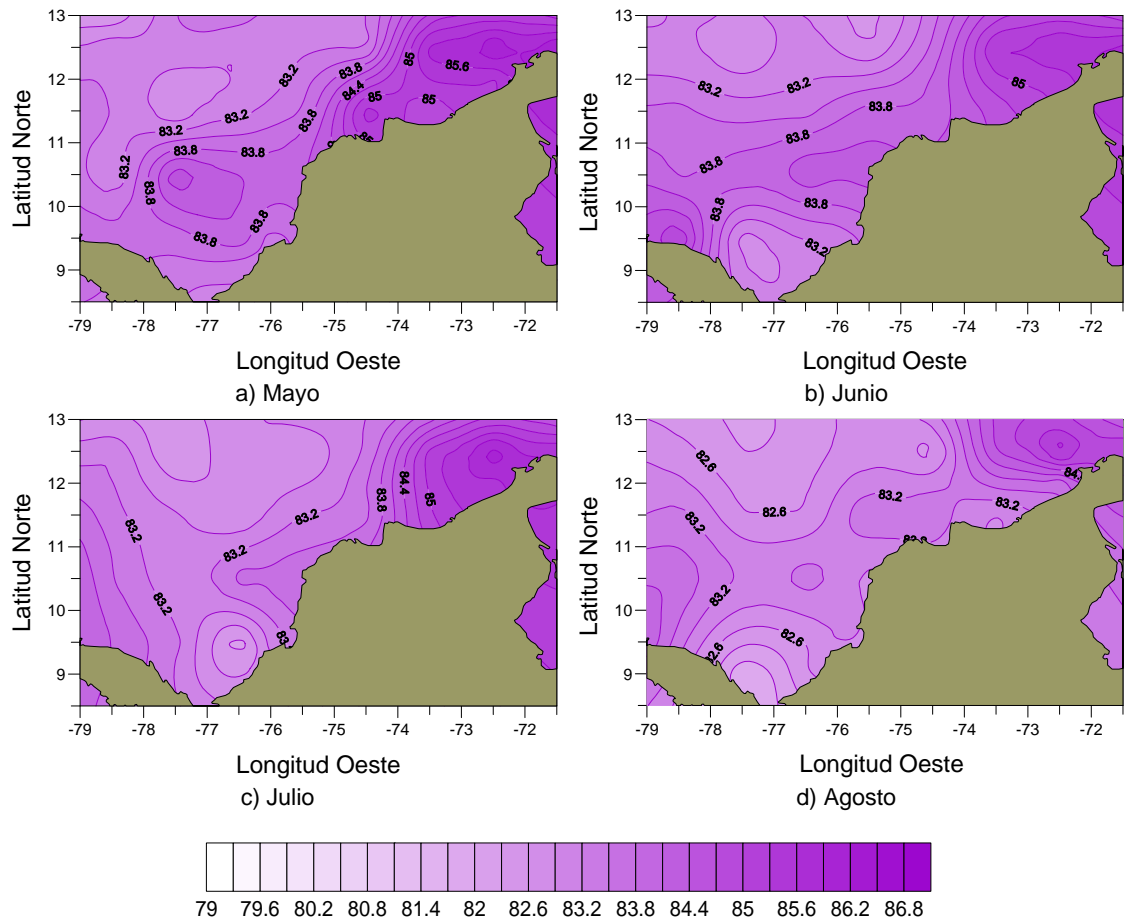


Figura 5.2. Promedio de Hr (%) del MCC, período 1971-2000 de mayo a agosto
 Líneas iguales de Humedad Relativa cada 0.3 %

Para el mes de agosto los valores promedio de Hr varían entre 81.7% y 85.5% (Fig. 5.2d). Se observan dos zonas de valores altos, una se concentra sobre la Península de la Guajira entre 72° - $72^{\circ}3'W$ y $12^{\circ}3'N$ con un valor de 85%, y la otra en las coordenadas $79^{\circ}W$ y $9^{\circ}3'$ - $10^{\circ}3'N$ con un valor de 83.8%, el núcleo de alta se encuentra entre $72^{\circ}3'W$ y $12^{\circ}3'N$ con un valor de 85.5%. En el Golfo de Darién se observa una zona de baja Hr con 82% de Hr aproximadamente. En el extremo Noroccidente del MCC se observa una Hr de 82.6%, y en el centro del MCC varía entre 82.6% y 83%. En agosto se observa una leve disminución de la Hr con respecto al mes anterior.

En septiembre los valores promedio de Hr varían entre 81.1% y 83.7% (Fig. 5.3a). En este mes las zonas de valores altos de la Hr se encuentran distribuidas así: una sobre la Península de la Guajira entre $72^{\circ}3'W$ y $12^{\circ}3'N$, otra en las coordenadas $76^{\circ}3'W$ y $9^{\circ}3'N$ las dos con un valor de 83.8%, una tercera ubicada entre $79^{\circ}W$ - $9^{\circ}3'N$ sobre la costa Panameña, con un valor de 83.5% y la ultima entre 75° - $76^{\circ}W$ y 11° - $12^{\circ}N$ con

82.9% de Hr . Se observan tres zonas con valores bajos de Hr, una se encuentran entre 77°-77°3'W y 12°-12°3'N con un valor de 81.4%, otra sobre la costa colombiana cerca de los departamentos Magdalena, Atlántico y Sucre con un valor de 81.7%, y otra en las coordenadas 77°3'W y 9°3'N con un valor de 82%. En septiembre se observa una significativa disminución de la Hr con respecto al mes anterior.

Durante octubre los valores promedio de Hr varían entre 81.2% y 84% (Fig. 5.3b). Una zona de valores altos se observa en la costa de Panamá en las coordenadas 78°3'W-9°3'N con 83.8%, otra zona con valores altos de Hr se encuentra en la punta de la península de la Guajira con un valor de 83.2%. Las zonas de valores bajos de Hr se encuentran distribuidas así: una cerca al Golfo de Morisquillo entre los 75°3'-76°3'W y 9°-10°N igual a 82.3%, y las otras dos en las coordenadas 76°3'-77°3'W - 12°-13°N y 74°-75°W - 12°-13°N las dos con valores de 81.4%. En el extremo Nororiente la Hr promedio es de 82% y en el extremo del Noroccidente es de 82.6%. En octubre se observa una disminución de la Hr con respecto al mes anterior.

Para el mes de noviembre los valores promedio de Hr varían entre 80.7% y 83.7% (Fig. 5.3.c). Las zonas de valores altos de Hr se encuentran distribuidas así: una sobre la costa de Panamá en 79°W-9°3'N con un máximo de 83.7%, y otra en la punta de la península de la Guajira con un valor de 83.2%. Se observan dos zonas de valores bajos de Hr, una en el Golfo de Morrosquillo en las coordenadas 76°-77°W y 9°-9°3'N con 81.4% de Hr, y otra en el extremo Noroccidental entre 76°-78°3'W y 12°-13°N con un valor de 81%. En el extremo Nororiental la Hr tiene un promedio de 82.9%, en noviembre se observa una disminución de la Hr con respecto al mes anterior.

En diciembre los valores promedio de Hr varían entre 79.5% y 84.5% (Fig. 5.3.d), en este mes se presentan los valores mínimos de Hr de todo el año, lo que quiere decir que es un mes muy seco. En este mes la zona de valores altos de Hr está sobre la Península de la Guajira con un valor de 83.8%, estos van disminuyendo hacia el Occidente y Norte de MCC. La zona de valores bajos se encuentran ubicada en el extremo Noroccidental con un mínimo de 79.6%. Se puede observar que en diciembre el MCC tiene valores altos de Hr en el Oriente y valores bajos en el Occidente. En el centro del MCC la Hr varía alrededor de los 82%. En diciembre se observa una disminución de la Hr con respecto al mes anterior.

En los dos primeros meses se observa una distribución homogénea de la Hr, donde la zona de valores altos está ubicada en la Península de La Guajira y, desde allí, estos valores van disminuyendo en forma diagonal hacia el Noroccidente. En marzo y abril, aunque se conserva esta distribución, aparecen nuevos núcleos de valores altos de Hr entre los 76°3'W y los 10°3'N. Desde mayo hasta noviembre se observan diversos esquemas de distribución de zonas con valores altos y bajos de Hr, relacionados con la

distribución de los vientos en la región, en diciembre se observa nuevamente homogeneidad de la Hr similar a la de enero y febrero.

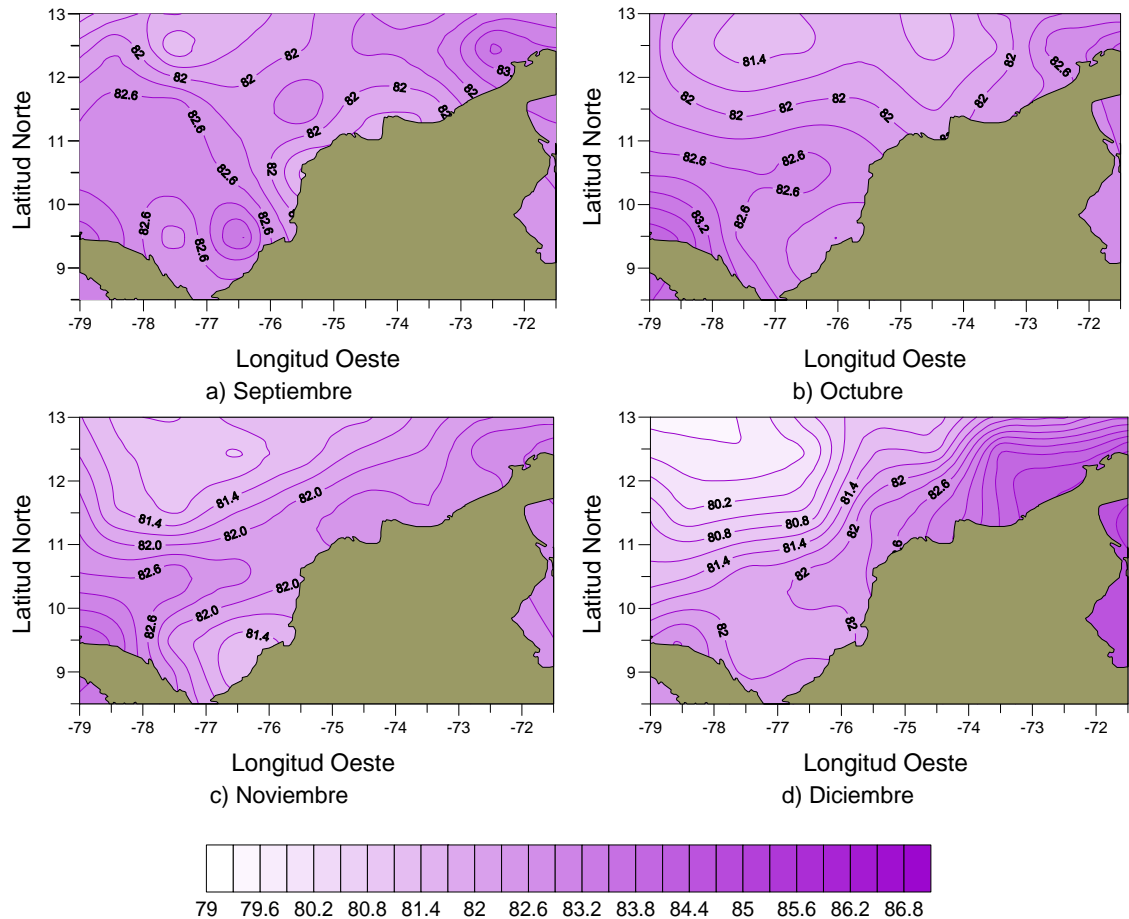


Figura 5.3. Promedio de Hr (%) del MCC, período 1971-2000 de septiembre a diciembre
 Líneas iguales de Humedad Relativa cada 0.3 %

En general se puede decir, que cerca a la península de la Guajira se ubica una zona de valores altos de Hr durante todo el año, esto puede ser debido a que los datos fueron tomados en la capa intermedia mar-aire, lo que se está observando puede ser una inversión en la atmósfera cerca a la superficie del océano. Y puede estar relacionado con la capa limite marina (no analizada en este trabajo), y se trata de alta humedad muy cerca de la superficie del océano que no influye en la humedad general asociada a lluvias. En zonas de alta convección la humedad sube y por lo tanto la Hr en esta capa muy cerca a la superficie del mar baja mientras que en las zonas de divergencia pasa lo contrario, lo que puede ser una explicación a los resultados encontrados.

En la tabla 5.1 se muestran los valores del promedio climáticos de Hr presentados en cada mes durante el periodo de estudio 1971 al 2000. En ésta se observa que los valores mayores de Hr se presentan desde abril hasta agosto, lo que coincide con la época húmeda del MCC. Esta tabla también muestra que mayo y junio son los meses con la máxima Hr, es decir que corresponden a los meses más húmedos del año (cerca a la superficie marina). En cuanto a los valores mínimos de Hr, éstos se observan desde noviembre hasta marzo, lo que corresponde a la época seca sobre el MCC siendo diciembre el mes con la mínima Hr del año. Estos resultados están de acuerdo con la descripción de las épocas climáticas del Caribe Colombiano descrita anteriormente por algunos autores como se presentó en el marco teórico.

Tabla 5.1. Promedio mensual climático de Hr (%) del periodo 1971-2000 para el MCC.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
81,6	81,8	81,9	83,1	83,7	83,7	83,5	83,3	82,3	82,0	81,8	81,5

La distribución espacial del promedio climático del periodo de estudio para la Hr, se presenta en la figura 5.4, donde se observa que la Hr varía entre 81.2% y 84.8%. Una zona de valores altos de Hr se encuentra entre los 71°3'W-73°W y 11°3' N-12°3'N cerca a la Península de la Guajira con un valor de 84.3%, y el núcleo de valor más alto se localiza entre 72°3'W y 12°3'N con 84.8%. Aquí cabe resaltar que los datos son superficiales, lo que quiere decir que fueron tomados en la capa intermedia mar-aire. Es por esta razón que los resultados muestran la máxima Hr cerca de la Península de la Guajira, lo que se está observando puede ser una inversión en la atmósfera cerca a la superficie del océano. Y puede estar relacionado con la capa limite marina (no analizada en este trabajo), y se trata de alta humedad muy cerca de la superficie del océano que no influye en la humedad general asociada a lluvias. En zonas de alta convección la humedad sube y por lo tanto la Hr en esta capa muy cerca a la superficie del mar baja mientras que en las zonas de divergencia pasa lo contrario, lo que puede ser una explicación a los resultados encontrados.

Desde la Península de la Guajira hacia el Occidente los valores de la Hr disminuyen, al igual que se registra una disminución de la Hr desde la costa Panameña hacia el Norte y Noroccidente. Una zona de valores bajos se encuentra entre los 77°3'-78°W y 12°5'-13°N con 81.16%. En el centro del MCC la Hr se registra alrededor de 82% y 82.7%, en el extremo del Nororiente es de 83% a 84% y en el extremo Noroccidente es de 81.6%

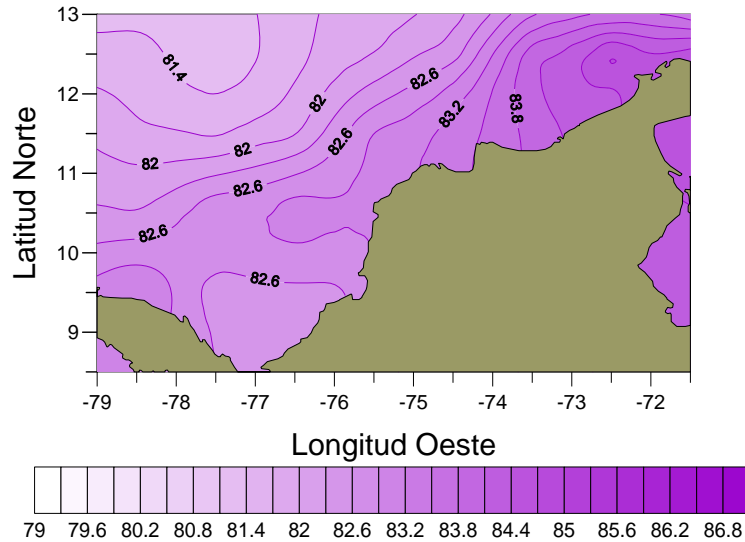


Figura 5.4. Climatología de Hr (%) del MCC, período 1971-2000

_____ Líneas iguales de Humedad Relativa cada 0.3 %

5.1.2 Descripción espacial de la Temperatura del Aire

En la figura 5.5a, se observa la distribución espacial del promedio climático de la Ta para el mes de enero en el periodo de 1971-2000. La Ta sobre el nivel del mar varía entre 25.67 °C y 27.18 °C, las condiciones de Ta muestran enfriamiento sobre la Península de la Guajira donde se observa un valor mínimo de 25.67 °C en 73°3' W y 11°3'N. Las zonas de valores altos de Ta se ubican en la Costa de Panamá, Golfo de Darién y Golfo de Morrosquillo con valores de 26.88 °C el núcleo con el valor más alto está entre 76°3'W y 9°3'N y es de 27.18 °C. En el centro del MCC la Ta varía entre 26.4 y 26.8 °C. En el extremo Nororiental la Ta promedio es de 26.1 °C, y en el extremo del Noroccidente de 26.6 °C. Se observa que la parte Oriental del MCC tiene temperaturas menores, y estos valores van aumentando hacia el Occidente donde la Ta es mayor.

Para el mes de febrero se observa en la figura 5.5b que los valores promedio de Ta varían entre 25.63 °C y 27.13 °C, este mes presenta la menor temperatura de todo el año. Las zonas de alta Ta se observan sobre el Golfo de Darién y la Costa Panameña con un valor promedio de 26.88 °C, el valor con el núcleo alto de Ta está en las coordenadas 77°W y 8°5'N con un valor de 27.13 °C. Una zona de valores bajos de Ta

se observa sobre la Península de la Guajira, entre los 72-73°W y 12-13°N con un valor promedio de 25.7 °C, el núcleo con el valor más bajo de Ta se ubica exactamente en las coordenadas 72°W y 12°3'N y es de 25,63 °C desde allí los valores de Ta disminuyen hacia el Sur del MCC. En el centro del MCC la Ta varía entre 26.3 y 26.5 °C, en el extremo Nororiental la Ta promedia es de 25.9 °C, en el extremo Noroccidente es de 26.2 °C. En este mes se nota que aunque la configuración de Ta es parecida a la del mes anterior, se aprecia una ligera disminución general de la Ta.

En marzo la Ta varía entre 25.65 °C y 27.20 °C (Fig. 5.5c), la zona de baja Ta sigue ubicada sobre la península de la Guajira con un valor promedio de 26 °C, el valor más bajo se ubica exactamente en las coordenadas 73°3'W-11°3'N y es de 25.65 °C. Al igual que el mes anterior las Ta más altas siguen ubicadas sobre el Golfo de Darién y la Costa Panameña con un valor promedio de 27 °C, el núcleo con el valor más alto esta en 77°3'W-9°3'N y es de 27.19 °C. En el extremo Nororiental del MCC la Ta promedia es de 26 °C, en el extremo del Noroccidente es de 26.7 °C. En marzo se observa un aumento de Ta con respecto al mes anterior.

En abril la Ta varía entre 26.12 °C y 27.82 °C (Fig. 5.5d), el MCC se puede partir en dos partes, siendo la parte Occidental la más cálida y la parte Oriental la más fría. La zona de Ta más alta se registra en el Golfo de Darién y Costa Panameña igual a los meses anteriores con un valor promedio de 27.4 °C, el valor más alto está ubicado exactamente en 77°W - 8°3'N y es de 27.81 °C. La zona de baja Ta se ubica sobre la península de la Guajira entre los 72° y 73°W con un valor de 22.24 °C el valor más bajo esta en 72°3'W-12°N y es de 26.11 °C. En el centro del MCC la Ta varía entre 26.8° y 27 °C. En el extremo Nororiental del MCC la Ta promedia es de 26.6 °C, en el extremo Noroccidente es de 27.2 °C. En abril se observa un aumento de Ta con respecto al mes anterior.

En mayo la Ta varía entre 26.96 °C a 28.08 °C (Fig. 5.6a). La distribución espacial del promedio de la Ta en mayo cambia con respecto a los meses anteriores, en este mes aunque los valores más bajos siguen ubicados sobre la Península de la Guajira con un valor promedio de 27.3 °C, en el centro del MCC la Ta tiene un promedio de 27.8 °C cubriendo un amplio rango latitudinal y longitudinal de 75°W - 79°W y 9°3'N - 12°3'N mientras que en los meses anteriores en esta zona los valores de Ta eran más variantes. El núcleo con el valor más alto de Ta se registra en 76°W y 9°3'N con un valor de 28,07 °C. En el extremo Nororiental del MCC la Ta promedio es de 27.4 °C, en el extremo del Noroccidente es de 27.8 °C. En mayo se sigue registrando un significativo aumento de Ta con respecto a los meses anteriores.

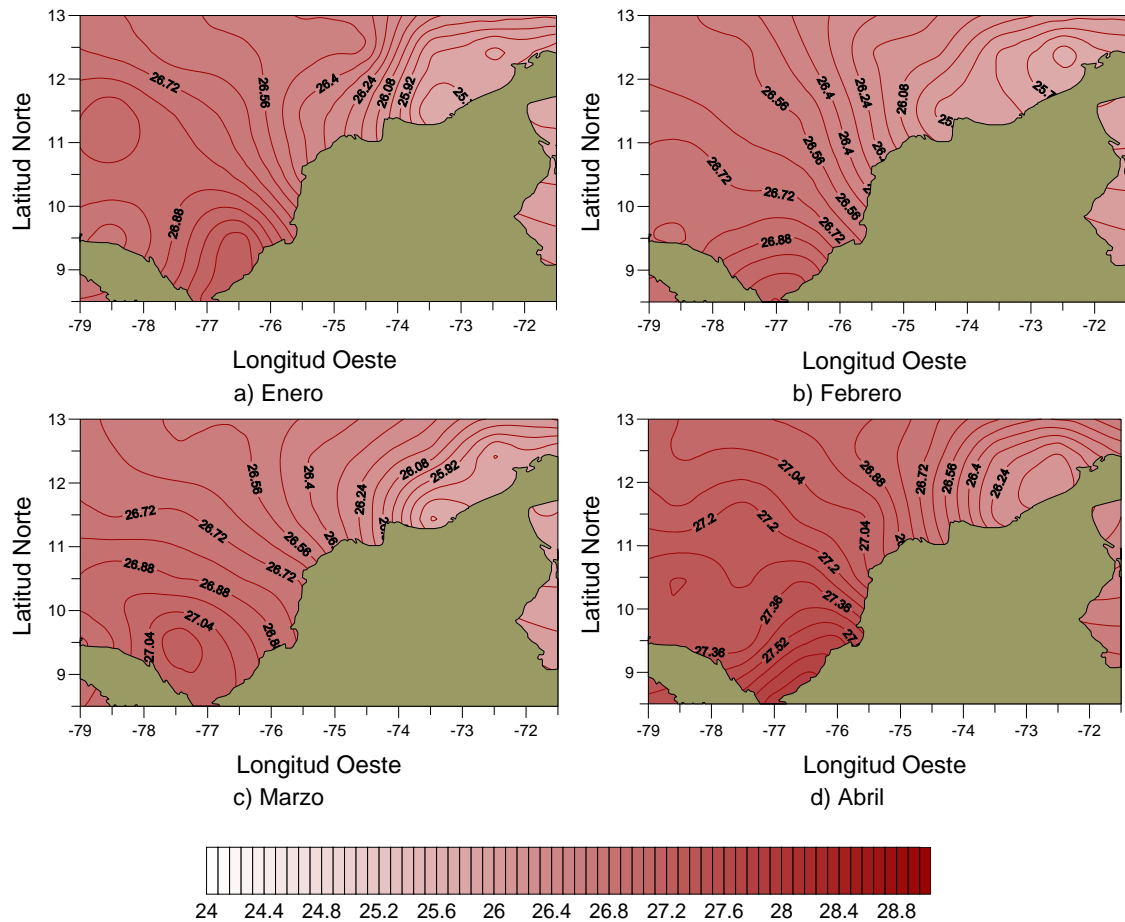


Figura 5.5. Promedio de Ta (°C) del MCC, período 1971-2000 de enero a abril
 Líneas iguales de Temperatura del Aire (Isotermas) cada 0.08°C

En junio la Ta varía entre 27.33 °C y 28.31°C (Fig. 5.6b) la zona de Ta más alta se observa en el centro del MCC en los 76°-77°W y 10°-11°N con un núcleo del valor más alto en las coordenadas 76°3'W-10°3'N con un valor de 28.31 °C, desde allí los valores disminuyen en todas las direcciones, la zona de valores bajos de Ta se observa sobre la Península de La Guajira, el valor mínimo esta exactamente en 71°3'W y 12°3'N de 27.33 °C. En junio se registra un aumento de Ta con respecto al mes anterior.

Para el mes de julio la Ta (Fig. 5.5c) varía entre 26.88 °C y 28.20 °C el núcleo de valores altos de Ta se observa en las coordenadas 75°3'W - 10°3'N con un valor de 28.20 °C, otra zona con altos valores de Ta se observa en la parte Norte del MCC donde la Ta varía entre 27.5° y 27.9 °C, en las coordenadas 77°W – 78°W y 12°N – 12°3'N. Las zonas de Ta baja se ubican una en la costa de Panamá con un valor de 24.2 °C, exactamente entre 78°W y 9°3'N, y otra zona en la Península de la Guajira

con un mínimo de 26.8 °C en las coordenadas 72°3'W y 12°3'N. En julio se registra una leve disminución de Ta con respecto al mes anterior.

En agosto (Fig. 5.5c) la Ta varía entre 27.32 °C y 28.26 °C una zona de valores bajos de Ta se observa en la Península de la Guajira con un valor promedio de 26.6 °C, el núcleo con Ta más baja está ubicado exactamente entre 72°3'W y 12°3'N con un valor de 27,31 °C desde allí el aire frío se conecta con aires cálidos del Norte donde la Ta varía entre 27.5 y 28.4 °C. Una zona de valores altos de Ta esta en el centro del MCC con un valor promedio de 28.16 °C, el valor más alto de Ta se observa en las coordenadas 77°3'W y 10°3'N con un valor de 28,26 °C. En agosto se observa un aumento de Ta con respecto al mes anterior.

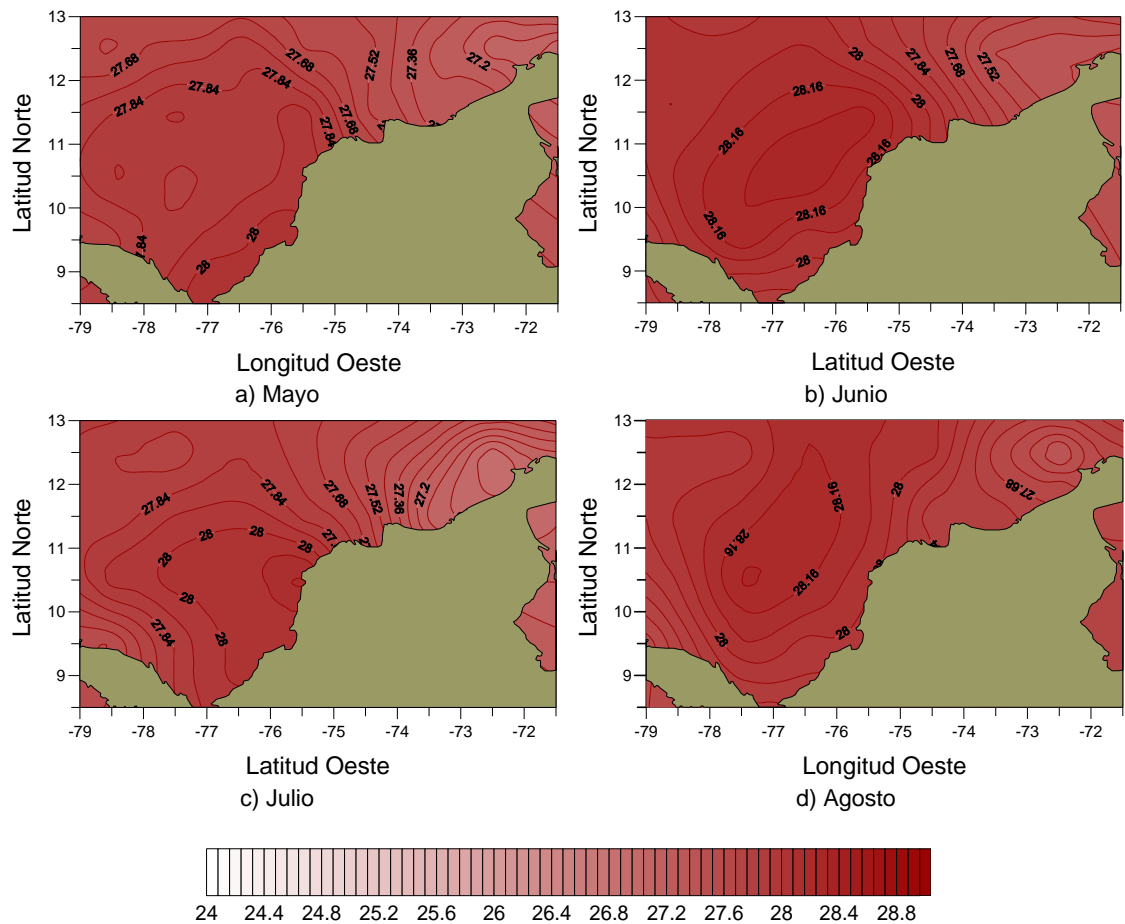


Figura 5.6. Promedio de Ta (°C) del MCC, período 1971-2000 de mayo a agosto
 Líneas iguales de Temperatura del Aire (Isotermas) cada 0.08°C

En septiembre la Ta varía entre 27.43 °C y 28.40 °C (Fig. 5.7a), en este mes se observan varias particularidades con relación a los meses anteriores, las temperaturas mínimas se observan en la parte Occidental del MCC cerca a la costa Panameña, y

desde allí van aumentando los valores de la Ta hacia el Oriente y Norte. Una zona de Ta con valores bajos se observa cerca a la costa Panameña con un valor promedio de 27.06°C, el núcleo más bajo de Ta esta exactamente en las coordenadas 79°W - 9°3'N con un valor de 27.43 °C. Las zonas con valores altos de Ta en ubican así: una sobre la Península de la Guajira con un valor promedio de 28,16 °C, y otra entre 75°-77°W y 12°-13°N con un valor promedio de 28,32 °C el núcleo de valor más alto se ubica exactamente entre 76°3'W y 12°3'N con un valor de 28,40°. En el extremo Nororiente Ta tiene un valor promedio de 27 °C y en el extremo Noroccidente es de 28.16 °C. En septiembre se observa un aumento de Ta con respecto al mes anterior.

En octubre la Ta varía entre 27.04 °C y 28.40 °C (Fig. 5.7b) y tiene una configuración muy parecida a la del mes de septiembre. La zona con valores bajos de Ta se observa sobre la costa de Panamá y el Golfo de Darién, con un valor promedio de 27.36 °C, el núcleo con el valor más bajo de Ta se encuentra entre 77°W y 8.5°N con un valor de 27.04°C. La zona con la Ta más alta se observa sobre los 74°3'W-77°W y 12°N-13°N con un valor promedio de 28.48 °C. En el centro del MCC el valor promedio de Ta está entre 27.8 °C y 28.2 °C, en el extremo del Nororiente y Noroccidente la Ta tiene un valor promedio de 28.16°C. En el mes de octubre el MCC alcanza los valores más altos de Ta del año.

En noviembre la Ta varía entre 27.15 °C y 28.16 °C (Fig. 5.7c). La zona con valores bajos de Ta se observa sobre la costa de Panamá y el Golfo de Darién, con un valor promedio de 27.4 °C el núcleo con el valor mínimo se encuentra exactamente en las coordenadas 79°W - 9°3'N y es de 27.15 °C. La zona con los valores altos de Ta se registran entre 75°3'-77°3'W y 11°3'N-12°3'N con un valor promedio de 28.08 °C, exactamente el núcleo más alto esta en las coordenadas 77°W y 11°3'N con un valor de 28.16 °C. El resto del MCC tiene valores intermedios entre estos extremos y oscilan alrededor de los 27.84 °C. En noviembre la Ta sobre el MCC disminuye sus valores con respecto al mes anterior.

En diciembre la Ta varía entre 26.50 °C y 27.69 °C (Fig. 5.7d), la configuración de la Ta cambia con respecto a los últimos meses, y es más parecida a la de los meses de enero y febrero. Las zonas con valores bajos de Ta se observan sobre la Península de la Guajira con un valor promedio de 26.56 °C, el núcleo con los valores más bajos está en las coordenadas 72°3'W-12°N con un valor de 26.50 °C. Las zonas con valores altos de Ta se observan en el Golfo de Darién, el Golfo de Morrosquillo y la costa Panameña con un valor de 27.36 °C, el núcleo con el valor más alto se encuentra en las coordenadas 76°3'W-9°3'N de 27.69 °C. El centro del MCC tiene valores alrededor de los 27.4 °C. En diciembre la Ta sobre el MCC disminuye sus valores con respecto al mes anterior.

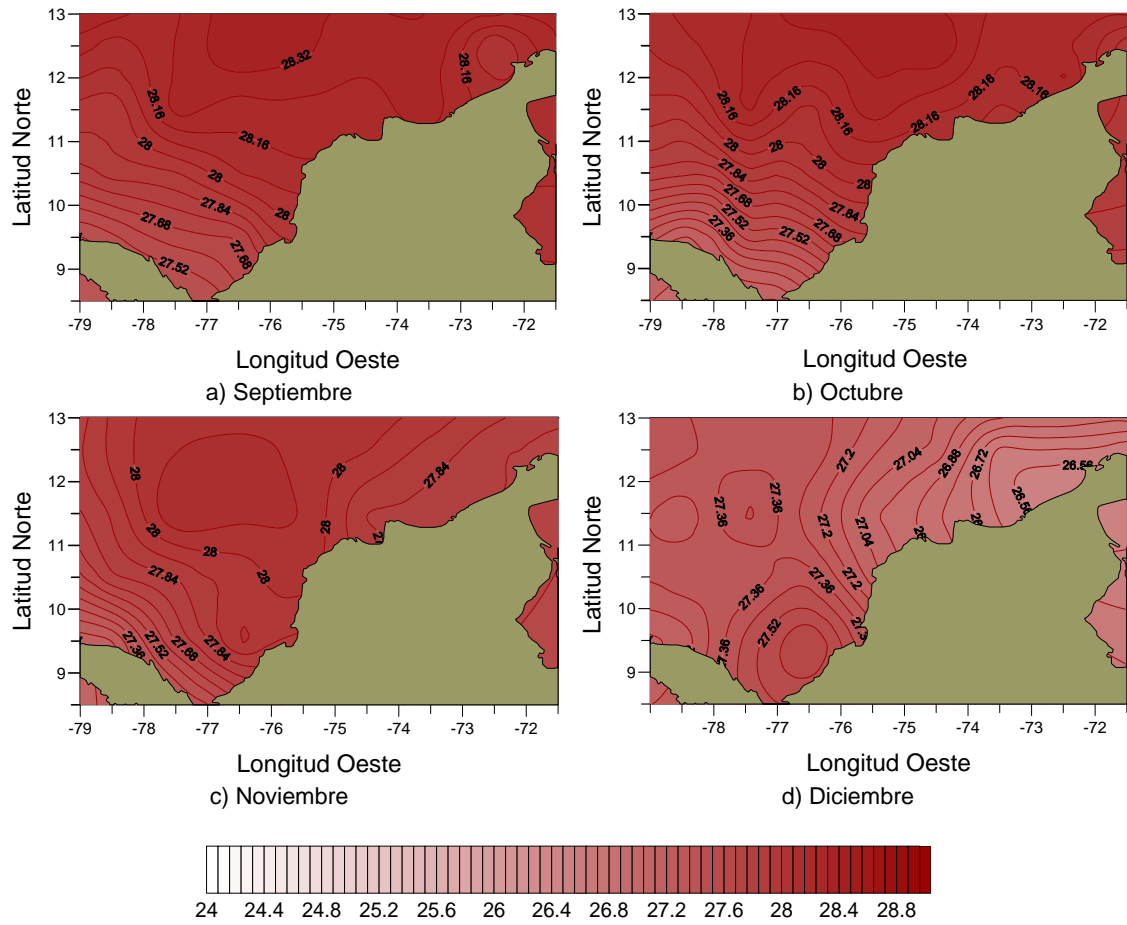


Figura 5.7. Promedio de T_a ($^{\circ}\text{C}$) del MCC, período 1971-2000 de septiembre a diciembre
 Líneas iguales de Temperatura del Aire (Isotermas) cada 0.08°C

En general se puede decir que los cuatro primeros meses del año, se caracterizan por que la parte Occidental es más cálida y la parte Oriental más fría. Los valores de la T_a en estos meses están relacionados con la época seca sobre el MCC. La distribución de estos valores es muy homogénea en esta época y disminuyen en forma diagonal de Occidente a Oriente presentándose las menores temperaturas sobre la Península de la Guajira y las mayores temperaturas sobre la Costa Panameña, el Golfo de Morrosquillo y el Golfo de Darién.

También se observa que estos primeros cuatro meses presentan los menores valores T_a del año, encontrándose la menor en el mes de febrero, resultados relacionados con vientos fuertes del Norte-Noreste, lluvias débiles y escasas como resultado del desplazamiento de la ZCIT.

Los siguientes meses desde mayo hasta agosto la Ta tiene un comportamiento diferente con relación a los meses anteriores, la zona de máxima Ta se desplaza hacia el centro del MCC y las zonas de menor Ta aunque sigue ubicada sobre la Península de la Guajira en el extremo Nororiente del MCC, aumenta sus valores significativamente. Esta época es conocida como la primera época húmeda, en ésta se percibe el ascenso de la ZCIT cerca de los 8°N, y la reactivación de la baja anclada de Panamá lo que hace que se presenten algunas precipitaciones, en el Golfo de Urabá y el Golfo de Darién. La debilitación de los vientos y la orientación variable de los mismos puede ser la razón por la cual se observan diversos esquemas de distribución de zonas con valores altos y bajos de Ta y una disminución significativa de la Ta.

En los meses desde septiembre hasta diciembre la zona de alta Ta sigue desplazándose hacia el Norte del MCC. En estos meses aproximadamente de agosto a noviembre se observa el ascenso paulatino de la ZCIT, asociado a un sistema de baja presión sobre el litoral Caribe colombiano y parte del Mar Caribe centro lo que explica el desplazamiento de la zona de alta Ta hacia el centro del MCC. Los valores de Ta van en aumentan desde enero hasta octubre, en octubre se encuentra la máxima Ta del año y en noviembre a diciembre disminuyen los valores de Ta.

En la tabla 5.2 se muestran los valores del promedio climático de Ta presentados para cada mes durante el periodo de estudio. Los meses con máximas Ta se observan desde junio hasta octubre, siendo septiembre el mes con la mayor Ta, y los meses con las Ta mínimas van desde enero hasta abril (época seca) siendo febrero el mes con la mínima Ta. Al inicio de la época seca sobre el mar Caribe se observan los avances de los extremos sur de los frentes fríos lo que trae consigo abundantes vientos y explica el descensos de la Ta. La diferencia entre los meses más caídos y más fríos es de 1.7°C aproximadamente.

Tabla 5.2. Promedio mensual climático de Ta (°C) del periodo 1971-2000 para el MCC.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
26,53	26,40	26,55	26,98	27,68	27,96	27,72	27,97	28,10	28,03	27,89	27,16

La distribución espacial del promedio climático del periodo de estudio para la Ta, se presenta en la figura 5.8, esta varía entre 26.87 °C y 27.64 °C, la parte Oriente del MCC presenta las menores Ta mientras que la parte Occidente las mayores Ta. Las condiciones de Ta muestran enfriamiento sobre la Península de la Guajira entre los 71°3'W-73°3'W y 11°3'N-12°3'N con un valor promedio de 27 °C. Las zonas de valores altos de Ta se observan en la costa de Panamá y en el Golfo de Darién con un máximo de 27.52 °C. En el centro del MCC la Ta varía entre 27.5 y 27 °C.

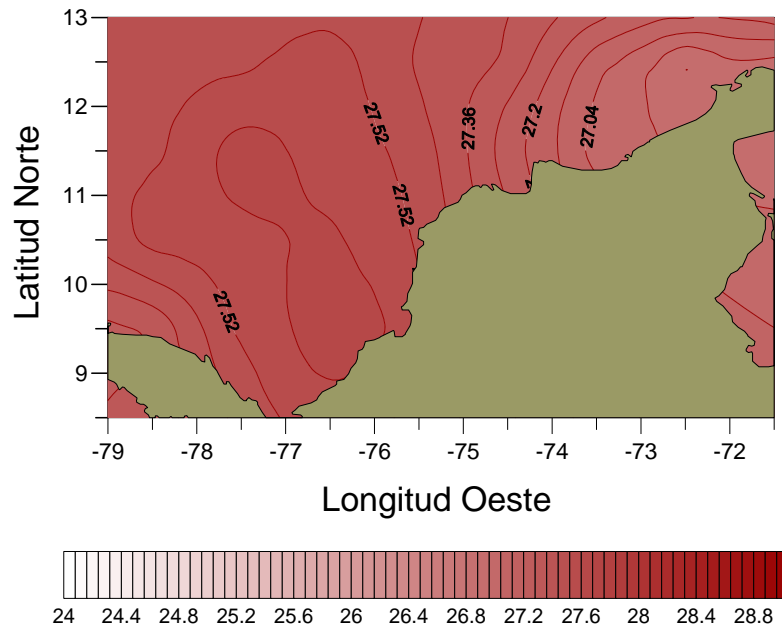


Figura 5.8. Climatología de Ta (°C) del MCC, período 1971-2000
 Líneas iguales de Temperatura del Aire (Isotermas) cada 0.08°C

5.1.3 Descripción espacial de la Temperatura Superficial del Mar

En la figura 5.9a, se muestra las condiciones de TSM para enero, estas temperaturas varían entre 25.67 °C y 27.54 °C. En este mes se observan aguas superficiales con bajas temperaturas en la parte Oriental (piscina fría) del MCC y aguas más cálidas en la parte Occidental (piscina cálida). Los valores más altos de la TSM se observan en la costa Occidental (aguas de Panamá y Golfo de Darién) entre 76°-79°W y 9°-10°3'N con un valor de 27.1°C el núcleo con el valor más alto se encuentra en las coordenadas 76°3'W y 9°N con un valor de 27.54°C. Desde ahí los valores disminuyen a lo largo de la costa hacia la península de la Guajira donde la TSM tiene un valor promedio de 26°C, el núcleo de TSM baja se encuentra entre 71°3'W y 12°3'N con 25.67 °C. En las coordenadas 73° - 75°W la TSM varía entre 25.8 °C y 26.5 °C, en el Golfo de Morrosquillo la TSM es de 27.4°C. En el extremo Nororiental del MCC la TSM es de 26.7 °C, en el extremo del Noroccidente es de 27 °C.

En febrero los valores de TSM varían entre 25.51 °C y 27.25 °C (Fig. 5.9b), en este mes la distribución de la TSM es parecida a la de enero. Las TSM más altas se observan en el Golfo de Darién, Golfo de Morrosquillo y aguas de la costa Panameña con un valor de 27 °C, disminuyendo a lo largo de la costa hacia la Península Guajira, donde el valor más bajo de la TSM es de 25.51 °C entre 71°3'W y 12°3'N. Desde la punta de la península los valores de la TSM aumentan en todas las direcciones. Desde

los 73° hasta los 75°W la TSM varía entre 25.9 y 26.3 °C. En el Nororiente del MCC la TSM es de 26 °C, en el Noroccidente es de 26.7 °C. En febrero se nota una leve disminución de la TSM con relación a enero.

En marzo los valores de TSM varían entre 25.59 °C y 27.39 °C (Fig. 5.9c), en este mes la zona con valores máximos de la TSM se observa entre 76°-78°W y 9°-10°N con un valor de 27.2 °C, el núcleo con máxima TSM está en las coordenadas 77°W y 8°3'N con un valor de 27.39 °C. La zona con valores bajos sigue ubicada en la península de la Guajira entre 11°3'N y 12°3'N con el valor promedio de 25.8 °C y el núcleo con el valor mínimo de 25.58 °C se encuentra en las coordenadas 72°3'W y 12°3'N. Los valores promedios de la TSM en el Nororiente son de 25.8 °C y en el Noroccidente de 26.8 °C. En el Golfo de Morrosquillo la TSM es de 27.2 °C. Se nota un leve aumento de la TSM con relación al mes anterior.

En abril la distribución de TSM varía entre 25.91 °C y 28.43 °C (Fig. 5.9d), la gráfica de la distribución de la TSM sigue siendo parecida a la de los meses anteriores. La zona de valores máximos de la TSM se registra en el Golfo de Darién, Golfo de Morrosquillo y costa Panameña con valor promedio de 28 °C, el núcleo con el valor máximo esta en las coordenadas 77°W y 8°3'N, con un valor de 28.42 °C, exactamente en el mismo punto del mes anterior. La zona de valores bajos se observa en la península de la Guajira con un mínimo igual 25.91 °C entre 72°3'W y 12°3'N. El valor promedio de la TSM en Nororiente es de 26.4 °C y en el Noroccidente es de 27.1 °C. Entre los 73° y 75°W la TSM cambia desde los 26.2 °C hasta los 26.7 °C, en el Golfo de Morrosquillo la TSM promedia es de 28 °C. En este mes se observa un leve aumento de la TSM con relación al mes anterior.

En mayo los valores de TSM varían entre 28.68 °C y 26.79 °C (Fig. 5.10a), la zona con valores altos de la TSM se observa en la misma ubicación de los meses anteriores con un valor promedio de de 28.5 °C, la parte Occidental del MCC entre los 12°N y 13°N tiene un valor de 27.9 °C. La zona con TSM baja se observa en la península de la Guajira con un valor promedio de 27.3 °C, el núcleo con el mínimo se encuentra en las coordenadas 72°3'W y 12°3'N con un valor de 26.79 °C. El valor promedio de la TSM en el Nororiente es de 27.4 °C y en el Noroccidente es de 27.9 °C. En los 73° y 75°W la TSM varía desde los 27.3 °C hasta los 27.7 °C. Sigue el aumento general de la TSM con relación al mes anterior.

En junio los valores de TSM varían entre 26.99 °C y 28.79 °C (Fig. 5.10b), en este mes se observa una configuración diferente de la zona de alta TSM con relación a los meses anteriores. la zona con los valores altos de TSM se observa entre los 77°-78°W y 9°- 9°3'N con un valor promedio de 27.6 °C, el núcleo con el valor máximo igual a 28.79 °C se ubica en las coordenadas 78.5°W y 9°3'N. La zona con los valores bajos se observa en la península de la Guajira con un valor promedio de 27.6°C, el núcleo con el mínimo de TSM igual a 26.99 °C está entre 72°3'W y 12°3'N. Los valores

promedios de la TSM en el Nororiente del MCC son del orden de 27.2 °C a 27.5 °C y en el Noroccidente es de 28.2 °C. Entre los 73° y 75°W la TSM cambia desde los 27.5 °C hasta los 28 °C. Sigue el aumento general de la TSM con relación al mes anterior

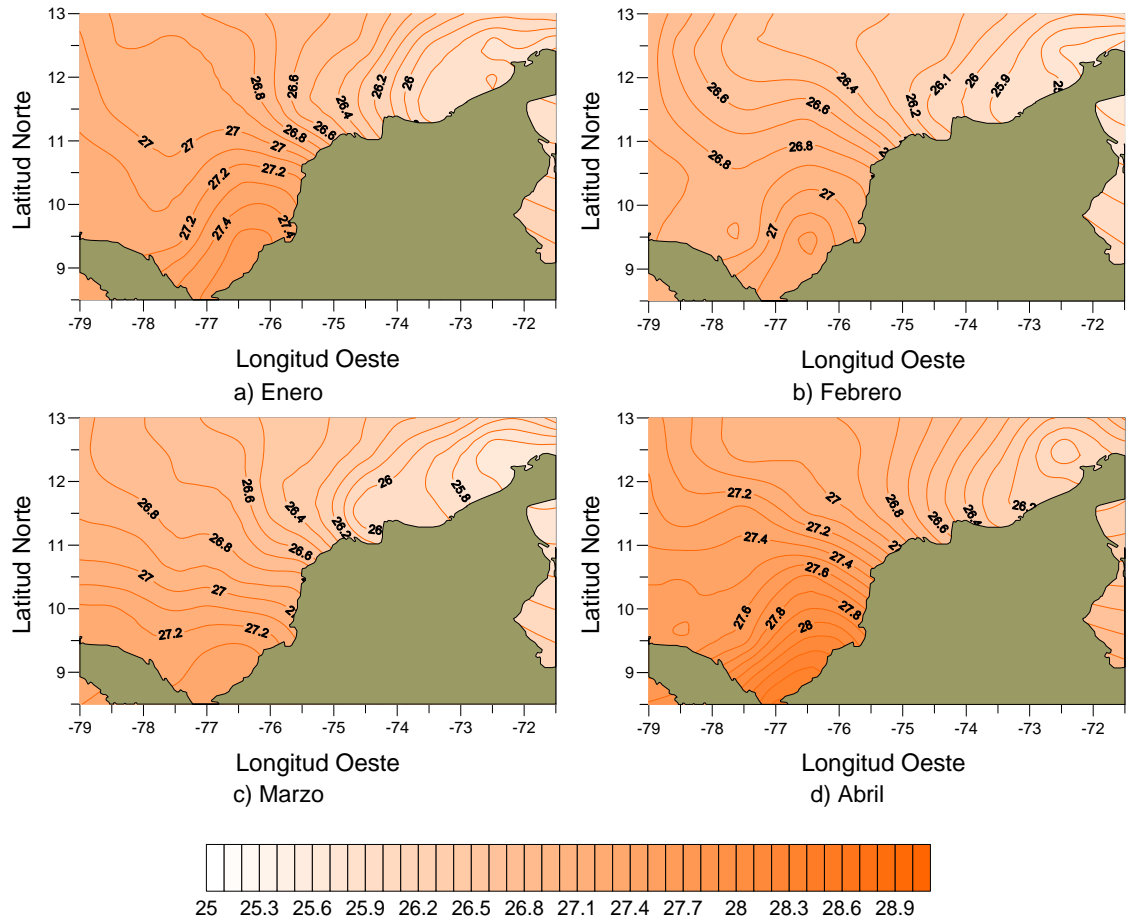


Figura 5.9. Promedio de TSM (°C) del MCC, período 1971-2000- enero-abril
 Líneas iguales de Temperatura del Mar (isotermas) cada 0.1 °C

En julio los valores de TSM varían entre 26.63 °C y 28.67 °C (Fig. 5.10c), la zona con los valores más altos de la TSM se observa en las coordenadas 76°-79°W y 9°-10°N con un valor promedio de 28.7 °C, el máximo de TSM se ubica entre 76°3'W y 9°3'N con un valor de 28.67 °C. La zona con los valores bajos se observa en la península de la Guajira con un mínimo de 26.63 °C en 72°3'W y 12°3'N. Desde la península hacia el Suroccidente y el Norte del MCC los valores de la TSM aumentan, en el extremo Nororiente del MCC tiene un valor promedio de 27.8 °C y en el extremo del Noroccidente el valor promedio es de 28.2 °C. Desde los 73° hasta los 75°W la TSM varía desde 27.8 °C hasta 28.2 °C. Se observa una pequeña disminución de la TSM con relación a junio.

En agosto los valores de TSM varían entre 27.06 °C y 28.58 °C (Fig. 5.10d), la zona con los valores más altos de la TSM se observa en el Golfo de Morrosquillo, con un valor de 28.5 °C, el núcleo con el máximo de TSM está en las coordenadas 75°3'W y 10°3'N. La parte Occidental del MCC tiene un valor de 28.2 °C. La zona con los valores bajos se observa en la península de la Guajira con un valor promedio de 27.8 °C, el núcleo con el mínimo de TSM se encuentra en las coordenadas 71°3'W y 12°3'N. En el extremo Nororiente del MCC el valor promedio es de 27.8°C. En los 73° la TSM es igual a 27.8 °C, en los 75°W la TSM es de 28.1 °C. En agosto se nota una leve disminución de la TSM con relación al mes anterior.

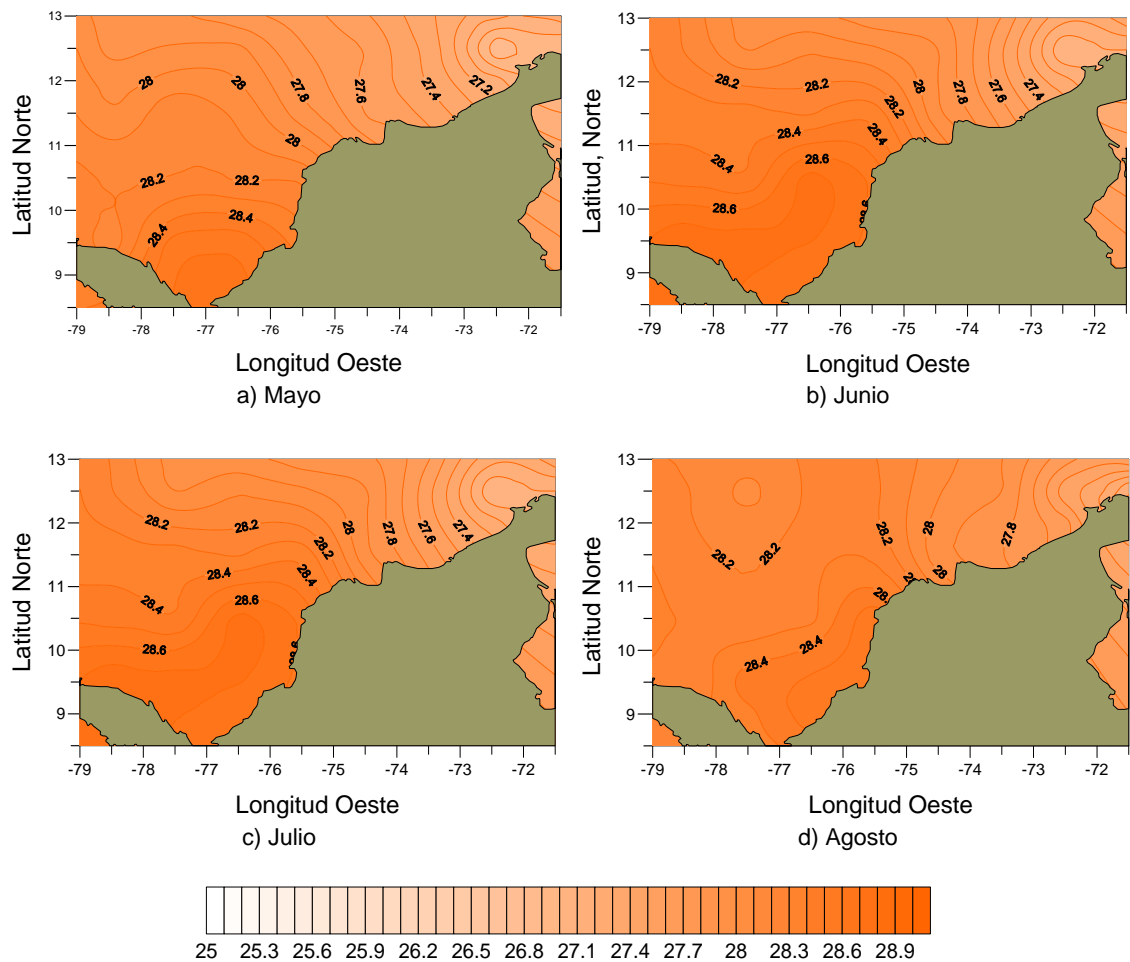


Figura 5.10. Promedio de TSM (°C) del MCC, período 1971-2000- mayo a agosto
 Líneas iguales de Temperatura del Mar (isotermas) cada 0.1 °C

En septiembre los valores de TSM varían entre 28.12 °C y 28.83 °C (Fig. 5.11a), la zona con los valores altos de la TSM se observa en las coordenadas 75°-76°W y 10°-11°3'N con un valor promedio de 28.8 °C, el núcleo con el máximo de TSM se ubica

entre 75°3'W y 10°3'N y es igual a 28.83 °C. Cerca a la costa Panameña se observa una TSM con un valor de 28.5 °C en las coordenadas 78°-79°W y 9°3'-12°N. En el Norte del MCC se observa un valor promedio de 28.7 °C. Las zonas con valores bajos se observan, una en la península de la Guajira con un valor promedio de 28.4 °C, y otra en el Golfo de Morrosquillo y el Golfo de Darién con un valor promedio de 28.5 °C, el núcleo con el mínimo de TSM es igual a 28.12 °C y se ubica en las coordenadas 71°3'W y 12°3'N. Desde los 73° hasta los 75°W la TSM cambia desde 28.4 °C hasta 28.5°C. Se observa un aumento de la TSM con relación al mes anterior.

En octubre la TSM varía entre 28.22 °C y 28.94 °C como se observa en la Figura 5.11b. La zona de valores altos se encuentra en las coordenadas 75°-76°W y 11°-12°N con un valor promedio de 28.8 °C, el núcleo con el máximo de TSM está entre 75°3'W y 11°3'N. La zona con los valores bajos de TSM se encuentra entre 76°3'-78°3'W y 8°3'- 9°3'N, en el Golfo de Morrosquillo con un valor promedio de 28.5 °C, el núcleo con el valor más bajo de TSM igual a 28.22 °C está ubicado las coordenadas 77°W- 8°3'N. La parte Norte del MCC tiene una TSM promedio igual a 28.8 °C, el resto del MCC oscila entre 28.5 y 28.7 °C. En octubre se registran los máximos valores de TSM del año.

En noviembre la TSM varía entre 27.93 °C y 28.70 °C (Fig. 5.11c) se observa un ligero enfriamiento de las aguas superficiales, y de nuevo aparece una zona de valores bajos en la Península de la Guajira con un valor promedio de 28.2 °C, el núcleo con el mínimo de TSM se ubica en las coordenadas 72°3'W y 12°3'N con un valor igual 27.93 °C, otra zona con valores bajos de TSM está entre 76°3'-77°W y 8°3'-9°N con un promedio de 28.2 °C. La zona de valores altos de TSM se observa en las coordenadas 74°3'-75°3'W y 10°-11°N con un valor promedio de 28.5 °C, el núcleo con la máxima TSM se ubica entre 76°3'W y 10°3'N con un valor de 28.7 °C. Entre los 73° y 75°W la TSM varía desde 27.4 °C hasta 28.2 °C. En los extremos del MCC Nororiente y Noroccidente la TSM promedio es de 28.2°C. En este mes se observa una disminución de TSM con respecto al mes anterior.

En diciembre la TSM varía entre 28.03 °C y 26.53 °C, como se ve en la figura Fig.5.11d. Se observa un significativo enfriamiento de las aguas superficiales con relación a los meses anteriores, y una distribución de las zonas de alta y baja TSM más homogénea, parecida a la de los primeros meses. La zona con los valores más bajos de la TSM se observa en la península de la Guajira entre los 71°3'-73°3'W y 11°3'-12°3'N con valor promedio de 26.7 °C, el núcleo con el mínimo valor de TSM está en las coordenadas 71°3'W y 12°3'N y es igual a 26.53 °C. La zona de alta TSM se encuentra en las coordenadas 76°-77°3'W y 8°3'-9°3'N con un valor promedio de 27.9 °C, el núcleo con el valor máximo se ubica entre 76°W y 9°3'N con un valor de 28.03 °C. En el resto del MCC la TSM oscila entre 27.4 y 27.8 °C. En este mes se observa una disminución de TSM con respecto al mes anterior.

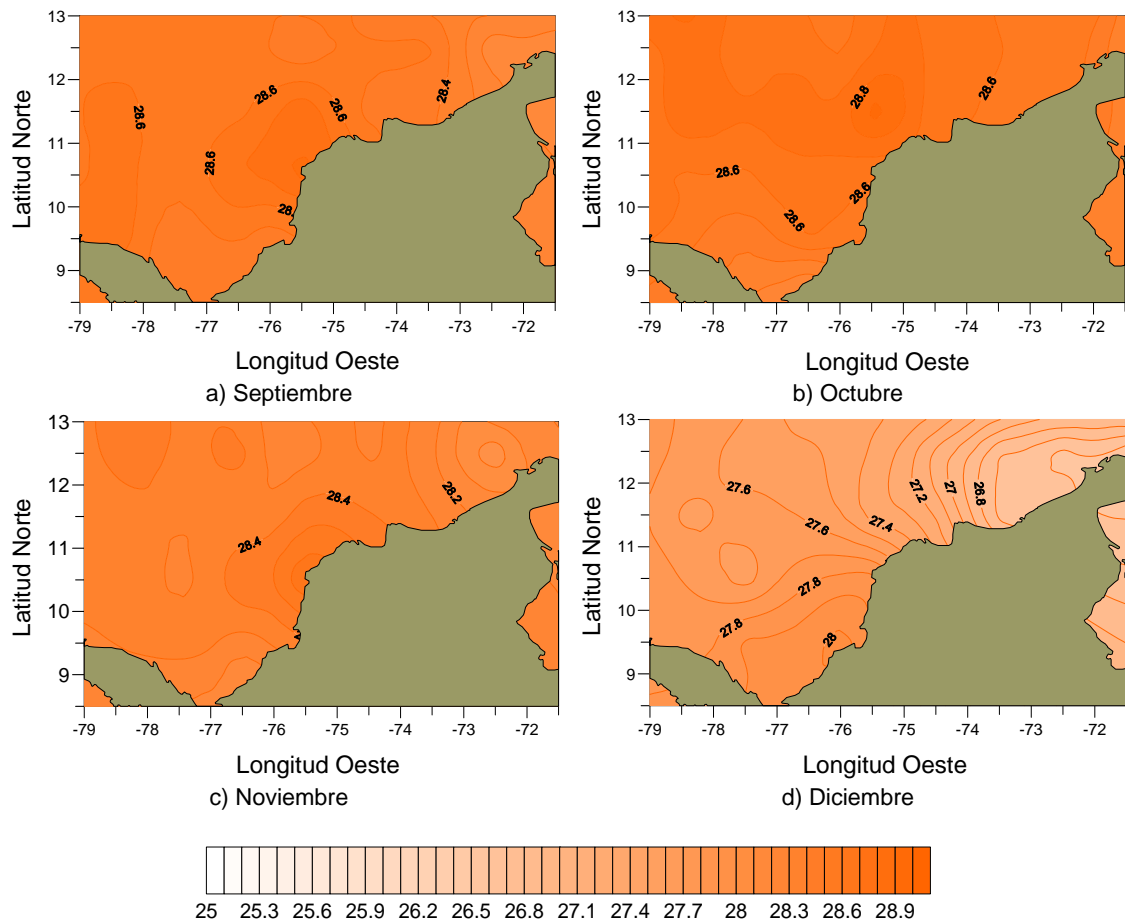


Figura 5.11. Promedio de TSM (°C) del MCC, período 1971-2000- septiembre a diciembre
 Líneas iguales de Temperatura del Mar (isotermas) cada 0.1 °C

De lo anterior se puede ver que los meses desde enero hasta abril, presentan las mínimas TSM, siendo el mes de febrero el que tiene la mínima TSM de todo el año. Los meses desde enero hasta junio, tienen una distribución homogénea de la TSM, con aguas de baja temperatura en la parte Oriental (piscina fría) y con aguas más cálidas en la parte Occidental (piscina cálida). Los valores más altos de la TSM en estos primeros meses del año, se observan en la costa occidental (aguas de Panamá, Golfo de Morrosquillo y Golfo de Darién), desde ahí los valores disminuyen a lo largo de la costa hacia la península de La Guajira, donde se registra una zona de TSM baja resultados encontrados también por Bernal et al (2006) y Duque (2010) quienes explican esta distribución en la TSM sobre el MCC por la influencia del giro Panamá-Colombia en la zona Suroccidental, la surgencia de La Guajira en la zona Nororiental. En los meses desde mayo hasta octubre se observa valores altos de TSM, siendo octubre el mes con la mayor TSM de todo el año, en noviembre y diciembre disminuyen los valores de TSM en el MCC. La distribución de la TSM en los meses

desde julio hasta noviembre tiene una distribución diferente con relación a los primeros meses, las zonas con valores altos de van desplazando hacia el centro del MCC.

Comparando los valores de T_a y TSM se puede observar que hay una relación ya que T_a es una respuesta rezagada de TSM, comprender el comportamiento promedio de T_a permite intuir también variaciones en TSM.

En la tabla 5.3 se observan los valores del promedio climático de TSM para cada mes en el periodo de estudio. Los valores de esta tabla muestran TSM bajas en la época seca desde enero hasta abril, siendo febrero el mes con la menor TSM del año. Las TSM altas se presentan en época húmeda desde junio hasta noviembre, siendo octubre el mes con la mayor TSM del año.

En la época seca se pueden presentar los denominados “Mares de Leva” debido a la incursión de aguas de frentes polares provenientes del hemisferio Norte, lo que hace que se presente un descenso de la TSM sobre el MCC. En época húmeda se observa un aumento de la TSM, a medida que transcurre la primera y segunda época húmeda el océano se sigue calentando, lo que hace que los sistemas tropicales se fortalezcan.

Tabla 5.3. Promedio mensual climático de TSM (°C) del periodo 1971-2000 para el MCC.

I	II	III	IV	V	IV	VII	VIII	IX	X	XI	XII
26,65	26,42	26,49	26,94	27,78	28,04	27,69	28,08	28,52	28,65	28,33	27,37

La distribución espacial del promedio climático del periodo de estudio para la TSM, se presenta en la figura 5.12. Las condiciones de la TSM se presentan con bajas temperaturas en la parte Oriental del MCC (piscina fría) y aguas más cálidas en la parte occidental (piscina cálida) acorde con los resultados obtenidos por Bernal (2006) y Duque (2010). La zona de valores altos de la TSM se observa en el Golfo de Darién con un valor de 28 °C, el núcleo con valores altos de TSM se encuentra entre 76°3'W y 9°3'N con un valor de 28.16 °C estos valores tienen una relación directa con la oceanografía costera, ya que esta zona se encuentra localizada en una línea de costa Norte-Noreste protegida por la geografía y orografía de los vientos, y a su vez esta zona también se encuentra influenciada oceanográficamente por el giro Ciclónico Panamá-Colombia. Desde el Golfo de Darién los valores de la TSM disminuyen a lo largo de la línea de costa hacia la Península de la Guajira, donde se registra un núcleo de TSM baja con valor de 27° C. Entre los 73°-75°W la TSM varía entre los 27.1° y 27.5 °C, en el Golfo de Morrosquillo la TSM es de 28 °C. En el extremo Nororiental del MCC la TSM es de 27 °C, en el extremo del Noroccidente es de 27.8 °C.

Frente a la Guajira se presenta un movimiento ascendente de aguas subsuperficiales lo que genera una disminución de la TSM, debido a que el afloramiento de aguas trae aguas con bajas temperaturas y altas salinidades. Este fenómeno es conocido con el nombre de surgencia y es ocasionado por la fricción del viento sobre la capa superficial. Esta surgencia se presenta durante todo el año pero se intensifica en época seca y disminuye en época húmeda.

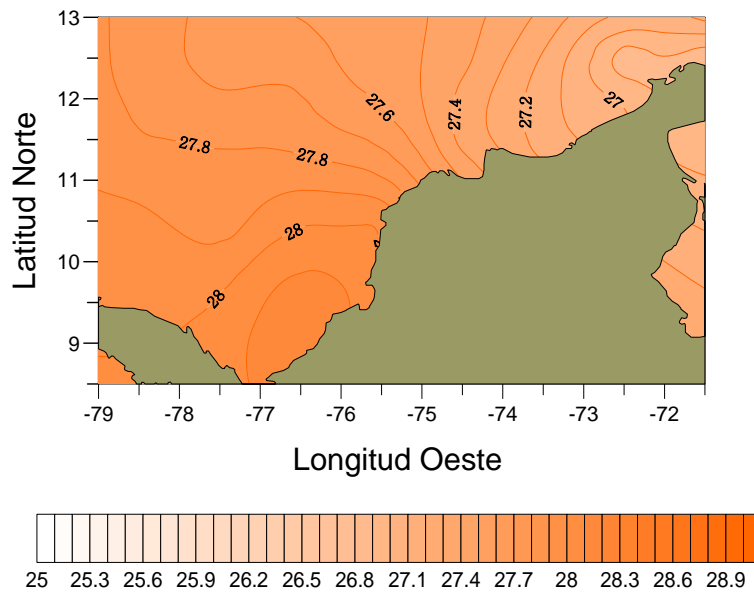


Figura 5.12. Climatología de TSM (°C) del MCC, período 1971-2000
 Líneas iguales de Temperatura del Mar (isotermas) cada 0.1 °C

5.1.4 Descripción espacial de la Salinidad Superficial del Mar

En la figura 5.13a, se observa la distribución espacial del promedio climático de la SSM para el mes de enero. En este mes la SSM varía entre 35,27 y 36.43 psu. Las condiciones de SSM muestran aguas con baja salinidad en la parte costera de Panamá con un valor de 33.79 psu y en el Golfo de Morrosquillo con un valor de 35.8 psu. Las zonas con los valores más altos de salinidad se observan cerca de la península de la Guajira con un valor máximo de 36.27 psu. En el Norte y en el extremo Nororiente del MCC la salinidad varia alrededor de los 35.3 psu, en la parte central la salinidad varía entre los 35.5-36 psu y en el extremo Noroccidental la salinidad promedio es de 36 psu.

En febrero (Fig. 5.13b) los valores de SSM varían entre 35.49 y 36.51 psu, en este mes la zona con las aguas de baja salinidad siguen ubicadas en la parte costera de

Panamá con un valor de 35.8 psu. La zona de máxima salinidad se observa en la parte costera de Colombia entre los $73^{\circ}3' - 75^{\circ}3'W$ con un máximo de 36.7 psu. En el Golfo de Morrosquillo la salinidad es intermedia entre la más baja y la más alta con un valor promedio de 36 psu. En toda la parte Norte del MCC la salinidad varía entre 35.5 y 35.9 psu, en la parte central la salinidad varía entre los 35.8 - 36.2 psu. En febrero se registró un ligero aumento de la salinidad con relación a enero.

En marzo (Fig. 5.13c) los valores de SSM varían entre 35.69 y 36.54 psu en este mes la zona con aguas de baja salinidad siguen siendo ubicadas en la costa Panameña con un valor mínimo de 34.5 psu, los máximos valores se observan en la parte costera de Colombia entre los $72^{\circ} - 75^{\circ}3'W$ con un máximo promedio de 36.3 psu. En el Golfo de Morrosquillo la salinidad es intermedia entre la más baja y la más alta con un valor promedio de 35.7 psu. En el Norte del MCC la salinidad varía entre 35.7 y 36 psu, en la parte central la salinidad varía entre los 35.9 – 36 psu. En este mes se registra un ligero aumento general de la salinidad con relación al mes anterior.

En abril (Fig. 5.13d) los valores de SSM varían entre 35.76 y 36.46 psu en este mes la zona con las aguas menos saladas se registran en la costa Panameña con un valor mínimo de 36 psu, la zona con los máximos valores de la salinidad se observan en la Península de la Guajira entre los $72^{\circ} - 73^{\circ}W$ con un valor máximo promedio de 36.46psu, en el Golfo de Morrosquillo la salinidad es intermedia entre la más baja y la más alta con un valor promedio de 35.6psu. En el Norte del MCC la salinidad varía entre 35.7 y 36 psu, en la parte central la salinidad varía entre 36 y 36.2 psu. En este mes se registra un aumento general de la salinidad con relación al mes anterior.

En mayo (Fig. 5.14a) los valores de SSM varían entre 35.46 y 36.31 psu en este mes la zona con aguas menos saladas se observan en la costa de Panamá con un valor mínimo de 35.6 psu, la zona de aguas con salinidad alta se registran entre $72^{\circ}3'W - 12^{\circ}3'N$ con un valor máximo promedio de 36.4 psu. En el Golfo de Morrosquillo la salinidad es de 35.6 psu. En el extremo del Nororiente del MCC la salinidad es de 35.9 psu, en la parte Norte central la salinidad varía entre 35.5 y 35.8psu y en el extremo del Noroccidente la salinidad es de 36.1psu. En la parte central del MCC la salinidad varía entre 35.7 y 36.2 psu. En mayo se registra un aumento general de la salinidad con relación al mes anterior.

En junio (Fig. 5.14b) los valores de SSM varían entre 34.98 y 36.24 psu en este mes la zona con aguas de baja salinidad se encuentran en la costa de Panamá con un valor mínimo de 34.3 psu, la zona de aguas con la salinidad alta se registran entre $72^{\circ}3'W$ y $12^{\circ}3'N$ con un valor máximo promedio de 36.4 psu. En el Golfo de Morrosquillo la salinidad promedio es de 35.2 psu. En el extremo del Nororiente y en la parte Norte central del MCC la salinidad es de 35.9 psu y en el extremo del Noroccidente la salinidad promedio es de 36.1 psu. En la parte central del MCC la salinidad promedia

es de 35.9 psu. En este mes se registra una ligera disminución general de la salinidad con relación al mes anterior

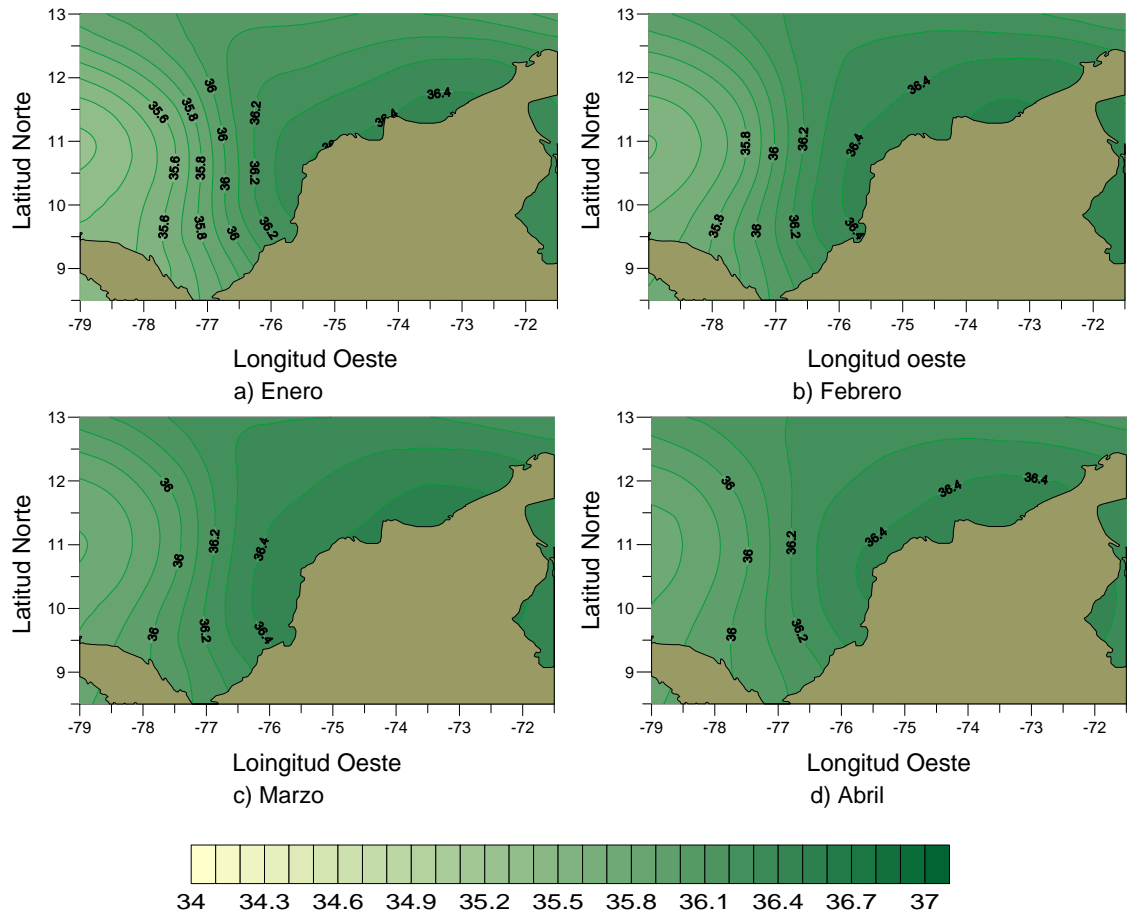


Figura 5.13. Promedio de SSM (PSU) del MCC, período 1971-2000- enero a abril
 Líneas iguales de Salinidad Superficial del Mar cada 0.1 psu

En julio (Fig. 5.14c) los valores de SSM varían entre 34.97 y 36.34 psu en este mes la zona con aguas de baja salinidad se encuentran en la costa de Panamá con un valor mínimo de 34.2 psu, las aguas con la salinidad alta se registran en la Península de la Guajira con un núcleo en los 72°3'W-12°3'N con un valor máximo promedio de 36.8 psu. En el Golfo de Morrosquillo la salinidad promedio es de 35.4 psu. En el extremo del Nororiente y en la parte Norte central del MCC la salinidad promedio es de 35.7 psu y en el extremo del Noroccidente la salinidad promedio es de 36.1 psu. En la parte central del MCC la salinidad promedio es de 35.9psu En este mes se registra una ligera disminución general de la salinidad con relación al mes anterior.

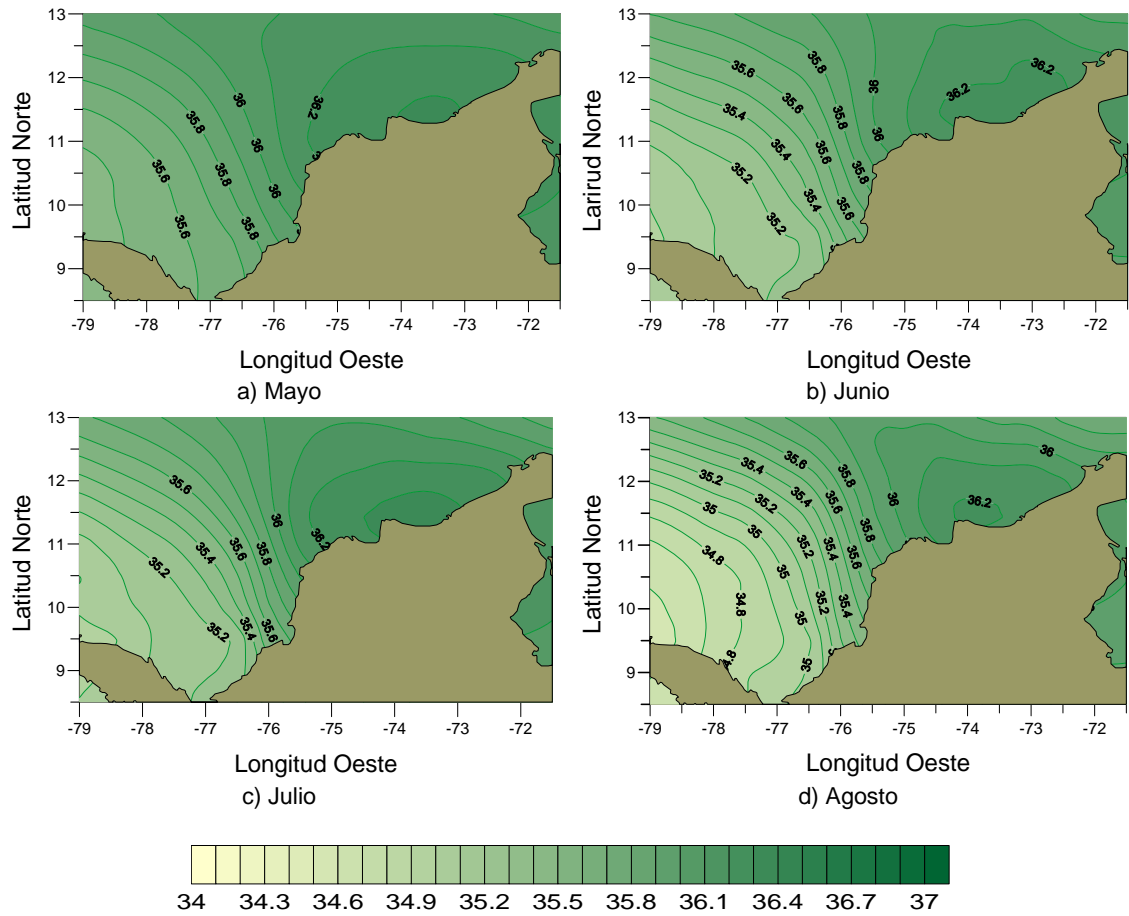


Figura 5.14. Promedio de SSM (PSU) del MCC, período 1971-2000- mayo a agosto
 Líneas iguales de Salinidad Superficial del Mar cada 0.1 psu

En agosto (Fig. 5.14d) los valores de SSM varían entre 34.54 y 36.22 psu, la imagen de la distribución de la salinidad cambia con relación a los meses anteriores. La zona con aguas de baja salinidad se encuentra en la costa de Panamá con un valor mínimo promedio de 34.8 psu y en el extremo Nororiental del MCC con un valor promedio más elevado de 36 psu. La zona con aguas más saladas se encuentra desde el extremo Noroccidental hacia la costa colombiana con los valores de salinidad entre 35.9 y 36 psu. En agosto se nota un ligero aumento de salinidad general con relación al mes anterior.

En septiembre (Fig. 5.15a), los valores de SSM varían entre 34.14 y 36.07 psu, también como en agosto, la zona de salinidad baja se observa en la costa de Panamá con un valor mínimo de 34.14 psu y la parte Nororiental del MCC la SSM tiene un valor promedio de 35.8 psu donde se observa una zona con valores alto de SSM. En septiembre se observa un aumento de salinidad general con relación al mes anterior.

En octubre (Fig. 5.15b) los valores de SSM varían entre 34.09 y 35.82 psu. La zona con salinidad baja se observa en la costa de Panamá con un valor mínimo de 34.3 psu. La zona con aguas más saladas se encuentra en el extremo Nororiental con un valor promedio de 35.6 psu. En el centro del MCC la SSM tiene un valor promedio de 34.8 psu. En este mes se observa el máximo de concentraciones de salinidad general del año.

En noviembre (Fig. 5.15c) los valores de SSM varían entre 34.33 y 35.93 psu, la zona con valores de salinidad baja se observa en la costa de Panamá con un valor mínimo promedio de 34.3 psu. La zona con aguas más saladas se encuentra en la parte Oriental del MCC con un valor promedio de 35.8 psu y en la punta de la península de la Guajira con un valor promedio de 35.6 psu. En este mes se observa una disminución de salinidad general con relación al mes anterior.

En diciembre (Fig. 5.15d) los valores de SSM varían entre 34.85 y 36.25 psu, la zona con baja salinidad se observa en la costa de Panamá con un valor mínimo promedio de 34.4 psu. La zona con aguas de baja salinidad se encuentra en el extremo Nororiental del MCC con un valor promedio de 34.9 psu. Las aguas más saladas se encuentran en la parte Occidental del MCC con un valor promedio de 36 psu. En diciembre se registra una disminución de salinidad general con relación al mes anterior.

De lo anterior se puede ver que la SSM tiene una propiedad conservativa, ya que durante todo el año presenta una distribución homogénea sobre el MCC presentando aguas saladas en la parte Oriental y aguas menos saladas en la parte Occidental, desde la Península de la Guajira hacia el Sur y Occidente del MCC la SSM va disminuyendo, los meses que se caracterizan por tener los máximos valores de SSM van desde enero hasta abril, siendo el mes de marzo el que presenta el valor mayor de SSM durante el año. Y los meses desde septiembre hasta diciembre se caracterizan por tener los valores mínimos de SSM, siendo el mes de octubre el que tiene el valor mínimo de SSM de todo el año. Observando los valores de SSM y TSM se puede ver que en los meses donde la SSM es mayor la TSM es menor y que en los meses en que la SSM es menor la TSM es mayor.

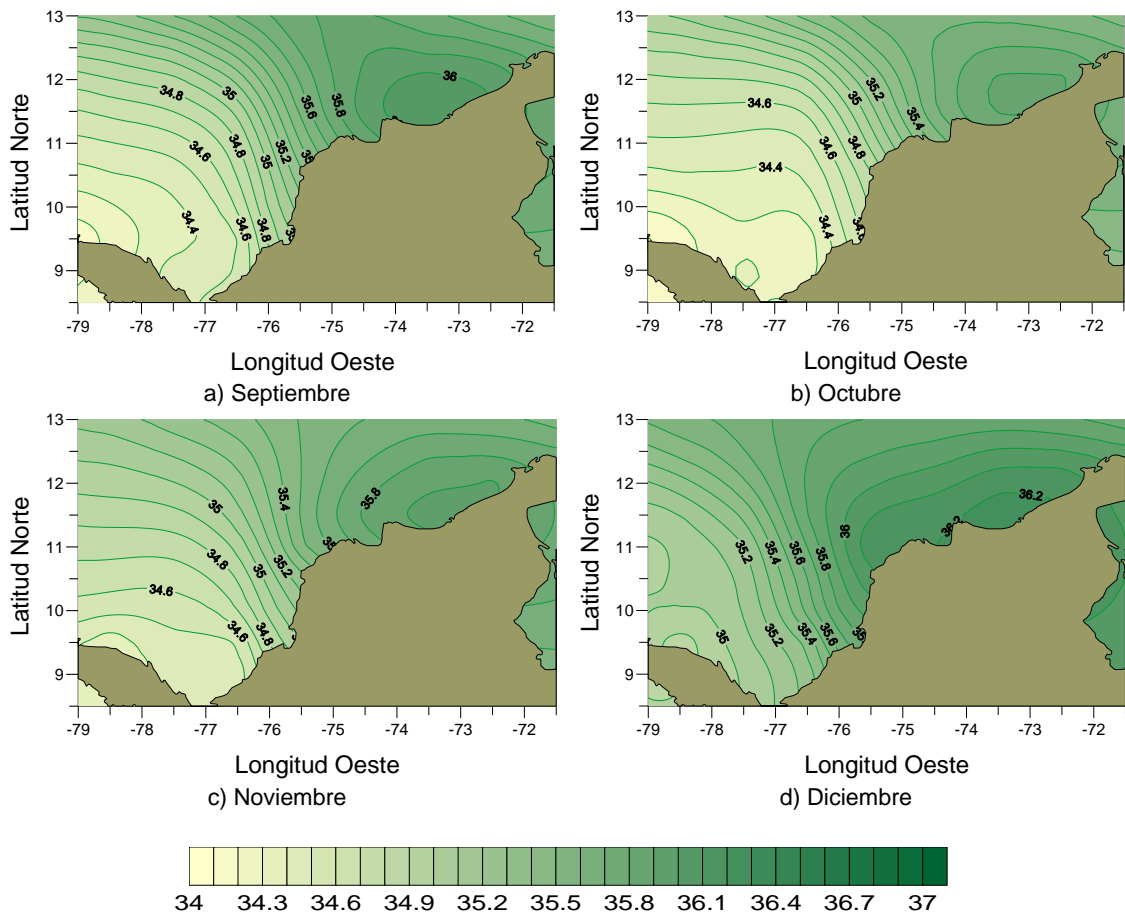


Figura 5.15. Promedio de SSM (PSU) del MCC, período 1971-2000- septiembre-diciembre
 Líneas iguales de Salinidad Superficial del Mar cada 0.1 psu

En la tabla 5.4, se observan los valores del promedio climático de la SSM, de cada mes en el periodo de estudio. Los meses que se caracterizan por tener los máximos valores de SSM van desde enero hasta abril, siendo el mes de marzo el que presenta la mayor SSM de todo el año. Desde septiembre hasta diciembre son característicos los valores mínimos de SSM, siendo octubre el mes que tiene la mínima SSM de todo el año. Observando los valores de SSM y TSM se puede ver que los meses donde la SSM es mayor la TSM es menor y viceversa.

Tabla 5.4. Promedio mensual climático de SSM (psu) del periodo 1971-2000 para el MCC.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
35,95	36,10	36,19	36,16	35,94	35,68	35,71	35,45	35,15	34,94	35,17	35,61

En la figura 5.16 se observa la distribución espacial del promedio climático de la SSM. Las condiciones muestran las aguas con baja salinidad en la parte costera de Panamá con un valor de 35.1 psu, la baja salinidad en este sector puede ser explicada por la influencia continental de los ríos Sinú y San Jorge (entre otros) y oceanográficamente por el giro Panamá-Colombia. Los valores más altos de la salinidad se observan cerca de la Península de la Guajira con un valor máximo de 36.27 psu. En la Guajira los fuertes vientos desplazan la capa superficial, reemplazándolas por agua profundas provenientes de la Masa de agua subsuperficial las cuales llegan cargadas de altas salinidades. En el Norte y en el extremo Noroccidente del MCC la salinidad varia alrededor de los 35.3 y 35.8 psu, en la parte central la salinidad varía entre los 35.5 - 35.8 psu y en el extremo Nororiente la salinidad promedio es de 36 psu. Los cambios de salinidad de las aguas del MCC están asociados con las diferencias entre la evaporación, (perdida de agua dulce en forma de evaporación) la precipitación (adición de agua dulce en forma de lluvia), por aporte de agua de los ríos, es por esta razón que el aporte de los ríos que se conectan con el Golfo de Morrosquillo y el régimen de precipitación hace que haya un aporte de agua dulce y la SSM disminuya y se genere durante todo el año (característica conservativa) una zona con baja salinidad, mientras que el bajo régimen de precipitación sobre la Península de la Guajira y poco aporte de los ríos aledaños y las surgencias hace que durante el año se presente una zona de alta SSM al Nororiente del MCC .

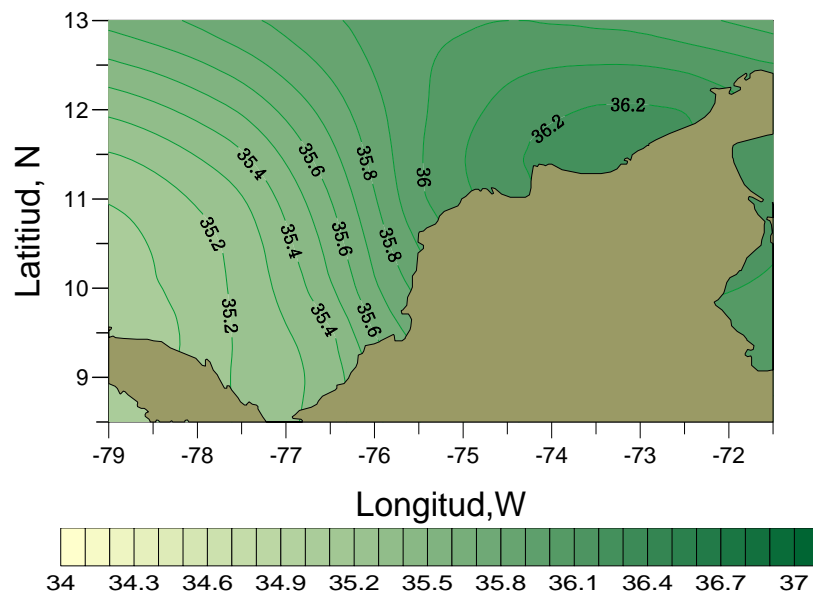


Figura 5.16. Climatología de SSM (PSU) del MCC, período 1971-2000
 Líneas iguales de Salinidad Superficial del Mar cada 0.1psu

El análisis de la distribución espacial de las cuatro variables estudiadas, se utilizó para determinar desde el punto de vista oceanológico y como primera aproximación, las zonas homogéneas de la región, estas zonas se determinaron teniendo en cuenta la climatología del MCC y ubicando zonas con valores altos, zonas con valores bajos y una zona con valores intermedios que se llamara zona de mezcla. De cada zona se escogieron puntos representativos teniendo en cuenta valores máximos, mínimos y promedio de cada variable.

En la figura 5.17 se observan los tres puntos que se escogieron: el punto 1, representado con color rojo, se localiza en las coordenadas 72°W y 12°3'N; el punto 2, representado por color azul, en los 77°3'W y 12°3'N y finalmente el punto 3 está localizado en las coordenadas 75°3'W y 11°N y se representó con el color naranja. De cada uno de estos puntos representativos, se realizaron gráficas temporales de las variables océano-atmosféricas, con el fin de describir su comportamiento oscilatorio anual como promedio del periodo de estudio.

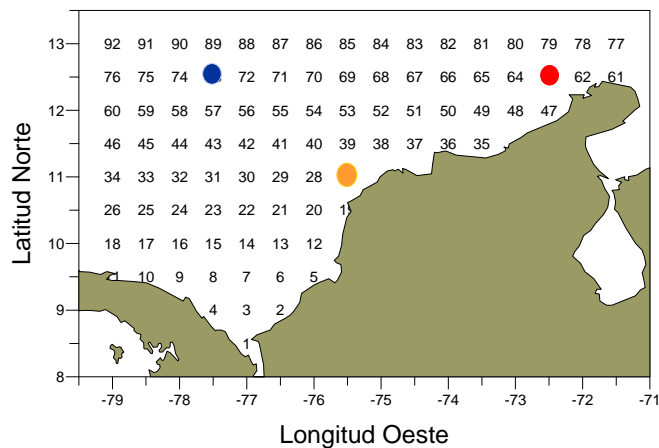


Figura 5.17. Puntos representativos del Mar Caribe Colombiano

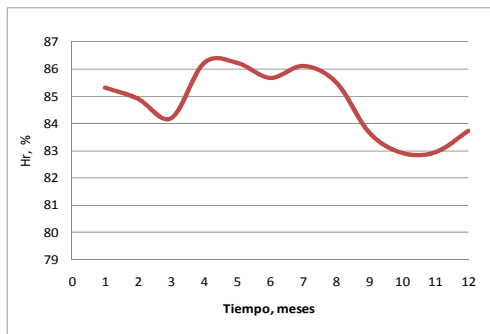
5.1.5 Descripción del comportamiento temporal de Hr.

En la figura 5.18 se analiza el comportamiento temporal de la Hr, en los tres puntos representativos de zonas homogéneas identificadas en el MCC. Los valores medios anuales para cada punto son los siguientes: para el punto 1 la Hr promedio es de 84.79%, para el 2 es 81.16%, para el punto 3 es de 82.97%. Como se puede observar, la región representada por el punto 1 presenta el mayor valor de Hr, la región representada por el punto 2 presenta el menor valor de Hr.

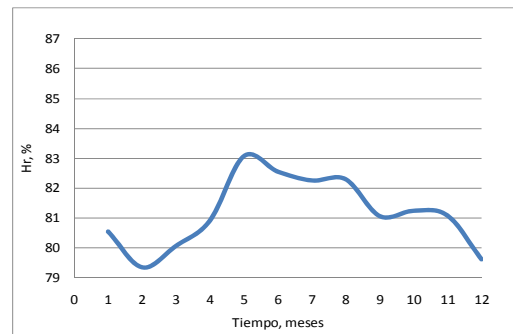
Observando las gráficas de los puntos 1 y 2 hay dos meses en los cuales se presentan valores máximos de Hr. En el punto 1, el primer máximo se encuentra en abril con un

valor de 86.22% y, el segundo máximo, está en julio con un valor de 86.1%. En el punto 2 los máximos se registran en mayo y agosto con valores de 83.1% y 81% respectivamente.

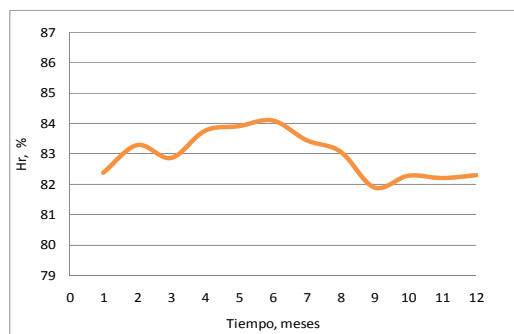
Los mínimos de Hr se observan de diciembre hasta abril aproximadamente (estación seca), como lo muestran los tres puntos. Los máximos de Hr se puede decir que se observan en el resto del año con algunos mínimos relativos interrumpidos diferentes en cada punto, para el punto 1 se observa en junio, para el punto 2 y 3 en septiembre. Estos están asociados con la dinámica el Chorro de San Andrés y los vientos alisios del Noreste, cuando el Chorro de San Andrés es más fuerte se observa la estación seca que coincide con los alisios del Noreste. Las dominancias de las dos direcciones de alisios y el chorro superficial se relacionan con los desplazamientos de la ZCIT. En Colombia la ZCIT fluctúa entre 0° de latitud, posición en la que se encuentra en enero – febrero y 10° latitud Norte, posición extrema que se puede alcanzar en julio-agosto. De diciembre a marzo la ZCIT está localizada sobre Sudamérica y en el Caribe los centros de alta presión son fuertes y los vientos alisios del Noreste máximos, lo que coincide con la época de baja Hr (CIOH).



Punto 1: Latitud 12°5' N y longitud 72°5' W



Punto 2: Latitud 12°5' N y Longitud 77°5' W



Punto 3: Latitud 11° N y Longitud 75°5' W

Figura 5.18. Oscilaciones anuales de Hr (%) en puntos seleccionados en MCC período 1971-2000

5.1.6 Descripción del comportamiento temporal de Ta.

En la figura 5.19 se analiza el comportamiento temporal de Ta, en los tres puntos representativos de zonas homogéneas identificadas en el MCC. En general se observa, que la Ta sobre el MCC desde enero hasta febrero disminuye, desde marzo hasta junio se registra un aumento, en julio nuevamente disminuye, desde agosto hasta octubre aumenta, y desde noviembre hasta diciembre nuevamente se ve una disminución.

Los valores medios anuales de Ta para cada punto son los siguientes: para el 1 punto la Ta promedia es de 26.87 °C, para el punto 2 es de 27.57 °C, para el 3 es de 27.40 °C. En el punto 1 se registra la Ta más baja y en el 2 la más alta del año.

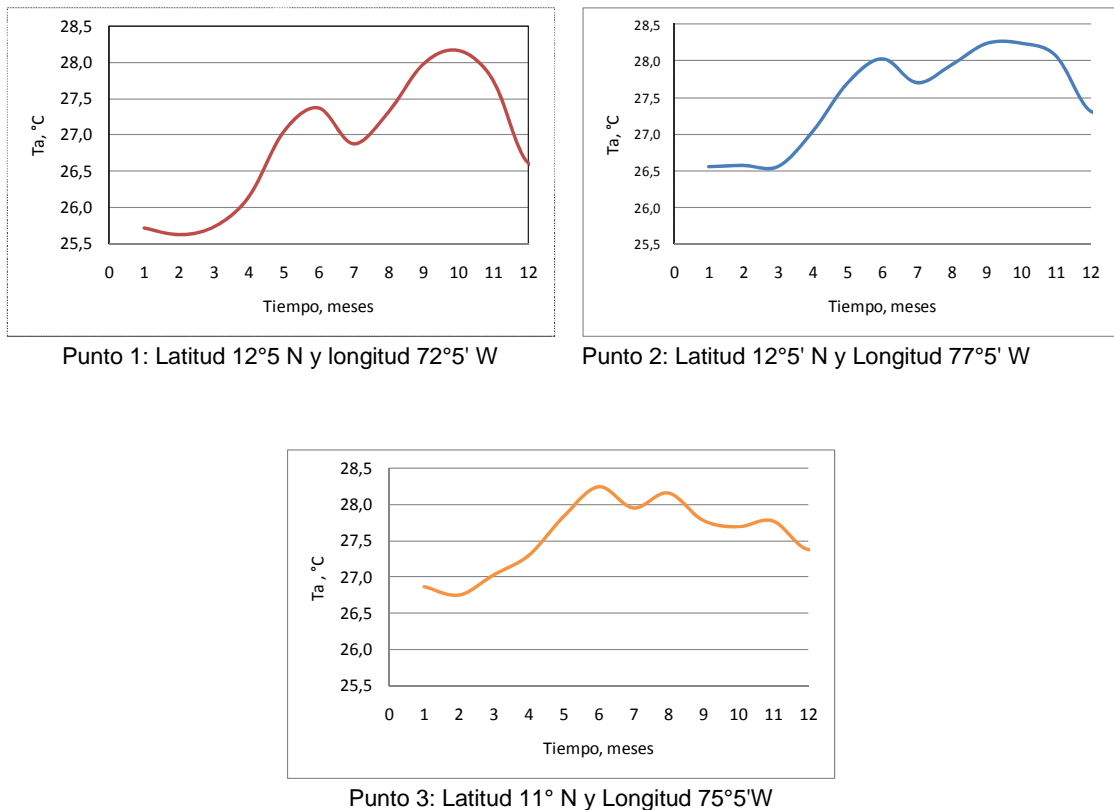


Figura 5.19. Oscilaciones anuales de Ta (°C) en puntos seleccionados en MCC período 1971-2000

Según la gráfica se observan oscilaciones bimodales en los tres puntos, el primer mínimo en el punto 1 y 2 se registra en enero con un valor de 25.72 °C, y 26.56 °C

respectivamente, y en el punto 3 en febrero con un valor de 26.75 °C. Los valores mínimos se observan en enero y febrero para los tres puntos, un valor mínimo relativo en los tres puntos se ve en agosto con un valor de 26.88 °C para el punto 1, 27,70 °C en el punto 2 y 27,94 °C en el punto 3. El primer máximo en el punto 1 se registra en junio con un valor de 27.38 °C y el segundo máximo en octubre con un valor de 28.17 °C. En el punto 2 el primer máximo se observa en octubre con un valor de 28.25 °C y el segundo en junio con un valor de 28.03 °C. En el punto 3 el primer máximo se observa en junio con un valor de 28,24 °C y en segundo máximo en agosto 28,15 °C. En los tres puntos es posible observar que la Ta es mínima de diciembre a abril, y mayor en el resto del año, con un mínimo relativo interrumpido en julio.

5.1.7 Descripción del comportamiento temporal de TSM.

En la figura 5.20 se analiza el comportamiento temporal de la TSM, en los tres puntos representativos de zonas homogéneas identificadas en el MCC. En general se observa en el punto 1, que desde enero hasta marzo hay una pequeña disminución en la TSM, desde marzo hasta junio un aumento, en julio un pequeño enfriamiento de la temperatura de las aguas superficiales, desde julio hasta noviembre se registra un calentamiento y desde noviembre hasta diciembre nuevamente empieza un enfriamiento.

Los valores medios anuales para cada punto son los siguientes: para el punto 1 la TSM promedio es de 26.82 °C, para el punto 2 es de 27.65 °C, para el 3 es de 27.82 °C, de acuerdo a estos valores, la región representada por el punto 1 tiene la TSM relativamente más fría y la representada por el punto 3 es la más cálida del año.

En los tres puntos se observan dos máximos y dos mínimos. El primer mínimo del punto 1 y 3 registra en marzo con un valor de 25.71 °C, y 26.5 °C respectivamente, en el punto 2 en febrero y es de 26.4 °C. El segundo mínimo se registra en los tres puntos en julio con un valor de 26.6 °C, 27.7 °C, y 28 °C respectivamente. Los valores máximos se encuentran en los tres puntos en los meses de junio y octubre, para el punto 1 con valores de 27 °C y 28.5 °C para el punto 2 27.9 °C y 28.6 °C y el punto 3 28.4 °C y 28.7 °C.

Como se puede observar en los tres puntos las temperaturas son bajas en la época seca, de diciembre a abril, cuando los vientos alisios y las surgencias de la Guajira son más fuertes, las TSM son altas en la época húmeda de mayo a noviembre, cuando los vientos alisios son débiles, en los tres puntos se observa que en julio hay un mínimo relativo.

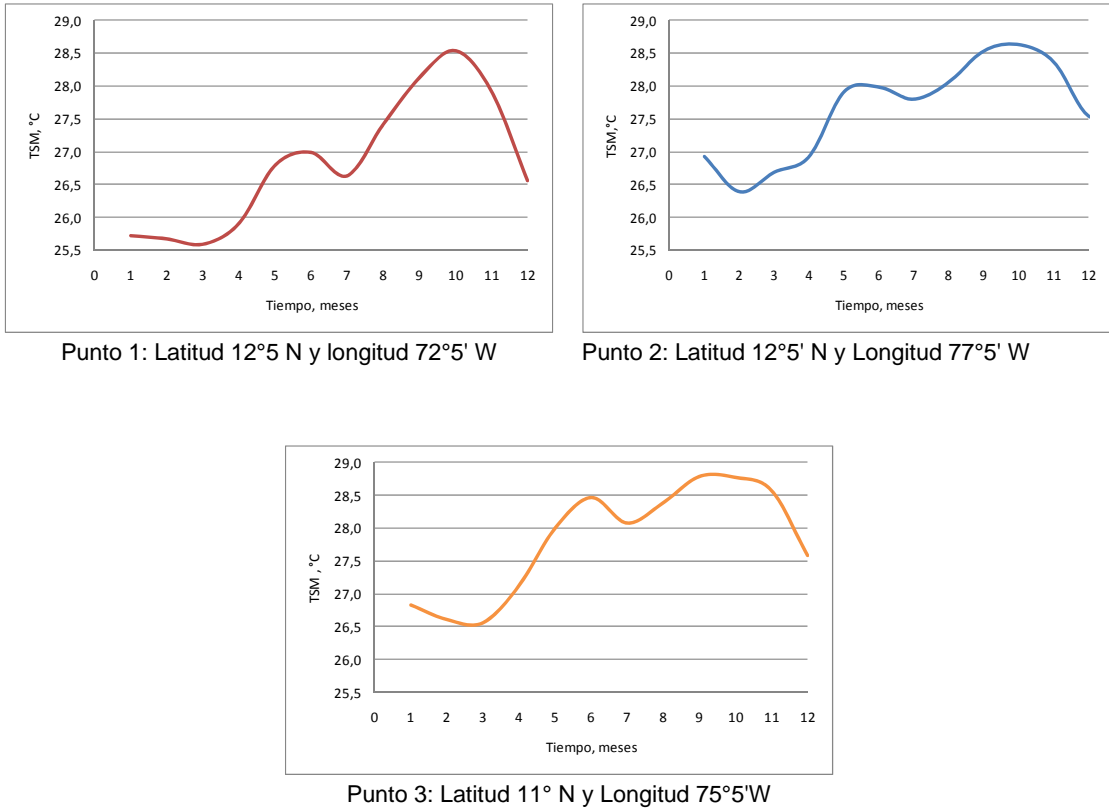


Figura 5.20. Oscilaciones anuales de TSM (°C) en puntos seleccionados en MCC período 1971-2000

El punto que se ubica cerca a la Península de la Guajira presentó temperaturas más bajas y la mayor amplitud anual. El punto dos presento temperaturas más altas y una menor amplitud anual.

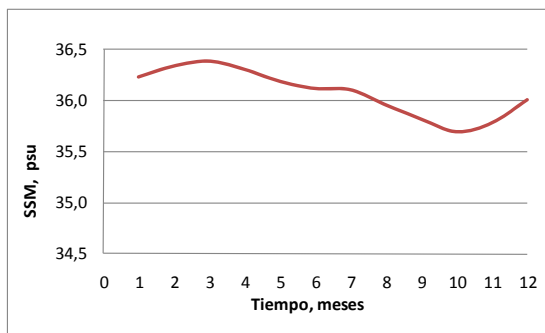
5.1.8 Descripción del comportamiento temporal de la SSM.

En la figura 5.21 se analiza el comportamiento temporal de la SSM, en los tres puntos representativos de zonas homogéneas identificadas en el MCC. Los valores medios anuales para cada punto son los siguientes: para el punto 1 la salinidad promedia es de 36.07 psu, para el 2 es de 35.65 psu, para el punto 3 es de 35.98 psu. En el punto 2 se registran las aguas de más baja salinidad y en el punto 1 las de más alta salinidad del año.

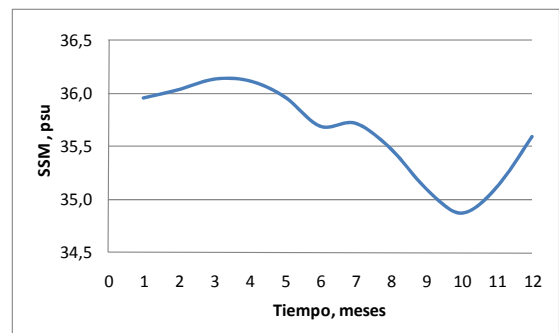
Observando las oscilaciones climatológicas para los tres puntos, es posible hablar de una oscilación monomodal. En el punto 1 un máximo se registra en marzo con un valor de 36.39 psu y un mínimo se observa en octubre con un valor de 35.69 psu. En el punto 2 el máximo se registra en marzo con un valor de 36.14 psu y el mínimo se

observa en octubre con un valor de 34.88 psu. En el punto 3 el máximo se registra en marzo con un valor de 36.47 psu y el mínimo se observa en octubre con 34.93 psu.

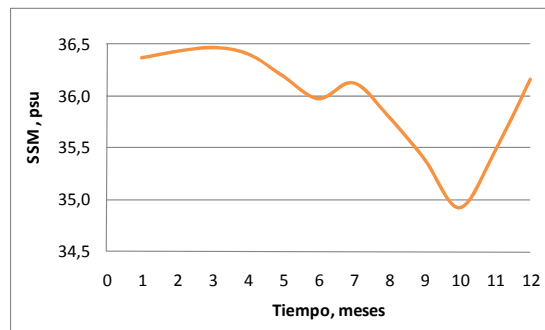
La mayor amplitud de la oscilación anual de la salinidad se registró en el punto 3 con un valor de 1.54 psu y la mínima amplitud se registra en el punto 1 con un valor de 0.7 psu. Lo que está directamente relacionado con la ubicación de los puntos y las condiciones homogéneas de salinidad, el punto 1 se ubica entre 72°W-12°3'N (zona de surgencia), cerca de la Península, el punto 2 77°3'W-12°3'N (Punto ubicado en aguas lejanas de la costa), y el punto 3 75°3'W-11°N (zona de mezcla).



Punto 1: Latitud 12°5' N y longitud 72°5' W



Punto 2: Latitud 12°5' N y Longitud 77°5' W



Punto 3: Latitud 11° N y Longitud 75°5'W

Figura 5.21. Oscilaciones anuales de SSM (psu) en puntos seleccionados en MCC período 1971-2000

5.2 ZONAS HOMOGÉNEAS EN LA INTERFASE MAR-AIRE DEL MAR CARIBE COLOMBIANO

5.2.1 Identificación mes a mes de las masas de aire sobre el MCC por medio del análisis de clúster.

A continuación se describen los resultados obtenidos mes a mes mediante la aplicación del análisis de clúster realizado con los parámetros atmosféricos T_a y H_r en superficie. Adicionalmente se muestran los centroides (calcula la distancia entre los vectores de medias) de cada clúster en la tabla 5, los procedimientos fueron descritos en la metodología.

En la figura 5.22a, se observa la agrupación obtenida por el programa, de un número de puntos de grilla según el valor de la distancia euclidiana, para la clasificación de masas de aire en el mes de enero. En este mes se encontraron V masas de aire en total. La masa de aire I presenta la mayor T_a del mes con un valor de 27.09 °C, y una H_r de 82%. La masa de aire V tiene la menor temperatura del mes T_a 25.94 °C y la mayor H_r de 83.65%, esta masa se encuentra ubicada en el extremo Nororiente. La masa de aire IV tiene la menor H_r con un valor de 80.46%, y una T_a de 26.74°C. En la gráfica se puede analizar que el proceso de enfriamiento de las masas de aire I, II, IV, III, V se va produciendo a medida que ellas se van alejando hacia el Norte-oriente del MCC, teniendo influencia de la temperatura superficial del mar, y de procesos característicos de cada zona, como lo es la Península de la Guajira, el Golfo de Darién, el Golfo de Urabá. En este mes se presenta la menor H_r de todo el año en la masa de aire IV.

En el mes de febrero se distinguen V masas de aire como se observa en la figura 5.22b. La masa I tiene la más alta T_a del mes con un valor de 26.84 °C y una H_r de 82.53%, mientras que la masa V tiene la más baja T_a con 25.88 °C (es la T_a más baja de todos los meses) y la más alta H_r del mes 83.77%. En febrero se mantiene una configuración similar a la que se presentó en el mes de enero, pero se observa una disminución de T_a en todas las masas, y un aumento de H_r en las masas I, III, IV, V. La masa I se conserva sobre el Golfo de Darién ocupando mayor espacio, las masas de aire III y VI se desplazan hacia el Nororiente, mientras que la masa de aire V se ubica en el extremo Nororiente ocupando menor espacio con respecto al mes anterior.

En marzo se observan IV masas de aire (figura 5.22c), la masa de aire I conserva la misma posición de los meses anteriores, ocupando menor espacio y desplazándose hacia el Este, con un valor de T_a igual a 26.93 °C y una H_r de 82.67%, la masa de aire IV tiene la menor T_a de 26.15 °C y la mayor H_r de 82.97% del mes, esta masa se ubica al Noreste del MCC, a diferencia de los meses anteriores en marzo la masa de aire II

tiene la mayor T_a con un valor de $26.95\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la masa de aire III tiene la menor H_r con 80.79% . En marzo se observa un aumento de T_a en todas las masas de aire.

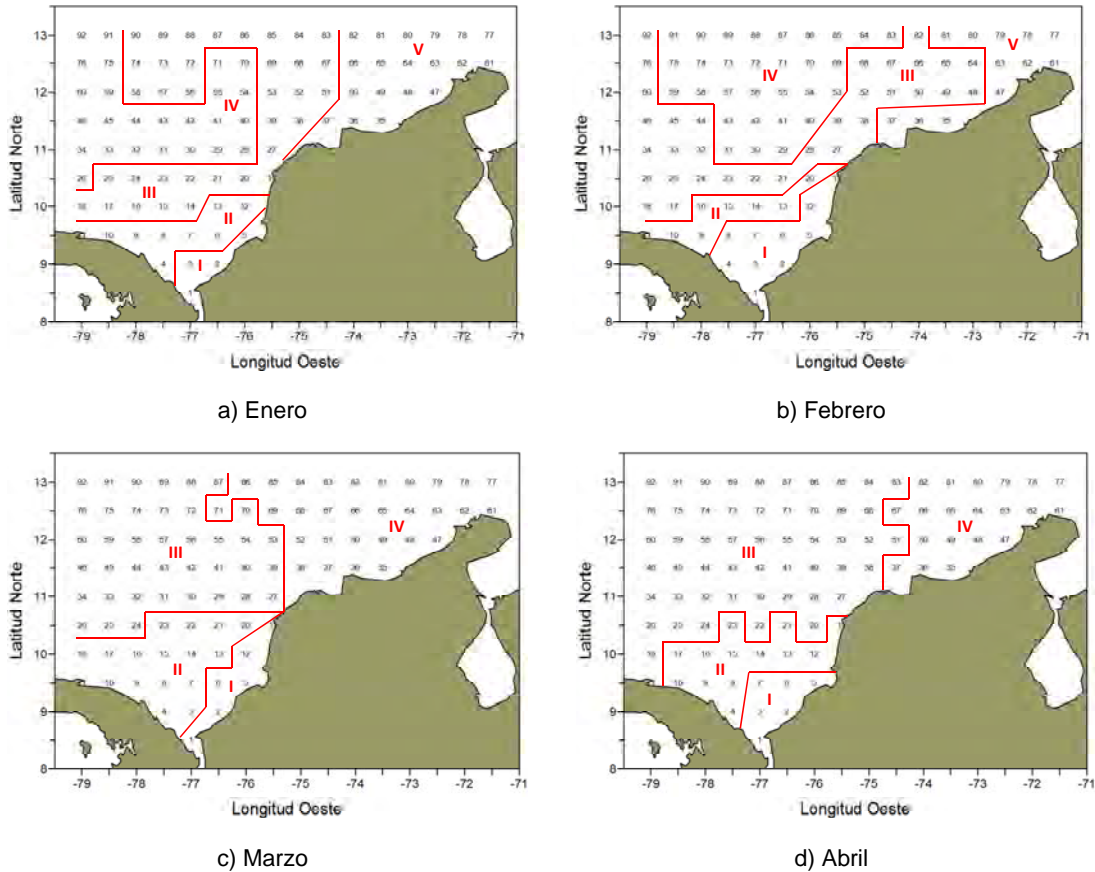


Figura 5.22. Masas de aire superficial del Mar caribe Colombiano enero-abril

En abril también se observan IV masas de aire (figura 5.22c) al igual que en el mes de marzo. La masa de aire I tiene la mayor T_a con un valor de $27.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una H_r de 82.67% , la masa de aire II tiene una T_a de $27.33\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una H_r de 83.41% , la masa de aire III tiene una T_a de $27.07\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la menor H_r con un valor de 82.35% , y la masa de aire IV tiene la menor T_a $26.42\text{ }^{\circ}\text{C}$ y mayor H_r 85% (es la H_r mas alta de todos los meses). En abril se mantiene la misma configuración del mes de marzo, pero la masa III se desplaza hacia el Oriente, mientras que la masa IV ocupa menos espacio. En este mes se observa un aumento de T_a en todas las masas y un aumento de H_r en las masas II, III, IV.

La tabla 5.5 muestra la clasificación de masas de aire de enero a abril, donde se especifica el valor de los centroides (distancia entre los vectores de medias) de cada clúster (parámetros atmosféricos T_a y H_r de cada una).

Tabla 5.5. Centroides para las masas de aire de enero-abril

Mes y Figura	Masas de Aire	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Enero-Figura 5.22 ^a	Masa I	27.09	82.00
	Masa HI	26.88	82.19
	Masa HI	26.61	81.38
	Masa HIV	26.74	80.46
	Masa V	25.94	83.65
Febrero-Figura 5.22b	Masa I	26.84	82.53
	Masa HI	26.71	81.96
	Masa III	26.38	81.80
	Masa IV	26.45	80.54
	Masa V	25.88	83.77
Marzo-Figura 5.22c	Masa I	26.93	82.67
	Masa II	26.95	82.12
	Masa III	26.66	80.79
	Masa IV	26.15	82.97
Abril -Figura 5.22d	Masa I	27.65	82.57
	Masa II	27.33	83.41
	Masa III	27.07	82.35
	Masa IV	26.42	85.00

En mayo se distinguen IV masas de aire (figura 5.23a) conservándose la configuración de los dos meses anteriores, la masa de aire I presenta la mayor Ta con un valor de 28.01 °C y una Hr de 83.39%, la masa de aire IV se desplaza hacia el Oeste ocupando mayor espacio con relación al mes anterior, con una Ta de 27.38 °C y una Hr de 84.96%, esta masa tiene la mayor Hr del mes. La masa de aire III tiene una Ta de 27.75 °C y la menor Hr del mes que es de 83.22%, mientras que la masa de aire II tiene una Ta de 27.90 °C y una Hr de 83.84%. En mayo se observa un aumento de la Hr de las masas de aire I, II, III y un aumento de Ta en todas las masas de aire.

En junio se distinguen IV masas de aire (figura 5.23b) al igual que en los tres meses anteriores. Las características meteorológicas de marzo a junio son muy similares y eso se refleja en la distribución de las masas de aire, que para estos meses presentan una configuración muy parecida. La masa de aire I presenta una Ta de 27.98 °C y una Hr de 83.02%, la masa de aire III se desplaza hacia el Oriente ocupando mayor espacio con relación al mes anterior, esta tiene una Ta de 28.03 °C y una Hr de 83.42%. La masa de aire IV tiene la más baja Ta con un valor de 27.58 °C y la más alta Hr con 84.86%, la masa II tiene la mayor Ta con un valor de 28.16 °C y una Hr de 83.75%. Adicionalmente continúa el incremento uniforme de Ta sobre el MCC, también se observa una disminución de la Hr en las masas de aire I, II y IV.

En julio aparece nuevamente la masa de aire V ubicándose al Nororiente del MCC, como se observa en la figura 5.23c. La masa I tiene la mayor Ta con un valor de 27.97 °C y la menor Hr de 82.76%, esta se desplaza al Noroccidente ocupando mayor

espacio con respecto al mes anterior, la masa de aire II tiene una Ta de 27.87 °C y una Hr de 83.46%, la masa de aire III tiene una Ta de 27.88 °C y una Hr de 83.17%, la masa de aire IV se desplaza hacia el Occidente y tiene una Ta de 27.75 °C y una Hr de 82.95%, la masa V tiene la menor Ta con 27.23 °C y mayor Hr 84.88%. En este mes las masas presentan una disminución en el valor de la Ta y de la Hr con respecto al mes anterior. En junio se observa que aunque las masas II y III no tienen una diferencia significativa en la Ta, tienen una gran diferencia en el contenido de humedad, lo que permite determinar dos masas de aire diferentes.

En agosto se distinguen IV masas de aire como se observa en la figura 5.23d, la masa IV tiene la menor Ta 27.80 °C y mayor Hr 83.74%, las masas II y III tienen características muy homogéneas las dos masas tienen la mayor Ta de 28.05 °C del mes y la diferencia de Hr es muy pequeña. Las masas III y IV tienen la mayor extensión ocupando gran parte del MCC y desplazándose hacia el Este. En agosto se observa una disminución de la Hr y un aumento de Ta en las masas II, III, IV con relación al mes anterior.

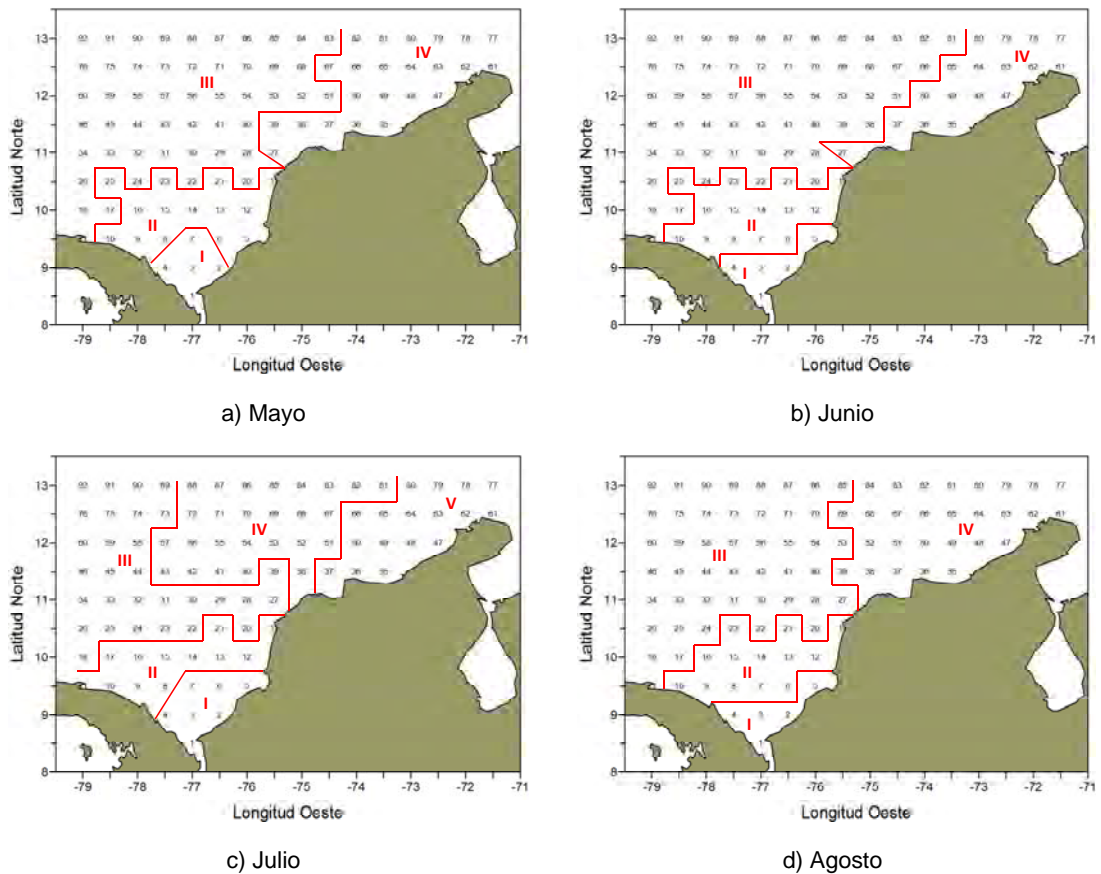


Figura 5.23. Masas de aire superficial del Mar caribe Colombiano mayo, agosto

En la tabla 5.6 se muestra la clasificación de masas de aire de mayo a agosto, donde se especifica el valor de los centroides de cada clúster (parámetros atmosféricos T_a y H_r de cada una)

Tabla 5.6. Centroides para las masas de aire de mayo-agosto

Mes y Figura	Masas de Aire	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Mayo-Figura 5.23a	Masa I	28.01	83.39
	Masa II	27.90	83.84
	Masa III	27.75	83.22
	Masa IV	27.38	84.96
Junio-Figura 5.23b	Masa I	27.98	83.02
	Masa II	28.16	83.75
	Masa III	28.03	83.42
	Masa IV	27.58	84.86
Julio-Figura 5.23c	Masa I	27.97	82.76
	Masa II	27.87	83.46
	Masa III	27.88	83.17
	Masa IV	27.75	82.95
	Masa V	27.23	84.88
Agosto-Figura 5.23d	Masa I	27.92	82.25
	Masa II	28.05	82.90
	Masa III	28.05	82.91
	Masa IV	27.80	83.74

En septiembre se distinguen IV masas de aire como se observa en la gráfica 5.24a en este mes se presentan varias particularidades en el comportamiento de las masas de aire comparándolas con los meses anteriores, por ejemplo la masa IV tienen la mayor T_a del mes de 28.27 °C (la mayor de todo el año) y H_r de 82.37%, mientras que la masa que se ubicaba en el extremo Nor-este posición en la que se encuentra la masa IV, en los meses anteriores se caracterizaba por tener la menor T_a y la mayor H_r . La masa de aire I en los meses anteriores se caracterizaba por tener la mayor T_a pero en septiembre la masa I tiene la menor T_a 27.62 °C y H_r de 82.60%. En este mes disminuye el valor de T_a de las masas I, II, III y disminuye el valor de H_r en las masas II, III, IV.

En octubre se distinguen IV masas de aire como se observa en la gráfica 5.24b. La masa I ocupa menos espacio con relación al mes anterior, tiene la menor T_a 27.30 °C y H_r de 82.40%, la masa II se desplaza hacia el Oeste tiene la mayor H_r 82.74% y T_a de 27.66 °C. La masa IV tiene la mayor T_a 28.24 °C y H_r 81.94%, y la masa de aire III la menor H_r 81.93% y T_a de 28.12 °C. En este mes se observa una disminución de H_r en las masas de aire I, III y IV al igual que una disminución de T_a en las masas I, II, IV.

En noviembre se distinguen IV masas de aire como se observa en la gráfica 5.24c. Las masas de aire de este mes tienen una ubicación muy parecida a la del mes anterior, la masa de aire I tiene el menor Ta 27.67 °C y la menor Hr 81.57%. La masa de aire IV tiene la mayor Ta 27.93 °C y Hr de 81.98%, en este mes se observa una leve disminución del valor de Hr de las masas de aire I, II, III con respecto al mes anterior.

En diciembre se distinguen IV masas de aire como se observa en la gráfica 5.24d. La masa de aire III se desplaza hacia el Este ocupando mayor espacio. La masa de aire IV tiene la menor Ta 26.79 y la mayor Hr 82.92%, la masa de aire I tiene la mayor Ta 27.60 °C y Hr de 82.03%, la masa de aire III tiene la menor Hr de 80.80% y Ta de 27.28 °C. En diciembre se observa una disminución en el valor de Hr en las masas de aire II, III, IV y una disminución en el valor de Ta en todas las masas de aire.

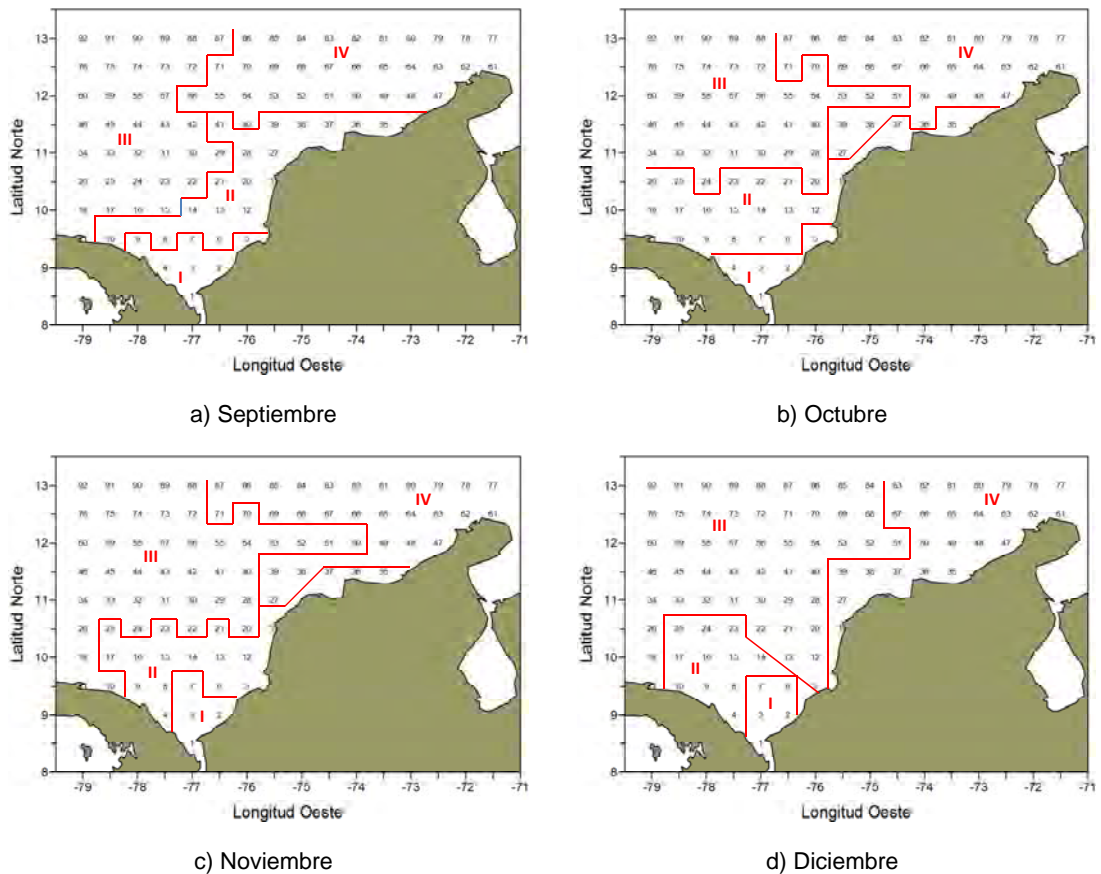


Figura 5.24. Masas de aire superficial del Mar caribe Colombiano septiembre, diciembre

En la tabla 5.7 se muestra la clasificación de masas de aire de septiembre a diciembre, donde se especifica el valor de los centroides de cada clúster (parámetros atmosféricos Ta y Hr de cada una

Tabla 5.7. Centroides para las masas de aire de septiembre-diciembre

Mes y Figura	Masas de Aire	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Septiembre-Figura 5.24a	Masa I	27.62	82.60
	Masa II	28.03	82.27
	Masa III	28.05	82.34
	Masa IV	28.27	82.37
Octubre-Figura 5.24b	Masa I	27.30	82.40
	Masa II	27.66	82.74
	Masa III	28.12	81.93
	Masa IV	28.24	81.94
Noviembre-Figura 5.24c	Masa I	27.67	81.57
	Masa II	27.79	82.26
	Masa III	27.92	81.74
	Masa IV	27.93	81.98
Diciembre-Figura 5.24d	Masa I	27.60	82.03
	Masa II	27.34	81.92
	Masa III	27.28	80.80
	Masa IV	26.79	82.92

De lo anterior se puede concluir que enero y febrero presentan V masas de aire, en marzo, abril, mayo y junio solo presentan IV masas de aire, en el mes de julio se presentan V masas de aire y nuevamente en los meses agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre se presentan IV masas de aire. Esta distribución se encuentra influenciada por varios factores entre estos por la migración de la ZCIT ya que permite que en los meses de abril, mayo, junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre se establezcan los parámetros físicos logrando una homogeneidad temporal. Mientras que en los meses de enero, febrero a julio y de agosto a diciembre. En enero y febrero el movimiento aparente de la ZCIT hacia el norte del País se ve reflejado en la variación de los parámetros atmosféricos la Ta y la Hr, observando el aumento de masas de agua en estos meses.

5.2.2. Identificación mes a mes de las masas de agua sobre el MCC por medio del análisis de Clúster.

Se determinó la distribución de masas de agua en la capa superficial del océano teniendo en cuenta las características termohalinas. A continuación se hará una descripción de los resultados obtenidos mes a mes mediante el análisis de clúster.

Adicionalmente los centroides (distancia entre los vectores de medias) de cada clúster se resumen en la tabla 5.8

En la figura 5.25a se observa la agrupación obtenida por el programa, de un número de puntos de grilla según el valor de la distancia euclidiana, para la clasificación de masas de agua donde en el mes de enero. En este mes se encontraron V masas en total. La masa de agua I tiene la mayor TSM de 27.48 °C y una SSM de 35.81 psu, la masa II tiene una TSM de 27.01 °C y una SSM de 36.06 psu, la masa de agua III tiene una TSM de 27 °C y la menor SSM con un valor de 35.66 psu, ésta se ubica el Occidente del MCC, esta masa es la que mayor espacio ocupa en el MCC para el mes de enero, la masa de agua IV tiene una TSM de 26.55 °C y una SSM de 36.16 psu, y la masa de agua V tiene la menor TSM con un valor de 25.87 °C (es la menor de todo el año) y la mayor SSM de 36.28 psu.

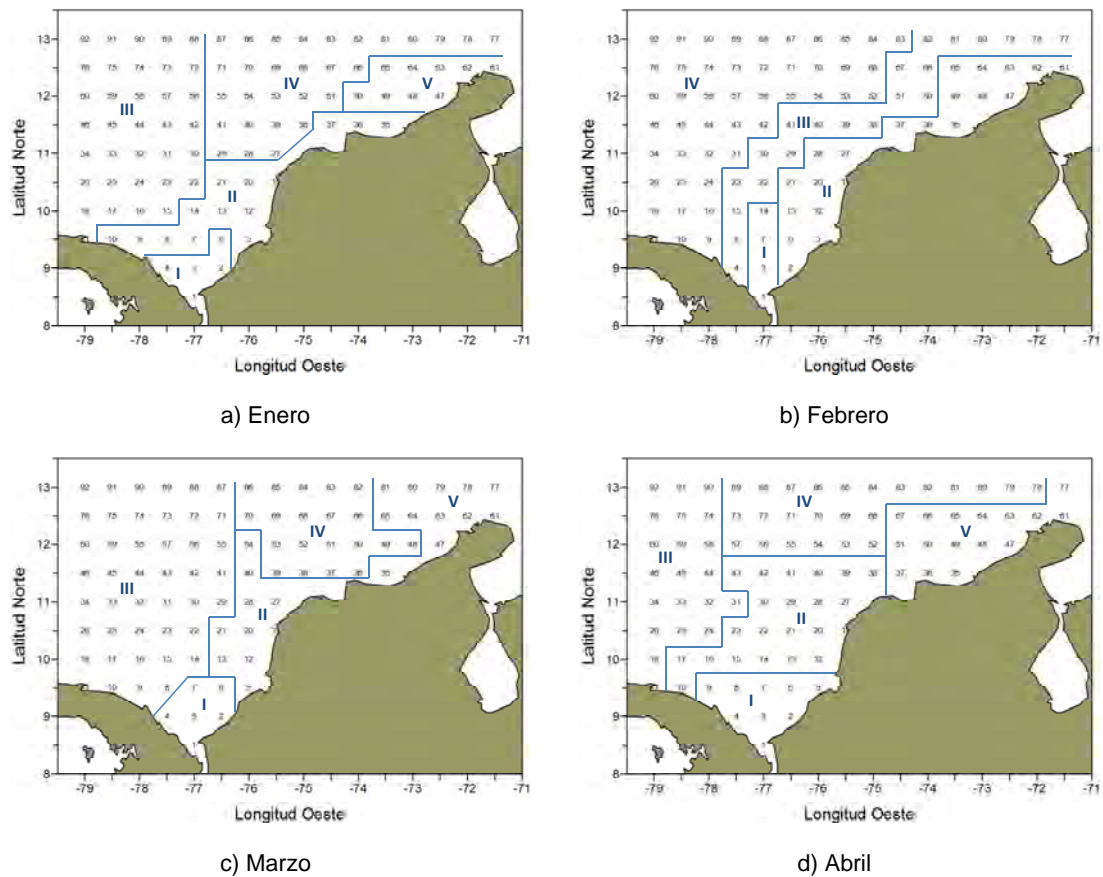


Figura 5.25. Masas de agua superficial del Mar caribe Colombiano enero, abril

En febrero se distinguen IV masas de agua como se observa en la gráfica 5.25b. La masa de agua I tiene la mayor TSM con un valor de 27.07 °C y una SSM de 36.06 psu, la masa II tiene la menor TSM con un valor de 26.37 °C y la mayor SSM con un valor de 36.37 psu, la masa III tiene una TSM de 26.41 °C y una SSM de 36.18 psu, y la masa de agua IV tiene una TSM de 26.61 °C y la menor SSM con un valor de 35.94 psu. En este mes la distribución de las masas de agua es diferente a la del mes anterior, en febrero las masas de agua se ubican en forma diagonal sobre el MCC, ubicando se la masa de agua IV en el extremo Noroeste.

En marzo se distinguen V masas de agua como se observa en la gráfica 5.25c. La masa de agua I tiene la mayor TSM con un valor de 27.33°C y una SSM de 36.19psu, la masa II tiene una TSM de 26.80°C y la mayor SSM con un valor de 36.41psu, la masa III tiene una TSM de 26.88°C y la menor SSM con un valor de 36.01psu, la masa IV tiene una TSM de 26.21°C y una SSM de 36.40psu, y la masa de agua V tiene la menor TSM con un valor de 25.88°C y una SSM de 36.35psu. En marzo la distribución de las masas de agua es diferente a la del mes anterior, la masa de agua I ocupa la misma posición del mes anterior pero menor espacio y la masa III ocupa mayor espacio y se ubica en la esquina Noroccidental.

En abril se distinguen V masas de agua como se observa en la gráfica 5.25c. La masa de agua I tiene la mayor TSM con un valor de 28.05°C y una SSM de 36.11psu, la masa II tiene una TSM de 27.41°C y una Hr de 36.20psu, la masa III tiene una TSM de 27.31°C y la menor SSM de 35.91psu, la masa de IV tiene una TSM de 26.79°C y una SSM de 36.23psu, y la masa de agua V tiene una TSM de 26.30°C y la mayor SSM con un valor de 36.35psu.

En la tabla 5.8 se muestra la clasificación de masas de agua de enero a abril, donde se especifica el valor de los centroides de cada clúster (parámetros oceanológicos TSM y SSM de cada una)

Tabla 5.8. Centroides para las masas de agua de enero-abril.

Mes y Figura	Masas de Agua	TSM (°C)	SSM (psu)
Enero-Figura 5.25 ^a	Masa I	27.48	35.81
	Masa II	27.01	36.06
	Masa III	27.00	35.66
	Masa IV	26.55	36.16
	Masa V	25.87	36.28
Febrero-Figura 5.25 ^b	Masa I	27.07	36.06
	Masa II	26.37	36.37
	Masa III	26.41	36.18
	Masa IV	26.61	35.94
Marzo-Figura 5.25 ^c	Masa I	27.33	36.19
	Masa II	26.80	36.41
	Masa III	26.88	36.01
	Masa IV	26.21	36.40
	Masa V	25.88	36.35
Abril-Figura 5.25 ^d	Masa I	28.05	36.11
	Masa II	27.41	36.20
	Masa III	27.31	35.91
	Masa IV	26.79	36.23
	Masa V	26.30	36.35

En mayo se distinguen IV masas de agua como se observa en la gráfica 5.26a. La masa I tiene la mayor TSM con un valor de 28.60 °C y la menor SSM de 35.61 psu, la masa II tiene una TSM de 27.75 °C y la mayor SSM con un valor de 36.09 psu, la masa III tiene una TSM de 28.19 °C y una SSM de 35.65 psu, la masa IV tiene la menor TSM con un valor de 27.71 °C y una SSM de 36.05 psu.

En junio se distinguen V masas de agua como se observa en la gráfica 5.26b. La masa I tiene la mayor TSM con un valor de 28.69 °C y la menor SSM de 35.18 psu, la masa II tiene una TSM de 28.64 °C y una SSM de 35.52 psu, la masa III tiene una de TSM 28.32 °C y una SSM de 35.41 psu, la masa IV tiene una TSM de 28.27 °C y una SSM de 35.80 psu, y la masa V tiene la menor TSM con un valor de 27.51 °C y la mayor SSM con un valor de 36.13psu.

En julio se distinguen V masas de agua como se observa en la gráfica 5.26c. La masa I tiene la mayor TSM con un valor de 28.49°C y la menor SSM con un valor de 30.12psu, la masa II tiene una TSM de 28.36°C y una SSM de 30.46psu, la masa III tiene una TSM de 28°C y una SSM de 31.60psu, la masa IV tiene una TSM de 27.58°C y una SSM de 33.10psu, y la masa V tiene la menor TSM con un valor de 27.23°C y una SSM de 32.54psu.

En agosto se distinguen V masas de agua como se observa en la gráfica 5.26d. La masa de agua I tiene una la mayor TSM con un valor de 28.36°C y la menor SSM con

un valor de 29.72psu, la masa II tiene una TSM de 28.22°C y una SSM de 31.19psu, la masa III tiene una TSM de 28.23°C y una SSM de 31.02psu, la masa IV tiene una TSM de 28.08°C y una SSM de 32.79psu, y la masa V tiene la menor TSM con un valor de 27.43°C y la mayor SSM con un valor de 32.80psu.

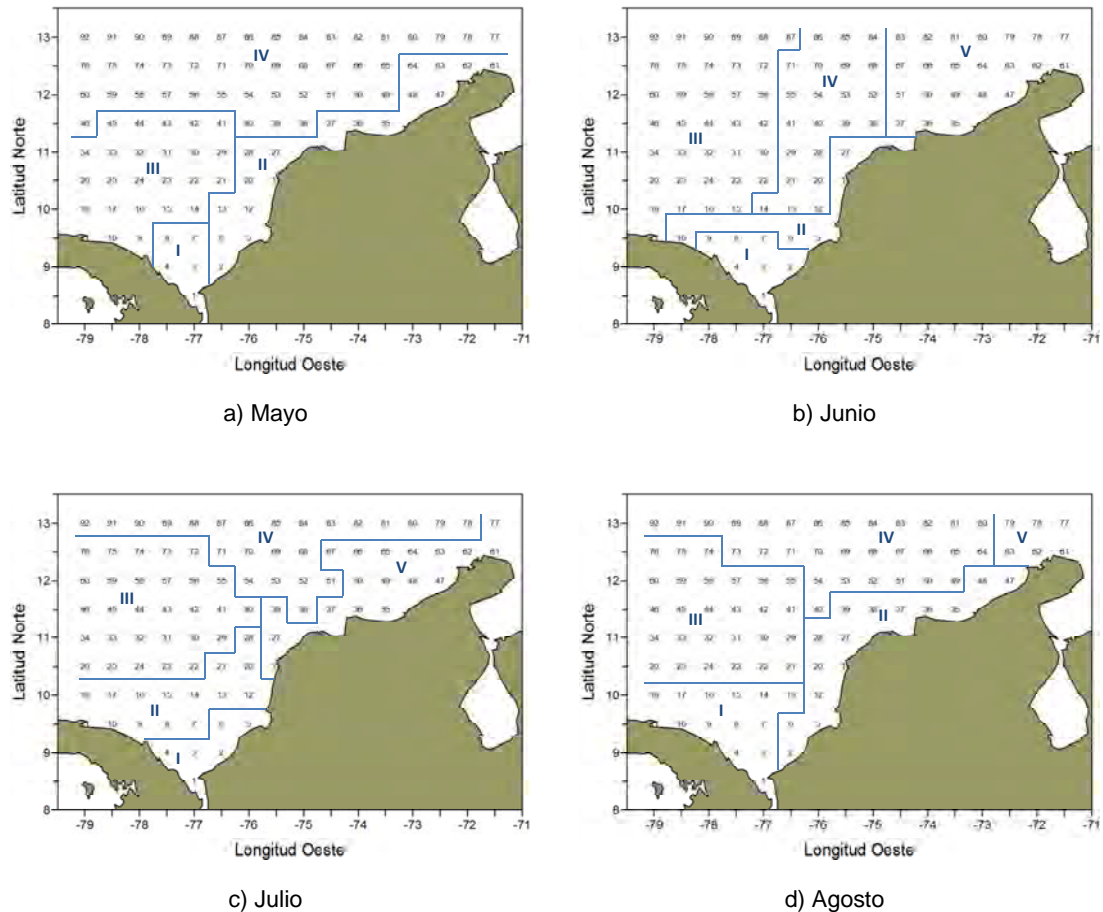


Figura 5.26. Masas de agua superficial del Mar caribe Colombiano mayo, agosto

En la tabla 5.9 se muestra la clasificación de masas de agua de mayo a agosto, donde se especifica el valor de los centroides de cada clúster (parámetros oceanológicos TSM y SSM de cada una).

Tabla 5.9. Centroides para las masas de agua de mayo-agosto.

Mes y Figura	Masas de Agua	TSM (°C)	SSM (psu)
Mayo-Figura 5.26 ^a	Masa I	28.60	35.61
	Masa II	27.75	36.09
	Masa III	28.19	35.65
	Masa IV	27.71	36.05
Junio-Figura 5.26b	Masa I	28.69	35.18
	Masa II	28.64	35.52
	Masa III	28.32	35.41
	Masa IV	28.27	35.80
	Masa V	27.51	36.13
Julio-Figura 5.26c	Masa I	28.49	30.12
	Masa II	28.36	30.46
	Masa III	28.00	31.60
	Masa IV	27.58	33.10
	Masa V	27.23	32.54
Agosto-Figura 5.26d	Masa I	28.36	29.72
	Masa II	28.22	31.19
	Masa III	28.23	31.02
	Masa IV	28.08	32.79
	Masa V	27.43	32.80

En septiembre se distinguen V masas de agua como se observa en la gráfica 5.27a. La masa de agua I tiene una TSM de 28.47 °C y una SSM de 34.46 psu, las masas de agua II y III tienen la mayor TSM del mes con un valor de 28.58 °C y una SSM de 35.23 psu para la masa II y de 34.58 psu para la masa de agua III, la masa de agua IV tiene una TSM de 28.44 °C y una SSM de 35.83 psu, la masa de agua V tiene la menor TSM del mes con un valor de 28.16 °C y una SSM de 35.82 psu.

En octubre se distinguen IV masas de agua como se observa en la gráfica 5.27b. La masa de agua I tiene la menor TSM con un valor de 28.50 °C y la menor SSM con un valor de 34.27 psu, la masa de agua II tiene una TSM de 28.59 °C y una SSM de 35.17 psu, la masa de agua III tiene la mayor TSM del mes con un valor de 28.68 °C y una SSM de 34.70 psu, la masa de agua IV tiene una TSM de 28.65 °C y la mayor SSM del mes con un valor de 35.58 psu.

En noviembre se distinguen IV masas de agua como se observa en la gráfica 5.27c. La masa de agua I tiene la mayor TSM con un valor de 28.49 °C y la menor SSM con un valor de 34.54 psu, la masa de agua II tiene la menor TSM con un valor de 28.32 °C y una SSM de 35.07 psu, la masa de agua III tiene una TSM de 28.35 °C y una SSM de 34.93 psu, la masa de agua IV tiene una TSM de 28.37 °C y la mayor SSM con un valor de 35.69 psu.

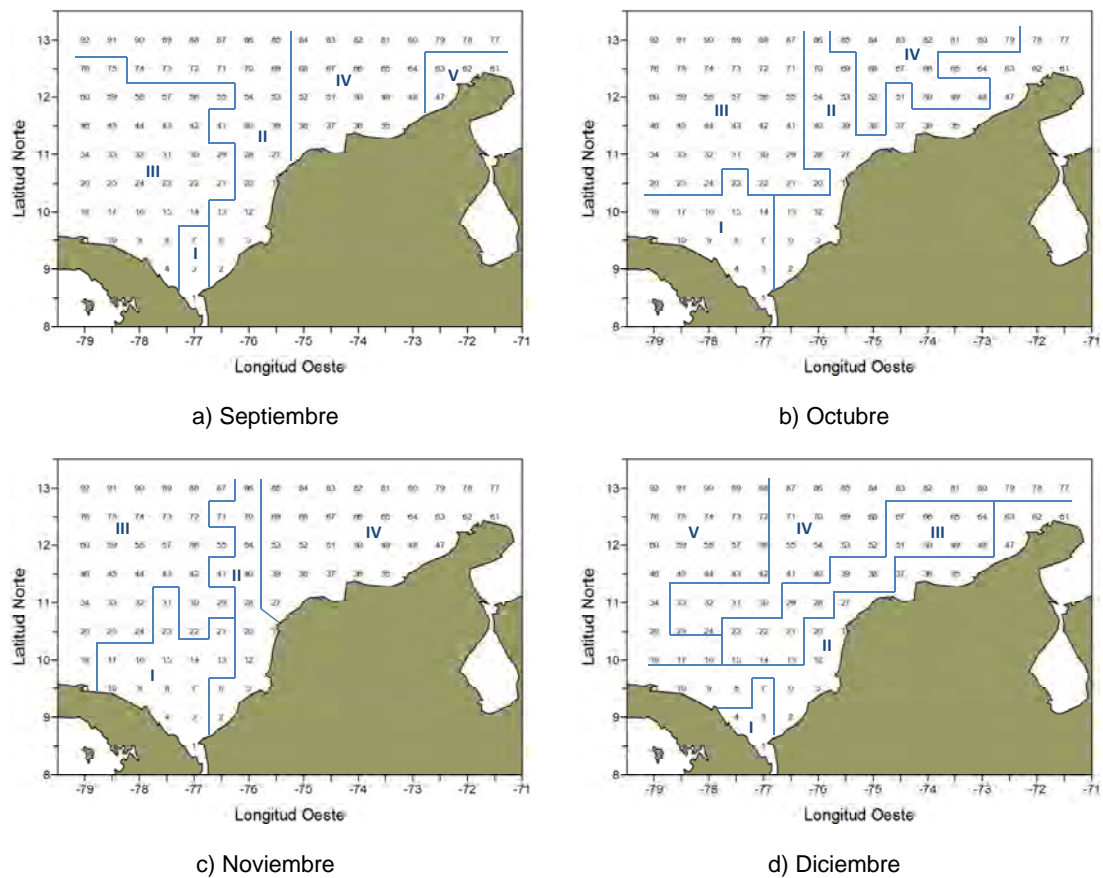


Figura 5.27. Masas de agua superficial del Mar caribe Colombiano septiembre,diciembre

En diciembre se distinguen V masas de agua como se observa en la gráfica 5.27d. La masa de agua I tiene la mayor TSM con un valor de 27.93 °C y la menor SSM del mes con un valor de 35.11 psu, la masa de agua II tiene una TSM de 27.38 °C y una SSM de 35.73 psu, la masa de agua III tiene la menor TSM con un valor de 28.28 °C y la mayor SSM del mes con un valor de 35.80 psu, la masa de agua IV tiene una TSM de 27.36 °C y unas SSM de 35.69 psu, la masa de agua V tiene una TSM de 27.65 °C y unas SSM de 35.35 psu.

En la tabla 5.10 se muestra la clasificación de masas de agua de septiembre a diciembre, donde se especifica el valor de los canchroides de cada clúster (parámetros oceanológicos TSM y SSM de cada una)

Tabla 5.10. Centroides para las masas de agua de septiembre-diciembre.

Mes y Figura	Masas de Agua	TSM (°C)	SSM (psu)
Septiembre-Figura 5.27 ^a	Masa I	28.47	34.46
	Masa II	28.58	35.23
	Masa III	28.58	34.58
	Masa IV	28.44	35.83
	Masa V	28.16	35.82
Octubre-Figura 5.27 ^b	Masa I	28.50	34.27
	Masa II	28.59	35.17
	Masa III	28.68	34.70
	Masa IV	28.65	35.58
Noviembre-Figura 5.27 ^c	Masa I	28.49	34.54
	Masa II	28.32	35.07
	Masa III	28.35	34.93
	Masa IV	28.37	35.69
Diciembre-Figura 5.27 ^d	Masa I	27.93	35.11
	Masa II	27.38	35.73
	Masa III	27.28	35.80
	Masa IV	27.36	35.69
	Masa V	27.65	35.35

Durante el primer semestre se puede ver que la masa de agua I que se ubica en el Golfo de Darién y Golfo de Urabá tiene la mayor TSM y la masa de agua que se ubica en el extremo Nororiente tiene la menor TSM y la menor SSM, influenciada por los procesos anteriormente mencionados.

5.3 ZONAS DE COINCIDENCIA DE DISTRUBUCION ESPACIO-TEMPORAL DE LAS MASAS DE AIRE Y MASAS DE AGUA MESUALES SOBRE EL MCC.

Terminando el análisis de Clúster donde se determinó la distribución espacial de las masas de aire y masas de agua en el MCC, se presenta en ésta sección los resultados del Análisis de Correlación Canónica entre los dos conjuntos estudiados las masas de aire (parámetros atmosféricos Hr y Ta), masas de agua (parámetros oceanológicos TSM y SSM) con el fin de determinar los puntos representativos. El procedimiento para realizar la correlación fue descrito en la metodología.

A continuación se hace una descripción mes a mes de los resultados obtenidos para la correlación aplicada a las masas de aire y de agua.

✦ Mes de Enero

En la tabla 5.11 se muestran los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de aire y de agua para el mes de enero. En todos los casos se tomó el coeficiente de correlación canónica mayor a 0.6. En la tabla 5.6 se observa que hay muy buena correlación entre las masas de agua y de aire en el mes de enero, la mejor correlación se presenta entre la masa de aire V y la masa de agua V, también hay buenas correlaciones entre la masa de aire V y la masa de agua IV, y entre la masa de aire II y la masa de agua I. Se puede observar que la masa de aire IV se correlaciona muy bien con todas las masas de agua al igual que la masa de agua II con todas las masas de aire.

Tabla 5.11. Índice de Correlación canónica para el mes de enero entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV	Masa Agua V
Masa Aire I	0,78	0,68	0,57	0,3	0,28
Masa Aire II	0,83	0,7	0,62	0,54	0,49
Masa Aire III	0,6	0,7	0,75	0,77	0,66
Masa Aire IV	0,67	0,78	0,74	0,76	0,68
Masa Aire V	0,55	0,65	0,58	0,83	0,85

✦ Mes de Febrero

En la tabla 5.12 se presentan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de febrero, se observa que la masa de agua IV tiene la mejor correlación con la masa de agua III y IV, al igual que la masa de agua V está bien correlacionada con la masa de agua II. Las masas de aire III, IV y V tienen buena correlación con todas las masas de agua, este mes presenta el mayor número de correlaciones significativas entre las masas.

Tabla 5.12 Índice de Correlación canónica para el mes de febrero entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV
Masa Aire I	0,65	0,48	0,54	0,63
Masa Aire II	0,65	0,48	0,66	0,64
Masa Aire III	0,69	0,76	0,79	0,87
Masa Aire IV	0,66	0,76	0,76	0,87
Masa Aire V	0,61	0,84	0,73	0,69

★ Mes de Marzo

En la tabla 5.13 se muestran los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de marzo, se observa que las mejores correlaciones se presentan: una entre la masa de aire III y la masa de agua III, y otra entre la masa de aire IV y masa de agua IV. La masa de aire III se correlaciona muy bien con todas las masas de agua.

Tabla 5.13. Índice de Correlación canónica para el mes de marzo entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV	Masa Agua V
Masa Aire I	0,49	0,38	0,6	0,29	0,25
Masa Aire II	0,52	0,49	0,63	0,54	0,33
Masa Aire III	0,68	0,63	0,86	0,71	0,63
Masa Aire IV	0,59	0,55	0,73	0,82	0,65

✦ Mes de Abril

En la tabla 5.14 se observan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de abril. En ésta se observa que las mejores correlaciones se presentan entre la masa de aire III y las masas de agua III y IV. Las masas de aire III y IV se correlaciona muy bien con todas las masas de agua y la masa de agua IV con todas las masas de aire.

Tabla 5.14. Índice de Correlación canónica para el mes de abril entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV	Masa Agua V
Masa Aire I	0,73	0,44	0,58	0,7	0,55
Masa Aire II	0,66	0,58	0,66	0,76	0,48
Masa Aire III	0,82	0,86	0,88	0,88	0,67
Masa Aire IV	0,67	0,75	0,76	0,84	0,7

✦ Mes de Mayo

En la tabla 5.15 se observan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de mayo. Se observa que las mejores correlaciones se presentan entre la masa de agua IV y las masas de aire III y IV. Las

masas de aire III y V tienen buena correlación con todas las masas de agua en el mes de mayo.

Tabla 5.15 Índice de Correlación canónica para el mes de mayo entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV
Masa Aire I	0,58	0,22	0,07	0,3
Masa Aire II	0,52	0,53	0,57	0,65
Masa Aire III	0,62	0,79	0,67	0,88
Masa Aire IV	0,73	0,78	0,75	0,89

✦ Mes de Junio

En la tabla 5.16 se observan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de junio. Se observa que las mejores correlaciones se presentan entre la masa de agua III y las masas de aire III y IV. La masa de aire IV tiene buena correlación con todas las masas de agua, y que la masa de agua III tiene buena correlación con las masas de agua I, II, III y IV en el mes de junio.

Tabla 5.16 Índice de Correlación canónica para el mes de junio entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV	Masa Agua V
Masa Aire I	0,5	0,35	0,27	0,28	0,45
Masa Aire II	0,69	0,54	0,5	0,64	0,28
Masa Aire III	0,74	0,84	0,9	0,83	0,6
Masa Aire IV	0,72	0,82	0,87	0,83	0,71

✦ Mes de Julio

En la tabla 5.17 se observan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de julio. Se observa que la mejor correlación se presenta entre la masa de aire IV y la masa de agua IV. La masa de aire IV tienen buena correlación con todas las masas de agua, y la masa de agua III con todas las masas de aire, la masa de agua IV tiene buena correlación con las masas de aire II, III, IV y IV en el mes de julio.

Tabla 5.17 Índice de Correlación canónica para el mes de julio entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV	Masa Agua V
Masa Aire I	0,75	0,74	0,78	0,25	0,32
Masa Aire II	0,5	0,59	0,74	0,64	0,64
Masa Aire III	0,59	0,62	0,73	0,77	0,64
Masa Aire IV	0,73	0,74	0,77	0,84	0,63
Masa Aire V	0,36	0,54	0,66	0,66	0,56

✦ Mes de Agosto

En la tabla 5.18 se presentan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de agosto. Es ésta se observa que la mejor correlación se presenta entre la masa de agua IV y la masa de aire IV, las masas de aire III y IV tienen buena correlación con todas las masas de agua, y que la masa de agua III tiene buena correlación con todas las masas de aire.

Tabla 5.18. Índice de Correlación canónica para el mes de agosto entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV	Masa Agua V
Masa Aire I	0,53	0,42	0,69	0,14	0,26
Masa Aire II	0,64	0,33	0,76	0,27	0,41
Masa Aire III	0,72	0,69	0,69	0,67	0,68
Masa Aire IV	0,69	0,68	0,69	0,76	0,8

✦ Mes de Septiembre

En la tabla 5.19 se presentan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de septiembre. Se observa que las mejores correlaciones se presentan entre la masa de aire IV y las masas de agua IV y V, masas de aire III y IV tienen muy buena correlación con todas las masas de agua.

Tabla 5.19 Índice de Correlación canónica para el mes de septiembre entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV	Masa Agua V
Masa Aire I	0,21	0,31	0,34	0,41	0,39
Masa Aire II	0,52	0,69	0,71	0,58	0,55
Masa Aire III	0,79	0,76	0,8	0,79	0,69
Masa Aire IV	0,73	0,73	0,79	0,85	0,81

✦ Mes de Octubre

En la tabla 5.20 se presentan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de octubre. Este mes presenta las menores correlaciones significativas, entre la masa de agua II y masa de aire I y entre la masa de agua IV y la masa de aire V.

Tabla 5.20 Índice de Correlación canónica para el mes de octubre entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV
Masa Aire I	0,42	0,63	0,39	0,29
Masa Aire II	0,33	0,47	0,5	0,42
Masa Aire III	0,42	0,48	0,54	0,48
Masa Aire IV	0,47	0,56	0,6	0,69

✦ Mes de Noviembre

En la tabla 5.21 se presentan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de noviembre. En este mes al igual que en el mes anterior solo se presentan dos correlaciones significativas entre la masa de agua III y las masas de aire III y IV.

Tabla 5.21 Índice de Correlación canónica para el mes de noviembre entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV
Masa Aire I	0,46	0,31	0,3	0,27
Masa Aire II	0,48	0,41	0,38	0,24
Masa Aire III	0,23	0,58	0,73	0,58
Masa Aire IV	0,19	0,31	0,62	0,55

✦ Mes de Diciembre

En la tabla 5.22 se presentan los resultados del índice de correlación canónica aplicado a las masas de agua y de aire para el mes de diciembre. Se observa que la mejor correlación se presenta entre la masa agua IV y la masa de aire III, las masas de aire III y IV tienen buena correlación con las masas de agua I, II, III, IV.

Tabla 5.22. Índice de Correlación canónica para el mes de diciembre entre las masas de aire y de agua del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV	Masa Agua V
Masa Aire I	0,49	0,47	0,45	0,47	0,42
Masa Aire II	0,41	0,62	0,53	0,43	0,37
Masa Aire III	0,62	0,63	0,64	0,72	0,55
Masa Aire IV	0,66	0,68	0,62	0,66	0,44

En general no se encontraron buenas correlaciones entre las masas de aire I y II y las masas de agua, mientras que las masas de aire III, IV, V tienen mejores correlaciones con las masas de agua. Octubre y noviembre son los meses que presentaron las más bajas correlaciones y abril el mes con las mejores correlaciones entre las masas de agua y de aire.

5.4 ANALISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS MASAS DE AIRE Y MASAS DE AGUA PROMEDIO SOBRE EL MCC.

Una vez identificadas las masas de aire y de agua que se presentan en el MCC para todos los meses (esto con el fin de conocer la climatología mes a mes de cada masa), y de hallar el valor de la correlación canónica entre ellas, se prosigue a determinar las masas de aire y de agua promedio, con el objetivo de identificar puntos representativos sobre el MCC.

+ Masas de Aire promedio

En la figura 5.28 se presenta el resultado de las masas de aire que en promedio permanecen sobre el MCC durante el año, estas se determinaron teniendo en cuenta la información meteorológica (Hr y Ta) del periodo 1971, 2000.

Se identifican en promedio cuatro masas de aire sobre el MCC distribuidas así: la masa I tiene la mayor Ta con un valor de 27.56 °C y una Hr de 82.47%. Esta masa de aire se ubica al sur del Golfo de Darién, localizado en la frontera entre Panamá y Colombia, el Golfo de Morrosquillo y el Golfo de Urabá. El valor de la Ta de esta masa está influenciado por el proceso de interacción océano-tierra-océano que se presenta por el calentamiento y enfriamiento de la franja continental durante el día y la noche, y por los vientos Alisios del Noreste. Dentro de los sistemas atmosféricos que determinan el comportamiento de la Ta sobre el MCC está la permanencia semicontinua la Baja Presión del Darién ó el sistemas de baja Presión Anclada de Panamá, que se encuentra ubicado sobre la serranía del Darién entre 7°,10°N y 76°,80°W, este sistema se mantiene activo durante la mayor parte del año, lo que genera el incremento de la nubosidad y algunas lluvias hacia el Golfo de Urabá en determinadas épocas del año. Este sistema caracteriza las dos masas de aire que se ubican en el Golfo Darién, una en el sur del Golfo la masa I y otra hacia el Norte la masa II. La masa de aire II tiene una Ta de 27.55 °C y una Hr de 82.71%, aunque las masas de aire I y II tiene una Ta parecida, tienen una diferencia significativa en la Hr. La masa de aire III es la que está más alejada del litoral, tiene una Ta de 27.49 °C y la menor Hr con un valor de 82.07% (caracterizándose como la masa más seca), se ubica al Noroccidente del MCC, es la masa que tiene la máxima extensión.

La masa de aire VI tiene una Ta de 27.08 °C y una Hr de 83.86%, se encuentra ubicada al Nororiente del MCC, ésta masa está caracterizada por tener el valor más alto de Hr y el valor más bajo de Ta, lo que está relacionado con la circulación de los vientos Alisios del Noreste que llegan cargados de humedad, haciendo así que disminuya el valor de la Ta y aumente el valor de Hr. Uno de los sistemas atmosféricos que puede influenciar ésta condición es el Chorro de San Andrés (Poveda, 1998),

estos valores altos de Hr y mínimos de Ta se encuentran cerca a la Península de la Guajira, y también pueden estar influenciados por la geografía de la Península.

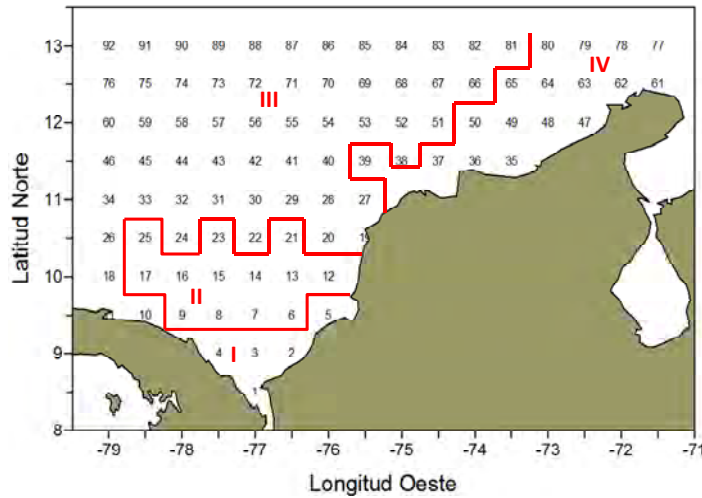


Figura 5.28. Masas de Aire promedio Mar Caribe Colombiano

Las masas de aire promedio determinan el comportamiento general durante el año de la Ta y de la Hr, en la tabla 5.23 se muestra la clasificación de masas de aire promedio, donde se especifica el valor de los centroides de cada clúster.

Tabla 5.23. Centroides para las masas de aire promedio.

Masa	Humedad Relativa %	Temperatura °C
I	82.47	27.56
II	82.71	27.55
III	82.07	27.49
IV	83.86	27.08

✦ Masas de Agua Promedio

En la figura 5.29 se presenta el resultado de las masas de agua que en promedio permanecen sobre el MCC durante el año, teniendo en cuenta la información oceanológica (TSM y SSM) del periodo 1971, 2000.

Se identifican en promedio cinco masas de agua sobre el MCC distribuidas así: la masa I tiene la mayor TSM con un valor de 28.11 °C y la menor SSM con un valor de 35.20 psu, ésta masa es la que presenta la menor extensión, y se ubica al sur del MCC cerca al Golfo de Urabá. El valor de SSM se relaciona directamente con las diferencias

entre la evaporación (pérdida de agua dulce en forma de evaporación), la precipitación (adición de agua dulce en forma de lluvia) y el aporte de agua de los ríos, es por ésta razón que el aporte de los ríos que se conectan con el Golfo de Urabá y el régimen de precipitación hace que haya un aporte de agua dulce y la SSM disminuya, generándose durante todo el año una zona con baja salinidad en esta región y caracterizando la masa I como la menos salina de las masas promedio.

La masa de agua II, tiene una TSM de 27.62 °C y una SSM de 35.71psu, ésta masa se encuentra extendida diagonalmente a lo largo de toda la zona costera de la Región Caribe Colombiana, y está influenciada por los aportes de los ríos, las precipitaciones de la zona costera, los movimientos verticales y horizontales constantes que se presentan allí por la variación diaria de la marea, los procesos de interacción océano-tierra-océano que se presenta por el calentamiento y enfriamiento de la franja continental durante el día y la noche, y por los vientos Alisios del Noreste.

La masa III tiene una TSM de 27.78 °C y una SSM de 35.61 psu, la masa IV tiene una TSM de 27.44 °C y la mayor SSM con un valor de 35.99 psu, la masa IV tiene los valores más altos de la salinidad y se observan cerca de la Península de la Guajira, los cuales están relacionados por un lado con el bajo régimen de precipitación sobre la Península de la Guajira y con la surgencia de la Guajira que es el afloramiento de aguas profundas y trae consigo aguas con temperaturas bajas y altas salinidades, ésta masa se ubica en la parte Noreste del MCC. La masa V tiene la mayor TSM con un valor de 27.84 °C y una SSM de 35.37 psu, ubicándose a lo largo de la parte Oeste y Noroeste del MCC.

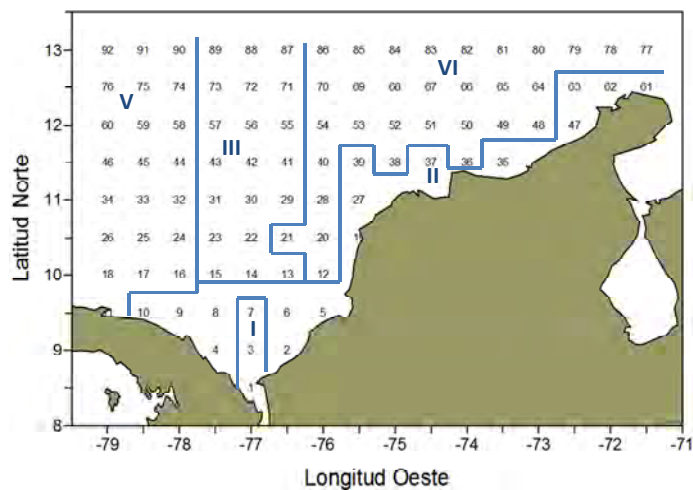


Figura 5.29. Masas de Agua promedio Mar Caribe Colombiano

En la tabla 5.24 se muestra la clasificación de masas de agua promedio, donde se especifica el valor de los centroides de cada clúster (parámetros oceanológicos TSM y SSM de cada una).

Tabla 5.24. Centroides para las masas de agua promedio

Masa	TSM (°C)	SSM(psu)
I	28.11	35.20
II	27.62	35.71
III	27.78	35.61
IV	27.44	35.99
V	27.84	35.37

Esta clasificación permitió comparar los resultados obtenidos en la primera aproximación, donde desde el punto de vista oceanológico se identificaron zonas homogéneas. La primera aproximación permitió determinar solo tres zonas homogéneas sobre el MCC, mientras que el análisis de clúster permitió identificar cinco zonas, donde el agua tiene propiedades homogéneas en los valores de temperatura y salinidad.

5.5 ZONAS DE COINCIDENCIA DE DISTRUBUCION ESPACIAL DE LAS MASAS DE AIRE Y MASAS DE AGUA PROMEDIO SOBRE EL MCC.

Una vez identificadas las masas de aire y de agua promedio en el MCC se procede a realizar un análisis de correlación canónica entre los parámetros de dichas masas. Los resultados se aprecian en la tabla 5.25 donde se encuentran los valores de correlación canónica obtenidos entre las cuatro masas de aire y cinco masas de agua promedio, allí se diferencian los resultados en celdas de colores, lo que permite la interpretación de los resultados. De esta manera se presentan los valores de correlación, donde se clasificaron por rangos y se presentan en celdas de colores: el color rojo corresponde a valores iguales o superiores a 80%, el color verde a valores entre el 79 y 40%, y finalmente el color naranja a valores inferiores. En esta tabla se observa que hay ocho correlaciones que tienen un valor igual o superior al 0.80 representadas con color rojo, y de estas solo seis tienen una correspondencia lógica y espacial sobre el MCC, resaltadas con números de color rojo, las otras dos resaltadas en celdas de color rojo y números negros no tienen una correspondencia lógica y espacial.

Tabla 5.25. Correlaciones para las masas de aire y de agua promedio del MCC

	Masa Agua I	Masa Agua II	Masa Agua III	Masa Agua IV	Masa Agua V
Masa Aire I	0,58	0,52	0,49	0,42	0,44
Masa Aire II	0,71	0,75	0,74	0,69	0,72
Masa Aire III	0,83	0,9	0,93	0,93	0,93
Masa Aire IV	0,81	0,9	0,9	0,94	0,9

El paso siguiente fue la superposición de las gráficas de cuatro masas de aire y cinco masas de agua promedio, lo que se puede observar en la figura 5.30, con el objetivo de ubicar una correspondencia espacial entre las aguas que representan zonas homogéneas superficiales y las zonas homogéneas superficiales atmosféricas.

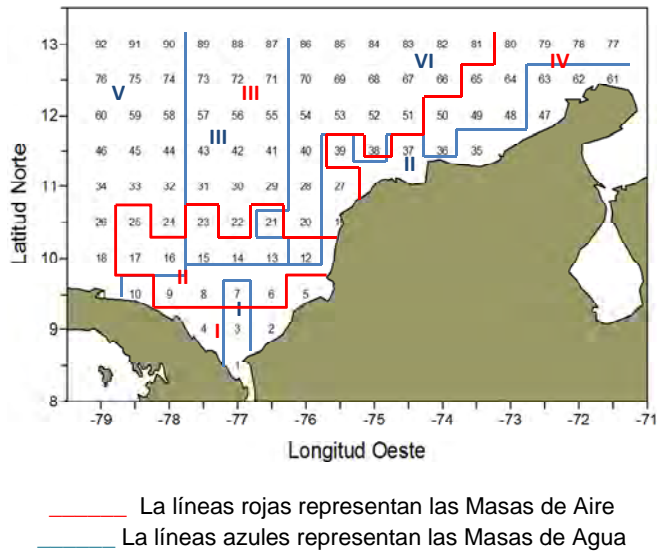


Figura 5.30. Superposición entre las masas de agua y masas de aire promedio sobre el Mar Caribe Colombiano.

Teniendo en cuenta el comportamiento de las masas de aire y de agua determinadas anteriormente y los resultados obtenidos mediante el análisis de correlación canónica, se tiene que hay ocho correlaciones que tienen un valor igual o superior al 0.80, y de estas solo seis tienen una correspondencia lógica y espacial sobre el MCC. Lo que quiere decir, que al sobreponer las masas promedio tanto de aire como de agua y las correlaciones encontradas como se observa en la figura 5.31, se corrobora una coincidencia espacial que se relaciona directamente con los procesos de interacción océano-atmosfera característicos de la región de estudio, donde se puede analizar que

correlaciones cruzadas.

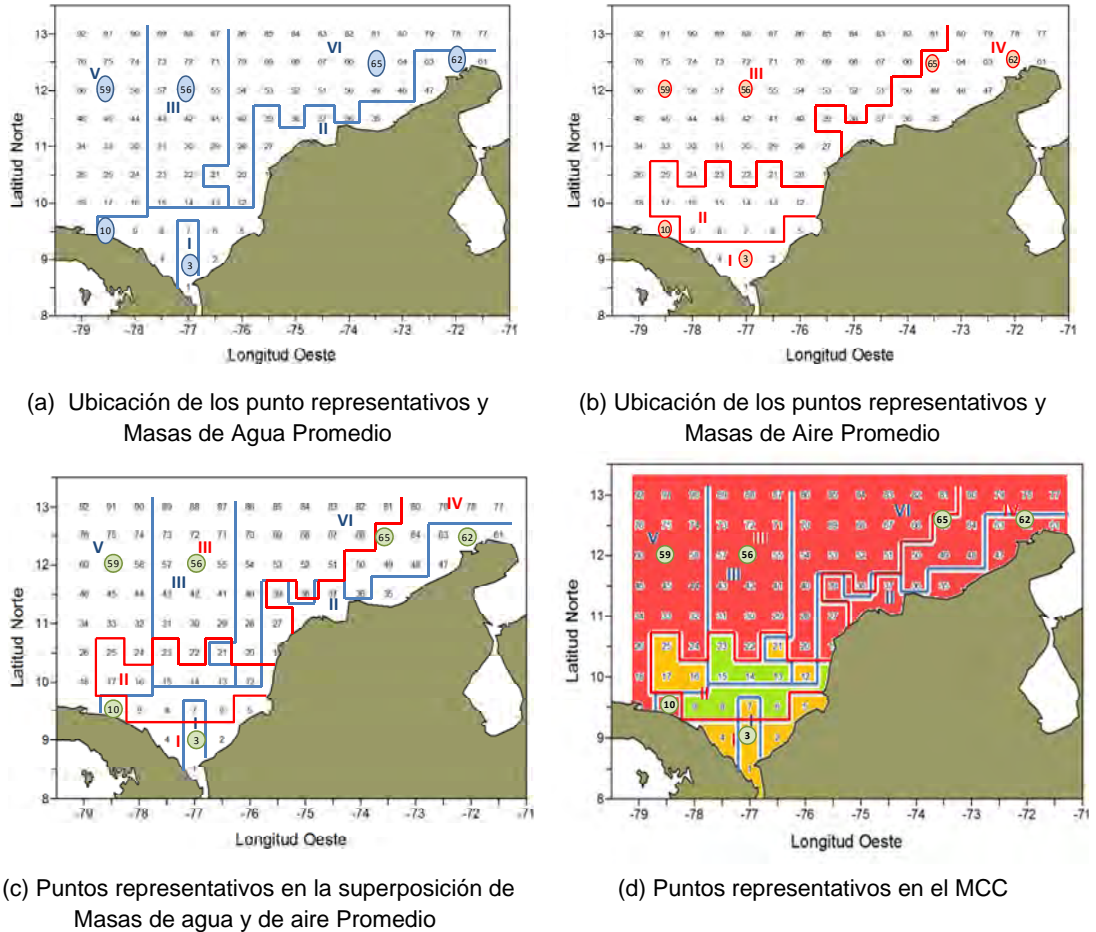


Figura 5.32. Ubicación de los puntos representativos teniendo en cuenta la superposición

Este procedimiento permitió determinar seis puntos representativos del MCC ubicados así: punto 3 entre 77°W y 9°N (Punto cercano a aguas costeras), punto 10 entre 78°3'W y 9°3'N (punto cercano a aguas costeras), punto 56 entre 77°W y 12°N (punto ubicado en lejanía de las costas), punto 59 entre 78°3'W (punto ubicado en lejanía de las costas) y 12°N, punto 62 entre 72°W y 12°3'N (punto cercano a aguas costeras) y finalmente el punto 65 entre 73°3'W y 12°3'N (punto ubicado en zona de mezcla).