

**LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE LAS AGUAS DE LA
CUENCA DEL PACÍFICO COLOMBIANO CON BASE EN EL ESTUDIO DE
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA Y OCEANOGRÁFICA**

JUAN LEONARDO MORENO RINCON
Código 194110

Trabajo de tesis presentado para optar al título de
Magíster en Ciencias – Meteorología

DIRIGIDO POR:

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

DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
BOGOTÁ 2008

INDICE

	Pagina
1. RESUMEN	4
2. ABSTRACT	5
3. AGRADECIMIENTOS	6
4. INTRODUCCION	7
5. ANTECEDENTES	9
5.1 Antecedentes Internacionales	9
5.2 Antecedentes Nacionales	10
6. OBJETIVOS	16
7. GOOS - GLOBAL OCEAN OBSERVING SYSTEM	17
7.1 Estructura del GOOS a nivel mundial	18
7.1.1 Gobierno y Compromisos	18
7.1.2 Coordinación	19
7.1.3 Implementación	19
7.1.4 Estrategia y orientación	21
7.2 Centro de Soporte para Plataformas de Observación IN-SITU del CMOMM (JCOMMOPS)	21
7.2.1 Estado de la Red CMOMM	22
7.2.2 Plataformas Oceanográficas	23
7.2.3 Estaciones Meteorológicas	29
7.2.3.1 Estación Meteorológica Automática Satelital	31
7.2.3.1.1. Descripción de los sensores meteorológicos que componen la estación	32
7.2.3.1.1.1 Sensor de velocidad y dirección del viento	32
7.2.3.1.1.2 Sensor de radiación solar	34
7.2.3.1.1.3 Sensor de temperatura y humedad relativa del aire	35
7.2.3.1.1.4 Sensor de Precipitación (Pluviómetro)	37
7.2.3.1.1.5 Sensor de Presión atmosférica (Barómetro)	38
7.2.3.1.1.6 Datalogger (Unidad Almacenadota de Datos)	39
7.2.3.1.1.7 Transmisor satelital GOES	40
7.2.4 Sistemas de comunicación	41
8. CUENCA DEL PACIFICO COLOMBIANO	44
8.1 Aspectos Geomorfológicos de la CPC	44
8.2 Aspectos Meteorológicos de la CPC	45
8.3 Aspectos Oceanográficos de la CPC	48
9. INSTRUMENTOS E INFORMACION METEOROLOGICA Y OCEANOGRAFICA DE LA CPC	51
9.1 Información meteorológica y oceanográfica en la CPC	51
9.2 Instrumentos de medida usados actualmente en la CPC	57
10. ASPECTOS TEORICOS	61
10.1 Concepto masas de aire	61

10.2	Clasificación mundial de las masas de aire	62
10.3	Concepto masas de agua	63
10.4	Clasificación de las masas de agua	66
10.5	Climatología	66
10.6	Teoría de cluster	67
10.7	Teoría de Análisis Multivariante, Correlación Canónica	68
11.	METODOLOGIA	71
11.1	Área de Estudio	71
11.2	Información utilizada	71
11.3	Métodos estadísticos	72
11.3.1	Análisis de Cluster, para la determinación masas de agua y masas de aire en la CPC	72
11.3.2	Análisis de Correlación Canónica, para la relación entre las masas de aire y de agua en la CPC	76
11.3.3	Validación de resultados	80
12.	RESULTADOS Y ANALISIS	81
12.1	Climatología de las Masas de agua y de aire en la CPC	81
12.1.1	Identificación de las masas de agua mes a mes homogéneas sobre la CPC por medio del análisis de cluster	81
12.1.2	Identificación mes a mes de las masas de aire homogéneas sobre la CPC por medio del análisis de Cluster	87
12.2	Zonas de coincidencia de distribución espacio temporal de las masas de aire y de las masas de agua mes a mes sobre la CPC.	100
12.3	Masas Promedio	125
12.3.1	Masas de aire promedio	125
12.3.2	Masas de agua promedio	126
12.4	Clasificación local de las masas de aire y de agua para la CPC	128
12.4.1	Clasificación local masas de agua	128
12.4.2	Clasificación local masas de agua	129
12.5	Correlación entre las Masas de Aire y de Agua Promedio en la CPC	130
12.6	Discusión	132
12.6.1	Descripción Masas de Aire Mes a Mes	134
12.6.2	Correlación Canónica Masas de Aire y Agua mes a mes	135
12.6.3	Correlación canónica entre las masas de aire y de agua promedio	135
12.6.4	Equipos usados en Colombia para el aporte al GOOS	136
12.7	Puntos de Monitoreo de Parámetros Oceanográficos y Meteorológicos en la CPC.	137
13.	CONCLUSIONES	141
14.	RECOMENDACIÓN	142
15.	BIBLIOGRAFIA	143

1. RESUMEN

La presente tesis de maestría, tiene por objeto suministrar puntos geográficos para la ubicación de las estaciones de monitoreo hidrometeorológico en la Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC), mediante el análisis estadístico multivariante de correlación canónica, con base en información modelada de variables oceanográficas (Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Salinidad Superficial del Mar SSM) y de variables meteorológicas (Temperatura del Aire (Ta) y Humedad Relativa Hr); dentro del concepto de masas de aire y de agua. El método usado para hallar las masas de aire y de agua, se basó en el análisis de cluster o de conglomerados. En esta metodología se utilizaron datos atmosféricos de reanálisis y oceanográficos modelados para la CPC. Se obtuvo la información mes a mes de las masas de aire y de agua, reconociendo allí una climatología en la CPC y permitiendo conocer la relación existente entre sí.

Todo esto permitió la identificación de las masas con mayor similitud, y, teniendo en cuenta su posición, sugerir los mejores puntos geográficos para la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas en la CPC. De igual manera se sugieren los equipos más adecuados para ser instalados de manera permanente teniendo en cuenta las características técnicas y operativas del JCOMM. La identificación de puntos de monitoreo en la CPC, permite optimizar los recursos técnicos y económicos disponibles y proporciona una clara metodología que puede ser aplicada en otros lugares.

2. ABSTRACT

The aim of this thesis is to provide optimal geographical locations for hydro-meteorological stations in the Colombian Pacific Basin (CPB). This is done through statistical analysis of multivariate canonical correlation using modeled oceanographic and atmospheric data (sea surface temperature, sea surface salinity, air temperature and relative humidity), and based on the concepts of air and water masses. In order to determine the air and water masses, cluster analysis was used with atmospheric reanalysis data and modeled oceanographic data in the CPB. Monthly data of air and water masses was used to determine the corresponding climatology. Canonical correlation analysis provided information on the month to month relationships between different masses.

We identified similarities between air and water masses, which allow us to suggest optimal geographical locations for hydro-meteorological stations in the CPB. We also provide suggestions about the most appropriate equipment to be used, based on their technical and operational characteristics and according to the JCOMM. These results give the possibility of optimizing the available economical and technical resources, and provide a clear methodology that can be applied in other locations.

3. AGRADECIMIENTOS

A mi Padre Celestial y a su hijo Jesucristo, por darme la bendición de haber estudiado la maestría en Ciencias - Meteorología y llevar a cabo este documento de tesis.

A mi esposa e hijos por el sacrificio hecho durante estos años de estudio, por brindarme paciencia, cariño y amor. Por el amor que siento por ellos, he sacrificado tiempo, recursos y neuronas.

Al grupo CENIT por todas las oportunidades que me han brindado para afianzar los conocimientos que he adquirido, en especial a la Profesora Nancy Villegas, quien con su paciencia y dedicación ha permitido el desarrollo de este documento de tesis.

Al personal que labora en la Dirección General Marítima DIMAR, a la alta Dirección y a los compañeros de trabajo que con entusiasmo y apoyo, dieron ánimo para finalizar esta meta en mi vida.

4. INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Pacífico Colombiano - CPC, se ubica en el Este del Océano Pacífico, siendo delimitada por las aguas jurisdiccionales de Panamá al norte, las aguas jurisdiccionales del Ecuador al Sur, el litoral Pacífico Colombiano al Este y con aguas internacionales al Oeste.

En el Océano Pacífico se presentan diferentes fenómenos naturales que han sido estudiados ampliamente por su implicación en el clima mundial, en los desastres naturales y en la pérdida de vida humanas e infraestructura; es así que la Organización Meteorológica Mundial - OMM cataloga que nueve de cada diez desastres naturales ocurridos en el mundo están relacionados con el estado del tiempo y del clima (OMM, 2006).

Para el estudio de estos fenómenos se han tenido en cuenta los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos que poseen las aguas marinas, siendo de más relevancia los que permiten conocer sobre el comportamiento climático, ya que inciden directamente en las diferentes actividades que se realizan por la comunidad costera, como lo son el transporte, la pesca, el comercio, la seguridad, etc., como en los desastres naturales. Algunas de las variables que permiten conocer el comportamiento climático y que están íntimamente ligadas a los procesos océano atmósfera, son la Temperatura Superficial del Mar, la Salinidad Superficial del Mar, la Temperatura del Aire y la Humedad Relativa. El presente estudio ha basado su desarrollo en estas cuatro variables, teniendo en cuenta su interrelación y significancia temporal en los procesos océano atmósfera característicos en la CPC.

Para comprender la importancia que tiene la CPC para el país, es necesario citar brevemente el valor que tiene la región continental desde el punto de vista biológico, el cual está estrechamente relacionado al comportamiento climático y por ende con el mar.

La zona del Pacífico Colombiano es una de las Reservas Forestales más grandes de Colombia con 8.015.504 hectáreas y tiene jurisdicción sobre los departamentos de Antioquia, Cauca, Córdoba, Nariño, Risaralda, Valle del Cauca y Chocó. (IDEAM, 2006). En esta región, habita cerca de 2.536.094 personas de las cuales su mayoría pertenecen a comunidades negras.

La región es reconocida como Chocó Biogeográfico, catalogada como una de las más grandes reservas de biodiversidad del mundo. En la actualidad se están llevando a cabo procesos extractivos de biomasa por la intervención antrópica, llevando así a disminuir la cantidad de bosques en la región.

Desde el punto de vista marítimo, se a hecho necesario que se realicen diferentes trabajos que lleven a conocer mejor el comportamiento de las variables oceánicas antes

mencionadas, siendo esto una responsabilidad delegada por el Gobierno Nacional en la Autoridad Marítima Nacional, Dirección General Marítima - DIMAR. A través de sus Centros de Investigación (Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP y el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - CIOH), quienes han llevado a cabo diferentes cruceros de investigación desde 1970 asociados a programas de investigación, como el Estudio Regional del Fenómeno El Niño - ERFEN, pero sin una regularidad específica. Con esta información se han realizado estudios que caracterizan ciertos parámetros y variables de la CPC, como los de Suzunaga y Gómez (1995), Málíkov (1998), Málíkov y Camacho (1998), Málíkov (2000), Devis et al. (2002), Málíkov y Villegas (2005) y Villegas et al. (2007), entre otros. La información con la cual se ha trabajado, permite conocer de manera tangencial los procesos que ocurren en la CPC, siendo esto una dificultad en el proceso de investigación, teniéndose que recurrir a fuentes internacionales como lo son los reanálisis publicados por los grandes centros mundiales información climática.

En la actualidad el Grupo de Investigaciones CENIT (Grupo de Investigación en Oceanología) del departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia - Bogotá, ha venido trabajando en el proyecto llamado Determinación de la Relación entre Parámetros Meteorológicos y la Climatología de las Masas de Agua de la Cuenca del Pacífico Colombiano, del cual hace parte este trabajo de tesis de Maestría.

La presente tesis, se desarrollo teniendo en cuenta la información climática de 114 estaciones tanto de temperatura superficial de mar (TSM) como de salinidad superficial del mar (SSM) en el caso de las masas de agua y de temperatura del aire (T_a) y humedad relativa (H_r) en el caso de las masas de aire. Se realizó una completa descripción de cada una de las masas, teniendo en cuenta los parámetros antes mencionados. Los valores analizados son los que se encuentran en permanente contacto en la Capa Fina Superficial del Océano, en la interacción océano atmosfera.

En este trabajo se realizaron correlaciones canónicas entre las variables descritas de las masas de agua y de aire, habiendo encontrado la mejor correlación entre ellas y determinando así la climatología mes a mes. También permitió encontrar relación con algunos de los procesos oceanoatmosféricos que se presentan en la CPC.

Con la información hallada en las masas de aire y de agua se establecieron masas promedio, que permitieron a su vez encontrar los puntos para la ubicación de estaciones hidrometeorológicas de monitoreo más representativos para la CPC.

En el presente trabajo se indagó por las estaciones hidrometeorológicas de monitoreo que a nivel nacional y mundial se usan actualmente, sugiriendo los mejores equipos para los puntos hallados.

5. ANTECEDENTES

La temperatura superficial del mar, la salinidad superficial del mar, la temperatura del aire y la humedad relativa, son parámetros oceanográficos y meteorológicos que permiten determinar el comportamiento climático de una zona o lugar en especial. El monitoreo de dichos parámetros es una tarea que desde la antigüedad ha sido objeto de mejora continua, teniendo claro que mientras más conozcamos y podamos tener datos, mejor será su aplicación en las diferentes actividades que se desarrollen en una zona o lugar en especial.

Es así que se ha presentado una evolución en la adquisición y toma de datos meteorológicos y oceanográficos a nivel mundial, regional y nacional. A continuación se hará una descripción aproximada de las condiciones actuales en las que se encuentran los diferentes sistemas de adquisición y despliegue de información que se han desarrollado.

5.1. Antecedentes Internacionales

Entre los principales programas científicos y técnicos de la OMM figura la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM), que a nivel global compila la información de los países miembros y la divulga mediante los enlaces de telecomunicaciones existentes, teniendo como premisa que para hacer predicción del tiempo, se hace necesario contar con datos mundiales recolectados. La importancia del pronóstico se observa en las diferentes actividades comerciales como la aeronáutica y la marítima las cuales no pueden iniciar labores sin un pronóstico meteorológico, por seguridad en la navegación y de las vidas humanas. La conformación del VMM está dada por cuatro satélites de órbita polar, cinco satélites geoestacionarios, unas 10.000 estaciones de observación terrestres, 7.000 estaciones de buque y 300 boyas fondeadas y a la deriva equipadas con estaciones meteorológicas automáticas; los cuales transmiten diariamente más de 15 millones de caracteres de datos y 2.000 mapas meteorológicos a través de tres Centros Meteorológicos Mundiales, 35 Centros Meteorológicos Regionales y 187 Centros Meteorológicos Nacionales que colaboran en la preparación del análisis y predicciones meteorológicos con medios técnicos sumamente complejos (León, 2003).

Para facilitar la operación de la VMM se ha estructurado el Sistema Mundial de Observación del Clima (GCOS), el Sistema Mundial de Telecomunicaciones y Gestión de Datos y el Sistema Mundial de Proceso de Datos.

De manera paralela, se ha desarrollado el GOOS (del cual se hablará específicamente más adelante), el cual cuenta con el patrocinio de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización para la Educación, la Ciencia y la Cultura de las Naciones Unidas (UNESCO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), La OMM y el Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU).

De igual forma que el VMM, en la actualidad el GOOS funciona bajo la estructura GCOS y es fuente de información de la interacción océano-atmósfera para diferentes programas mundiales.

A nivel latinoamericano, y específicamente los países que hacen parte de la Alianza Regional del Sistema Mundial de Observación de los Océanos para el Pacífico Sudeste - GRASP, se cuenta con redes de medida que combinan el componente atmosférico y oceanográfico. En Perú por ejemplo, a través de proyecto Naylamp, que es el sistema de vigilancia océano-atmosférico del mar peruano, implementado por la Marina de Guerra del Perú a través de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), en el marco del Programa: Mejoramiento de la Capacidad de Pronóstico y Evaluación del Fenómeno "El Niño" para la Prevención y Mitigación de Desastres en el Perú, desarrollado desde el 21 de Septiembre del año 2000 (Zevallos, 2003).

Este sistema está compuesto por 4 boyas oceanográficas, 8 mareógrafos y 11 estaciones océano-meteorológicas a lo largo de la costa del Perú. Las boyas registran las variables de temperatura superficial del mar, dirección, período, altura significativa de olas, perfil de temperatura y salinidad hasta los 500 metros de profundidad, así como la dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura y humedad relativa del aire. La información es recibida en tiempo real gracias al empleo del Sistema satelital ARGOS.

Dicha información es recibida, analizada y administrada en el Departamento de Modelamiento Numérico (DEMODEL) de la Dirección de Hidrografía y Navegación, el cual además ejecuta operacionalmente dos modelos numéricos (WWATCH y SWAN) para pronósticos de olas hasta 72 horas y un modelo de investigación (POM) para la simulación de la dinámica oceánica, principalmente para determinar las variabilidades asociadas al Fenómeno "El Niño".

En Ecuador, se cuenta en la actualidad con el proyecto Spondylus, el cual incluye 02 boyas océano-atmosféricas para el monitoreo oceánico permanente, una red de 6 mareógrafos y la automatización de las estaciones meteorológicas costeras, que permiten transmitir en tiempo real, vía satélite, las condiciones del mar y de la atmósfera, para proveer alerta temprana a la comunidad, reducir impactos de los evento climáticos en la población y contribuir al desarrollo sostenible del Ecuador.

En Chile se cuenta con 01 boya oceanográfica, 10 estaciones meteorológicas automáticas costeras y 12 mareógrafos, que transmiten la información en tiempo real, a una base receptora, la cual procesa los datos y los envía al Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile (CENDHOC), el cual los disemina a la comunidad científica y al público en general.

5.2. Antecedentes Nacionales

Dentro de los diferentes esfuerzos hechos por Colombia para tener un conocimiento de las condiciones oceanográficas y meteorológicas de la CPC, se cuenta con las actividades

llevadas a cabo por DIMAR. En 1965 se desarrollaron los primeros cuatro cruceros oceanográficos a bordo del ARC Bocas de Ceniza, planeados y ejecutados por la Comisión Interamericana del Atún Tropical - CIAT, en el área de Panamá Bight, con los cuales se pretendía estudiar la variabilidad estacional y cíclica en la circulación y distribución de las propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas jurisdiccionales. En 1967 se desarrollaron los cruceros EASTROPAC, también patrocinados por la CIAT.

Ya en 1970 la Armada Nacional de Colombia empezó a llevar a cabo sus propios cruceros oceanográficos sobre las aguas jurisdiccionales, tanto en el Caribe como en el Pacífico. Inicialmente eran ejecutados por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH hasta que en 1994 pasaron a ser desarrollados por el Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP (Devis et.al.2002).

La información meteorológica y oceanográfica disponible de la CPC (mar abierto) es la tomada por parte del Ministerio de Defensa Nacional mediante la Dirección General Marítima - DIMAR en el CCCP, con los cruceros oceanográficos hechos desde 1970, lo que ha permitido adelantar diferentes estudios, sin embargo, a dicha información es necesario hacerle un tratamiento estadístico antes de poder adelantar cualquier trabajo o investigación, ya que la misma no ha sido tomada regularmente en el tiempo. En la figura 1 se muestra la cantidad de cruceros adelantados en el periodo 1970 - 2002.

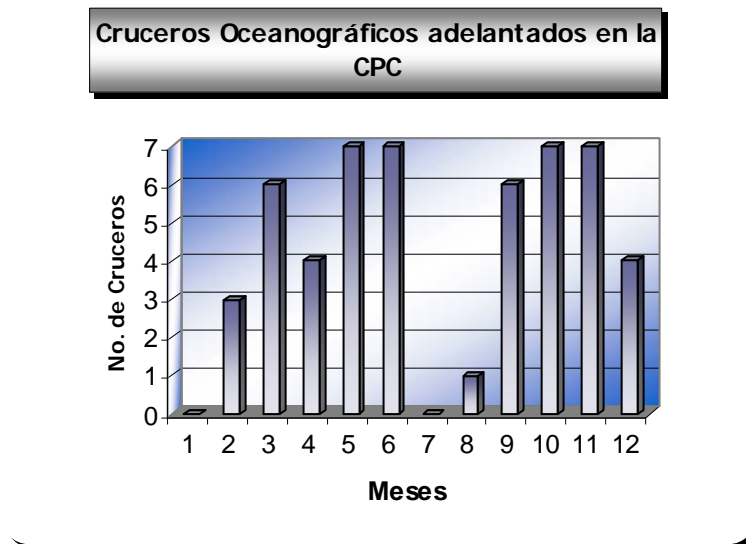


Figura 1. Número de cruceros oceanográficos llevados a cabo desde 1970 hasta el 2002.
Fuente: Devis et. al., 2002

Como se observa en la figura 1, existen meses sin datos, como lo son enero y julio, lo cual no permite tener un conocimiento de la dinámica de algunos procesos atmosféricos ocurridos a lo largo de un año; como por ejemplo, la interacción de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) sobre la CPC. Por otro lado, los monitoreos realizados

no siempre contemplan todos los puntos de monitoreo establecidos en la CPC, existiendo sectores con mayor cantidad de observaciones que otros.

De manera paralela, a nivel nacional se decidió estandarizar las mediciones y observaciones para consolidar una red básica nacional de estaciones meteorológicas e hidrológicas, por esto, en 1969 se creó el Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología (SCMH) con la orientación y asesoría técnica de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). En el año 1976 el SCMH se convirtió en el instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT), que prestó una mayor atención a los programas de adecuación de tierras, para cubrir las necesidades de información meteorológicas en los distritos de riego.

Con la Ley 99 de 1993 se creó el Ministerio del Medio Ambiente y otros institutos de investigación entre ellos el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que actualmente tiene la responsabilidad de la operación y mantenimiento de la red de observaciones y mediciones hidrometeorológicas, entre otras funciones (IDEAM, 2005).

La información meteorológica con que cuenta la CPC, es la tomada por las estaciones meteorológicas ubicadas en la zona costera, lo que ha permitido realizar caracterizaciones climáticas de la CPC como las encontradas en la Compilación Oceanográfica de la Cuenca del Pacífico Colombiano, 2002 (Devis et. al, 2002). Sin embargo, dicha información corresponde a la zona continental o franja costera de la CPC, y no tiene una cobertura espacial significativa con respecto al total del área que comprende la CPC. Desde el punto de vista práctico, el presente estudio busca mostrar los lugares o áreas significativas donde se deben localizar estaciones monitoreo meteorológico y oceanográfico.

Como se observa en la figura 2, la distribución en el litoral pacífico de las estaciones meteorológicas con que cuenta el IDEAM es poca, en comparación con las ubicadas en el Centro y Norte del país.

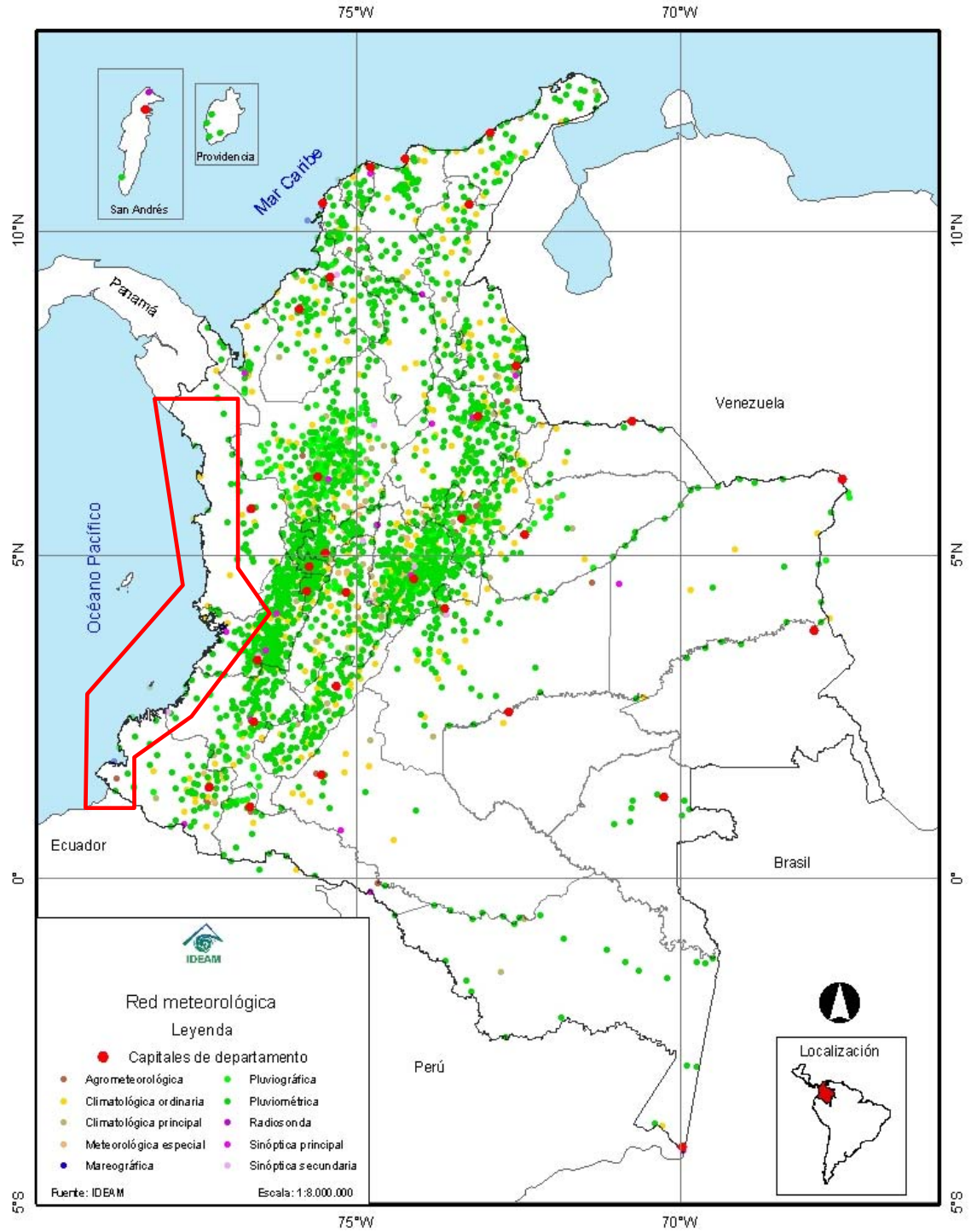


Figura 2: Mapa con red de estaciones del IDEAM
Fuente: IDEAM www.ideam.gov.co

Colombia, por su ubicación geográfica, tiene dos mares, por lo que ha hecho parte de las diferentes alianzas regionales del GOOS, es así que para el mar Caribe existe IOCARIBE y para el Océano Pacífico el GRASP. El objetivo de las alianzas regionales es que los países tengan el desarrollo gradual de sus redes de medida para determinar y obtener información de parámetros oceanográficos, meteorológicos y biológicos.

El Sistema de Medición de Parámetros Oceanográficos y de Meteorología Marina - SMPOM es una iniciativa nacional llevada adelante por la Dirección General Marítima - DIMAR, que busca responder a las necesidades regionales del GOOS, participando con el aporte de información meteorológica y oceanográfica tomada con instrumentos de medida reconocidos a nivel mundial de última tecnología.

En cuanto a estudios realizados con el fin de caracterizar las aguas de la CPC dividiéndola por sectores, se tiene zonas homogéneas según análisis de cluster, basado en la información oceanográfica (Málikov, 2000; Villegas, 2002), en el cual se utilizaron valores de temperatura y salinidad de 82 estaciones de muestreo, teniendo cada una 12 profundidades estándar (0 a 500 metros) y a su vez cada profundidad utiliza los valores mensuales mencionados. Dichos datos fueron obtenidos por aproximación polinomial de información iniciales de los cruceros llevados a cabo desde el 1970 hasta el 2000. De dicho trabajo se obtuvieron 7 zonas, mostradas en la figura 3. También se ha realizado un modelo matemático regional de las características dinámicas y termohalinas de la CPC, basado en las ecuaciones de movimiento de un líquido viscoso no comprimido en coordenadas esféricas en aproximaciones de Boussinesq y de hidrostática, ecuaciones de la transferencia de calor y de sal y ecuación de estado del agua marina (Villegas y Neelov, 2002; Villegas, 2003; Villegas y Málikov, 2007); cuya información aún no ha sido utilizada para la comparación de los resultados de Málikov (2000) y Villegas (2002), ni tampoco se ha hecho este tipo de sectorización teniendo en cuenta variables meteorológicas de la CPC.

De esta manera se observa que para el desarrollo de las investigaciones sobre las características dinámicas y termohalinas de la CPC, se requiere disponer de una grilla más densa de estaciones de observación y medición de variables oceanológicas y atmosféricas y en consecuencia, los estudios sobre el tema de la presente tesis aun son pocos, siendo importante el aporte que se hace para el monitoreo de las variables meteorológicas y oceanográficas de la CPC, con los resultados del presente estudio.

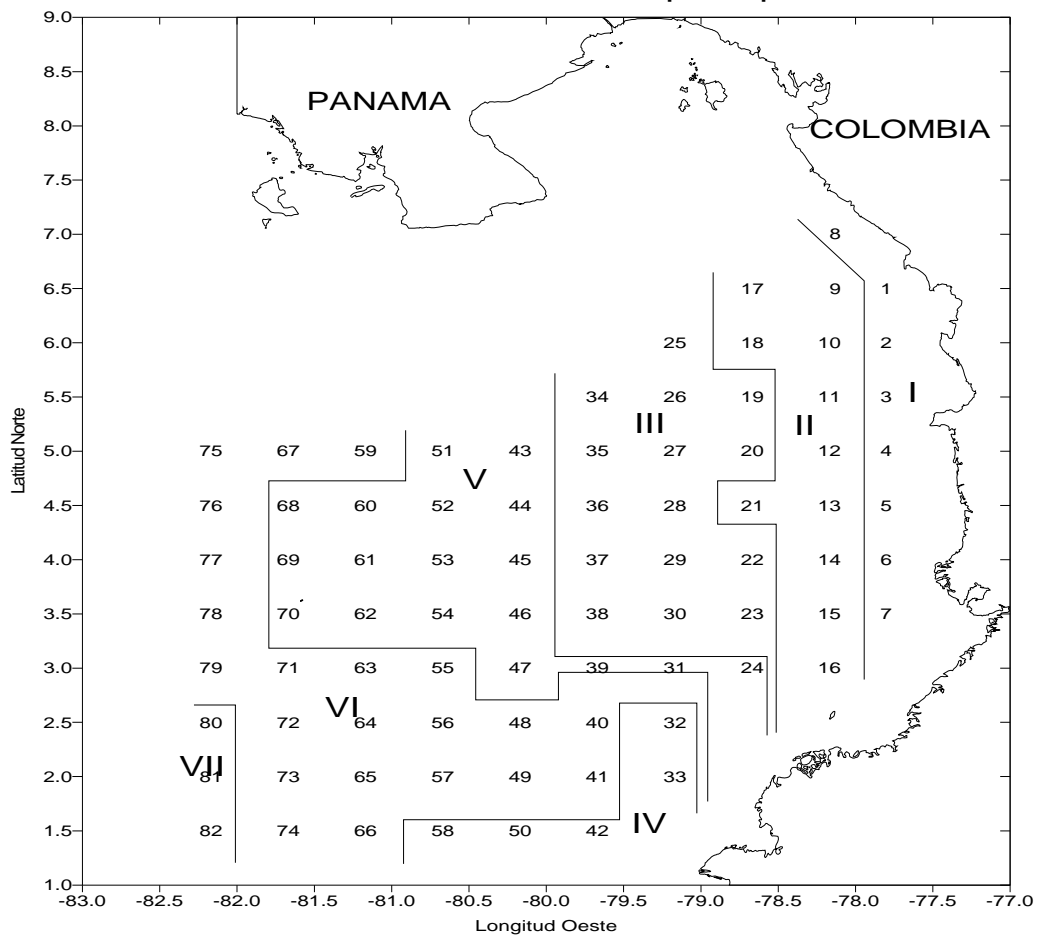


Figura 3: Distribución de las zonas homogéneas del Pacífico Colombiano en la capa Superficial
Fuente: Málikov, 2000; Villegas, 2002

6. OBJETIVOS

El objetivo general de esta investigación es determinar la ubicación de estaciones de monitoreo de las aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano a través del estudio de datos meteorológicos y oceanográficos.

Los objetivos específicos son:

- Definir la información meteorológica y oceanográfica sobre la Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC) existente en bases de datos nacionales e internacionales
- Identificar los instrumentos de medida utilizados actualmente para el monitoreo de las variables meteorológicas y oceanográficas de la CPC
- Determinar la climatología de las masas de agua y de las masas de aire de la CPC
- Identificar la correlación entre las variables oceanográficas y meteorológicas en la CPC
- Establecer puntos estratégicos de monitoreo de parámetros oceanográficos y meteorológicos sobre la CPC

7. GOOS - GLOBAL OCEAN OBSERVING SYSTEM

El GOOS (Global Ocean Observing System) es el Sistema Mundial de Observación de los Océanos – SMOO.

Un solo cuerpo de agua, rodea la tierra. Desde el hielo ártico pasando por las calientes aguas del ecuador hasta llegar a la corriente circumpolar antártica, todo el planeta incluyendo océanos, mares, bahías y ensenadas, están conectadas. El SMOO está diseñado y se está implementando para rodear el océano como un solo cuerpo y proveer una observación global del sistema oceánico.

El SMOO es un sistema de programas, cada uno de los cuales trabaja en diferentes y complementarios aspectos para el establecimiento de una capacidad de observación operacional del océano en todas las naciones del mundo. En las asambleas de sus patrocinadores, las Naciones Unidas y la UNESCO, se asegura una cooperación internacional, siendo esta la primera prioridad del SMOO.

El SMOO es el componente oceanográfico del Sistema Mundial de Observación de la Tierra GEOSS (por sus siglas en inglés).

El SMOO esta diseñado para:

2. Monitorear, entender y predecir el tiempo y el clima
3. Describir y pronosticar el estado del océano, incluidos los recursos vivos
4. Mejorar la administración marina y los ecosistemas costeros y sus recursos
5. Mitigar los daños por peligros naturales y contaminación
6. Proteger la vida y la propiedad en las costas y el mar
7. Permitir la investigación científica

El SMOO es la plataforma para:

1. La cooperación internacional y la observación continúa del océano
2. La generación de productos y servicios oceanográficos
3. interacción entre investigadores, comunidades y usuarios operacionales

El SMOO sirve a:

Investigadores oceanográficos, administradores costeros, países que son parte de los convenios internacionales, agencias oceanográficas y meteorológicas nacionales, oficinas hidrográficas, industrias marinas y costeras, hacedores de política y público en general.

En la figura 4 se observa la estructura del SMOO (GOOS), la cual se explicará a continuación.

7.1.2 Coordinación

En la figura 4 se encuentra la GOOS Project Office (Cuadro Blanco), la cual es la oficina de proyectos del SMOO donde se realiza la organización y coordinación central del SMOO. Dicha oficina se encuentra dentro de la COI – UNESCO con sede en París, Francia.

7.1.3 Implementación

De igual manera en la figura 4, encontramos que de la Coordinación salen dos subdivisiones, la primera en el JCOMM (cuadro azul de la parte inferior derecha) y la segunda en el GOOS Regional Aliances (cuadro azul de la parte inferior izquierda)

En la primera, se encuentra el JCOMM, que es la Comisión Mixta OMM – COI sobre Oceanografía y Meteorología Marina – CMOMM. Esta comisión coordina, regula y gestiona total e integralmente la observación marina, la gestión de datos y servicios del sistema, utilizando las capacidades de las tecnologías más avanzadas, es quien responde por la atención de las necesidades de todos los usuarios de datos y productos marinos, e incluye un programa de divulgación para mejorar la capacidad nacional de todos los países marítimos. Uno de los recursos de divulgación es la Internet, mediante la página www.jcommops.org.

La CMOMM nace de la unión de esfuerzos entre la OMM y la COI por las necesidades de datos y servicios, ampliándose de manera constante en volumen y amplitud durante los últimos decenios. Otras aplicaciones, tales como la ordenación de las zonas costeras, la optimización de las actividades de pesca comercial, la ruta de los buques, el desarrollo de la exploración de recursos off-shore, la prevención y limpieza de la contaminación y más recientemente, el modelado del clima y su predicción, se convierte cada vez más en un requerimiento que se atiende en la CMOMM. Muchas de estas aplicaciones requieren de observación de conjuntos de datos y predecir los productos para los océanos y la atmósfera.

En la segunda división, se tiene las Alianzas Regionales para el SMOO (GRAs), las cuales son una herramienta fundamental para el establecimiento, desarrollo e implementación de SMOO y son creadas con el objeto de facilitar el monitoreo sostenido del océano y la atmósfera cumpliendo con las prioridades nacionales y regionales.

Las GRAs son formadas por acuerdo entre los países participantes, organizaciones nacionales y/o organismos internacionales (Organismos Marítimos Regionales, Convenciones de Mares Regionales, Redes de Monitoreo Regionales, entre otros), de conformidad a la política regional de GOOS. En la figura 4 se observan las alianzas regionales mundiales.

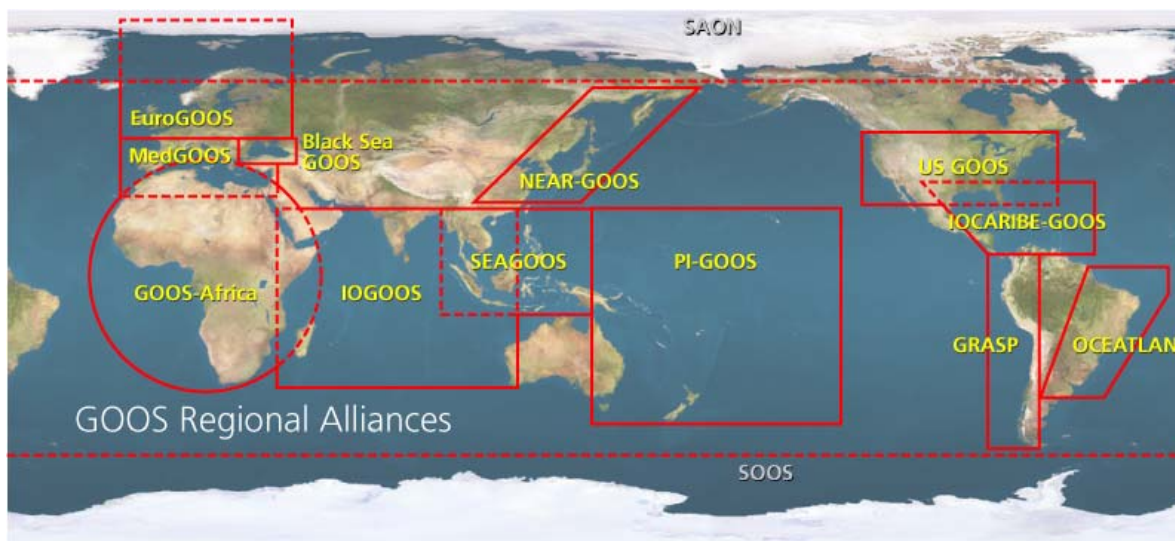


Figura 5: Conformación de las Alianzas Regionales GRAs
Fuente: www.goos.org

Colombia pertenece a dos de ellas, IOCARIBE-GOOS y GRASP (fig. 5).

El IOCARIBE esta concebida como una fuente básica de información, servicios y productos para apoyar desarrollo social y económico sostenible, el bienestar y la seguridad, a través de observaciones sistemáticas y las investigaciones sobre las costas y los mares en la región de IOCARIBE. Este sistema esta diseñado para que proporcione los productos y servicios que satisfagan las necesidades de los usuarios. Este sistema ofrece información del pasado, presente y futuro del estado de medio ambiente marino y costero, de los ecosistemas marinos, su biodiversidad y finalmente del tiempo y la variabilidad climática.

En la región del golfo de México y en los países caribeños, la información suministrada por el IOCARIBE, beneficia a innumerables actividades, por ejemplo el turismo, que es muy sensible a los cambios que puedan ocurrir en la región. Como esta, existen muchas actividades que son también sensibles a los cambios climáticos y que afectan la economía de los países.

Entonces, uno de los objetivos de las alianzas regionales es establecer, promover y desarrollar la concepción científica, donde se hace la evaluación de las capacidades y necesidades, como también el diseño estratégico que es la base para una ejecución real. (www.goos.org)

El GRASP nació en mayo de 2003 y surgió ya que la región del Pacífico Sudeste tiene un elemento común en la corriente de Humboldt, cuyas variaciones afectan el clima y la pesca. Para tratar con la variabilidad de este sistema tan complejo y su relación con el fenómeno “El Niño”, se propuso la realización de una serie de actividades coordinadas en la región en el marco de una Alianza Regional de GOOS para el Pacífico Sudeste

(GRASP). De igual manera, busca unir los esfuerzos nacionales que se llevan a cabo para el conocimiento y predicción del clima. (GOOS 2003)

De esta forma, se tiene que los objetivos del GRASP, son:

1. Coordinar esfuerzos a nivel regional para optimizar los recursos
2. Estudiar el sistema de corrientes costera del Este de manera integrada desde una perspectiva regional
3. Lograr el intercambio de datos y la apropiada disponibilidad de los mismos para los usuarios
4. Lograr una mejor coordinación de la investigación a nivel local, nacional y regional y el desarrollo de actividades operacionales
5. Poder ejecutar la oceanografía operacional como se está haciendo con la meteorología operacional
6. Tener un mejor acceso a proyectos de investigación internacionales (tales como Argo) para el desarrollo de capacidades
7. Facilitar el acceso a la investigación de los mares costeros de la región
8. Estudiar la variabilidad del océano operando a escalas de 20 - 40 días (www.cpps-int.org)

7.1.4 Estrategia y orientación

En la figura 4, se observa el Comité Directivo Científico del GOOS (circulo gris parte izquierda) que asesora al I-GOOS sobre asuntos científicos y técnicos incluyendo la estrategia, ejecución y proyectos pilotos. El comité se reúne anualmente y se compone de los miembros nombrados por las instituciones patrocinantes del SMOO, de socios de la organización y expertos invitados. En el 2005 se amplio el comité para incluir la supervisión de las zonas costeras.

Otro componente de estrategia, es el OOPC (Ocean Observations Panel for Climate) Panel de Observación del Océano para el Clima (circulo gris parte derecha), el cual es un grupo consultivo científico de expertos encargados de la orientación estratégica para el océano abierto del modulo del GOOS. Este comité se reúne una vez al año y tiene cerca de 10 miembros de Norte America, Europa y Japón.

7.2 Centro de Soporte para Plataformas de Observación IN-SITU del CMOMM (JCOMMOPS)

JCOMMOPS provee la coordinación a nivel internacional para la observación oceanográfica y marina de boyas a la deriva, boyas fondeadas en alta mar, buques de oportunidad y perfiladores sub-superficiales (boyas argo).

JCOMMOPS funciona bajo el auspicio de la CMOMM.

El JCOMMOPS ofrece varios servicios que pueden ser consultados vía Internet en el vínculo <http://wo.jcommops.org/cgi-bin/WebObjects/JCOMMOPS>.

Dentro de los servicios a resaltar, esta el modulo de monitoreo con la información mas reciente de las plataformas de observación con que cuenta el sistema en todo el mundo. Es de resaltar que la información allí encontrada, depende del reporte de cada nación.

7.2.1 Estado de la Red CMOMM

En el vínculo Web http://www.jcommops.org/network_status/ se encuentra la información suministrada por 64 naciones que han implementado redes de observación de los océanos.

Allí encontramos mapas con la información en tiempo real y estadísticas del estado de las siguientes redes de medición (figura 6):

- Panel de Cooperación de datos de boyas (DBCP) incluidos boyas a la deriva superficial y boyas fondeadas de mar abierto.
- El equipo de barcos de observación (SOT) incluido los buques de oportunidad para la observación (SOOP) XBT , barcos voluntarios de observación (VOS) y el programa aerogeológico automatizado a bordo (ASAP)
- El Sistema Global de Observación del Nivel del Mar (GLOSS) mareógrafos
- La red Argo de Boyas Flotadores sub - superficiales

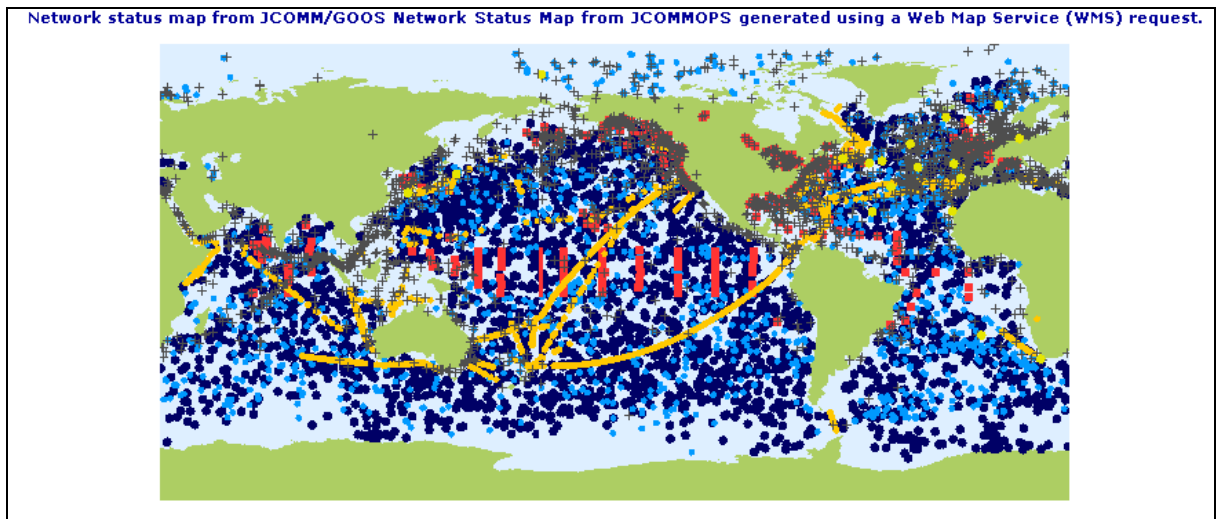


Figura 6: Mapa de información en tiempo real del estado de las redes de medición
Fuente: http://www.jcommops.org/network_status/

El despliegue de la información funciona bajo un Sistema de Información Geográfica SIG, donde el usuario puede hacer la consulta con la selección de un área específica a su gusto.

En la figura 7 se observa la información de la CPC encontrada en el sistema al 06 de Octubre de 2008

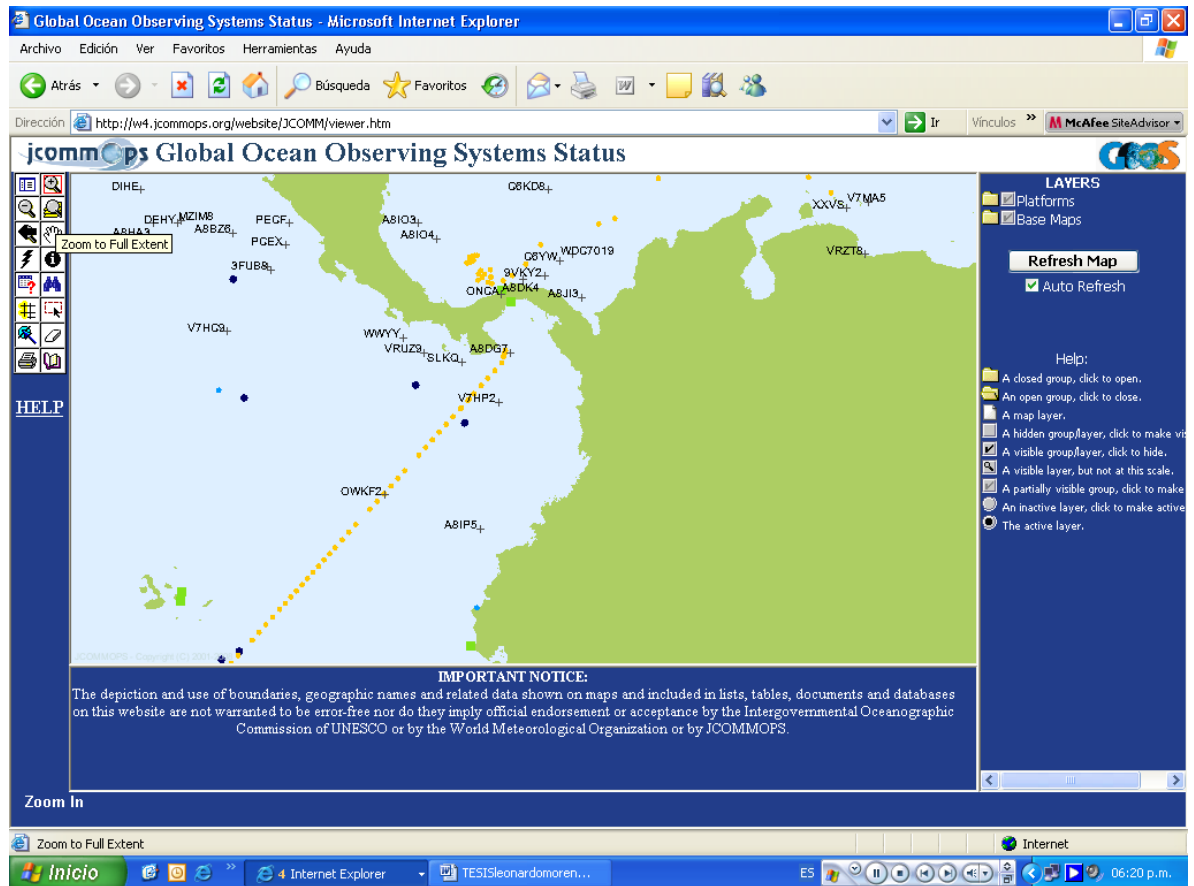


Figura 7: Mapa detalle de la CPC con la información del 06 de octubre de 2008.
Fuente: http://www.jcommops.org/network_status/

La información sobre la CPC es dada por algunos barcos de oportunidad o barcos voluntarios de observación como se aprecia en la figura 7.

7.2.2 Plataformas Oceanográficas

Las plataformas usadas para la toma de información están clasificadas así:

- Perfiladores subsuperficiales
- Boyas fondeadas
- Boyas a la deriva
- Barcos de oportunidad.

A. Perfiladores subsuperficiales (Boyas Argo): este tipo de boyas toman datos hasta una profundidad de 2 kilómetros, haciendo perfiles de temperatura y salinidad. De manera

regular salen a la superficie y envían los datos capturados al sistema satelital Argo. Actualmente existen tres tipos de boyas perfiladoras las cuales funcionan de manera similar pero difieren en su diseño. Los tres modelos son: a) PROVOR construidas por MARTEC en Francia con colaboración del IFREMER, b) APEX (Autonomus Profile Explorer) producidas por Webb Research Corporation, USA y c) SOLO (Sounding Oceanographic Lagrangian Observers) diseñadas y construidas por Scripps Institution of Oceanography, USA. (www.jcommops.com)

El funcionamiento de los perfiladores es el siguiente (figura 8): Las boyas luego de ser lanzadas al océano comienzan a descender gracias a un sistema de bombeo hidráulico, el cual vacía la vejiga externa que se encuentra en la parte inferior de la boya. El instrumento desciende a una velocidad aproximada de 10 cm/s hasta alcanzar una profundidad de 1000 m donde se estabiliza (~6 horas) y comienza a derivar, lo cual hace entre 9 y 10 días aproximadamente. Al finalizar este intervalo de tiempo, mediante el mismo sistema la boya desciende hasta los 2000 m. Desde los 2000 m hasta la superficie, en un periodo de 6 horas aproximadamente, la boya asciende midiendo datos de temperatura y salinidad (en algunos casos están equipadas con sensores de oxígeno). Al llegar a superficie el instrumento transmite los datos obtenidos al satélite, el cual los retransmite a los Centros de Estudios asociados a nivel mundial. Después de cumplir el tiempo en superficie (de 6 a 12 horas) la vejiga se desinfla y la boya retorna a su densidad original y comienza a hundirse y así continuar el ciclo. Las boyas están diseñadas para hacer alrededor de 150 ciclos. (SHOA, 2008)

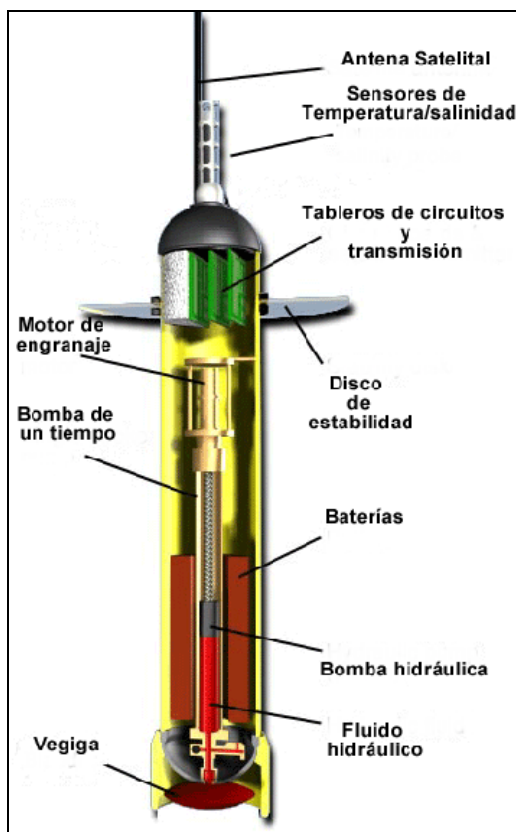


Figura 8: Estructura Boya Argo.
Fuente: www.shoa.cl

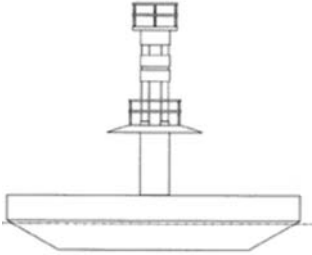
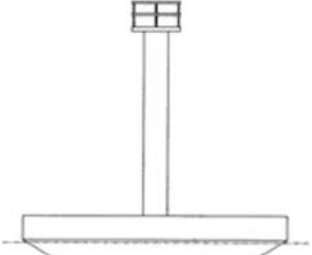

B. Boyas fondeadas: este tipo de boyas presentan diferentes características; su funcionamiento principal está dado al estar flotando y ancladas al fondo del océano mediante una línea de fondeo, que dependiendo la profundidad está hecha de diferentes materiales. El sistema de alimentación de energía es variado, pero en general existen dos mecanismos, baterías secas con un periodo de vida de 2 a 3 años y baterías recargables mediante paneles solares. Estas características les permiten tomar datos oceanográficos y meteorológicos de manera constante por largos periodos de tiempo y en intervalos programables, como también hacer la transmisión de la información en tiempo real por diferentes sistemas de comunicación (Satelite, VHF, mensajes de texto por celular, etc.), dependiendo de la configuración y la ubicación del equipo. Existen Boyas fondeadas para la costa y para el océano abierto (fig. 9).

En general estas boyas fondeadas deben proveer la siguiente información: Dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura del aire, temperatura superficial del mar, humedad, altura significativa de la ola y periodo de la ola. (www.jcommops.com)

En el caso del Centro Nacional de Boyas y Datos (NDBC) perteneciente a la National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA, se tienen 6 diferentes tipos de boyas fondeadas las cuales difieren en su tamaño y uso (figura 8). Existen las de 3, 10, y 12

metros en forma de disco (DISCUS), otra de 6 metros en forma de barco (NOMAD) y otras de 2.4, 1.8 y 1.5 metros para las zonas costeras (COLOS). La elección del tipo de casco usado depende de la ubicación y la necesidad de información requerida.

Tipos de boyas fondeadas:

 <p>12-METER DISCUS</p>	
 <p>10-METER DISCUS</p>	
 <p>3-METER DISCUS</p>	<p>Los cascos en forma de discos (DISCUS) de 12 y 10 metros son en acero. La boya de 12 metros esta diseñada para ambientes violentos, permitiendo su estabilidad. La boya de 10 metros es menos estable y hace que su mantenimiento sea más costo. Por su tamaño, estas boyas deben ser arrastradas por buques hasta su sitio de fondeo. La boya de 3 metros esta hecha en aluminio, teniendo un bajo costo de mantenimiento, pero su tiempo de fondeo y toma de información no es extenso.</p>

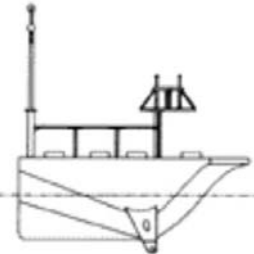


 <p style="text-align: center;">6-METER NOMAD</p>	<p>Las boyas de 6 metros en forma de barco están construidas en aluminio, son costosas pero permiten tener una gran resistencia a climas difíciles. Otra de sus ventajas es que permite una gran maniobrabilidad al ser transportadas al punto de fondeo.</p>
 <p style="text-align: center;">2.4-METER COASTAL</p>	<p>Las boyas COLOS tienen 3 tipos de medida 2.4, 1.8 y 1.5 metros. Son muy usadas a nivel mundial, presentando facilidad en la maniobra de fondeo, bajos costos de producción y precisión en la toma de información.</p>
 <p style="text-align: center;">1.8-METER COLOS</p>	<p>A nivel mundial existen muchos fabricantes que tienen desplegadas boyas con estas características, siendo usadas para estudios de dinámica costera y para el desarrollo de infraestructura portuaria e ingeniería costera.</p>

Figura 9: Boyas usadas en el NBDC.
Fuente: www.jcommops.org

C. Boyas a la deriva: Estas boyas difieren de las boyas fondeadas en su movimiento libre por el océano.

Existen dos tipos de boyas a la deriva, a) boyas FGGE y b) Boyas SVP como las que se observan en la figura 10.

Las características generales de las boyas FGGE es su altura de 2.3 a 2.4 metros, cerca de 90 kilos de peso y un diámetro de 0.6 a 0.8 metros. La velocidad y la dirección del viento la hacen de 1.0 a 1.5 metros. Los materiales de construcción son variados en sus cascos, aluminio, fibra de vidrio, poliéster y polipropileno.

Las boyas SVP son muy diferentes en su apariencia física. Esta boya es esférica de aproximadamente 35 centímetros de diámetro y su peso es de 30 Kilos. Esta se equipa con un "holeysock" que es una ancla sub - superficial de inmersión y sensores para detectar los periodos en los que la boya se ha sumergido.

Los parámetros que en general miden este tipo de boyas son: presión atmosférica, temperatura superficial del mar, dirección y velocidad del viento, temperatura del aire, salinidad y corrientes superficiales.

Los lineamientos de construcción de estas boyas están dados en el documento técnico No. 4 de 2001 generado por Panel de Cooperación de Datos de Boyas (DBCP).

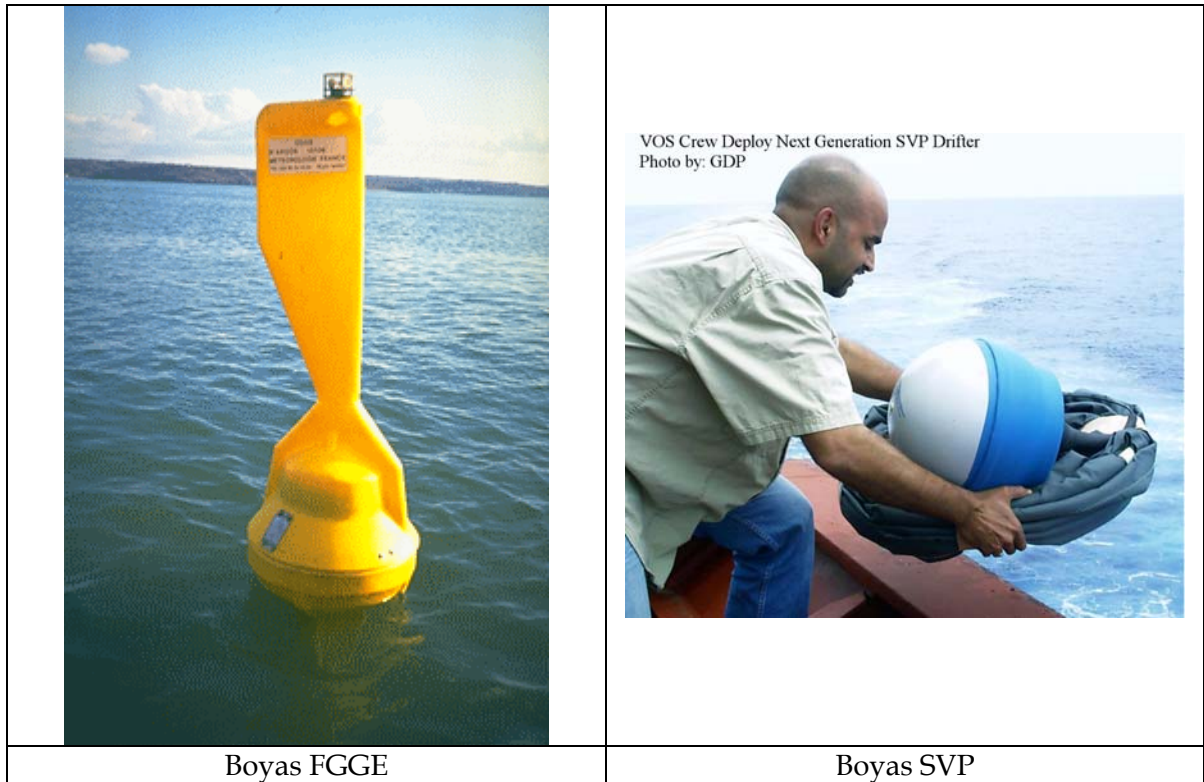


Figura 10: Boyas a la deriva.
Fuente: www.jcommops.org

D. Barcos de oportunidad: También llamado Programa de Buques de Oportunidad - SOOP. Este es un programa del Equipo de Buques de Observación - SOT. El SOT tiene otro programa llamado Esquema de Buques de Observación Voluntaria - VOS.

El SOOP esta dirigido a continuar con la operación de la red de buques de oportunidad con XBT, aunque también se esta realizando otras mediciones (TSG, XCTD, CTD, ADCP, pCO₂, concentración de fitoplancton)

Los XBT (batitermógrafos desechables) son equipos usados por los oceanógrafos durante muchos años para obtener información sobre la estructura de la temperatura del océano a profundidades de hasta 1500 metros. Básicamente el XBT (figura 11) es una sonda que se

lanza desde el buque para medir la temperatura del agua, la cual se conoce mediante dos pequeños cables que van unidos al buque y registran la información a medida que se va profundizando a una velocidad conocida. Esto permite tener un perfil de temperatura en la columna de agua.

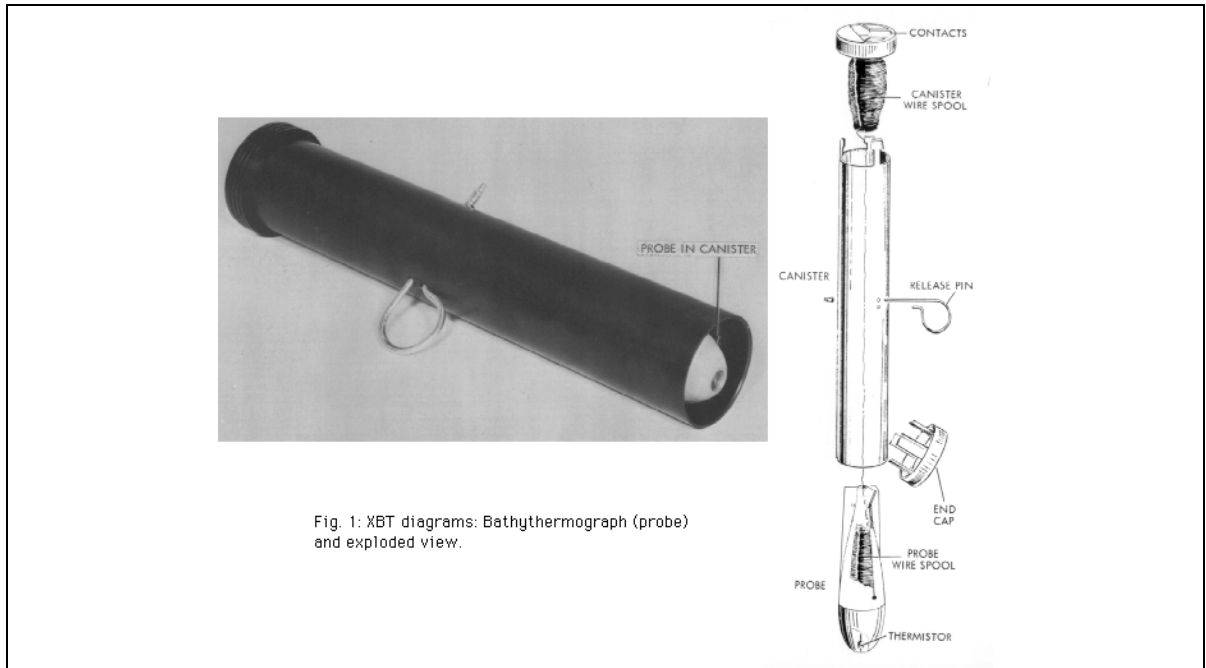


Fig. 1: XBT diagrams: Bathythermograph (probe) and exploded view.

Figura 11: Diagrama de un XBT.
Fuente: <http://www.jcommops.org>

Más recientemente se ha desarrollado el XCTD (sistema de perfilamiento en profundidad de temperatura, salinidad y conductividad), el cual es un sistema que permite obtener mayor información en los perfiles que se llevan a cabo.

7.2.3 Estaciones Meteorológicas

Con este tipo de plataformas se inició el registro de las variables meteorológicas (1645-1651) y siguen siendo usadas por todo el mundo en especial en la franja costera o litoral, teniendo un seguimiento de los procesos que ocurren de la interacción océano atmósfera en la franja continental.

Las estaciones meteorológicas se componen de diferentes instrumentos que permiten conocer los cambios de las variables meteorológicas de un sitio o zona específica. Según su uso, las estaciones meteorológicas se clasifican en: estación climatológica principal y estación climatológica ordinaria.

La estación climatológica principal es aquella en la cual se hacen observaciones de precipitación, temperatura del aire, temperaturas máxima y mínima a 2 metros, humedad, viento, radiación, brillo solar, evaporación, temperaturas extremas del tanque de

evaporación, cantidad de nubes y fenómenos especiales. Gran parte de estos parámetros se obtienen de instrumentos registradores.

La estación climatológica ordinaria es aquella en la cual se hacen observaciones de temperatura del aire y precipitación, primordialmente. Poseen muy poco instrumental registrador. Algunas llevan instrumentos adicionales tales como tanque de evaporación, heliógrafo y anemómetro. (IDEAM, 2001a).

Las observaciones meteorológicas de superficie se hacen visualmente y por medio de instrumentos meteorológicos. Estos se pueden dividir en dos clases fundamentales:

Instrumentos de lectura directa: Son todos aquellos que no inscriben las mediciones en una faja de papel, por lo general, son más precisos pero cada medición requiere de una lectura.

Instrumentos registradores: Son aquellos en los cuales los valores que va tomando la variable son registrados en una faja de papel unida a un tambor o rodillo que da vueltas con el paso del tiempo y como resultado se obtiene una curva que representa la variable meteorológica en función del tiempo.

La variable que se mide y los respectivos instrumentos de medición y/o registro se relacionan en la tabla 1:

Tabla 1: Instrumento de medición y variables meteorológicas que se miden con las estaciones meteorológicas.
Fuente: IDEAM, 2001a

VARIABLE	INSTRUMENTO DE LECTURA DIRECTA	INSTRUMENTO REGISTRADOR
Temperatura del aire	Termómetro	Termógrafo
Temperatura del agua y del suelo	Termómetro	Batitermógrafo y geotermógrafo
Humedad atmosférica	Higrómetro	Higrógrafo
Precipitación	Pluviómetro	Pluviógrafo
Evaporación	Tanque de evaporación	Evaporígrafo
Velocidad y dirección del viento	Anemómetro	Anemógrafo
Insolación		Heliógrafo
Radiación		Actinógrafo

En la actualidad se realizan las lecturas de recopilación de información de estas estaciones meteorológicas mediante un observador meteorológico, que es una persona que de manera voluntaria hace el registro de la información y el mantenimiento preventivo de los instrumentos que los componen. La lectura de la información debe hacerse de manera

puntual y diez minutos antes de las horas establecidas, las cuales son las 7:00, las 13:00 y las 19:00 horas. De esta manera los Servicios Meteorológicos Nacionales recopilan la información que ha servido como base para establecer la climatología de las zonas costeras o de litoral.

Gracias a los avances tecnológicos, las estaciones meteorológicas toman y transmiten la información de manera automática. El sistema de comunicación puede ser vía satélite, ondas de radio, red celular, etc. A estas plataformas se les llama Estaciones Meteorológicas Automáticas EMA. La EMA presentan una gran confiabilidad y permite hacer la toma de información en lugares alejados o de difícil acceso.

7.2.3.1 Estación Meteorológica Automática Satelital

A continuación se describe la EMAS (Estación Meteorológica Automática Satelital) que opera en el Servicio Meteorológico Nacional de Colombia (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM), como también en la DIMAR.

La EMAS funciona con transmisión vía satélite GOES, A continuación se esbozarán sus componentes tecnológicos y modo de operación.

La EMAS GOES, esta compuesta por sensores que permiten conocer con exactitud la temperatura y humedad de aire a 2 metros, la radiación solar, la presión atmosférica, la dirección y velocidad del viento a 10 metros y la precipitación. Adicionalmente se compone de elementos como una torre autoportable a 10 metros, gabinete, Datalogger (unidad procesadora y almacenadora de datos), baterías, paneles solares y finalmente el sistema de comunicación satelital GOES, compuesto de transmisor GOES y antena Yagi. (Figura. 12)



Figura 12. Sensores y elementos que componen la estación meteorológica automática con transmisión satelital GOES.
Fuente: Este trabajo de tesis

7.2.3.1.1. Descripción de los sensores meteorológicos que componen la estación:

7.2.3.1.1.1 Sensor de velocidad y dirección del viento.

El sensor de velocidad y dirección del viento es del tipo ultrasónico, es decir que no tiene partes móviles para su funcionamiento, sino que funciona por medio de transductores. Su funcionamiento es el siguiente:

El sensor ultrasónico toma la medida de tiempo de un pulso ultrasónico que viaja desde el transductor Norte hasta el transductor Sur. De igual manera se compara el tiempo transcurrido entre el transductor Oeste hasta el transductor Este. En la Figura 13 se muestra de manera simple la teoría de funcionamiento.

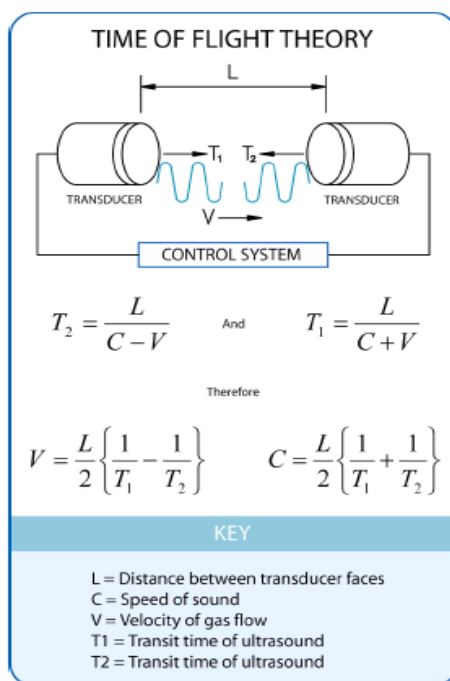


Figura 13. Teoría de funcionamiento del sensor de viento ultrasónico.
Fuente: Manual de operación Sensor de Velocidad y Dirección del Viento ultrasónico

Datos técnicos

Tabla 2: Datos técnicos del Sensor de Velocidad y dirección del viento ultrasónico.
Fuente: Manual de operación Sensor de Velocidad y Dirección del Viento ultrasónico

Unidades de Medida	Metros / segundos (m/s) Kilómetros por hora (kph) Millas por hora (mph) Pies por minuto (fpm)
Parámetros	Velocidad y dirección
Velocidad del Viento	
Rango	0 - 60m/s
Precisión	± 2% (12 m/s)
Resolución	0.01 m/s
Dirección del viento	
Rango	0 - 359°
Precisión	± 3° (20m/s)
Resolución	1°
Requerimiento de poder	9 - 30 V DC.

7.2.3.1.1.2 Sensor de radiación solar

El modelo que se describirá será el CM11 que posee las siguientes características:

El piranómetro CM 11 se ha desarrollado para medir la intensidad de radiación (flujo de radiación, vatios/m²) en una superficie plana. La intensidad de radiación resulta de la radiación solar directa y de la radiación difusa, que incide desde el hemisferio celeste superior. Puesto que el CM 11 es independiente de cualquier oblicuidad, también puede medir la radiación solar en superficies inclinadas; si se coloca al revés puede medirse la radiación solar reflejada.

El piranómetro CM 11 cumple con las especificaciones para un "estándar secundario", es decir, la mejor de tres clases, tal y como se publica en la "Guide to meteorological Instruments and Methods of Observation", quinta edición 1983, de la "World Meteorological Organization" (WMO) en Ginebra, Suiza.

La clasificación WMO ha sido homologada, mejorada y ampliada por la "International Standard Organization" ISO que la ha publicado como ISO 9060. Este estándar forma parte de una serie completa que especifica los métodos y los aparatos para medir la radiación solar.

Bases de funcionamiento

El piranómetro CM 11 está equipado con un detector térmico. Este tipo de detector reacciona a toda la energía absorbida y teóricamente no es selectiva (en lo que se refiere a la distribución espectral). De ello se deduce que el detector térmico desnudo es sensible frente a la radiación infrarroja de onda larga (radiación calórica > 3.000 nm) del entorno. La energía de radiación es absorbida por un disco pintado de negro. El calor resultante fluye por una resistencia térmica para la derivación del calor (al cuerpo del piranómetro) La diferencia de temperatura en la resistencia térmica del disco se transforma en una tensión.

El aumento de temperatura se ve influenciado por el viento, la lluvia y las pérdidas de radiación térmica al entorno. Por ello, el detector está protegido por dos semiesferas de cristal. Las semiesferas de cristal permiten transmitir el componente solar directo en todas las posiciones del sol en la semiesfera celeste. El ámbito espectral del piranómetro queda limitado por la permeabilidad del cristal (véase fig. 14).

El cartucho desecante en el cuerpo del aparato evita la formación de rocío en la parte interior de las semiesferas de cristal que, en noches claras y con el viento en calma, pueden enfriarse considerablemente.



Figura 14. Sensor de Radiación Solar.
Fuente: Manual de operación Sensor de Radiación Solar

Datos técnicos

Tabla 3: Datos técnicos del Sensor de Radiación Solar.
Fuente: Manual de operación Sensor de Radiación solar

Unidades de Medida	$\mu\text{V}/\text{Wm}^2$
Parámetros	Radiación solar
Intensidad de radiación	0 - 1.400 W/m^2
Sensibilidad	4 - 6 $\mu\text{V}/\text{Wm}^2$

7.2.3.1.1.3 Sensor de temperatura y humedad relativa del aire

El sensor usado por la EMAS para la medición de la temperatura y humedad del aire es una versión llamada compact (fig. 15).

La aplicación de los sensores de humedad capacitivos garantiza:

- Gran estabilidad a largo plazo
- Línea de característica casi lineal
- Buen comportamiento dinámico
- Resistencia al rocío
- Coeficiente de temperatura pequeño
- Histéresis pequeña

Datos técnicos

Humedad

Campo de medición: 0...100 % humedad relativa
Desviaciones (95% hum.rel. a 10...40 °C) : ± 2 % hum.relativa
Tiempo de respuesta (T 90) : 10 s ($\geq 1,5$ m/s)

Temperatura

Campo de medición: -30 ... +70°C (mA, salida en V)
Tiempo de respuesta (T 90) : 20 s ($\geq 1,5$ m/s)

Otros

Temperatura ambiente: -40... +80°C
: -40... +100°C
Grado de protección sensor: IP 30
Grado de protección electrónica, cabezal de conexión: IP 65
Tensión de servicio Salida I: 12...30 V DC



Figura 15. Sensor de Temperatura y Humedad.
Fuente: Manual de operación Sensor de Temperatura y Humedad

Carcaza Protectora

Los sensores de humedad y temperatura desprotegidos o mal protegidos puede indicar datos de medición erróneos causados por la radiación y la precipitación. Asimismo, si se emplean sensores desprotegidos aumenta el peligro de averías mecánicas (fig. 16). Empleando la protección contra los agentes meteorológicos y la radiación en combinación con sensores de temperatura y humedad adecuados, se minimiza considerablemente la posibilidad de influencias nocivas causadas por la radiación, la lluvia o el deterioro. Unos resultados de medición más exactos se obtienen mediante el empleo del protector ventilado contra los agentes meteorológicos y la radiación. Mediante la ventilación se reducen los errores originados por la formación de un "clima propio" en las casetas meteorológicas.



Figura 16. Carcaza protectora Sensor de Temperatura y Humedad.
Fuente: Manual de operación Sensor de Temperatura y Humedad

7.2.3.1.1.4 Sensor de Precipitación (Pluviómetro)

El sensor de precipitación funciona de manera convencional, es de tipo balancín, y registra impulsos eléctricos al Datalogger.

Principio de funcionamiento

La lluvia entra en la embudo a través de un orificio trabajado a máquina y llena uno de dos cubos situados dentro de la tanque. Cada extremidad del cubo representa 0.01 pulgada (0.25 milímetro) de lluvia. La precipitación recogida después se acanala al embudo pequeño dentro del instrumento y se dirige a uno de dos cubos que inclinan. Cuando un cubo llena, su peso inclina el cubo siguiente en la posición y el primero se vacía. Fig. 17

Dos consideraciones generales se deben tener en cuenta para la escoger el lugar de instalación del pluviómetro. Se debe escoger un lugar que esté protegido contra el fuerte viento ya que puede representar el 5% de error en la medición. Se debe alejar de obstáculos, en promedio 4 o 5 veces de la altura del obstáculo, a pesar de se una protección contra los vientos fuertes puede bloquear la trayectoria normal de la lluvia.

Datos Técnicos

Tabla 4: Datos técnicos del Sensor de precipitación tipo balancín.
Fuente: Manual de operación Sensor de precipitación tipo balancín

Unidades de Medida	Mm
Orificio de recepción	8" Dia. (20 cm)
Resolución	0.01" (0.25mm)
Sensibilidad	0.01" (0.25mm)

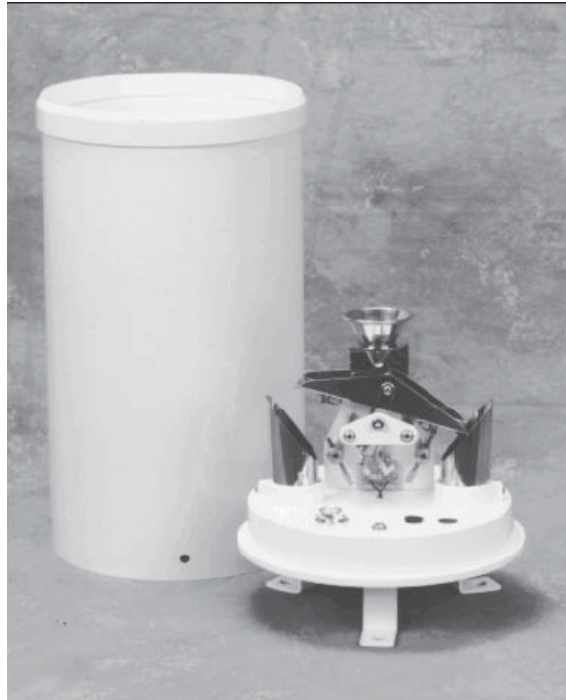


Figura 17. Sensor de Precipitación tipo Balancín.
Fuente: Manual de operación Sensor de precipitación tipo balancín.

7.2.3.1.1.5 Sensor de Presión atmosférica (Barómetro)

Principio de funcionamiento

En los transmisores de presión PTB 100 se emplea un sensor de presión absoluta de silicio capacitativo. Este sensor unifica las excelentes propiedades elásticas y mecánicas del silicio monocristal con el eficaz principio de medición capacitativa. Se caracteriza por una gran exactitud y una extrema estabilidad a largo plazo en mediciones barométricas. (Fig. 18)

Los transmisores de presión poseen una salida analógica de 0...5 V DC y pueden conectarse arbitrariamente mediante técnica de 3 ó 4 vías. El tipo de funcionamiento puede seleccionarse con un puente enchufable y permite, a continuación, la conexión o desconexión mediante un impulso de disparo externo.



Figura 18. Sensor de Presión Atmosférica.
Fuente: Manual de operación Sensor de presión atmosférica.

Datos Técnicos

Tabla 5: Datos técnicos del Sensor de Presión atmosférica.
Fuente: Manual de operación Sensor de presión atmosférica

Unidades de Medida	hPa
Área de Medición	600 a 1060 hPa
Resolución	0.1 hPa
Sensibilidad de tensión	< 0.1 hPa
Salida Eléctrica	0 - 5 V DC

7.2.3.1.1.6 Datalogger (Unidad Almacenadora de Datos)

En éste caso se hablará de un datalogger conocido como LogoSens, de la fábrica alemana OTT, el cual se describe brevemente a continuación.

LogoSens es un administrador de estación especialmente concebido para la hidrometría, la meteorología y sistemas medioambientales.

En su versión estándar dispone de ocho canales de entrada de libre configuración. En caso necesario, LogoSens se puede ampliar a 16 canales mediante una placa de ampliación. En la base de datos de LogoSens se pueden memorizar 30 canales lógicos (+ 1 canal de información).

Las regletas de terminales enchufables permiten una conexión fácil de los sensores, de las interfases de comunicación así como de la alimentación de tensión sin que el aparato se deba abrir. La configuración y la parametrización se realizan mediante el software de PC

“Programa de operación LogoSens”. Este software permite adaptar la estación de medición de forma fácil y cómoda a los requerimientos más variados. Así, por ejemplo, los sensores se pueden conectar a cualquiera de las regletas de terminales de entrada.

El manejo de LogoSens se realiza in situ mediante un “jog shuttle” (botón de mando especial que se puede girar y pulsar). En combinación con un display apto para gráficos se puede consultar el nombre, la tensión de la batería y la hora del sistema de LogoSens, así como los valores instantáneos y los mensajes de error de los sensores conectados. Todas las entradas disponen de una protección contra sobretensiones. El reducido consumo de corriente de este equipo permite su alimentación mediante placas fotovoltaicas. El administrador de estación LogoSens, en combinación con un módem GSM (módem radiotelefónico), permite hacer funcionar una estación de medición de forma completamente autónoma. En este caso, la parametrización y la lectura de los datos se realiza cómodamente a través de la teletransmisión de datos.

LogoSens dispone además de una administración de alarmas que se puede configurar según las necesidades: Al producirse determinados eventos, LogoSens genera automáticamente una alarma y la envía a través de un módem, por ejemplo, a un centro de control. También es posible controlar los aparatos externos a través de salidas de contacto libres de potencial. Fig 19



Figura 19. Unidad almacenadora de datos Datalogger OTT.
Fuente: Manual de operación Datalogger OTT

El programa para la programación del Logo Sens, tiene toda la funcionalidad para programar los parámetros de cada sensor conectado, teniendo una capacidad de instalar hasta 16 sensores meteorológicos.

7.2.3.1.1.7 Transmisor satelital GOES

Se hará una breve descripción del transmisor satelital GOES, el cual apoya la transmisión unidireccional, vía satélite, desde un Datalogger a una Estación Terrena de Recepción Satelital GOES. Fig. 20

El transmisor satelital GOES, transmite datos vía los Satélites Geoestacionarios Ambientales Operacionales (GOES por sus siglas en Ingles). Los satélites GOES tienen orbitas que coinciden con la rotación de la tierra, permitiendo a cada satélite permanecer sobre una región específica, esto permite al usuario ubicar una antena fija en el cielo.

Son dos satélites, GOES este y GOES oeste. GOES este se localiza a 75° longitud oeste y GOES oeste 135° oeste. Juntos se encuentran sobre la línea del ecuador.

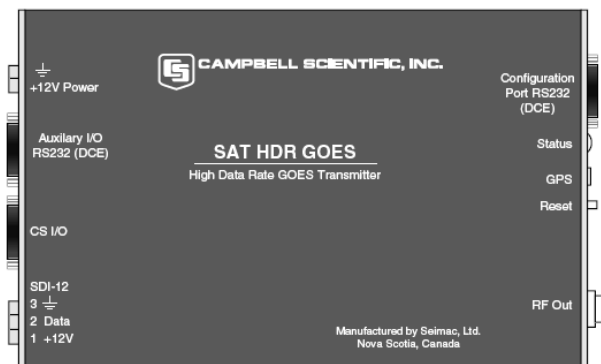


Figura 20. Transmisor satelital GOES, Campbell Scientific
Fuente: Manual de operación transmisor satelital GOES

Posee un LED que ilumina tres colores, el amarillo muestra que funciona correctamente, el rojo indica el modo seguro de falla, es decir que se presenta un problema en la transmisión. El verde indica el funcionamiento con algunas interferencias.

7.2.4 Sistemas de comunicación

Como lo hemos observado en la descripción de las plataformas, en la actualidad la información viaja a través de sistemas de comunicación satelital para el CMOMM, dentro de los cuales se tienen los siguientes:

Los sistemas satelitales pueden ser clasificados según la orbita y altitud en la cual se manejan:

GEO : Orbita terrestre Geoestacionaria. Altitud aproximada:	35.000 km.
MEO : Orbita Terrestre Media. Altitud Aproximada:	10.000 km.
LEO : Orbita Terrestre Baja. Altitud Aproximada:	<1.000 km.

Los del tipo LEO se pueden subdividir en las categorías Gran LEO y en Pequeño LEO. Los Gran LEO ofrecen voz, fax, telex, y transporte de datos, mientras los pequeños LEO ofrecen

solo capacidad de transportar datos ya sea en tiempo real o en almacenamiento de datos y retransmisión del servicio.

Los sistemas satelitales tienen la característica de que si disminuye la huella del satélite (recorrido), su órbita será más baja, es por esto que los sistemas LEO y MEO requieren grandes constelaciones (cantidad) de satélites, mientras los GEO tienen una cobertura global y evita retrasos en los datos. Por otra parte, los sistemas LEO y MEO requieren menor energía al estar más cerca de los receptores en tierra.

La tendencia mundial actual está en hacer más pequeños los satélites, para aplicaciones más específicas, los cuales solo tendrán una cobertura en grandes ciudades y no servirán para el monitoreo oceanográfico y meteorológico..

Las comunicaciones para el DBCP deben recopilar la información del GTS, para lo cual actualmente el sistema satelital IRIDIUM tiene un proyecto piloto.

En la tabla 6 se hace un resumen de los sistemas satelitales actuales.

Tabla 6: Sistemas Satelitales usados actualmente para la transmisión satelital de datos meteorológicos y oceanográficos.
Fuente: Meldrum, 2008

Sistema Satelital	Estado	Tipo de órbita	Observaciones
APRIZESAT	Operacional	Pequeña LEO	4 nanosatélites en órbita, 2 vías de comunicación, directed at asset tracking
ARGOS	Operacional	Pequeña LEO	Existen varios satélites extendidos, cuentan con dos vías de comunicación. Se ha usado por la comunidad oceanográfica por tres décadas en la toma de información y localización de plataformas. En el 2010 se pondrá en operación ARGOS 3 con dos vías de comunicación y mayor ancho de banda. es uno de los pocos sistemas que ofrece una cobertura real de todo el globo.
GLOBALSTAR	Operacional	Gran LEO	Cuenta con 48 satélites. La segunda generación está compuesta de 56 satélites LEO y 5 satélites GEO. Se completó en el 2007. El sistema Iridium es su principal competidor, su diferencia más significativa es que para hacer una llamada debe haber un satélite cerca, no existen satélites de respaldo. Su cobertura no es totalmente global.
GOES,	Operacional	GEO	Estos sistemas satelitales inicialmente

METEOSAT , GMS			funcionan para tomar y retransmitir imágenes del tiempo, pero soportan bajas tasas de información provenientes de plataformas colectoras (estaciones hidrometeorológicas). Estos sistemas satelitales tienen un servicio gratuito pero controlado. No son útiles para muchas de las plataformas usadas en el DBCP.
GONETS - D1	Operacional	Pequeña LEO	9 satélites en órbita
GONETS - D1M1	Operacional	Pequeña LEO	Inicio en diciembre de 2005 con 12 satélites, ahy paneados 4
INMARSAT C	Operacional	GEO	Usado principalmente para la navegación marítima, puede hacer transmisión de información de manera limitada.
INMARSAT D+	Operacional	GEO	Es una extensión de el Inmarsat D con una característica de bajo uso de energía, gran flexibilidad y con paquetes de información de 128 bits. usa tres satélites a nivel mundial.
IRIDIUM	Se puso en operación para el DBCP nuevamente	Gran LEO	66 satélites en órbita, 7 satélites de respaldo y 11 satélites por operar. ofrece una cobertura global real y tiene dos vías de comunicación, permitiendo enviar mensajes para la operación de las estaciones hidrometeorológicas.
ORBCOMM	Operacional	Pequeña LEO	35 Satélites en Órbita, 30 operacionales, en expansión a 48. Tiene una pobre cobertura en altas latitudes. traducir el aparte subrayado.

8. CUENCA DEL PACIFICO COLOMBIANO

8.1. Aspectos Geomorfológicos de la CPC

La localización de la CPC tiene como límites geográficos por el Norte las aguas del Golfo de Panamá, al Este el litoral occidental de Colombia compuesto por Chocó, Valle, Cauca y Nariño, al Sur las aguas de la costa ecuatoriana y la cordillera submarina del Carnegie (1350 Km. longitud, 300 Km. de ancho) y al Oeste el océano Pacífico, las aguas territoriales de Panamá y la cordillera de Cocos. (Trojer, H., 1958, Graefe et al.,1997 y Gutscher et al., 1999).Las dos cordilleras submarinas que enmarcan sus límites se unen en la plataforma de Galápagos, constituyendo uno de los 20 puntos calientes de planeta y elevándose desde más de 3700 metros hasta 1000 metros de profundidad, impidiendo procesos de intercambio de aguas profundas. La CPC se localiza en el margen occidental de la placa continental de Sudamérica (aprox. 200-300 Km. de espesor), que choca con la placa oceánica de Nazca (aprox. 50 Km. de espesor), la cual se hunde ocasionando en la fosa peruana-chilena una zona de subducción de 200-300 Km., a una velocidad media de 6 cm/año, que se extiende a lo largo de las costas occidentales del continente suramericano. Allí se encuentra la zona de fractura de Panamá, que presenta un centro litosférico en expansión con dos dorsales asísmicas: Malpelo y Coiba, con relieves poco marcados y el graben de Yaquina que es una dorsal en expansión reciente. (Gansser, 1950 y Scientific American, 1976)(fig. 21).

Las características geomorfológicas más importantes de la CPC son: La isla Gorgona, localizada sobre los 2°55' y 3°00' de latitud Norte y 78°09' y 78°14' de longitud Oeste, distante 30 km de la costa más cercana. La isla Malpelo localizada a 3°51' de latitud norte y 81°35' de longitud oeste. Ubicada a 270 millas náuticas al oeste del Buenaventura, es la única prolongación emergida del relieve oceánico submarino.

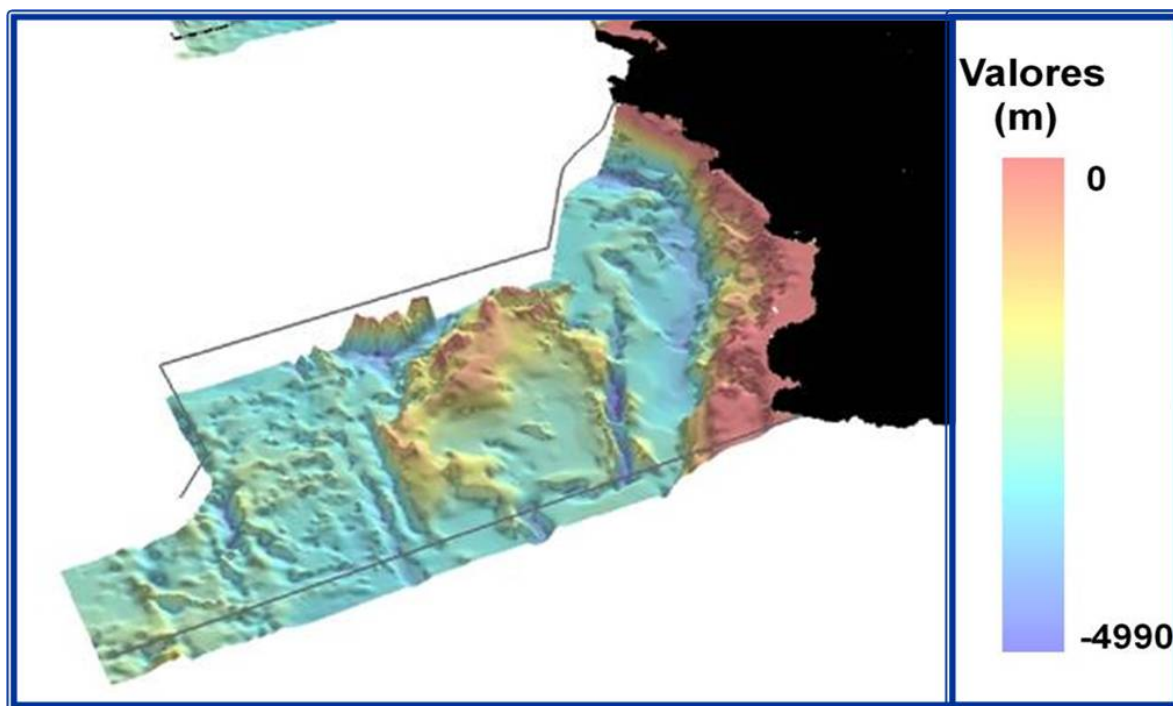


Figura 21: Modelo digital de profundidad la CPC.
Fuente: INVEMAR

8.2. Aspectos Meteorológicos de la CPC

El régimen climático de la CPC se encuentra bajo la influencia de los desplazamientos Sur-Norte-Sur sobre la franja ecuatorial de la ZCIT, la cual regula, en asocio con los sistemas pluviogénéticos regionales, la climatología de la CPC.

La Zona de Confluencia Intertropical es una zona de la atmósfera en la que confluyen dos masas de aire con baja presión relativa, se sitúa aproximadamente paralela al Ecuador y está ubicada entre dos núcleos de alta presión atmosférica. Esta zona, y las masas de aire que confluyen en ella, se desplaza con respecto al Ecuador siguiendo el movimiento aparente del sol, con un retraso de 5 a 6 semanas y una amplitud latitudinal media, aproximada, de 20° en África, 30° en Asia y 15° en América del Sur. (Eslava, et. al., 1986)

La diferencia de presión entre los núcleos de altas presiones y la Zona de Confluencia Intertropical, da origen a movimientos horizontales del aire desde los Trópicos hacia el Ecuador, los cuales se desvían por el movimiento de rotación de la tierra y soplan finalmente, desde el noreste en el sector ubicado en el norte y desde el sureste en el sur. Las áreas que no están, en un período dado, bajo la influencia de la Zona de Confluencia Intertropical, se condicionan a los efectos de masas de aire relativamente secas, subsidentes y estables y disfrutan, en términos generales, de buen tiempo, relativamente seco y soleado. Por el contrario, si están bajo la influencia de la Zona de Confluencia Intertropical, el cielo es nuboso y se presentan abundantes lluvias; algunas veces se originan turbulencias dinámicas y/o térmicas que ocasionan procesos de fuerte

convección (ascenso de aire), condensación del vapor de agua (al enfriarse por el ascenso) y precipitación. (Eslava, et. al., 1986)

En Colombia la Zona de Confluencia Intertropical fluctúa, aproximadamente, entre 0° de latitud, posición en la que se encuentra en enero-febrero y 10° de latitud norte, posición extrema que se puede alcanzar en julio-agosto. El desplazamiento ocasiona que en la mayor parte de Colombia se presente, durante el año, un doble máximo y un doble mínimo de precipitaciones y, por supuesto, también de los demás elementos meteorológicos. (Eslava, et. al., 1986)

En la región del Pacífico, especialmente en la zona norte, parece ser que la Zona de Confluencia Intertropical cede, en parte, su influencia predominante a un fuerte proceso de circulación ciclónica que se encarga de la formación de sistemas nubosos productores de fuertes y constantes precipitaciones. (Eslava, et. al., 1986)

También ejercen influencia fenómenos de escala local como los procesos convectivos e intercambios continente-océano-continente (brisas del mar). Durante determinadas épocas del año, otros fenómenos de mayor escala ejercen influencia sobre las condiciones medias, como la presencia de la depresión tropical en la bahía de Panamá y la incursión del aire polar (frente frío) sobre el Caribe colombiano, que afectan principalmente la dirección y velocidad de los vientos en la Zona Norte del Pacífico, aunque normalmente esta influencia no supera las 48 horas de duración (Devis et. al., 2002).

La caracterización meteorológica que hasta el momento se tiene de la CPC es el resultado de la extrapolación visual de lo que se conoce como el litoral Pacífico Colombiano, lo cual permite que la CPC se divida en: Zona Norte comprendida entre punta ardita hasta Pizarro (7°08' y 4°57' norte), Zona Centro desde Pizarro hasta El Coco Gorgona (4°57' y 3°00' norte) y Zona Sur entre El Coco Gorgona y Cabo Manglares (3°00' y 1°36' norte) Figura 22.

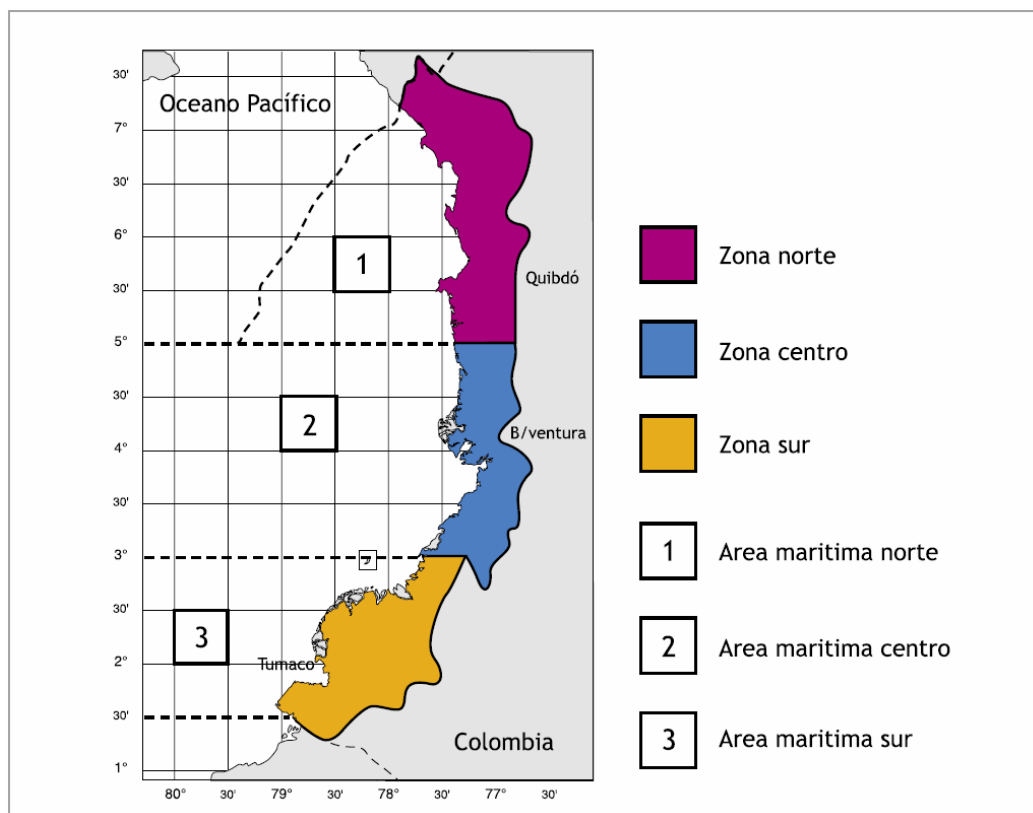


Figura 22: Delimitación de zonas climáticas en el Litoral Pacífico Colombiano
Fuente: Devis et. al., 2002

La Zona Norte: Es la zona con el índice de precipitación más alto del año, 6425 mm. Esto abarca todo el departamento del Chocó y es debido a su proximidad con la región selvática del Darien. Dentro de esta región se encuentra una de las zonas más lluviosas del mundo, con 12717 mm en Lloró (Chocó), influenciado grandemente por la baja anclada de Panamá. Los meses de mayor precipitación son mayo y agosto, coincidiendo con la presencia de la ZCIT, el primer trimestre del año presenta las menores lluvias, ya que la ZCIT está al sur del país.

La Zona Centro: es un clima predominantemente cálido, muy húmedo, con altas temperaturas y precipitaciones durante la mayor parte del año. La reducción de las condiciones de radiación se refleja en una oscilación muy pequeña de la temperatura alrededor de las medias anuales de 25 a 27°C a nivel del mar, con un ligero aumento en los valles del río San Juan de 26 a 28°C. La acumulación horaria de las precipitaciones puede presentar una acumulación de las lluvias hacia las horas de la tarde, la cual se debe principalmente al efecto de la circulación contraria, cuando el aire frío de las montañas fluye hacia las planicies y los valles, provocando precipitaciones durante las noches. El desplazamiento de la ZCIT determina una variación de las precipitaciones en la zona Norte Centro y meridional de la CPC. Los meses de abril a noviembre presentan una temporada de lluvias abundantes llegando a ser el 70% de la precipitación anual. En esta zona las precipitaciones son de 8000 mm./año, siendo la hoya hidrográfica con mayor

precipitación al año. En general, la radiación solar que llega a la atmósfera se dispersa, absorbida o refleja por nubes y las formas del relieve.

La Zona Sur: Las lluvias son de tipo monomodal, donde el invierno es durante el primer semestre del año y la época de verano se presenta en el segundo semestre con un promedio anual histórico de 2300 mm. Las temperaturas en época húmeda son superiores o iguales a 25.8°C siendo abril el mes que presenta un mayor valor, entre 26.1 y 26.3°C. La época seca se presenta entre los meses de julio a diciembre con temperaturas por debajo de 25.7°C. La humedad relativa en el primer semestre tiene un valor promedio de 86% (Devis et. al.,2002).

8.3. Aspectos Oceanográficos de la CPC

La CPC, se ha caracterizado en dos partes, la primera con los valores de temperatura y salinidad en superficie, y la segunda con los valores de temperatura y salinidad a profundidades estándar de (0, 10, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500). Se ha caracterizado con la información obtenida en los cruceros del a ARC en el periodo de 1970 a 1996, del trabajo desarrollado por Málikov y Camacho (1998) contenido en Devis et. al. 2002:

- Características de T y S superficiales de la CPC

Los promedios de temperatura y salinidad en superficie: la temperatura del agua en la capa superficial es la más alta debido a que el flujo de calor proviene de la atmósfera, especialmente en esta región localizada en la Zona Ecuatorial. Las pequeñas amplitudes estacionales de la capa superficial de la región no sobrepasan lo 2 o 3°C. Los intercambios de calor, salinidad y cantidad de movimiento ocurren únicamente en la capa superficial, que presenta un espesor máximo de 200 metros, los factores generales que ocasionan la formación de los regímenes hidrodinámicos y termohalinos son la radiación solar, la distribución del viento, la precipitación, la intensidad de los aportes fluviales en las desembocaduras de los ríos y las variaciones de las corrientes de Humbolt y la contracorriente Ecuatorial (Bubnov, 1990). Esta es la razón por la que la circulación oceánica está estrechamente relacionada con la circulación atmosférica.

Las principales corrientes que afectan la CPC son:

- La corriente Ecuatorial Norte, alimentada por el agua del pacífico Oriental Tropical y la corriente de California.
- La contracorriente Ecuatorial del Norte, CCE, manifestándose con mayor intensidad de mayo a diciembre, proviniendo del pacífico central y desplazándose entre los 4° y 11°N hacia las aguas tropicales del Pacífico Oriental. Durante febrero hasta abril esta corriente disminuye temporalmente, los vientos alisios del noreste se intensifican, permitiendo la entrada de aguas tropicales a la CPC.

- La corriente de Humbolt se caracteriza por aguas frías y se presenta en la época de verano. Esta marca el inicio del cambio de estación fría ya que produce una disminución en la TSM y temperatura del aire. La corriente fluye de sur a norte, proveniente de los 40° a 45° latitud sur.

La primera pauta típica del sistema de circulación superficial se manifiesta de agosto a diciembre, cuando la CCE está desarrollándose totalmente y la corriente ecuatorial del sur es muy fuerte. Esta situación es la más estable durante todo el año.

La segunda pauta típica se da de febrero a abril, cuando la ZCIT se encuentra a los 3°N, desarrollándose dos remolinos frente a Centroamérica, siendo la corriente surecuatorial más débil como también la del Perú.

La tercera pauta típica se desarrolla de mayo a julio cuando se forma de nuevo la CCE debido a que la ZCIT se encuentra a los 10°N

Por esto es que durante el año en las capas superficiales se observan dos máximos y dos mínimos de temperatura. Los máximos son en junio y diciembre y los mínimos en febrero a marzo y de septiembre a octubre.

En la salinidad, las aguas costeras presentan baja salinidad, debido principalmente al aporte de agua de las cuencas costeras, donde la mezcla con el agua del mar se observa en la capa de 0-10m. la distribución de la precipitación y de la intensidad de los ríos está asociada a los cambios de la ZCIT (Devis et. al, 2002).

- Características de T y S profundidades estándar en la CPC

La temperatura a 0m en aguas costeras de la CPC es menor que en las capas subsuperficiales, mientras que en las otras regiones de la CPC la temperatura siempre es mayor en la superficie. Esto puede ser causado por los ríos, los cuales riegan sus aguas con menor temperatura y permanecen en la superficie extendiéndose sin mezclarse verticalmente. La misma forma de distribución de las oscilaciones entreanuales en las aguas costeras en la capa 0-30 m. En la región central de la CPC se observa una estructura vertical homogénea en la capa 0-50 m. y en las aguas más oceánicas esta capa homogénea de iguales oscilaciones mensuales se observa en toda la columna de agua 0-500m.

Desde los 50 a 75 m ocurren cambios en la estructura de las oscilaciones entreanuales de temperatura y los cambios más grandes se observan en la zona costera del norte. Desde los 75 m las oscilaciones de las aguas tienen un desfase con respecto a la capa superficial, con un máximo en marzo - abril y un mínimo en enero. Esta estructura se observa por la influencia de los caudales de los ríos. Esta masa de agua se conforma por la dinámica vertical de las aguas profundas. En otras partes de la CPC la estructura de las oscilaciones en la capa de 50 m no cambia, pero aumenta su magnitud. La estructura que se observa en la zona costera a mayores profundidades es muy diferente a la de otras regiones del Pacífico Colombiano (Devis et. al., 2002).

Según el modelo matemático realizado por Villegas y Neelov (2002), Villegas (2003) y el análisis de Villegas y Málikov (2007) en la CPC se observa que la circulación de las capas superficiales está influenciada principalmente por la migración de la ZCIT, y depende de corrientes superficiales y subsuperficiales que varían durante el año debido a los cambios en los vientos alisios. Por otro lado, las cordilleras submarinas dificultan el intercambio de las aguas profundas de la CPC, generando una circulación local a grandes profundidades. En relación a la estructura vertical de la circulación se han identificado tres capas principales: de 0 a 80 m, de 80 a 200 m y de 200 m hasta el fondo.

9. INSTRUMENTOS E INFORMACION METEOROLÓGICA Y OCENOGRAFICA DE LA CPC

9.1. Información meteorológica y oceanográfica en la CPC

La información con se cuenta en la CPC para realizar estudios meteorológicos y oceanográficos, se encuentra en las instituciones que han desarrollado redes de medida o cruceros oceanográficos en la zona de estudio. Es así que el IDEAM tiene estaciones meteorológicas en los municipios costeros del pacífico colombiano, como se describe en la tabla 7. El registro llevado a cabo de estas estaciones, permite tener una información muy básica e inicial del clima costero.

De igual manera el Centro Control Contaminación del Pacífico CCCP, tiene información valiosa que ha sido recopilada en los años en los que se ha llevado a cabo los cruceros oceanográficos. En la tabla 8 se muestra los años y los meses en los que se han llevado los cruceros oceanográficos hasta el 2008, teniendo un total de 45 cruceros. En la tabla 9 se hace referencia a los parámetros físicos, químicos, biológicos y meteorológicos que se han muestreado en cada uno de los cruceros llevados a cabo en la CPC, como también al número de estaciones que se trabajaron en cada crucero.

De la información descrita, se tuvo acceso limitado a ella, ya que las series de tiempo en la información meteorológica no era suficiente para llevar a cabo el presente estudio, adicionalmente, no se tenían datos constantes en la CPC, ya que la información es costera.

La información oceanográfica disponible presenta falta de datos y no fue de fácil acceso por parte del autor del presente documento de tesis. Por otra parte, la información meteorológica no abarca la cantidad de años requeridos para el presente estudio como tampoco cubre espacialmente toda la CPC, ya que solo se encuentra información de franjas terrestres de litoral. Estas razones incidieron para buscar información que espacial y temporalmente se pudieran usar para describir una climatología de las masas de aire y de agua. De esta manera se uso información meteorológica y oceanográfica modelada, tal como se describe en el numeral 11. Metodología.

Tabla 7: Estaciones meteorológicas ubicadas en los municipios costeros del Pacífico Colombiano.

Fuente: www.ideam.gov.co

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	NOMBRE ESTACION METEOROLÓGICA	TIPO DE ESTACION
Choco	Bahía Solano	Cupica	Pluviométrica
		Panamerica	Climatológica ordinaria
	Jurado	Alto Curiche	Climatológica ordinaria
	Bajo Baudó	Pie de pepe	Pluviométrica
Valle	Buenaventura	Aguaclara	Limnigráfica

		Aeropuerto de Buenaventura	Sinóptica Principal
		Bajo Calima	Climatológica ordinaria
		Buenaventura	Meteorología marina
		Ceibitos	Pluviométrica
		Cisneros	Pluviométrica
		Colpuertos	Climatológica principal
		Malaguita 1	Pluviométrica
		Malaguita 2	Limnigráfica
		Malpelo	Climatológica ordinaria
		La Misión	Climatológica ordinaria
		Silva	Pluviométrica
		El tigre	Pluviométrica
		La Trojita	Limnigráfica
		La Virgen	Limnigráfica
		Yurumangui San Anton	Pluviométrica
Cauca	Lopez	Angostura 1	Limnigráfica
		Angostura 2	Limnigráfica
		La Concha	Pluviométrica
		Guayabal	Limnigráfica
		El Mono	Limnigráfica
		Noanamito	Pluviométrica
		Puerto Lopez	Pluviométrica
	Timbiqui	Bocas de Patía	Pluviométrica
		Playas Chacón	Pluviométrica
		Saija	Pluviométrica
		Timbiquí	Pluviométrica
	Guapi	Alto de los Micos	Pluviométrica
		Apartamento de Guapi	Sinóptica suplementaria
		Bocas de Napi	Pluviométrica
		Bonanza	Climatológica principal
		Gorgona	Climatológica Principal
Gorgona la playa		Limnigráfica	
Sangaral		Limnigráfica	
Nariño	Charco	Charco	Pluviométrica
		San José de Tapaje	Pluviométrica
	Mosquera	Mosquera	Pluviométrica
	Francisco Pizarro	Salahonda	Pluviométrica
	Tumaco	Apartamento de la Florida	Sinóptica Suplementaria
		CCCP	Climatológica Principal
		Coco	Pluviométrica
		Mataje	Pluviométrica
		El Mira	Agrometeorológica
		San Juan	Limnigráfica
		Tumaco	Meteorología marina

En la tabla 7 observamos los departamentos y los municipios costeros presentes en el litoral pacífico Colombiano, donde vemos que existen varios municipios que no cuentan con la suficiente cobertura espacial y otros como buenaventura que cuentan con muchas

estaciones de diferentes categorías, que en general miden diferentes parámetros. Se observa la presencia de muchas estaciones que miden la cantidad de lluvia en la región como también el nivel de los ríos. Lo anterior es lógico, ya que el Pacífico Colombiano es la zona más lluviosa del país, a lo cual se han dispuesto estas estaciones para hacer seguimiento a el comportamiento climático de la región.

En la tabla 8, vemos el número de cruceros llevados a cabo en la CPC, por parte de la Dirección General Marítima perteneciente al Ministerio de Defensa Nacional y adscrita a la Armada Nacional de Colombia.

Observamos que en la década de los años 70's, se llevaron a cabo un total de 8 cruceros, de manera interrumpida, teniendo periodos hasta de 2 años sin datos (1973 -1974) y en contraste el caso de 1976 donde se llevaron a cabo 2 cruceros.

En la década de los años 80's las expediciones solo se iniciaron hasta 1982 y posteriormente hasta 1986 se volvió a hacer registro de parámetros físicos, químicos y biológicos. A partir de este años se llevaron a cabo 6 cruceros hasta 1989, completando así para esta década 7 cruceros. Se resalta que en 1988 y 1989 se realizaron dos cruceros por año, tratando de realizarse en los dos semestres del año.

La década de los años 90's con 14 cruceros oceanográficos, los cuales en su mayoría se realizaron dos por año. Los años e los que no se cuenta registro son 1992 y 1995. Es de resaltar que para 1997 y 1998 se presento el fenómeno océano - atmosférico de la Niña y el Niño, el cual fue para el país el que dejó más pérdidas económicas. Razón por la cual, la información y seguimiento hecho en estos cruceros fue crucial para el conocimiento de dicho fenómeno y la realización de diferentes investigaciones al respecto. Para 1996 se inició con el registro de los parámetros biológicos, los cuales, en parte, son bioindicadores del comportamiento climático.

En la década actual y hasta la fecha, se cuenta con 16 cruceros oceanográficos, teniendo un registro amplio y más consistente de la información, ya que a excepción de los años 2003 y 2004 se han hecho registros en los dos semestres del año. El número de estaciones muestreadas ha variado, ya que por diferentes razones de tipo logístico no se alcanza a cubrir con la grilla de 114 estaciones ya establecida para la CPC. El número de parámetros físicos ha aumentado, midiendo adicionalmente corrientes, igualmente a los parámetros meteorológicos se adicionó transparencia.

Tabla 9: Parámetros muestreados durante los cruceros oceanográficos llevados a cabo en le CPC.
Fuente: Centro Control Contaminación del Pacífico CCCP

Número Crucero	Año Crucero	Número Estaciones	Parámetros			
			Físicos	Biológicos	Químicos	Meteorológicos
1	1970	9	Tw, Sw,		O	Viento, Ta
2	1972	16	Tw, Sw,		O, PH	Viento, Nubes, Ta
3	1972	12	Tw, Sw,		O, PH	Nubes, Pa, Ta,
4	1975	33	Tw, Sw,		O, PH	Viento, Nubes, Olas, Pa, Ta,
5	1976	37	Tw, Sw,		O, PH	Viento, Nubes, Olas, Pa, Ta,
6	1976	48	Tw, Sw,		O, PH	Viento, Nubes, Olas, Pa, Ta
7	1977	43	Tw, Sw,		O, PH	Viento, Nubes, Olas, Pa, Ta
8	1978	24	Tw, Sw,		O, PH	Viento, nubes, Olas, Pa, Ta
9	1982	80	Tw, Sw,		O, PH	Viento, Nubes, Olas, Pa, Ta
10	1986	31	Tw, Sw,		O, PH	Viento, Olas, Pa, Ta
11	1987	8	Tw, Sw,		O, PH	
12	1988	47	Tw, Sw,		O	
13	1988	49	Tw, Sw,		O	Tnubes, Pa, Ta
14	1989	45	Tw, Sw,		O	Viento, Nubes, Pa, Ta
15	1989	33	Tw, Sw,		O	Viento, Nubes, Pa, Ta
16	1990	33	Tw, Sw,		O	Viento, Nubes, Ta
17	1990	33	Tw, Sw,		O	Viento, Nubes, Pa, Ta
18	1991	33	Tw, Sw,		O	Viento, Cnubes, Pa, Ta
19	1991	30	Tw, Sw,		O	Viento, Cnubes, Pa, Ta
20	1993	39	Tw			
21	1993	49	Tw, Sw, TSM			Viento, Cnubes, Hr, Pa, Ta
22	1994	44	Tw, Sw, TSM			Viento, Cnubes, Olas, Hr, Pa, Ta
23	1996	53	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	O, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
24	1996	52	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	O, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
25	1997	65	Tw, Sw, TSM		O	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
26	1997	60	Tw, Sw, TSM	Dino, Diato	O, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
27	1998	61	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	O, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
28	1998	69	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	O, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
29	1999	88	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	O, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
30	2000	66	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	O, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
31	2000	55	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	Nutrientes	Viento, Nubes, Olas

32	2001	60	Tw, Sw, TSM	Clorof	Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
33	2001	41	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
34	2002	44	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	O, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
35	2002	44	Tw, Sw, TSM	Clorof, Dino, Diato	O, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
36	2003	44	Tw, Sw, TSM	Cloro, Dino, Diato	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
37	2004	43	Tw, Sw, TSM	Cloro, Dino, Diato, zoo	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
38	2005	70	Tw, Sw, TSM, corrientes	Cloro, Dino, Diato, zoo	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
39	2005	99	Tw, Sw, TSM, corrientes	Cloro, Dino, Diato, zoo	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
40	2006	105	Tw, Sw, TSM, corrientes	Cloro, Dino, Diato	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
41	2006	44	Tw, Sw, TSM, corrientes	Cloro, Dino, Diato	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Pa, Ta
42	2007	101	Tw,Sw,TSM, corrientes	Cloro, Dino, Diato	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Ta, transparencia
43	2007	66	Tw,Sw,TSM, corrientes	Cloro, Dino, Diato	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Ta, transparencia
44	2008	75	Tw,Sw,TSM,	Plancton: Dino, Diato. Cloro, mamíferos marinos, cetáceos	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Ta, transparencia
45	2008	75	Tw,Sw,TSM,	Plancton: Dino, Diato. Cloro, mamíferos marinos, cetáceos	O, PH, Nutrientes	Viento, Nubes, Olas, Hr, Ta, transparencia

Tw: Temperatura del agua
 Sw: Salinidad del agua
 TSM: Temperatura superficial del mar
 O: Oxígeno disuelto
 PH: PH
 Pa,: Presión atmosférica
 Ta: Temperatura del aire
 Hr: Humedad relativa
 Tnubes: Tipo de nubes
 Cnubes: Cantidad de nubes
 Cloro: clorofila A
 Dino: Dinoflagelados
 Diato: Diatomeas

9.2. Instrumentos de medida usados actualmente en la CPC

Como se hizo referencia en el numeral 7.2.3, en la actualidad se usan las estaciones meteorológicas convencionales, que por muchos años han venido dando la información de la región costera continental para el IDEAM. En el numeral 7.2.3.1.1., se hace la descripción de los equipos que son la nueva generación para el registro de la instrumentación y que han venido siendo instalados a lo largo de la zona costera y en sitios puntuales con lo son la Isla Gorgona y la Isla Malpelo. En general estos equipos fueron instalados entre los años 2003 y 2005, en convenio con varias entidades, entre ellas la DIMAR mediante el CCCP. En la tabla 10 se observa la ubicación de las EMAS en la CPC.

Tabla 10: Estaciones meteorológicas automáticas en la CPC.
Fuente: Dirección General Marítima - DIMAR

Tipo de estación	Ubicación (municipio)
Mareográfica	Bahía Solano
Agroclimática	Tumaco
Mareográfica	Tumaco (CCCP)
Climatológica P.	Guapi
Mareográfica	Buenaventura
Agroclimática	Juanchaco (Valle)
Mareográfica	Malpelo
Mareográfica	Gorgona

Los cruceros oceanográficos para la toma de información, poseen equipos que permiten conocer los parámetros físicos más representativos en el cuerpo de agua, como lo son la TSM, la SSM, el PH y el oxígeno disuelto. A continuación se listan algunos de los equipos y sus características que se usan en dichos cruceros.

- NAN** - Botellas Nansen Reversibles de 1.250 litros y/o 2 litros;
- NIS** - Botellas Niskin de 5 y/o 12 litros;
- TIP** - Termómetros de inversión protegidos de -2 a +30 °C Kurt Gola, error +/-0.02°C;
- TIN** - Termómetros de inversión no protegidos de -2 a +60 °C graduados al 0.1°C, error +/- 0.02°C;
- TIA** - Termómetros de inversión protegidos error +/- 0.001 °C;
- TIB** - Termómetros de inversión no protegidos error +/- 0.001 °C;
- TS** - Termómetros de Superficie (de cazoleta), error 0.1 °C;
- TSL** - Termosalinómetro
- SP** - Salinómetro de puente de -2 a +30 °C graduados al 0.1 °C;
- SI** - Salinómetro de Inducción Modelo RS7-B BECKMAN error +/- 0.003o/oo;
- SA** - Salinómetro (no especificado);
- MBT** - Batitermógrafo de 60, 140 y/o 275 metros;
- XBT** - Batitermógrafo desechable de 400, 500 y/o 1000 metros;
- CTDO** - Perfilador de temperatura, salinidad, conductividad y oxígeno.

- P** - Potenciómetro BECKMAN (PH);
- C** - Medidor COLMAM (PH);
- PH** - Medidor de PH de pilas (no especificado);
- O** - Oxímetro.
- SM** - Determinación de salinidad con método Mohr (calculadas con +0.05 o/oo);
- SK** - Determinación de salinidad con método Knudsen (calculadas con +0.05o/oo);
- SC** - Determinación de salinidad por método de conductividad;
- W** - Determinación de oxígeno método Winkler (con +0.03 ml/L).

Por otra parte, la instrumentación oceanográfica de última tecnología en la CPC se ha venido implementando a través de proyecto SMPOM (Sistema de Medición de Parámetros Oceanográficos y de Meteorología Marina) (Moreno y Muñoz, 2007), el cual busca ser el referente en la medición de parámetros meteorológicos y oceanográficos en tiempo real para las aguas jurisdiccionales nacionales. El SMPOM se inició en el año 2005, año en el cual se adquirieron e instalaron las primeras boyas de oleaje direccional tipo Triaxys para la CPC, siendo el punto de fondeo las aguas costeras del municipio de Tumaco.

A través del SMPOM en la actualidad la CPC cuenta con la medición de parámetros oceanográficos en tiempo real, mediante las boyas de oleaje direccional, las cuales cuentan con un sensor de oleaje compuesto por tres acelerómetros, tres sensores angulares y un compás, para el almacenamiento de los datos en un procesador datalogger y finalmente un sensor de temperatura del mar (Moreno y Muñoz, 2007). En la figura 23 se observa el esquema de la boya de oleaje direccional Triaxys y en la tabla 11 se observan las características de los sensores mencionados.



Figura 23: Esquema Boya de Oleaje Direccional Triaxys.
Fuente: Dirección General Marítima - DIMAR

Tabla 11: Características sensores Boya de Oleaje Direccional Triaxys.
Fuente: Dirección General Marítima - DIMAR

Parámetro	Rango	Medida
Altura del oleaje	Rango	-20 mts. +20 mts
	Resolución	1cm
	Escala de exactitud	Máxima 2%
	Periodo de tiempo	1.6s – 30s
Dirección	Rango	0° - 360°
	Resolución	1.5°
	Referencia	Norte magnético
	Periodo de tiempo	1.6s – 30s
Temperatura superficial del agua	Rango	-5°C a +50°C
	Resolución	0.05°C
	Exactitud	0.2°C

Las boyas de oleaje direccional tienen un periodo de 20 minutos de registro de los datos de cada parámetro (tabla 11) antes de la hora de transmisión, la cual es cada hora. De esta manera el equipo en condiciones normales hace 24 transmisiones de datos en un día, de todos los parámetros.

El despliegue de la información del SMPOM, está a cargo del CCCP, el cual tiene vínculos Web, para consultar la información en tiempo real vía Internet. El vínculo a la información del SMPOM es:

<http://www.cccp.org.co/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=224p>

En la actualidad se cuenta en la CPC con tres boyas de oleaje direccional Triaxys, las cuales se encuentran en Bahía Solano, Buenaventura y Tumaco, las tres principales ciudades del Pacífico Colombiano.

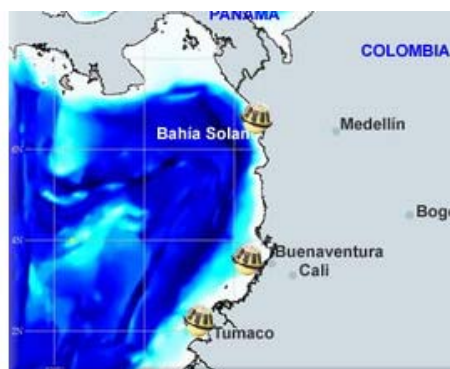


Figura 24: Boyas de Oleaje Direccional sobre el Pacífico Colombiano.
Fuente: Centro Control Contaminación del Pacífico CCCP

En la figura 24 se muestra la imagen que tiene el CCCP en su página Web para acceder a la información de cada una de las boyas de oleaje, permitiendo tener la información de las últimas 12 horas.

10. ASPECTOS TEORICOS

En el presente estudio se abordaron los conceptos más representativos de los componentes atmosféricos y del océano, teniendo principal relevancia en el conocimiento de la atmósfera las masas de aire y del océano las masas de agua. En este aparte, se menciona algunos conceptos.

10.1. Concepto de Masas de Aire

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la tierra, en la cual se incluyen partículas sólidas y líquidas en suspensión o aerosoles y nubes. En su estructura vertical, el 98% de la masa atmosférica se ubica en una capa delgada cuyo espesor es de unos 30 Km. Para efectos prácticos la atmósfera se divide en cuatro regiones según la distribución vertical de temperatura: La troposfera (0 a 16 km.). En esta capa la temperatura disminuye con la altura a una rata de 0.65/100m. Se caracteriza porque en ella se originan la mayor parte de los fenómenos determinantes del estado del tiempo. La segunda región corresponde a la estratosfera (16 a 50 km.) en la cual la temperatura aumenta hasta alcanzar los 0°C. la tercera capa es la mesosfera (50 a 85 km.) en la cual la temperatura disminuye hasta alcanzar -95°C. Finalmente está la termosfera en la cual se observa un aumento progresivo de la temperatura. (IDEAM, 2005).

Las masas de aire (llamadas también masas de la atmósfera), se gobiernan por los cambios de la presión, descritos por dos leyes, la primera la ley de Boyle, la cual indica que a temperatura constante, el volumen (V) de una masa de gas varía en proporción inversa a su presión (P).

$$P = \frac{K_1}{V} \quad (1)$$

Donde K_1 es una constante.

La segunda ley es la ley de Charles, que dice que a presión constante, el volumen es directamente proporcional a la temperatura absoluta:

$$V = K_2 T \quad (2)$$

Las dos leyes implican la existencia de tres variables (presión, temperatura y volumen) las cuales son completamente independientes, por lo que cualquier cambio en una de ellas hará que produzca un cambio que compense al primero en una o en las dos restantes. Las leyes de los gases puede combinarse para dar la siguiente formula:

$$PV = RmT \quad (3)$$

Donde m = masa de aire; R = una constante de los gases para el aire seco. Si m y P se mantienen fijas, obtenemos la ley de Charles y si m y T se mantienen fijas, se obtiene la ley de Boyle. Es mucho más conveniente usar la densidad del aire que el volumen por lo que la modificación de la fórmula 3, genera la fórmula 4, teniendo:

$$P = R\rho T \quad (4)$$

Las anteriores leyes nos permiten decir que uno de los principales componentes de las masas de aire es la presión. El aire es muy compresible, indicando que sus capas inferiores son mucho más densas que las superiores, es por esto el 50% del total de la masa de la atmósfera se encuentra por debajo de los 5Km. (Barry - Chorley, 1985) y la densidad promedio decrece desde unos 1.2 kg/m³ en la superficie hasta 0.7 kg/m³ a 5000m cerca del límite externo de la zona habitada por los humanos.

La relación de la presión con la altura es tan importante que los meteorólogos expresan frecuentemente las alturas en milibares, teniendo, 1000 mb representan el nivel del mar, 500 mb. unos 5500 m. y 300 mb. unos 9000 m. Lo anterior es llamado la atmósfera tipo.

Otro de los principales componentes en las masas de aire es la humedad ya que en la atmósfera terrestre se encuentran cantidades variables de agua en forma de vapor, constituyéndose este, en uno de los componentes más importantes de la atmósfera y en algunos aspectos el más importante. La mayor parte de la humedad se encuentra en los cinco primeros kilómetros dentro de la troposfera, y procede de diversas fuentes terrestres, principalmente y de la evaporación de los mares. El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente, de la temperatura, cuanto más elevada es la temperatura de una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener. Al contrario, a temperaturas bajas puede almacenar menos vapor de agua.

La humedad relativa del aire es el vapor de agua que existe en una masa de aire, expresado como un porcentaje de la cantidad total que existiría si el aire estuviese saturado a esta temperatura. Se expresa en unidades enteras que van de cero (0) hasta el 100%. Los valores de humedad relativa dependen fuertemente de la temperatura del momento. En las zonas tropicales continentales, en donde las variaciones de la temperatura durante el día son generalmente grandes, la humedad relativa cambia considerablemente en el curso del día. Para comparar diferentes estaciones, los datos de humedad relativa pueden emplearse únicamente si han sido observados a la misma hora y las temperaturas no son muy diferentes. (IDEAM 2005)

10.2. Clasificación mundial de las masas de aire

En general una masa de aire es aquella que tiene características de temperatura y humedad homogéneas. Tienen gran extensión lateral, hasta centenares de kilómetros y está separada de otra masa de aire.

Se han determinado varios tipos de masa de aire básicos, los cuales se encuentran en la tabla 12:

Tabla 12: Clasificación de las Masas de Aire.
Fuente: Colaboradores Enciclopedia

Masa de aire	Símbolo	Temperatura (°C)	Humedad Específica (g/kg)	Propiedades
Ártica continental Ártica continental invierno	Ac Acc	-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

10.3. Concepto de Masas de Agua

El agua marina soporta toda la vida marina y la fuente nutrientes para los pláctones que son el alimento básico de los animales marinos. La química fundamental del agua de los océanos es relativamente constante; las características físicas no lo son, esta varían en todas las dimensiones, horizontal, vertical y geográficamente, en función de las corrientes y masas de agua.

Algunas de las propiedades físicas y características del agua del mar son importantes en oceanografía, las cuales son: la temperatura, la densidad, la presión hidrostática, la presión de vapor, la presión osmótica, la compresibilidad, la transparencia óptica, el índice de refracción, la viscosidad, la tensión superficial, la absorción de la luz, la velocidad del sonido, la difusión y los puntos de ebullición y de congelación. Los dos parámetros físicos de mayor importancia son la temperatura y la densidad, de los cuales, en el primer caso es tomada de manera directa y el segundo es calculada con la presión y la densidad.

El agua posee un gran valor de calor específico, comparativamente con los sólidos y líquidos, característica que hace que tenga mayor resistencia a ganar o a perder temperatura en breves periodos de tiempo. El calor específico del agua marina disminuye

con el incremento de la temperatura, la salinidad y la presión. La temperatura del mar varía en un amplio rango tanto vertical como horizontalmente y está principalmente influenciado por la radiación solar y la latitud. Dicha condición, hace que no exista un promedio de la temperatura en el océano mundial.

Por otro lado, el agua marina es 96.5% agua y 3.5% sales disueltas, cada kilogramo contiene 35 g de sales en solución. La cantidad total de los sólidos disueltos en el agua de mar es conocida como salinidad de agua de mar. El agua marina estándar es de una salinidad uniforme de 35 o/oo a una temperatura de 0°C y el rango puede oscilar de 34 a 37 o/oo. En las regiones tropicales y semitropicales, los valores de salinidad son altos debido a los efectos combinados de los vientos evaporadores y a la elevada exposición a la radiación solar, como también a la precipitación relativamente baja. Dicha variación de evaporación y precipitaciones, hace que la salinidad sea muy variable (Weihaupt, 1984).

Por otro lado, las masas de agua son cuerpos de agua relativamente homogéneos en temperatura, salinidad y densidad. Los principales factores físicos que determinan las masas de agua son la temperatura y la salinidad, los cuales tienen una relación que caracteriza a ciertos volúmenes de agua localizados a diferentes profundidades en un punto geográfico. Una masa de agua puede ser reconocida por tener un área de origen común. Puede formarse por interacciones entre aire y mar o por mezcla de dos o más cuerpos de agua. Una vez formadas, las masas de agua se hunden a una profundidad determinada según su densidad relativa, con respecto a las aguas de más arriba y más debajo de ellas en la columna vertical.

En general, las masas de agua se distinguen unas de otras, por su temperatura y su salinidad y se pueden representar por una curva que se construye con los puntos que describe gráficamente la relación que guardan entre sí estas dos características del agua del mar, en un volumen determinado.

La manera de representar esta relación entre la temperatura y la salinidad es trazando una curva en los ejes de coordenadas, en los cuales, las temperaturas se colocan en las ordenadas y las salinidades en las abscisas. En esta curva quedan representadas las características de una masa de agua en particular.

En la mayoría de las regiones oceánicas la circulación eólica no alcanza más allá del primer kilómetro de profundidad. La renovación de las aguas por debajo de esa profundidad se consigue mediante corrientes inducidas por diferencias de densidad, causadas por cambios en la temperatura, y en la salinidad. A esta circulación se le conoce como circulación termohalina.

Dichas corrientes varían mucho con la profundidad y con la localidad geográfica, por lo que las masas de agua son reconocidas como agua superficial, agua superior, agua intermedia, agua profunda y agua de fondo. Dependiendo de la masa de agua determinada, entrará en uno de estos niveles. Cada una de las masas de agua oceánica tiene unas características físicas únicas. Como se comentó anteriormente, con la

determinación de la salinidad y temperatura de una muestra de agua es posible identificar a la masa de agua de la cual fue tomada (Weihaupt, 1984).

La circulación y las masas de agua subsuperficiales de los océanos Índico y Pacífico, no son tan bien conocidas como las del atlántico. Además y debido a su tamaño, a la topografía del fondo oceánico y a la configuración de los continentes circundantes, las corrientes del océano pacífico son algo más complejas que las del atlántico (Weihaupt, 1984).

La formación de las masas de agua se hace de dos maneras, la primera por procesos físicos meteorológicos en la superficie (enfriamiento, calentamiento por radiación, evaporación o precipitación, fusión de hielo, etc), la segunda, por mezcla subsuperficial de las masas de agua que se transporta por efecto de las corrientes conformadas por:

a. fenómeno de convergencia, el cual se produce en zonas donde convergen las corrientes provocando el hundimiento de grandes cantidades de agua de la superficie, destacándose las Convergencias Tropicales, formadas en la zona ecuatorial.

b. fenómenos de divergencia, es el efecto contrario al anterior donde las corrientes que divergen ocasionan un vacío momentáneo que ocasiona un movimiento vertical de aguas de fondo hacia arriba produciendo un afloramiento.

c. topografía de la termoclina (factores ambientales) esta parte hace posible identificar las capas ubicadas a diferentes profundidades las cuales son: agua superficial, hasta 150 metros, agua superior, 150 a 700 metros, aguas intermedias 700 a 1500 metros y se caracterizan por se aguas que se descargan de cuencas y son vertidas en el océano buscando su nivel de densidad, aguas profundas, de 1500 a 3000 metros y finalmente aguas de fondo, más de 3000 metros.

d. fenómeno de convección y recirculación, este fenómeno se presenta normalmente en zonas subtropicales donde existen los cambios estacionales de temperatura que son muy profundos.

En la formación de las masas de agua, son muy importantes las barreras físicas que cumplen un papel importante en la determinación de las características del agua contenida en una cuenca.

Siendo de importancia para el presente estudio, se hará más hincapié en las aguas superficiales, las cuales están muy influenciadas por los cambios de temperatura que ocurren en superficies, es así como en latitudes subtropicales las estaciones tienen gran incidencia en las condiciones de temperatura del mar y salinidad. Existen otras variaciones de menor periodo, como las diurnas y nocturnas, las cuales son sólo notable muy cerca de la superficie. En el Ecuador dichas variaciones son más importantes, disminuyendo con el aumento de latitud.

10.4. Clasificación de las masas de agua

Las características que tienen las masas de agua, y en especial su temperatura y salinidad, son adquiridas mientras la masa de agua se encuentra en la superficie sometida a la acción de los procesos que afectan estas propiedades, y es por esto que se les califica como agua reciente, a la vez que se considere a las de los grandes fondos marinos como aguas antiguas. Por medio de la utilización de isótopos radiactivos, se ha logrado calcular la edad de las aguas frías del fondo del Atlántico, y se estima que tienen 400 años, mientras que las del Pacífico tienen 1.500 años. Tabla 13

Tabla 13: Clasificación de las Masas de Agua.
Fuente: Cifuentes J.L. 1995

MASAS DE AGUA	SALINIDAD	TEMPERATURA
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	35.0 – 36.50	4.0 – 12.0
Agua Índica	35.40 – 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

10.5. Climatología

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dados, y controlado por lo denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera) aunque básicamente las variables climáticas se relacionan con la atmósfera, los procesos atmosféricos predominantes en un lugar o región están relacionados con la superficie terrestre, incluidas las cortezas continental y oceánica y parte del manto superior (litosfera), los océanos, mares interiores, ríos y aguas subterráneas (hidrosfera) y las zonas terrestres cubiertas por hielo (criósfera).

El clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, este se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros componentes del sistema climático. (IDEAM, 2005)

Para considerar el clima de un determinado lugar se toma el valor medio del tiempo atmosférico que en él prevalece, lo cual hace que se desprece una parte vital de la información climática si no se tienen en cuenta la oscilación y la frecuencia de los valores

extremos. Por esta razón, para obtener los promedio de datos climatológicos, es necesario generalmente utilizar un periodo de treinta años.

En la Cuenca del Pacífico Colombiano, el clima en general se caracteriza como tropical lluvioso isotermal según el modelo climático de Koeppen, lo que sugiere precipitaciones durante todo el año y diferencias menores a 5°C entre el mes más cálido y el mes más frío. (Devis et. al., 2002)

Los estudios adelantados en la CPC muestran una climatología basada en información continental, como la mostrada en Compilación Oceanográfica de la Cuenca del Pacífico Colombiano (Devis, et. al, 2002), describiendo campos de viento y demás variables meteorológicas con información de estaciones meteorológicas ubicadas sobre los departamentos del litoral pacífico colombiano. En cuanto a las variables oceanográficas encontramos una descripción aproximada de los comportamientos de algunos meses, sin embargo para llegar a determinarse una climatología, es necesario contar con datos suficientes en el tiempo y en el espacio, cosa que actualmente no ocurre.

10.6. Teoría del Cluster

El Análisis de Cluster o, en otras palabras la clasificación de regiones, es la división de una variedad de objetos (fenómenos, procesos) en diferentes clases agrupadas de acuerdo con sus características comunes.

En general, el problema de la clasificación de objetos, radica en que todos los parámetros analizados se deben dividir en un numero pequeño de grupos o clases casi - homogéneas (normalmente no se conocen de antemano). La idea de homogeneidad se establece con la suposición de que existe una cercanía geométrica de los objetos, lo cual significa una cercanía en sus condiciones físicas y sus similitudes.

La designación de los subconjuntos (clases) se realiza de acuerdo con las siguientes condiciones:

- Los subconjuntos no deben atravesarse;
- Ningún subconjunto debe ser vacío, cada clase debe tener por lo menos un vector de observaciones. Entonces la cantidad de las clases puede ser desde 1 (cuando todas las observaciones pertenecen a una solo clase) hasta N (cuando cada observación se conforma de una clase separada);
- Homogeneidad en la distribución de los objetos en el espacio dependiendo de sus condiciones similares.

El problema de la clasificación se puede dividir en las siguientes etapas (Villegas, 2002):

1. Elección de los parámetros base para la clasificación de los subconjuntos.

En esta etapa no hay recomendaciones concretas. Solamente se recomienda utilizar aquellos parámetros que no se correlacionan entre si. Esta elección depende muy estrechamente del trabajo preliminar que se realice con los datos.

2. Disminución del tamaño de los parámetros de clasificación.

Este es un punto muy importante cuando hay un gran volumen de datos iniciales. El objeto principal es la disminución de la información con una pérdida mínima de dicha información y con el mínimo de alteraciones.

3. Elección del método de medición de las similitudes (de homogeneidad).

La medida para conocer la cercanía (homogeneidad) de los objetos puede ser cualquier coeficiente de relación, el cual permite valorar numéricamente el nivel de homogeneidad o diferenciación de un par determinado de objetos de acuerdo con los parámetros de comparación. A menudo se utilizan las muestras de la cercanía métrica, la cual caracteriza la distancia entre los objetos en un espacio geométrico perteneciente a una característica concreta, entre las distancias métricas más utilizadas están las de Minkovskov, Euclidov, Mahalanobis. Esta última se utiliza cuando los objetos tienen correlación entre ellos. Otro método de determinación de la medida de cercanía tiene que ver con la ayuda de la valoración de los coeficientes parecidos, los cuales pueden caracterizar el valor de la diferencia entre los objetos. Como resultado de los cálculos de cercanía entre M objetos se obtiene la matriz simétrica y cuadrada.

4. Elección de un esquema de clasificación algorítmica y validación de su calidad.

El método mas conocido para la clasificación algorítmica en las investigaciones oceanológicas es el método de disminución de relaciones en una red. La esencia del método de disminución de relaciones en una red (DRR) consiste en la construcción de los cortes de la red los cuales conectan a los objetos investigados en el espacio según las características o parámetros de estudio (T_w , S, O₂, PO₄, etc.) dentro de la red única, con el fin de que la distancia sumatoria tenga errores mínimos. El orden de trabajo del algoritmo de DRR es el siguiente: de la matriz simétrica y cuadrada resultante, se busca la distancia mínima; después, se selecciona un punto más cercano el primer nodo para conectarse con el y así hasta que todos los puntos se encuentran amarrados en la red corta. Después de la reconstrucción DRR se obtiene una red en donde las distancias entre los puntos son diferentes. Recortando la distancia máxima se obtienen dos clases y así sucesivamente, la obtención de las clases se determina de una manera informal dependiendo de los conceptos físicos aunque también existen métodos de división formal.

10.7. Teoría de Análisis Multivariante, Correlación Canónica

Las correlaciones canónicas se definen como las correlaciones múltiples máximas entre unas variables y varias funciones lineales de otras variables. Defínanse Σ_{11} , Σ_{22} y Σ_{12} como

las matrices de variancias y covariancias entre \mathbf{y} y \mathbf{x} . Defínanse también dos combinaciones lineales de variancia unitaria de la forma $\mathbf{L}'\mathbf{Y}$ y $\mathbf{M}'\mathbf{X}$. El análisis de correlación canónica escoge los coeficientes de las matrices \mathbf{L} y \mathbf{M} tal que la correlación entre esas dos combinaciones lineales es la máxima. En términos matemáticos, el problema consiste en maximizar la covariancia de las combinaciones lineales:

$$L' \Sigma_{12} M \quad (5)$$

Sujeto a que las variancias de las combinaciones lineales sean normalizadas a 1:

$$L' \Sigma_{11} L = 1 \quad (6)$$

$$M' \Sigma_{22} M = 1 \quad (7)$$

Las soluciones de primer orden conducen a definir los multiplicadores de Lagrange de la siguiente forma:

$$\lambda_1 = L' \Sigma M \quad (8)$$

$$\lambda_2 = M' \Sigma L \quad (9)$$

En vista de que los multiplicadores de Lagrange son iguales, se puede decir que $\lambda_1 = \lambda_2 = \rho$. Ello implica que ρ corresponde a la raíz característica de la ecuación determinante:

$$\left| \Sigma_{21} \Sigma^{-1}_{11} \Sigma_{12} - \rho^2 \Sigma_{22} \right| = 0 \quad (10)$$

Para este caso de dos combinaciones lineales, λ_1 y λ_2 son las correlaciones canónicas. Cuando se consideran más de dos combinaciones lineales se definen raíces características $\rho_1 \dots \rho_s$ para los correspondientes vectores $M_1 \dots M_s$. Al agrupar estos vectores en una matriz $\Phi = [M_1 \dots M_s]$ tal que:

$$\Phi' \Sigma_{22} \Phi = I \quad (11)$$

Se puede definir, entonces, una matriz \mathbf{R} de la forma:

$$R = \Phi' \Sigma_{21} \Sigma^{-1}_{11} \Sigma_{12} \Phi \quad (12)$$

La matriz \mathbf{R} es una matriz diagonal cuyos elementos corresponden a las correlaciones canónicas $\rho_1 > \dots > \rho_s$. Las funciones lineales en Φ corresponderían a las variables canónicas.

Considérense combinaciones lineales de las utilidades de diferentes bancos comerciales (variables \mathbf{y}) y combinaciones lineales de diferentes variables \mathbf{x} . Al maximizar la variancia entre pares de combinaciones de \mathbf{y} y \mathbf{x} , se encontrarían coeficientes asociados con las variables \mathbf{y} y con las variables \mathbf{x} . Esos coeficientes, llamados correlaciones canónicas, permitirían observar la importancia de las relaciones dentro de las variables \mathbf{y} y dentro de las variables \mathbf{x} bajo la restricción de que los coeficientes maximicen la variancia de las dos combinaciones. Este tipo de análisis permitiría, en un principio, identificar cuáles variables serían útiles de considerar como endógenas en un modelo de ecuaciones simultáneas, así como aquellas exógenas que aportarían explicación al modelo (Muñoz, 1995).

11. METODOLOGÍA

11.1. Área de Estudio

La CPC está situada al occidente de Colombia, geográficamente está entre los paralelos 01° 30' hasta los 07° 10' de latitud Norte y entre los 77° 40' y 84° 00' de latitud Oeste Figura 25.



Figura 25: Cuenca del Pacífico Colombiano
Fuente: Enciclopedia Microsoft Encarta 2006

11.2. Información utilizada

A pesar de existir información en las diferentes instituciones presentes en la CPC, se presentaron diferentes inconvenientes para acceder a ella, ya que las instituciones tienen políticas propias para el manejo y entrega de la información.

Por tal razón se decidió usar para la presente tesis de maestría, la información para la CPC correspondiente al período 1971 a 2000 de Temperatura del Aire (Ta) en °C, Humedad Relativa (Hr) en %, Temperatura Superficial del Mar (TSM) en °C y Salinidad Superficial del Mar (SSM) en o/oo, de las cuales, las correspondientes a la información meteorológica fueron tomadas de los datos del archivo reanálisis del NCEP/NCAR y las correspondientes a la información oceanográfica se tomaron de los resultados del modelo MTD3D-CPC de la termodinámica de la CPC (Villegas, 2003).

11.3. Métodos estadísticos

11.3.1. Análisis de Cluster, para la determinación masas de agua y masas de aire en la CPC

Para llevar a cabo los análisis con las variables descritas, se uso el análisis de cluster para encontrar las masas de aire y las masas de agua en la CPC. A continuación se hace una descripción de la manera en la que se llevó a cabo el procedimiento para hallar las masas de agua y de aire, a partir de la información base tomada inicialmente.

La información que se tenía fue organizada año a año según en las variables meteorológicas de Ta y Hr para las masas de aire y las variables oceanográficas TSM y SSM para las masas de agua. En la organización se tuvo en cuenta el número de estaciones, las cuales fueron 114 para cada año. En la figura 26 se observa la organización de la información en el programa estadístico Statistica para el mes de enero.

	1 N Est	2 1	3 2	4 3	5 4	6 5	7 6	8 7	9 8	10 9	11 10	12 11
1	T 71	25,26	25,02	24,7	24,56	24,09	23,76	24,11	25,01	24,74	24,32	24,14
2	T 72	25,56	25,43	25,25	24,88	24,32	24	24,67	25,31	25,18	24,93	24,95
3	T 73	26,31	26,36	26,34	26,29	25,49	24,48	25,07	26,1	26,39	26,43	26,54
4	T 74	24,58	24,53	24,37	24,08	23,55	23,68	24,25	24,19	23,99	24,01	
5	T 75	25,39	25,38	25,2	24,9	24,09	23,63	24,17	25,14	25,25	25,05	25
6	T 76	24,32	24,51	24,33	24,1	23,68	23,57	23,67	23,82	24,17	24,15	24,14
7	T 77	25,41	25,53	25,46	25,32	25,15	24,76	25,13	24,97	25,35	25,41	25,5
8	T 78	25,98	25,98	25,81	25,54	24,74	24,25	24,65	25,69	25,66	25,46	25,47
9	T 79	24,31	24,69	24,65	24,59	24,36	24,22	24,65	23,86	24,4	24,61	24,8
10	T 80	25,54	25,57	25,34	25,07	24,77	24,28	25,07	25,28	25,35	25,25	25,27
11	T 81	23,42	23,96	23,99	24,1	24,16	24,11	24,5	23	23,7	23,99	24,21
12	T 82	25,24	25,21	25,05	24,89	24,35	23,83	24,52	24,88	25,01	24,85	24,85
13	T 83	23,6	23,95	23,93	23,97	24,02	23,95	24,22	23,47	24,04	24,24	24,31
14	T 84	25,37	25,47	25,36	25,3	25,07	24,21	24,54	25,19	25,46	25,54	25,62
15	T 85	24,13	24,26	24,13	24,03	23,92	23,68	23,82	23,69	24,21	24,34	24,41
16	T 86	24,93	24,67	24,5	24,37	23,92	24,06	24,22	24,43	24,24	23,86	23,81
17	T 87	25,9	25,82	25,49	25,24	25,05	24,82	25,12	25,65	25,76	25,64	25,61
18	T 88	25,45	25,46	25,22	24,83	24,43	24,21	24,86	25,25	25,36	25,22	25,19
19	T 89	24,55	24,45	24,19	23,97	23,5	23,18	23,54	24,35	24,32	24,05	23,94
20	T 90	24,54	24,6	24,46	24,18	23,54	23,56	23,83	24,07	24,21	24,06	24,14

Figura 26: Imagen del ingreso de información al programa estadístico mes de enero.

Fuente: Esta investigación.

Una vez organizada la información se procedió a aplicar el método estadístico de Cluster como se indica en la figura 27, siguiendo los pasos que el programa requiere para que se dé el resultado esperado con el análisis de cluster.

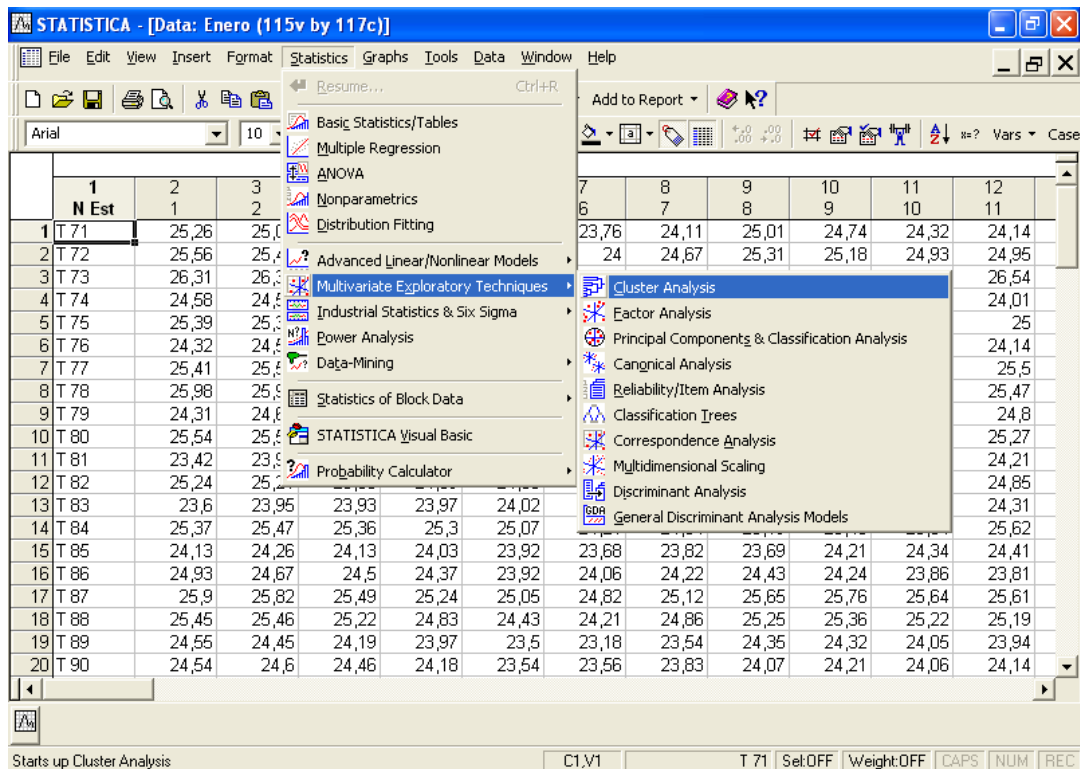


Figura 27: Imagen elección del método estadístico de cluster mes de enero.

Fuente: Esta investigación

Una vez escogido el método estadístico, se procede a la selección de toda la información que se desea analizar. Para este caso se tomó toda la información de los meses de enero de los años a estudiar desde 1971 hasta el año 2000, como se observa en la figura 28.

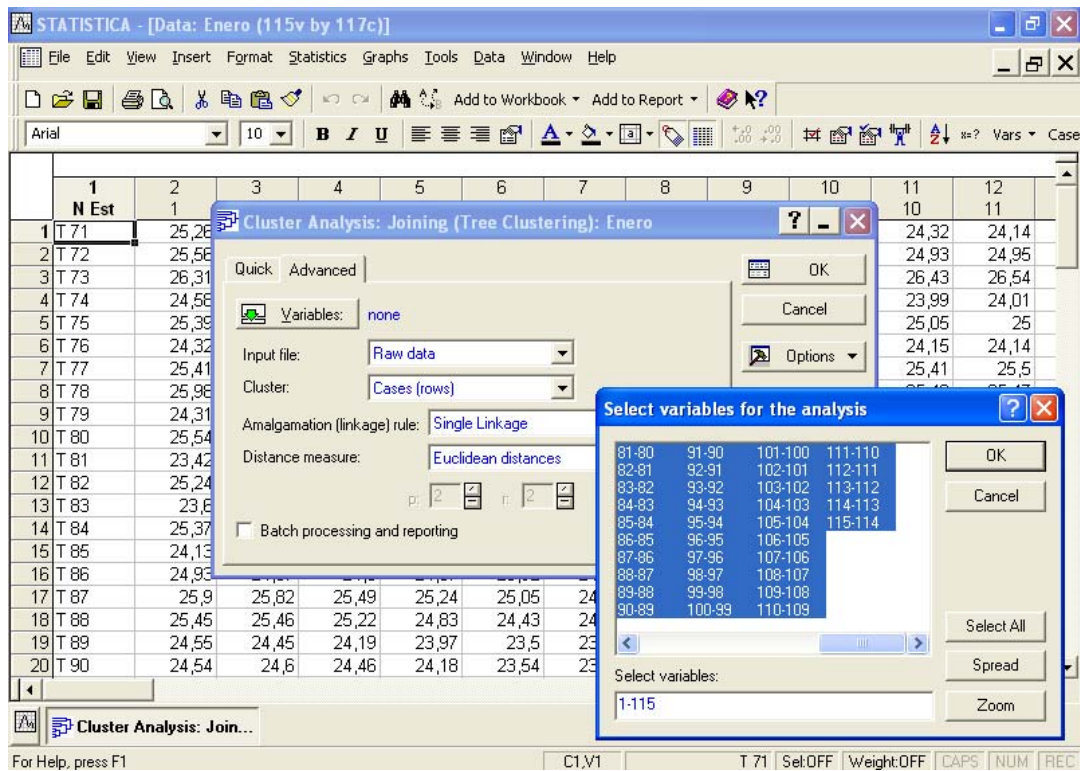


Figura 28: Imagen de selección de toda la información que se desea incluir en el cluster, en este caso el mes de enero.

Fuente: Esta investigación

De esta manera el programa arroja el resultado que se presenta en la figura 29, donde se observa la agrupación que hace de las estaciones que contienen Ta y Hr homogéneas, las cuales se representan en los grupos señalados en la imagen.

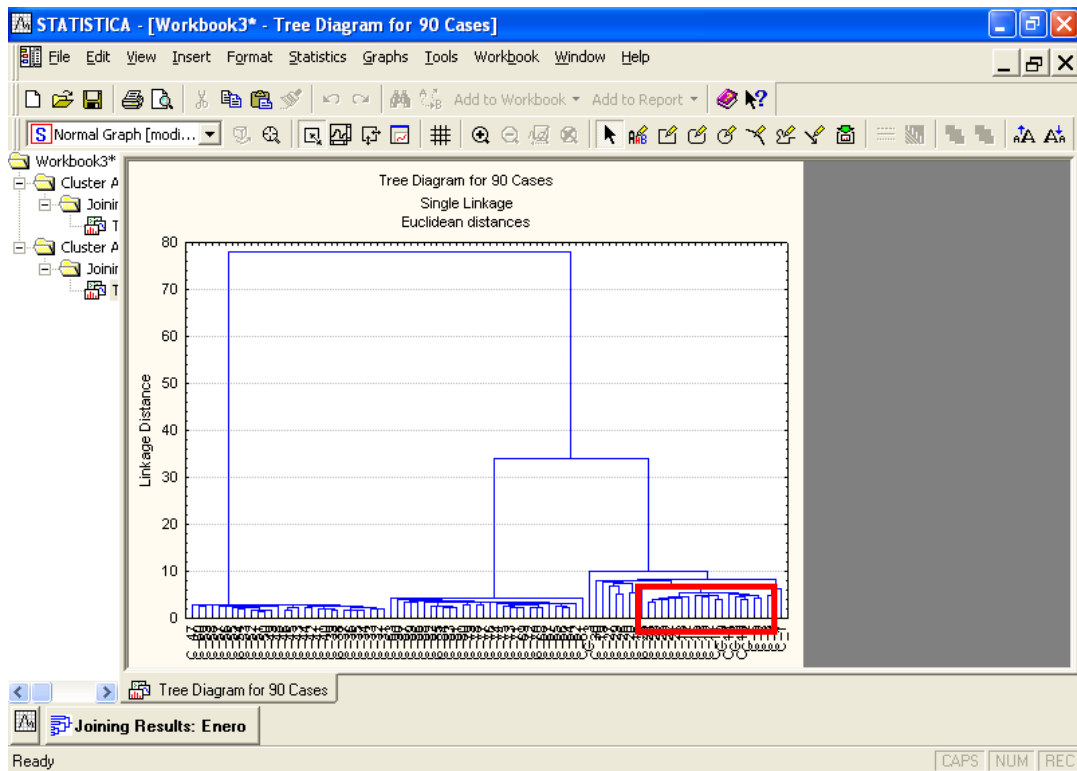


Figura 29: Imagen resultado de la agrupación por distancias de las variables analizadas para e mes de enero.
Fuente: Esta investigación

En la figura 30, se observa que el programa ha hecho la agrupación de un número de estaciones según el valor de la distancia euclidiana* que existe entre una y otra estación con respecto a los valores de Ta y Hr. Teniendo en cuenta la explicación hecha en el numeral 10.6 del presente documento, podemos ver que en la figura 30 se observa que la distancia para el caso de las estaciones 6 y 4 son iguales y esta muy cerca la estación 1.

*Distancia euclidiana Índice cuantitativo que mide la separación existente entre dos unidades de observación según los valores que ellas posean en un conjunto de variables.

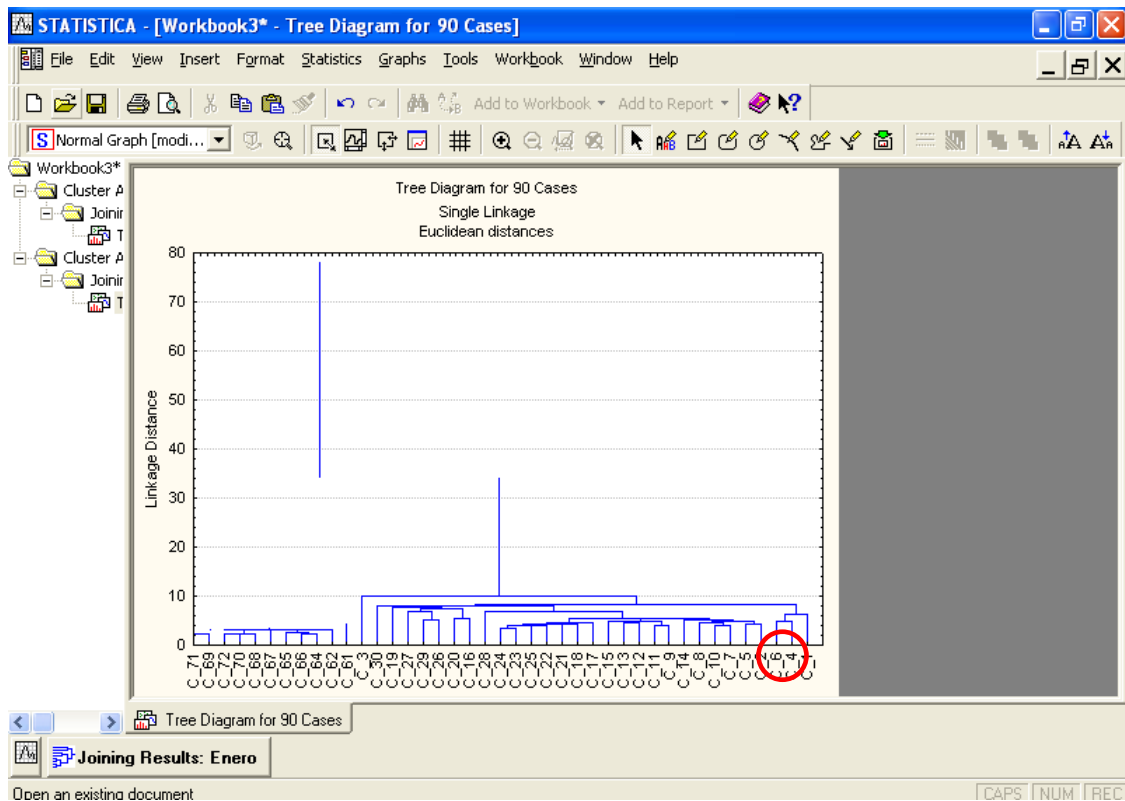


Figura 30: Imagen ejemplo masas 6 y 4.
Fuente: Esta investigación

De esta manera se hacen las asociaciones para establecer las estaciones que tienen una homogeneidad en los valores de las distancias de las variables. Tendiendo esto, se determina la concordancia de la información arrojada, lo cual se hace verificando si los conjuntos que arrojo el programa son lógicos, es decir, si están cerca uno de otro.

El procedimiento descrito es el que se llevó a cabo para conocer la climatología de cada mes y finalmente para las masas de aire y de agua promedio.

11.3.2. Análisis de Correlación Canónica, para la relación entre las masas de aire y de agua en la CPC

Una vez conocidas las masas de aire y de agua mes a mes y promedio, se procedió a aplicarles el análisis de correlación canónica mes a mes y posteriormente a las masas promedio.

Aplicando esta correlación se conocería su relación y así poder determinar dos puntos de los objetivos, 1. Corroborar la relación existente entre las masas de aire y de agua y 2. Determinar los puntos de monitoreo estratégico en la CPC para la ubicación de estaciones de monitoreo hidrometeorológico.

Con la información ya clasificada resultante del análisis de cluster, se procedió a trabajar con el programa StatGraphics, introduciendo los datos organizados por masas. En la Fig. 31 tenemos una imagen del mes de julio.

	T05	S05	T06	S06	T07	S07	TM1	HM1	TM2	HM2	TM3	HM3	TM4	S08
1	26,29	34,02	25,89	33,95	25,73	34,23	24,14	91,61	24,74	90,26	25,65	87,45	26,34	89,61
2	26,46	34,07	26,06	33,97	25,54	34,27	23,88	92,16	24,59	90,56	25,7	86,88	26,58	84,61
3	26,59	34,13	25,93	33,92	25,33	34,2	23,56	92,61	24,38	90,97	25,62	86,36	25,99	84,61
4	26,69	34,19	26,19	33,97	25,39	34,24	23,32	92,15	25,06	89,33	25,21	86,38	26,5	83,61
5	26,73	34,22	26,1	33,89	25,07	34,17	23,02	91,64	24,96	89,36	25,42	85,02	26,08	83,61
6	26,76	34,22	26,54	34,26	25,33	34,22	22,71	91,21	24,83	89,22	24,88	85,39	26,02	83,61
7	26,82	34,26	26,48	34,31	24,93	34,16	22,54	90,68	24,61	88,89	25,55	84,1	26,19	83,61
8	26,4	34,04	26,38	34,31	25,23	34,21	24,12	91,29	24,23	88,68	25,05	84,62	25,77	83,61
9	26,55	34,12	26,35	34,28	24,81	34,16	23,88	90,81	24,69	86,59	25,53	83,82	26,24	83,61
10	26,63	34,21	26,07	33,81	25,04	34,19	23,5	90,41	24,2	86,74	25,13	84,31	25,9	83,61
11	26,67	34,27	26,44	34,23	24,66	34,16	22,97	90,3	24,37	85,71	24,8	84,72	26,23	83,61
12	26,65	34,3	26,31	34,3	25,26	34,14	22,88	89,67	23,91	85,98	25,39	83,86	25,95	83,61
13	26,62	34,3	26,14	34,31	24,83	34,14	22,72	89,21	24,65	85,05	25,05	84,26	25,66	83,61
14	26,62	34,29	26,07	34,25			23,77	88,59	24,42	85,4	24,73	84,6	26,19	83,61
15	26,33	33,96	26,13	33,73			23,43	88,38	24,02	85,64	25,57	83,53	25,95	83,61
16	26,48	34,06	26,36	34,2			23,12	88,15	24,47	85,04	25,25	83,89	25,7	83,61
17	26,54	34,17	26,13	34,28			23,74	86,83			24,96	84,21	26,13	83,61
18	26,31	33,89	25,86	34,29			23,26	86,9			25,38	83,65	25,92	83,61
19	26,46	34	26,24	33,66			22,73	86,96			25,12	83,93	25,71	83,61
20	26,49	34,12	26,3	34,17			23,55	86,19			25,45	83,51	25,5	83,61
21	26,35	33,82	25,97	34,27			23,38	86,35			25,22	83,76	26,08	83,61
22	26,48	33,95	26,38	33,58							25,3	83,62	25,89	83,61
23	26,47	34,08	26,34	34,12							25,35	83,53	25,7	83,61
24	26,44	33,76	25,94	34,23									25,53	83,61
25	26,53	33,9	26,55	33,5									26,03	83,61
26	26,48	34,04	26,42	34,05									25,83	83,61
27	26,55	33,68	25,97	34,19									25,7	83,61
28	26,63	33,82	26,75	33,42									25,55	83,61
29	26,56	33,97	26,83	33,52									25,4	83,61
30	26,67	33,6	26,5	33,97										83,61

Figura 31: Imagen mes de julio información organizada en programa StatGraphics.
Fuente: Esta investigación

Paso seguido se procedió a la aplicación del método estadístico de correlación canónica, como se observa en la figura 32.

	T05	S05			T07	S07	TM1	HM1	TM2	HM2	TM3	HM3	TM4
1	26,29	34,02											
2	26,46	34,07											
3	26,59	34,13	25,93	33,92									
4	26,69	34,19	26,19	33,97									
5	26,73	34,22	26,1	33,89	25,07	34,17	23,02	91,64	24,96	89,36	25,42	85,02	26,08
6	26,76	34,22	26,54	34,26	25,33	34,22	22,71	91,21	24,83	89,22	24,88	85,39	26,02
7	26,82	34,26	26,48	34,31	24,93	34,16	22,54	90,68	24,61	88,89	25,55	84,1	26,19
8	26,4	34,04	26,38	34,31	25,23	34,21	24,12	91,29	24,23	88,68	25,05	84,62	25,77
9	26,55	34,12	26,35	34,28	24,81	34,16	23,88	90,81	24,69	86,59	25,53	83,82	26,24
10	26,63	34,21	26,07	33,81	25,04	34,19	23,5	90,41	24,2	86,74	25,13	84,31	25,9
11	26,67	34,27	26,44	34,23	24,66	34,16	22,97	90,3	24,37	85,71	24,8	84,72	26,23
12	26,65	34,3	26,31	34,3	25,26	34,14	22,88	89,67	23,91	85,98	25,39	83,86	25,95
13	26,62	34,3	26,14	34,31	24,83	34,14	22,72	89,21	24,65	85,05	25,05	84,26	25,66
14	26,62	34,29	26,07	34,25			23,77	88,59	24,42	85,4	24,73	84,6	26,19
15	26,33	33,96	26,13	33,73			23,43	88,38	24,02	85,64	25,57	83,53	25,95
16	26,48	34,06	26,36	34,2			23,12	88,15	24,47	85,04	25,25	83,89	25,7
17	26,54	34,17	26,13	34,28			23,74	86,83			24,96	84,21	26,13
18	26,31	33,89	25,86	34,29			23,26	86,9			25,38	83,65	25,92
19	26,46	34	26,24	33,66			22,73	86,96			25,12	83,93	25,71
20	26,49	34,12	26,3	34,17			23,55	86,19			25,45	83,51	25,5
21	26,35	33,82	25,97	34,27			23,38	86,35			25,22	83,76	26,08
22	26,48	33,95	26,38	33,58							25,3	83,62	25,89
23	26,47	34,08	26,34	34,12							25,35	83,53	25,7
24	26,44	33,76	25,94	34,23									25,53
25	26,53	33,9	26,55	33,5									26,03
26	26,48	34,04	26,42	34,05									25,83
27	26,55	33,68	25,97	34,19									25,7
28	26,63	33,82	26,75	33,42									25,55
29	26,56	33,97	26,83	33,52									25,4
30	26,67	33,6	26,5	33,97									

Figura 32: Imagen mes elección método estadístico de correlación canónica mes de julio
Fuente: Esta investigación

El software pide al usuario que seleccione las columnas (en este caso son las masas de aire o de agua) que se desean correlacionar, para el ejemplo tenemos la masa de agua 5 con sus variables de TSM y SMM con las variables de Ta y Hr de la masa de aire 2. Fig. 33

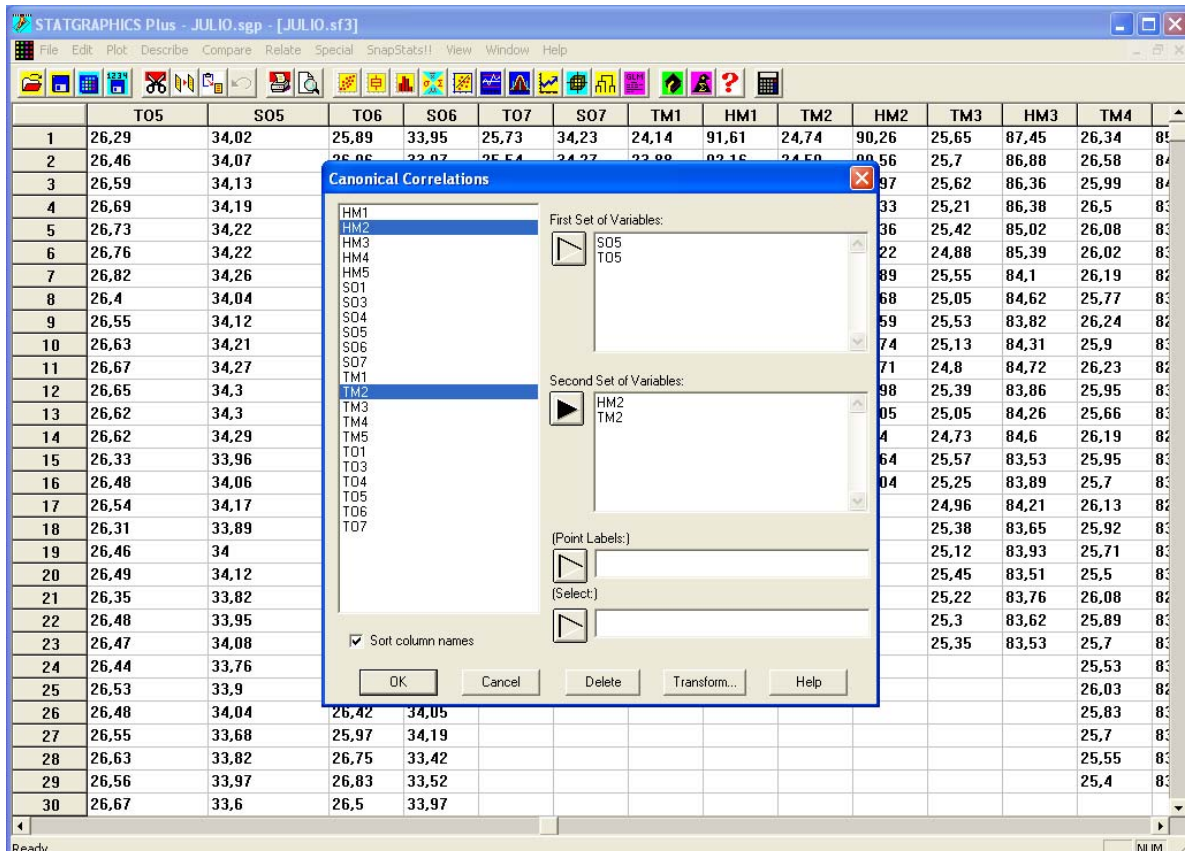


Figura 33: Imagen Selección de masas de aire y de agua del mes de julio
Fuente: Esta investigación

Así el software entrega como resultado el valor de la correlación, y una grafica ilustrativa.
Fig. 34

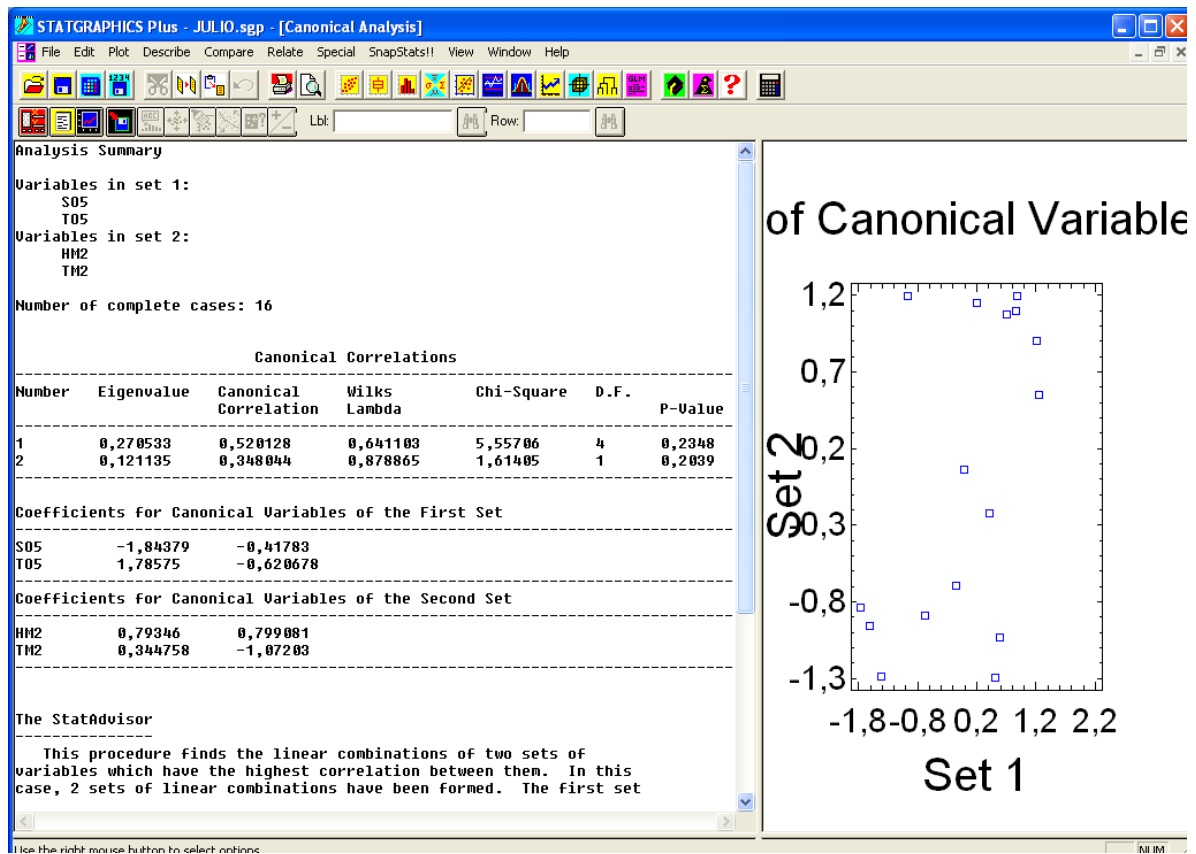


Figura 34: Imagen resultado de correlación y grafica ilustrativa del mes de julio
Fuente: Esta investigación

De esta manera se realizaron las correlaciones de cada una de las masas de agua y de aire en cada uno de los meses y en con las masas de agua y de aire promedio.

11.3.3. Validación de resultados

Una vez se obtuvieron los resultados de la aplicación del método estadístico de correlación canónica, para el caso de las masas de aire y de agua promedio, se procedió a validar esta información, mediante un análisis visual entre la grafica de masas de aire promedio y las masas de agua promedio, para conocer si los resultados eran acordes a la ubicación espacial de las masas en la CPC. De esta manera se obtuvieron los resultados finales para determinar la ubicación de las estaciones de monitoreo hidrometeorológicas.

12. RESULTADOS Y ANALISIS

12.1. Climatología de las Masas de Agua y de Aire en la CPC

Se identificaron las masas agua y de aire en la CPC, mediante el análisis de cluster, usando los parámetros oceanológicos de temperatura superficial del mar (TSM) y salinidad superficial del mar (SSM), como también los parámetros meteorológicos de temperatura del aire (Ta) y humedad relativa (Hr) . A continuación se describirán sus resultados.

12.1.1. Identificación mes a mes de las masas de agua homogéneas sobre la CPC por medio del análisis de cluster.

En la capa superficial del océano, con el análisis de cluster, se determinó la distribución de masas de agua mes a mes, representadas con números romanos en las Figuras 35 - 46 donde, los arábigos, son estaciones cada 30 minutos. Las características termohalinas se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Masas de agua en la CPC mes a mes y sus características termohalinas
Fuente: Esta investigación

Mes y Figura	Masas de Agua	Temperatura, °C	Salinidad, S	Densidad, kg / m^3
Enero - Fig. 35	I	24.97	33.34	21.82
	II	24.38	32.60	21.46
	III	24.84	33.51	21.99
	IV	24.90	33.72	22.12
	V	25.30	33.61	21.92
	VI	25.15	33.70	22.02
Febrero - Fig.36	I	24.63	33.54	22.07
	II	24.03	32.66	21.61
	III	24.83	33.59	22.05
	IV	25.01	33.74	22.10
	V	25.32	33.86	22.09
	VI	25.70	33.74	21.89
	VII	25.80	33.82	21.92
Marzo - Fig. 37	I	24.68	33.88	22.30
	II	24.25	33.22	21.95
	III	25.12	33.91	22.18
	IV	25.36	33.97	22.16
	V	25.60	34.00	22.11

	VI	25.96	24.03	22.02
	VII	26.17	33.91	21.86
Abril - Fig. 38	I	25.08	34.05	22.31
	II	24.02	32.90	21.79
	III	25.12	33.79	22.10
	IV	25.50	34.05	22.17
	V	25.77	24.10	22.13
	VI	26.00	34.15	22.09
	VII	26.55	34.14	21.91
	VIII	26.38	34.11	21.94
Mayo - Fig. 39	I	26.09	34.03	21.97
	II	25.01	32.98	21.55
	III	26.04	34.06	22.01
	IV	26.71	34.19	21.90
	V	27.01	34.07	21.71
	VI	26.24	33.95	21.87
Junio - Fig. 40	I	26.91	33.83	21.57
	II	25.64	32.77	21.20
	III	26.66	34.02	21.78
	IV	26.71	34.14	21.86
	V	26.90	33.98	21.68
	VI	25.78	34.10	22.12
Julio - Fig. 41	I	26.95	33.61	21.40
	II	25.55	32.54	21.06
	III	26.56	33.91	21.74
	IV	26.34	33.95	21.84
	V	26.57	34.17	21.92
	VI	26.58	33.86	21.70
	VII	25.34	34.15	22.29
Agosto - Fig. 42	I	27.03	33.53	21.32
	II	25.81	32.58	21.01
	III	26.64	33.81	21.64
	IV	26.48	33.84	21.71
	V	26.23	33.91	21.84
	VI	24.66	34.11	22.47
Septiembre - Fig. 43	I	27.18	33.38	21.16
	II	26.19	32.59	20.90
	III	26.75	33.77	21.57

	IV	26.37	33.55	21.54
	V	26.02	33.91	21.91
	VI	24.22	33.98	22.51
Octubre - Fig. 44	I	26.99	33.29	21.15
	II	25.84	32.18	20.71
	III	26.38	33.60	21.57
	IV	25.97	33.45	21.59
	V	25.95	33.73	21.80
	VI	25.39	33.94	22.12
	VII	23.18	33.94	22.61
Noviembre - Fig. 45	I	26.28	33.22	21.32
	II	25.33	32.46	21.07
	III	25.52	33.65	21.87
	IV	25.19	33.56	21.92
	V	25.04	33.73	22.07
	VI	23.72	33.89	22.59
Diciembre - Fig. 46	I	25.56	33.18	21.53
	II	24.58	32.42	21.27
	III	24.82	33.58	22.04
	IV	24.75	33.62	22.08
	V	25.01	33.65	22.03
	VI	23.96	33.74	22.42

En abril se presentan 8 masas de agua, en febrero, marzo, julio y octubre se presentan 7 masas de agua y en los demás meses sólo 6. Esta distribución se encuentra influenciada por la migración de la ZCIT, ya que entre noviembre y enero permite que en el sur de la CPC se establezcan los parámetros físicos logrando una homogeneidad temporal de 3 meses. A partir de febrero el movimiento aparente de la ZCIT hacia el norte del país se ve reflejado en la variación de los parámetros termohalinos, observándose el aumento de las masas de agua inclusive hasta 8 en abril. Luego de abril, se observa nuevamente disminución llegando a 7 y 6. La información muestra un promedio de 7 masas de agua en la CPC (Fig. 59).

Las características termohalinas de la Tabla 14, permiten dividir a la CPC en tres zonas: costera, intermedia y oceánica. La zona costera, presenta variaciones algo más marcadas mes a mes, tanto en la temperatura, como en la salinidad, debido al aporte de los ríos y los movimientos de aguas característicos de las zonas costeras presentados por la influencia de flujos de calor de las aguas dulces de los ríos. Las masas de agua I, II y III, son clasificadas dentro de la zona costera.

La zona de mezcla o intermedia, se comprende como la unión de masas de agua ubicadas entre las aguas de características termohalinas no costeras, pero aún no oceánicas, pertenecientes a las masas IV y V. En esta zona, la S y la ρ aumentan al desplazarse al océano, la variación de las oscilaciones de los parámetros físicos disminuye presentando estabilidad en su variabilidad anual, en comparación con las grandes variaciones de la zona costera. A la zona oceánica pertenecen las masas VI y VII.

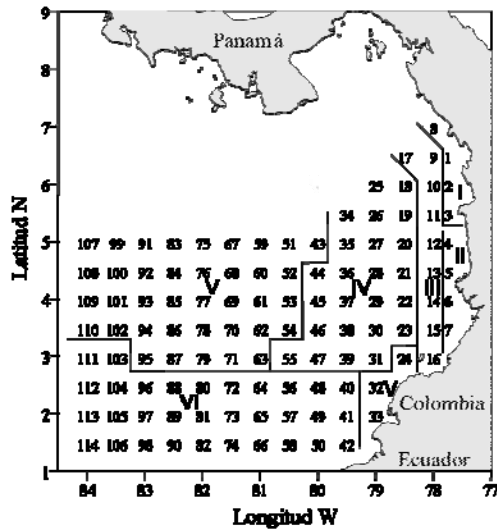


Figura 35. Masas de agua superficiales, CPC: Enero

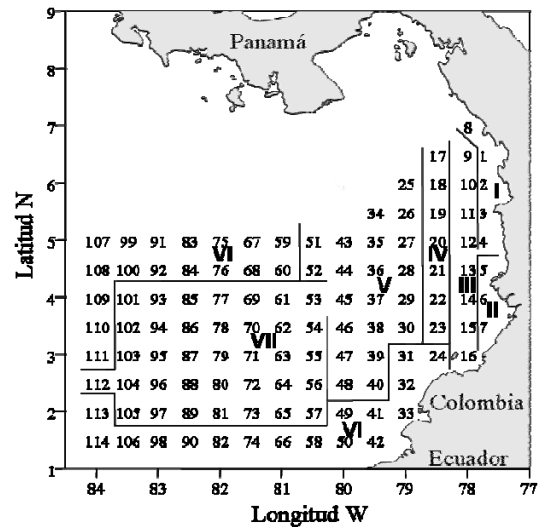


Figura 36. Masas de agua superficiales, CPC: Febrero

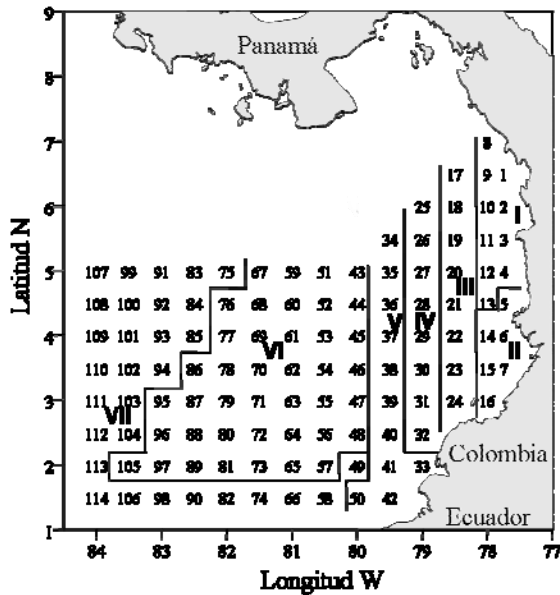


Figura 37. Masas de agua superficiales, CPC: Marzo

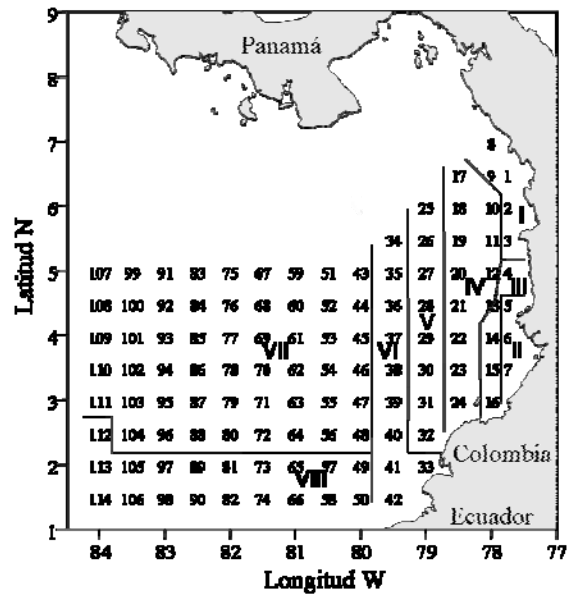


Figura 38. Masas de agua superficiales, CPC: Abril

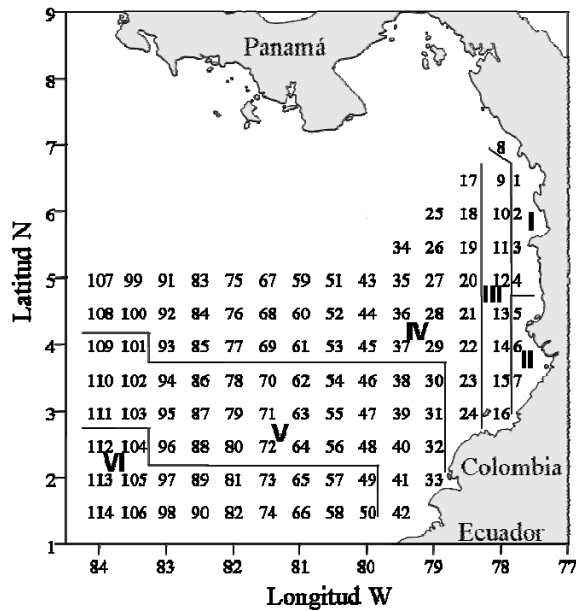


Figura 43. Masas de agua superficiales, CPC: Septiembre.

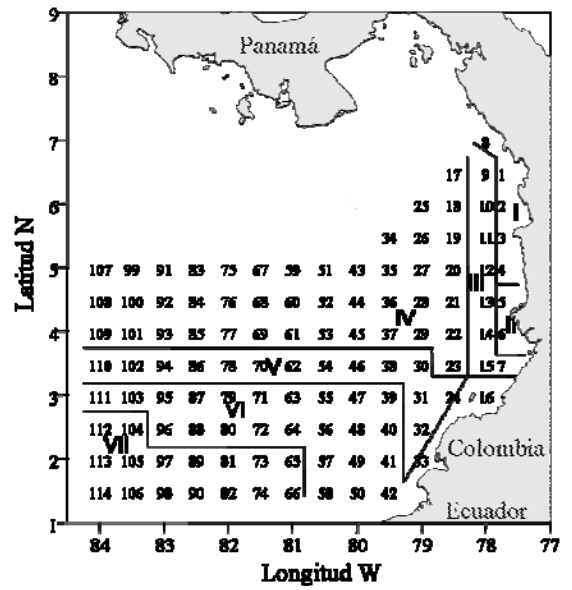


Figura 44. Masas de agua superficiales, CPC: Octubre

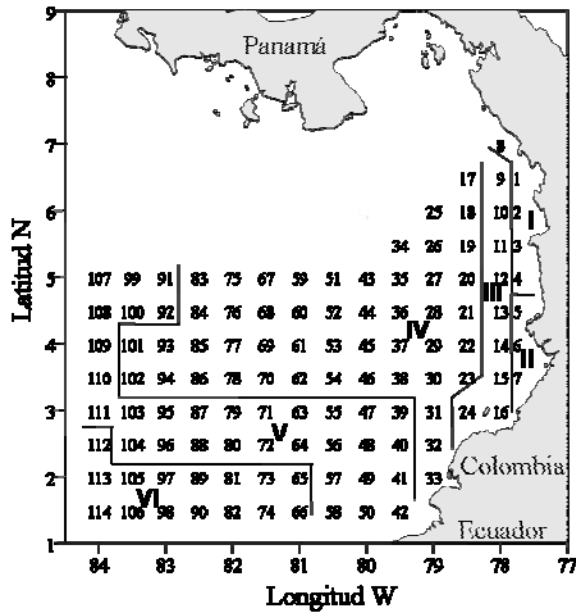


Figura 45. Masas de agua superficiales, CPC: Noviembre

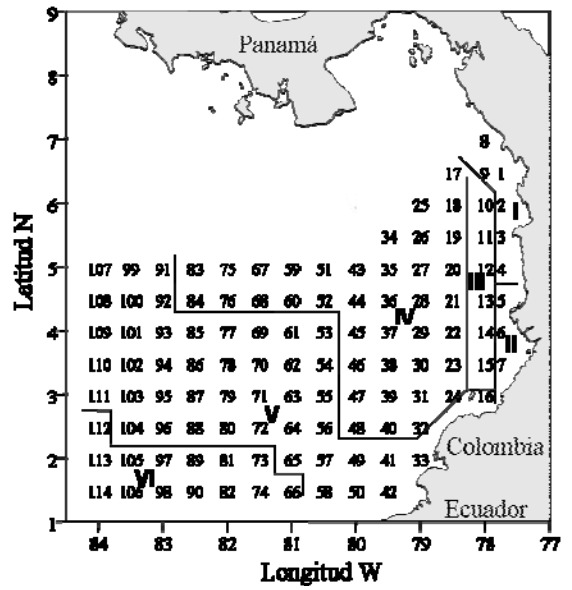


Figura 46. Masas de agua superficiales, CPC: Diciembre

12.1.2. Identificación mes a mes de las Masas de Aire Homogéneas sobre la CPC por medio del análisis de Cluster

A continuación se hará una descripción de los resultados hallados mes por mes mediante el análisis de cluster, aplicado a los parámetros de temperatura T_a y humedad relativa H_r en superficie.

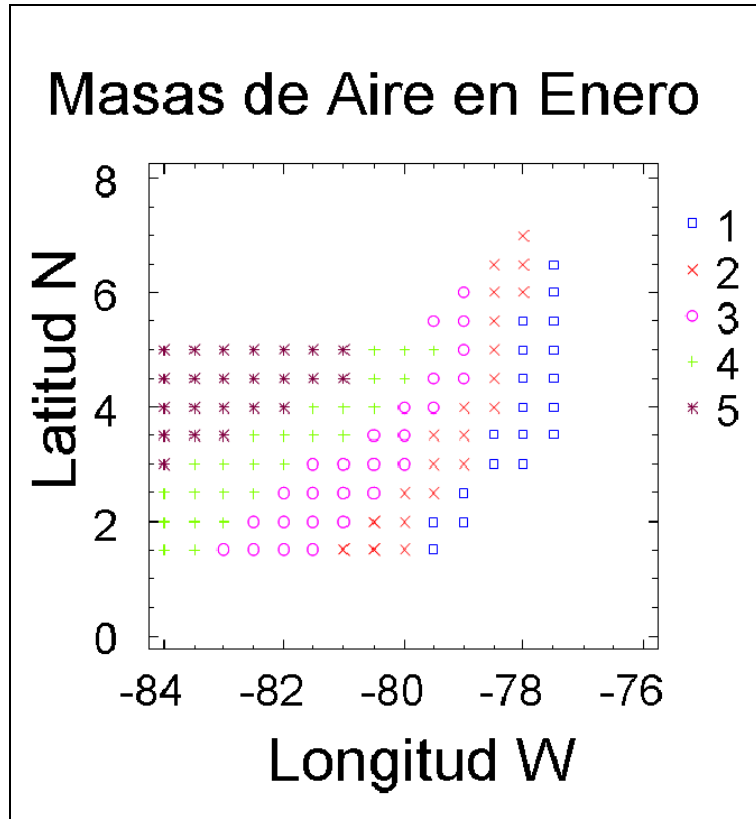


Figura 47: Masas de Aire en enero en la CPC

Las masas de aire encontradas en el mes de enero, son 5, como se describen en la figura 47, las características son:

Tabla 15. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de enero

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	22.9	92
2	24.01	89
3	25.0	85
4	25.8	83
5	26.3	81

La masa 1 presenta una T° de 22.9°C y una humedad relativa de 92%, indicando una menor temperatura y una mayor humedad relativa con respecto a las otras 4 masas que componen el mes de enero. Dicha masa se encuentra más próxima a la costa, lo que hace que se vea muy influenciada por los procesos atmosféricos que ocurren en el continente.

El proceso de calentamiento de las masas de aire 2,3,4 y 5 se va produciendo a medida que ellas se van alejando de la costa, teniendo una clara influencia de la temperatura superficial del mar que de igual manera al alejarse más de la costa, se ve menos influenciada por las actividades costeras. La zona de convergencia intertropical ZCIT se aproxima hacia el sur.

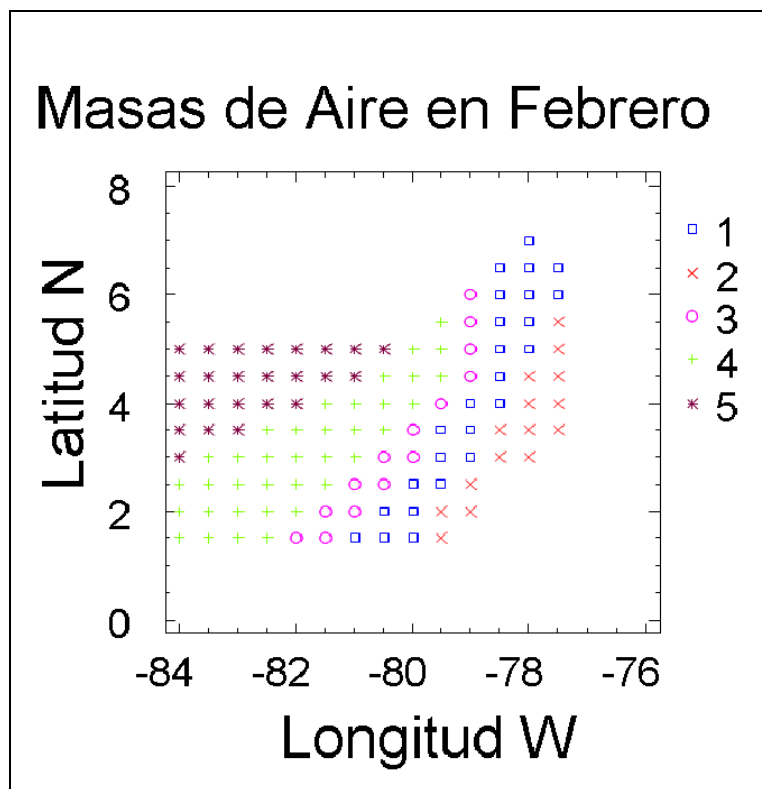


Figura 48: Masas de Aire en febrero en la CPC

Tabla 16. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de febrero.

Masa	Temperatura $^\circ\text{C}$	Humedad relativa %
1	24.2	89
2	22.9	92
3	25.1	86
4	26.0	83
5	26.6	81

En el mes de febrero (fig.48) la masa de aire 1 presenta una T° de 24.2 °C y una Humedad relativa de 89%, la masa de aire 2 tiene una T° de 22.9°C y una Humedad relativa de 92%, teniendo más cercana a la costa la masa de aire 2, con un valor mayor en Hr. y menor en T° con respecto a las demás masas de aire del mes de febrero.

Las masa de aire 3 tiene una T° de 25.1 y Hr de 86%, la masa de aire 4 tiene una T° de 26.0°C y una Hr. de 83%, finalmente la masa de aire 5 una T° de 26.6°C y una Hr de 81% (tabla 16). Los anteriores comportamientos son los esperados en las masas de aire al alejarse de la costa.

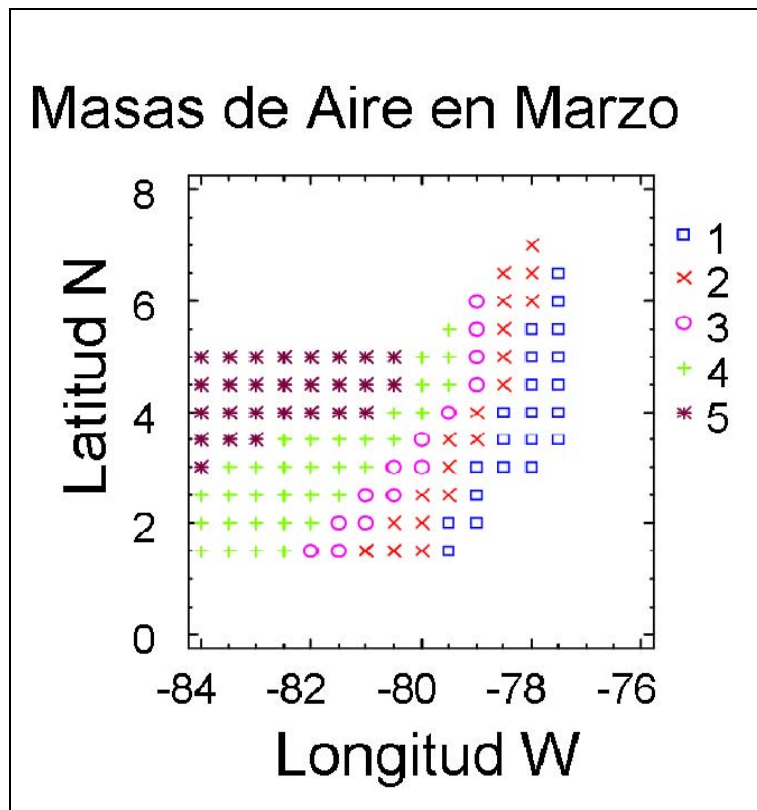


Figura 49: Masas de Aire en marzo en la CPC

Tabla 17. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de marzo.

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	23.3	91
2	24.5	89
3	25.2	87
4	26.0	84
5	26.6	83

Para el mes de marzo en la tabla 17 muestra la masa de aire 1 que tiene una temperatura de 23.3°C y una Hr de 91%, la masa de aire 2 tiene una temperatura de 24.5 °C y una Hr de 89%, la masa de aire 3 una T° de 25.2 y una Hr de 87%, la masa de aire 4 una T° de 26°C y una Hr de 84% finalmente la masa de aire 5 posee un valor de T° de 26.6 °C y una Hr de 83%. El comportamiento de dichas masas es el esperado para la ubicación de cada masa según se observa en la figura 49. Vale resaltar que para este mes la masa de aire 1 tiene una temperatura superior a la presentada en el mes de enero. Sin embargo el valor de la Hr en los tres últimos meses es muy similar.

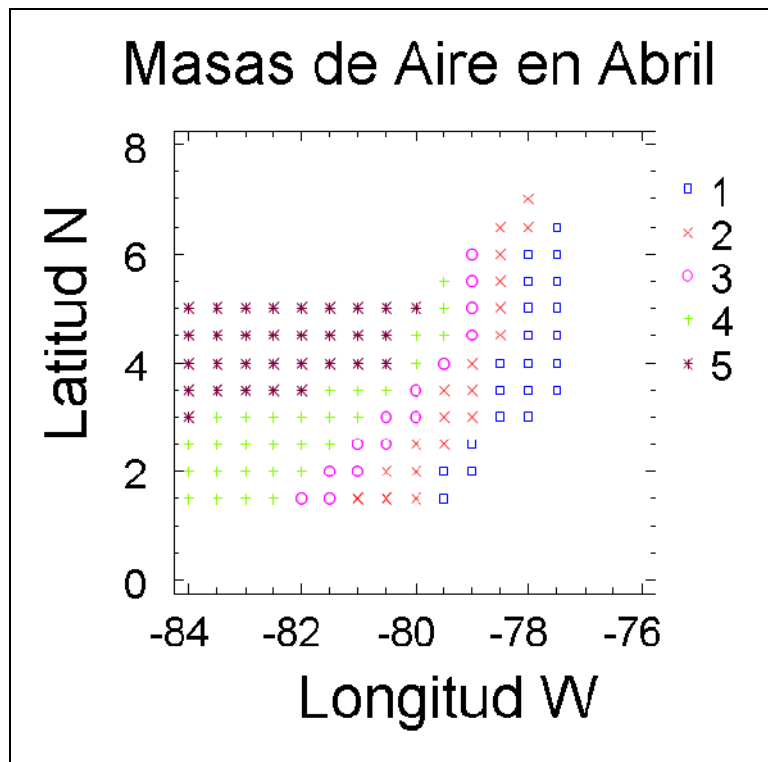


Figura 50: Masas de Aire en abril en la CPC

Tabla 18. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de abril.

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	23.6	92
2	24.7	89
3	25.5	87
4	26.1	85
5	26.8	83

Para el mes de abril, la tabla 18 muestra que la masa de aire 1 tiene una T° de 23.6°C y una Hr de 92%, la masa de aire 2 tiene una T° de 24.7°C y una Hr de 89%, la masa de aire 3 tiene una T° de 25.5 °C y una Hr de 87%, la masa de aire 4 tiene una T° de 26.1 y una Hr de 85% finalmente la masa de aire 5 tiene una T° de 26. y una Hr de 83% (fig. 50). Se presenta un leve aumento en la temperatura para la masa 1 con relación a la masa 1 del mes de marzo. Las temperaturas de las masas 5 de los últimos 4 meses no presentan variaciones importantes en sus valores.

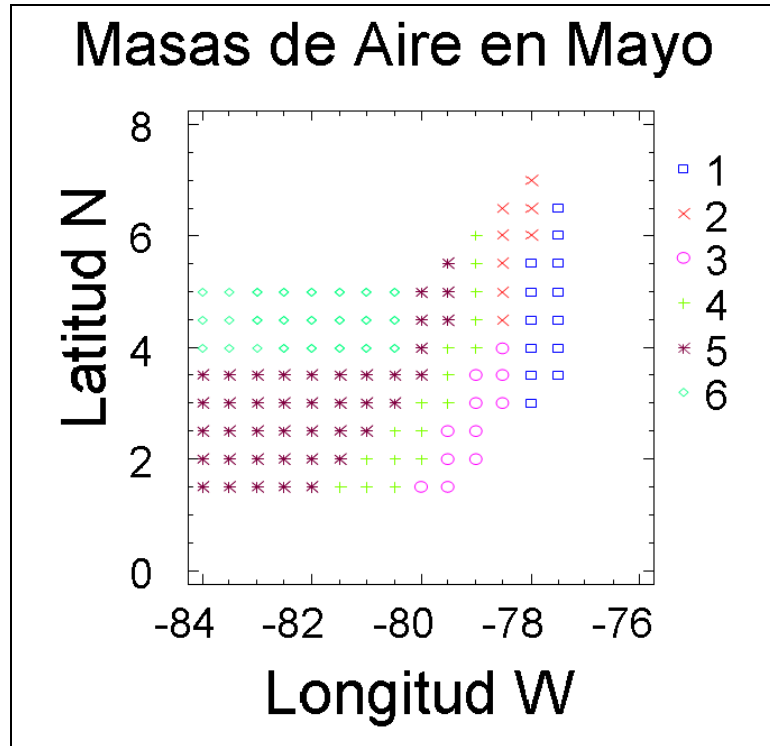


Figura 51: Masas de Aire en mayo en la CPC

Tabla 19. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de mayo.

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	23.6	92
2	25.0	90
3	23.9	89
4	25.3	87
5	26.2	84
6	27.0	83

Para el mes de mayo se obtuvieron 6 masas de aire, las cuales tienen las siguientes características: la masa de aire 1 T° de 23.6 °C y Hr de 92%, la masa de aire 2 con T° de 25.0°C y Hr de 90%, masa de aire 3 T° de 23.9°C y Hr de 89%, masa de aire 4 T° de 25.3°C y Hr de 87%, masa de aire 5 T° de 26.2°C y Hr de 84% finalmente la masa de aire 6 con una T° de 27 °C y Hr de 83% (tabla 19).

Es de resaltar la inclusión de una nueva masa de aire en el mes de mayo, la cual corresponde a la masa 2, ya que aparece un nuevo valor de temperatura y humedad relativa comparándose con los meses anteriores, donde se aprecia que el valor de la humedad relativa presentaba una variación mas fuerte entre la masa de aire 1 y 2, en el mes de mayo se presenta dicha variación de manera menos fuerte y repartida en las tres primeras masas de aire (fig.51).

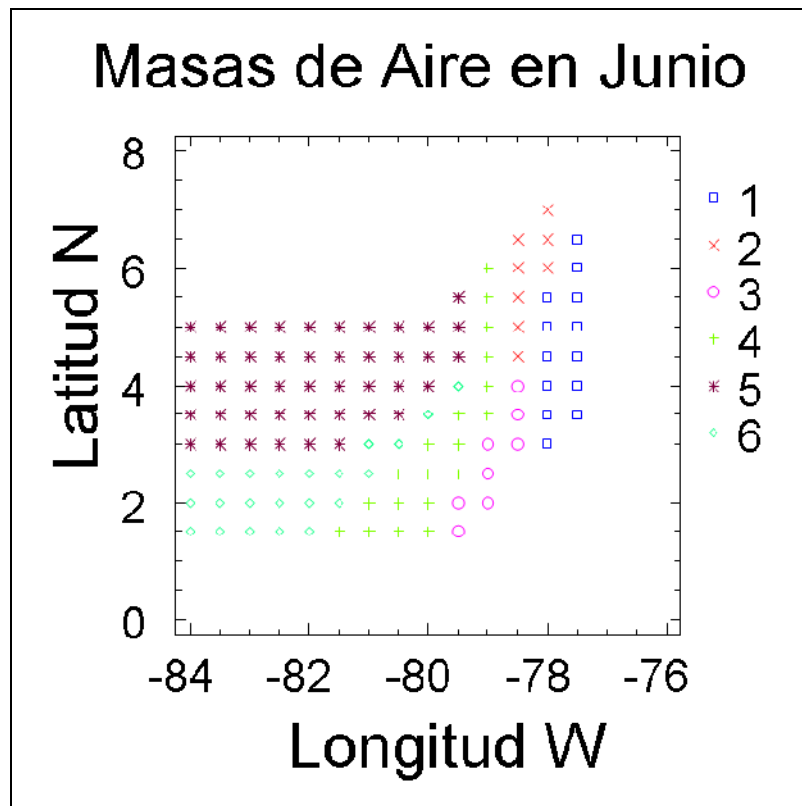


Figura 52: Masas de Aire en junio en la CPC

Tabla 20. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de junio.

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	23.5	92
2	24.8	90
3	23.5	89
4	24.9	86
5	26.5	83
6	25.6	84

El mes de junio presenta varias particularidades en el comportamiento de las masas de aire comparado con los meses anteriores, la masa de aire 1 presenta una T° de 23.5°C y Hr de 92%, la masa de aire 2 tiene una T° de 23.8°C y una Hr de 90%, la masa de aire 3 con una T° de 23.5°C y una Hr de 89% presentando esta última masa un valor inferior a su antecesor y esto es debido a que se concentra en la parte sur de la CPC, siendo dividida en los 4° latitud Norte como se aprecia en la figura 52 (Tabla 20). La masa de aire 4 tiene una T° de 24.9°C y una Hr de 86%, la masa de aire 5 tiene una T° de 26.5°C y una Hr de 83% finalmente la masa de aire 6 presenta una T° de 25.6°C y una Hr de 84%, ésta última masa presenta un comportamiento similar a la masa 3, donde se observa que se ubica al sur de la CPC iniciando también a los 4° latitud norte y extendiéndose hacia el occidente desde los 2.5° latitud norte llegando hasta el límite de los 84° oeste.

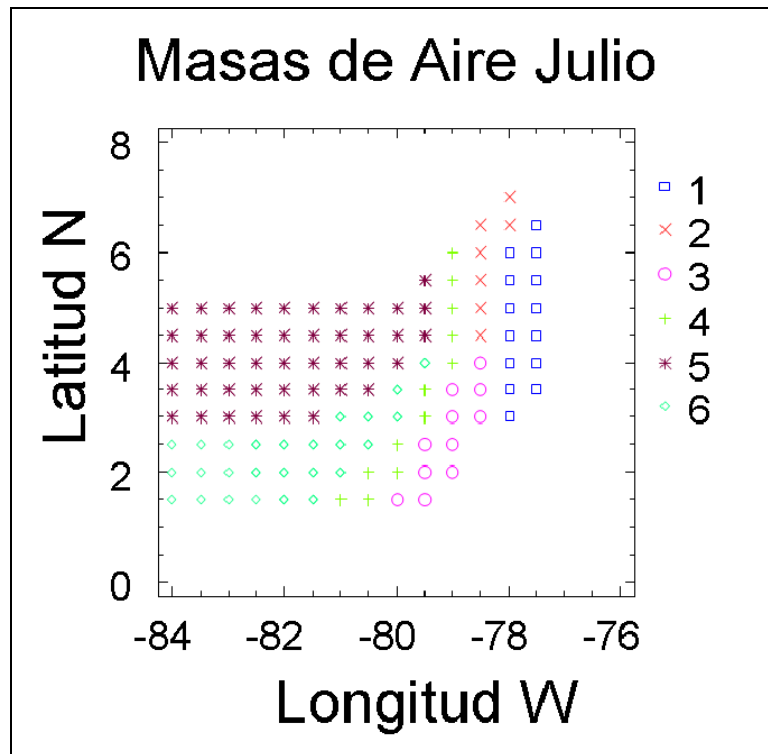


Figura 53: Masas de Aire en julio en la CPC

Tabla 21. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de julio.

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	23.4	91
2	24.7	89
3	23.5	86
4	24.9	85
5	26.3	83
6	25.4	83

El comportamiento en el mes de julio es muy similar al del mes de junio, ya que presentan las misma cantidad de masas de aire y las masas de aire 3 y 6 también se encuentran a partir de los 4° latitud norte. La masa de aire 4 hace una división en el comportamiento de la masa 3 y la masa 6, presentando un valor medio entre estas dos (tabla 21).

Las masa de aire 1 tiene una T° de 23.4 °C y Hr de 91%, la masa de aire 2 una T° de 24.7°C y una Hr de 89%, la masa de aire 3 tiene una T° de 23.5°C y una Hr de 86%, la masa de aire 4 presenta una T° de 24.9°C y una Hr de 85%, la masa de aire 5 tiene una T° de 26.3°C y una Hr de 83% finalmente la masa de aire 6 tiene una T° de 25.4°C y una Hr de 83%, siendo éste último un valor superior al presentado en la masa de aire 5 (fig. 53).

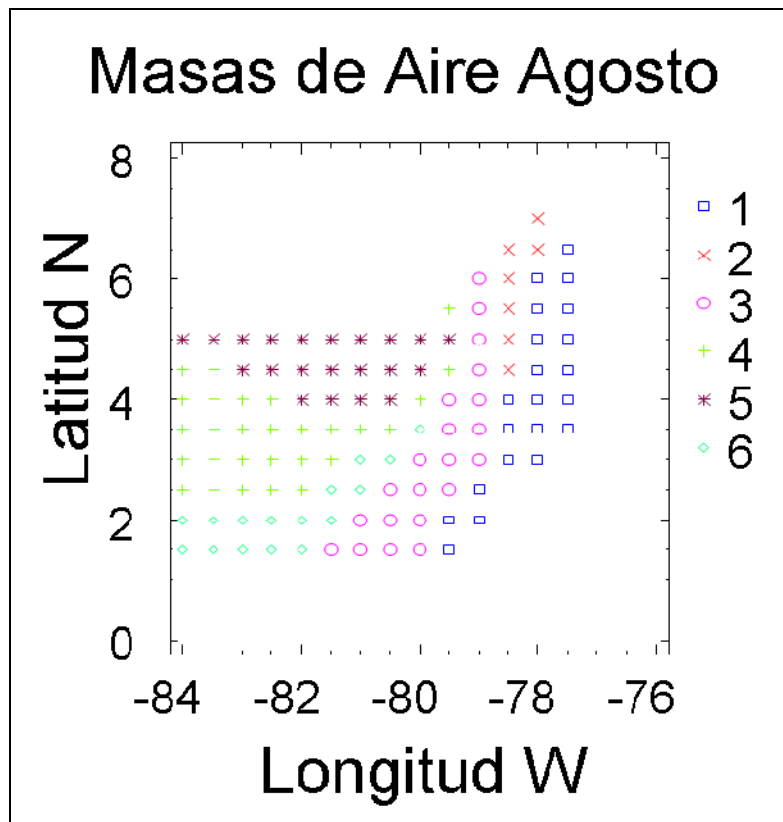


Figura 54: Masas de Aire en agosto en la CPC

Tabla 22. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de agosto.

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	23.2	90
2	24.5	90
3	24.5	86
4	25.7	83
5	26.3	83
6	25.1	84

El mes de agosto presenta también 6 masas de aire, las cuales tienen los siguientes valores: masa 1 T° 23.2°C y Hr de 90.58%, masa de aire 2 T° de 24.5°C y Hr de 90%, masa de aire 3 T° de 24.5°C y Hr de 86%, masa de aire 4 T° de 25.7°C y Hr de 83%, masa de aire 5 T° de 26.3 °C y Hr de 83% finalmente masa de aire 6 con T° de 25.1°C y Hr de 84% (tabla 22). Esta última masa de aire tiene un comportamiento diferente, ya que como se observa en la figura 54, su comportamiento se presenta al sur de la CPC, partiendo de los 3.5° de latitud norte, sin tener una relación con la masa 5, siendo la masa 4 quien esta separando las

masas 5 y 6. Dicha influencia sobre la masa 5 puede ser debida a un fenómeno estacional que proviene de la cuenca de Panamá (fig. 54).

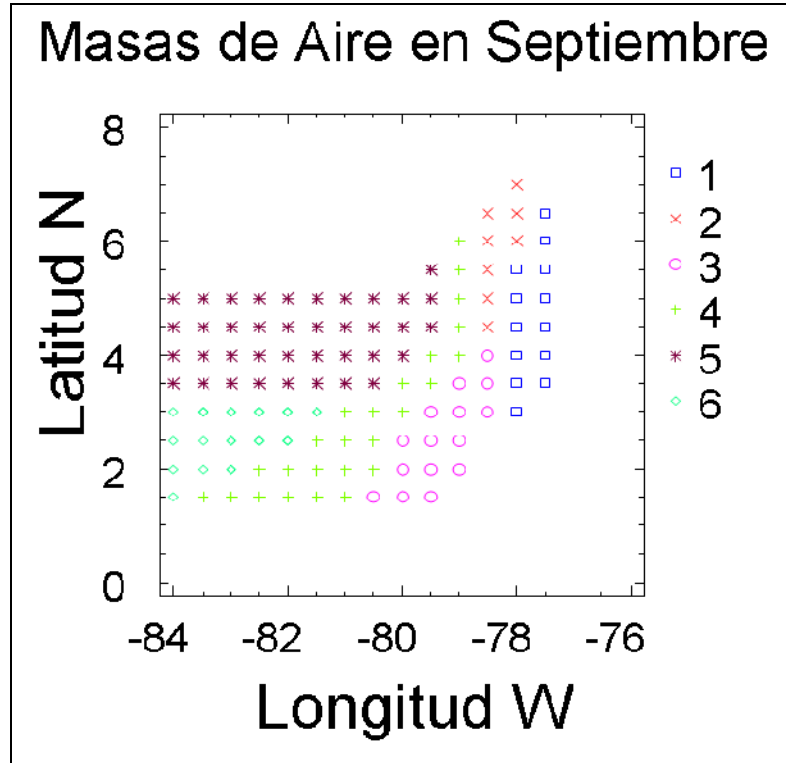


Figura 55: Masas de Aire en septiembre en la CPC

Tabla 23. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de septiembre.

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	23.0	92
2	24.4	90
3	23.4	87
4	24.8	85
5	26.0	83
6	25.3	83

Las masas de aire del mes de septiembre (fig.55) presentan el siguiente comportamiento, masa 1 T° 23.0 °C y Hr 92%, la masa 2 T°24.4 °C y Hr 90 %, la masa 3 con T° de 23.4°C y Hr 87%, la masa 4 tiene una T° 24.8°C y Hr 85%, la masa 5 tiene la máxima temperatura con el 26.0°C y Hr de 83% y finalmente la masa 6 con 25.3°C de T° y Hr de 83.2% (tabla 23). La masa 6 se ubica entre la masa 4 y la masa 5, explicando así el comportamiento de la

temperatura. La Hr se presenta a modo de porcentaje, siendo no muy influenciado por la ubicación, presentando una diferencia entre la masa 5 y 6 de apenas 0.1%.

De igual manera ocurre con el valor de la T° de la masa 2, donde se encuentra entre las masas 1 y 4, siendo de esta manera que se explica su comportamiento. De esta manera es posible explicar la distribución en este mes de las masas de aire, ya que como se observa no es totalmente uniforme y que se presenta influenciado por factores como la zcit, que en el mes de septiembre se encuentra al norte del ecuador, pero que en la CPC se tiende a estabilizar llegando así al océano.

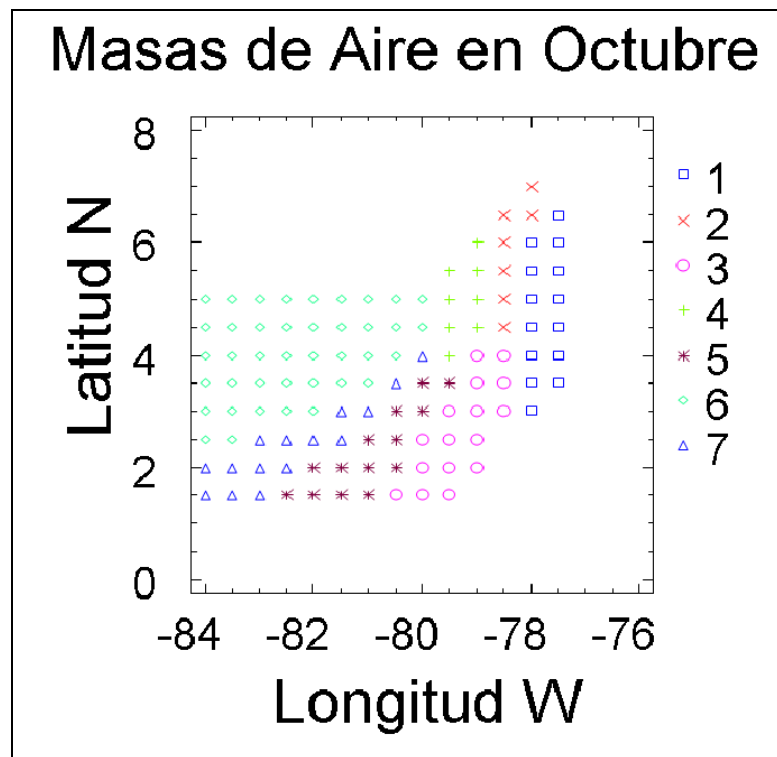


Figura 56: Masas de Aire en octubre en la CPC

Tabla 24. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de octubre.

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	23.0	92
2	24.2	90
3	23.3	88
4	25.3	87
5	24.6	84
6	25.9	82
7	25.2	83

El mes de octubre presenta la mayor cantidad de masas de aire, con un valor de 7, los cuales se encuentran en la tabla 24. En este mes no se presenta un comportamiento normal en las masas de aire, ya que no existe un patrón de aumento de temperatura al alejarse de la costa y de disminución en la humedad relativa también al alejarse de la costa. Dentro de la distribución apreciada en la figura 56, se observa una división en el comportamiento de las masas en los 4° de latitud norte, siendo progresivo el aumento de temperatura la alejarse de la costa para las masas 1, 2, 4 y 6 con valores de temperatura de 23.0°C, 24.2°C, 25.3°C y 25.9°C respectivamente.

De igual manera al sur de los 4° N se presenta un comportamiento similar para las masas 1, 3, 5, 7 y 6, con valores de T° de 23.0°C, 23.3°C, 24.6°C, 25.2°C y 25.9°C respectivamente. Los 4°N representa para la mayoría de las masas de aire analizadas hasta el momento una línea divisoria de los comportamientos en la CPC.

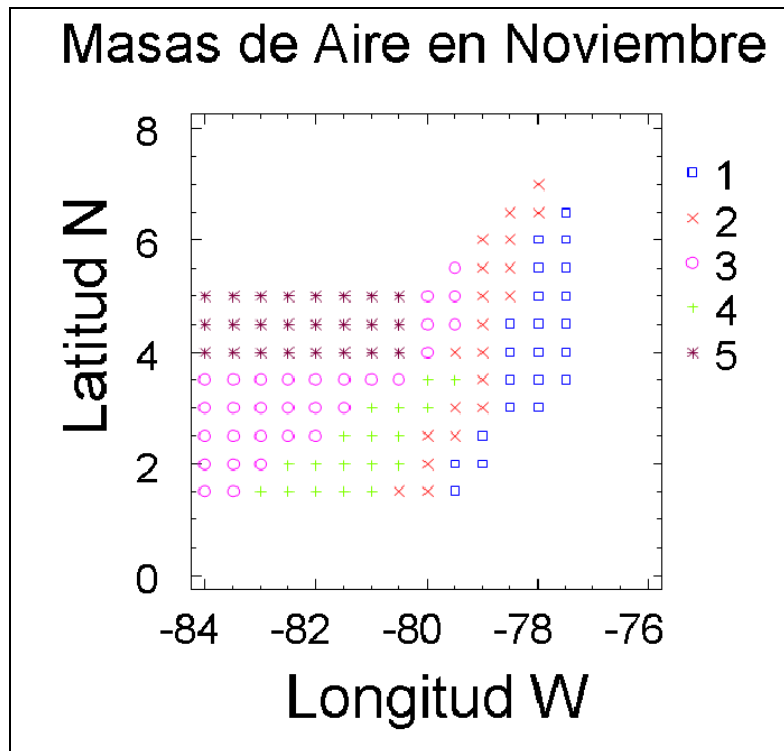


Figura 57: Masas de Aire en noviembre en la CPC

Tabla 25. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de noviembre

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	22.8	92
2	24.1	89
3	25.3	83
4	24.5	85
5	25.9	83

Las masas de aire del mes de noviembre (fig. 57) vuelven a ser 5 cuyo comportamiento se ve reflejado en la tabla 25. Es importante observar que las masa 4 y cinco se encuentran separadas a los 4°N, presentando valores diferentes de T° y Hr. Existe una asociación de la masa 4 con las masas 2 y 3 con valores de T° 24.1°C para la masa 2, T° 24.5°C para la masa 4 y de T° 25.3 para la masa 3. de esta manera se presenta una zona mixta de valores entre los 79° W y los 81°W y entre los 3°N y los 4.5°Nm, donde encontramos 4 de las 5 masas de aire presentes en este mes.

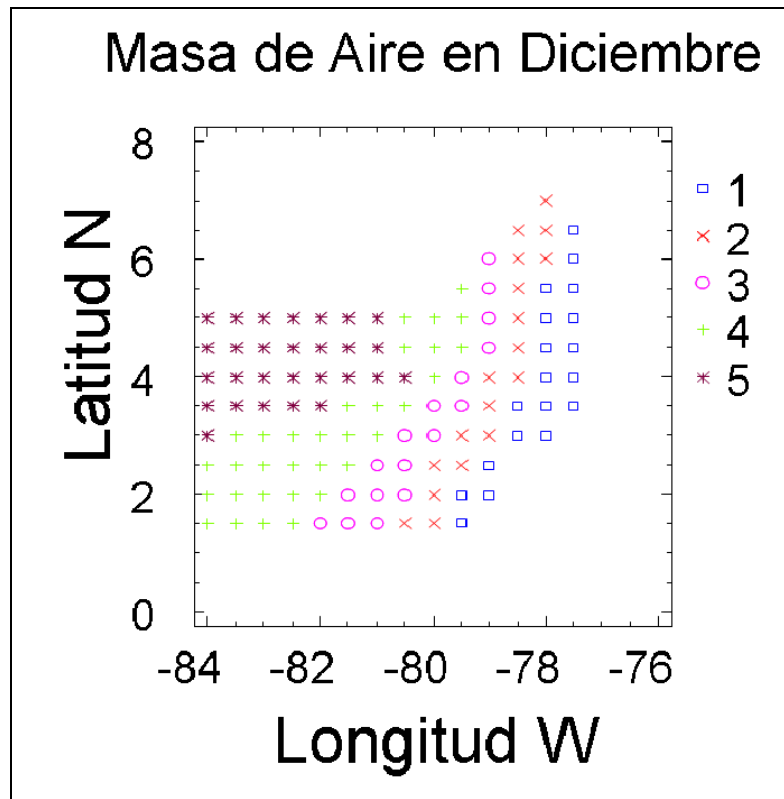


Figura 58: Masas de Aire en diciembre en la CPC

Tabla 26. Valores de temperatura y humedad relativa de las masas de aire del mes de diciembre.

Masa	Temperatura °C	Humedad relativa %
1	22.8	93
2	23.8	90
3	24.5	87
4	25.3	84
5	25.9	83

Al igual que en el mes de noviembre, el mes de diciembre presenta 5 masas de aire, descritas en la tabla 26. El comportamiento en este mes se presenta un poco más típico, pareciéndose al mes de enero, donde a medida que se van alejando de la costa, los valores de temperatura aumentan y los valores de humedad relativa disminuyen.

12.2. Zonas de coincidencia de distribución espacio temporal de las masas de aire y de las masas de agua mes a mes sobre la CPC

Para lograr el objetivo de identificar la correlación entre las variables meteorológicas y oceanográficas y con esto encontrar los puntos de monitoreo en la CPC, se ha realizado la organización de los datos tal que permita aplicar el análisis estadístico multivariado de relaciones canónicas, el cual permite llevar a cabo una correlación con varias variables.

Para el análisis se tomaron los valores de cada mes de temperatura y humedad relativa para las masas de aire (Mn) y de temperatura superficial del mar y salinidad para las masas de agua (On). Para la identificación de cada una de las masas de aire y de agua se utilizó las siguientes denominaciones: Se tienen 5 masas de aire en promedio en cada mes, por lo que se denominan M1 para la masa de aire 1, M2 para la masa de aire 2 y así sucesivamente hasta la masa de aire 5. De igual manera se usó una denominación similar para las masas de agua, O1 para la masa de agua 1, O2 para la masa de agua 2 y así hasta llegar a O7 que es la última masa de agua que se tiene.

Al aplicar el método estadístico multivariante de relación canónica, se obtuvo un error por parte del programa estadístico Statgraphics plus versión 5.1, ya que la masa de agua 2 (O2) presenta muy pocos valores. Se decidió entonces unir las masas de agua 1 y la masa de agua 2, que representan las masas de agua que se encuentran en la cercanía a la costa, evitando así generar el error y por supuesto evitando alterar el análisis que se llevó a cabo con las masas de aire. La denominación que a continuación se determinó para esta nueva masa de agua es O1+2

A continuación se hará una descripción por meses de los resultados obtenidos en la correlación aplicada a las masas de aire y de agua.

Mes de Enero

Tabla 27. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de enero entre las masas de aire y de agua en la CPC

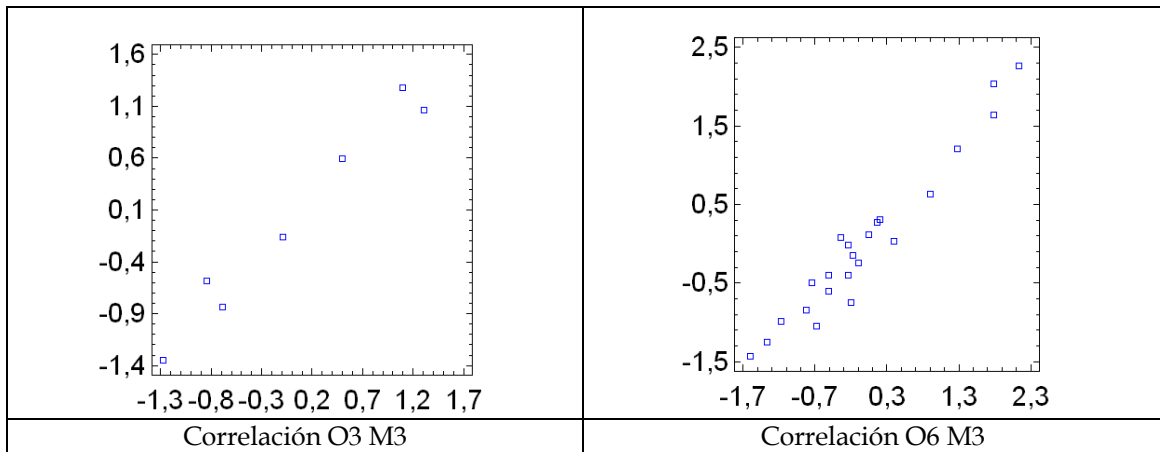
	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,77	0,84	0,95	0,90	0,82
O3	0,94	0,81	0,98	0,95	0,89
O4	0,89	0,82	0,93	0,92	0,89
O5	0,87	0,62	0,86	0,85	0,87
O6	0,85	0,89	0,97	0,95	0,93
O7	0,78	0,76	0,61	0,66	0,58

Como se observa en la tabla 27, las correlaciones que más se aproximan a 1 son las siguientes (tabla 28):

Tabla 28. Correlaciones que más se aproximan a la unidad, entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de enero en la CPC.

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M3	0,98
O6 M3	0,97
O3 M4	0,95
O6 M4	0,95
O1+2 M3	0,95

Con estos resultados observamos que las masas de agua y de aire tienen una buena correlación. En la figura 59 se observan las correlaciones:



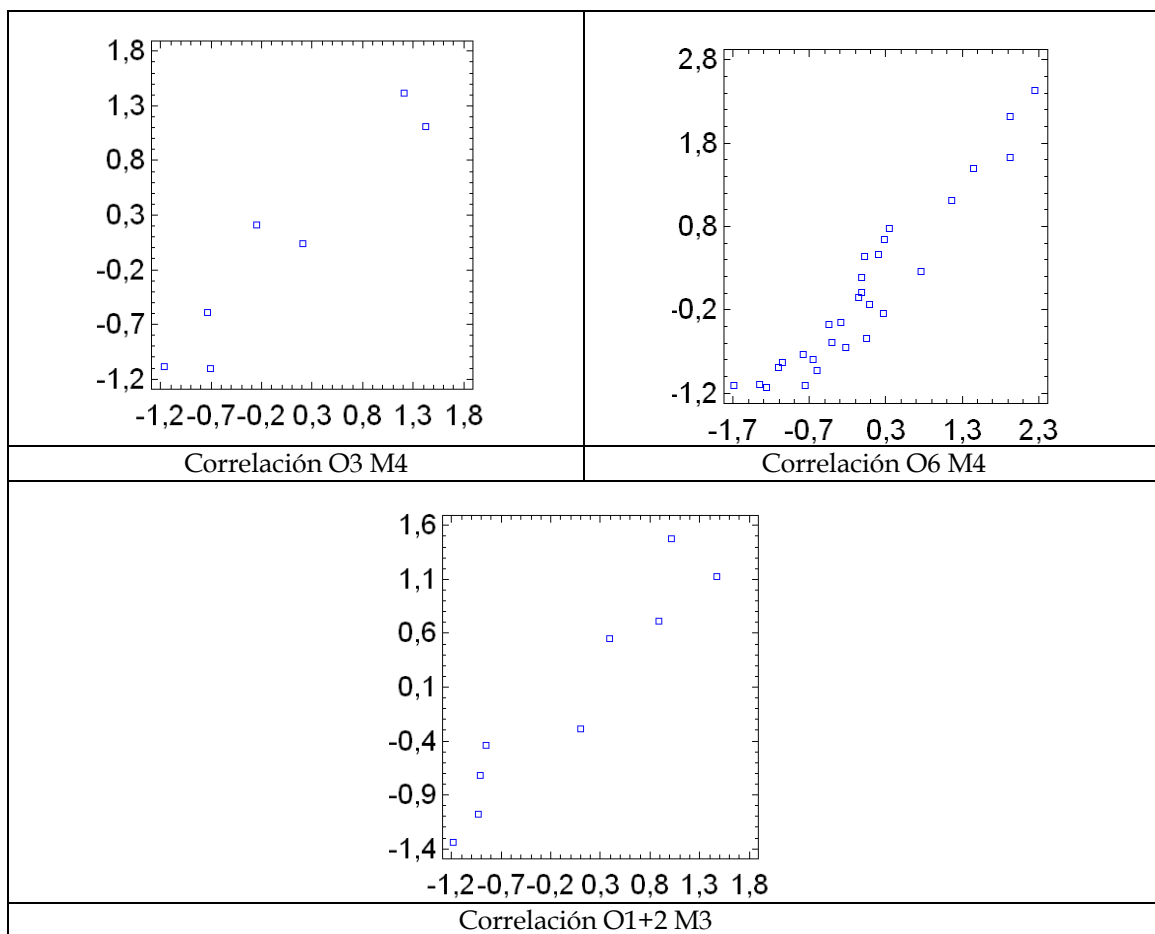


Figura 59. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de Enero

Mes de Febrero

Tabla 29. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de febrero entre las masas de aire y de agua en la CPC

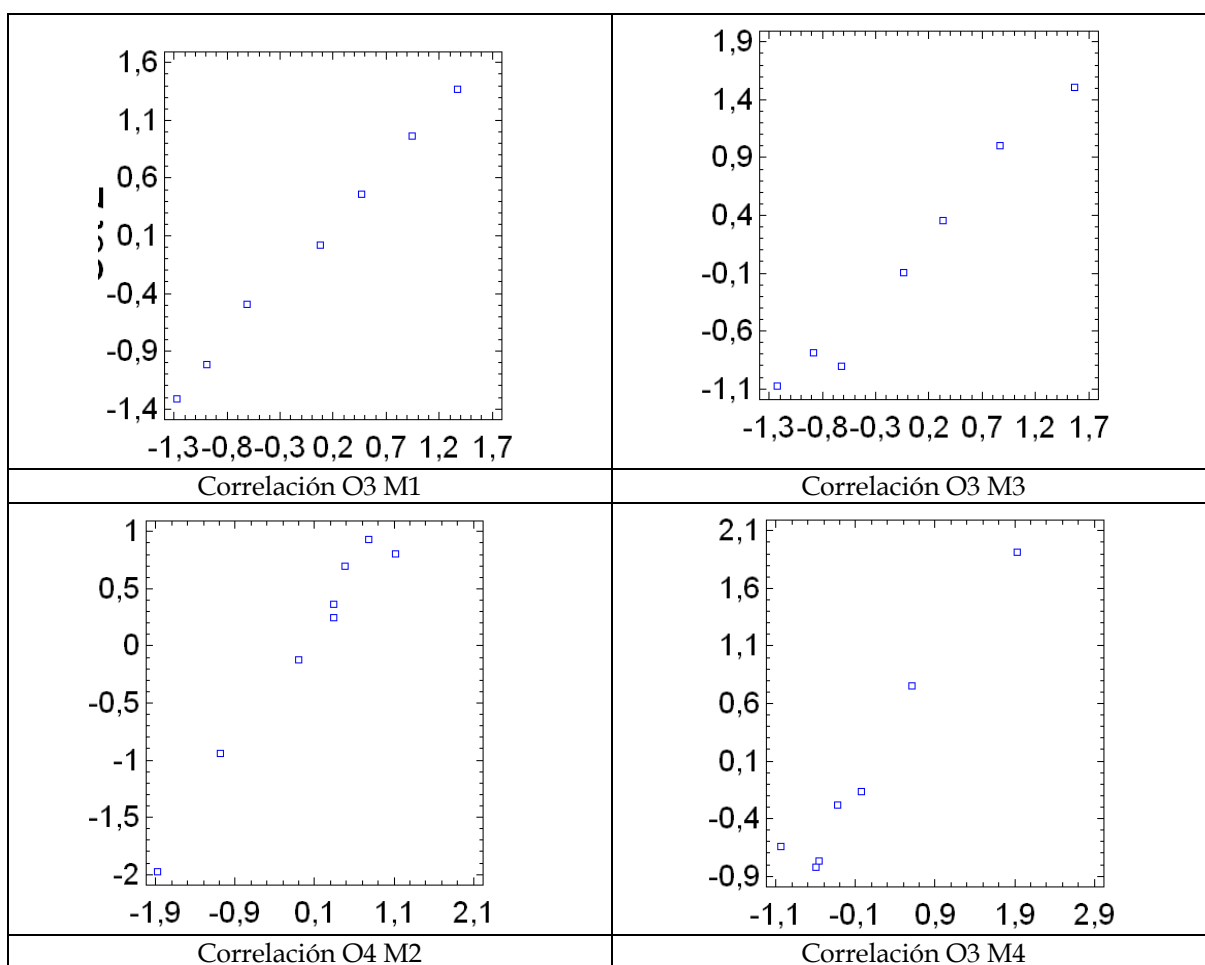
	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,68	0,89	0,56	0,58	0,71
O3	0,99	0,91	0,98	0,97	0,96
O4	0,97	0,98	0,97	0,94	0,95
O5	0,87	0,77	0,81	0,79	0,90
O6	0,87	0,76	0,79	0,91	0,91
O7	0,91	0,87	0,57	0,81	0,84

Como se observa en la tabla 29, se obtuvieron 8 correlaciones con valores superiores a 0.95, todas en las masas de agua O3 y O4 indicando así gran interacción entre las variables analizadas de las masas de agua y de aire. En la tabla 30 se observan las correlaciones más altas.

Tabla 30. Correlaciones que más se aproximan a la unidad, entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de febrero en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M1	0,99
O3 M3	0,98
O4 M2	0,98
O3 M4	0,97
O4 M1	0,97
O4 M3	0,97
O3 M5	0,96
O4 M5	0,95

En la figura 60, observamos las correlaciones de la tabla 30.



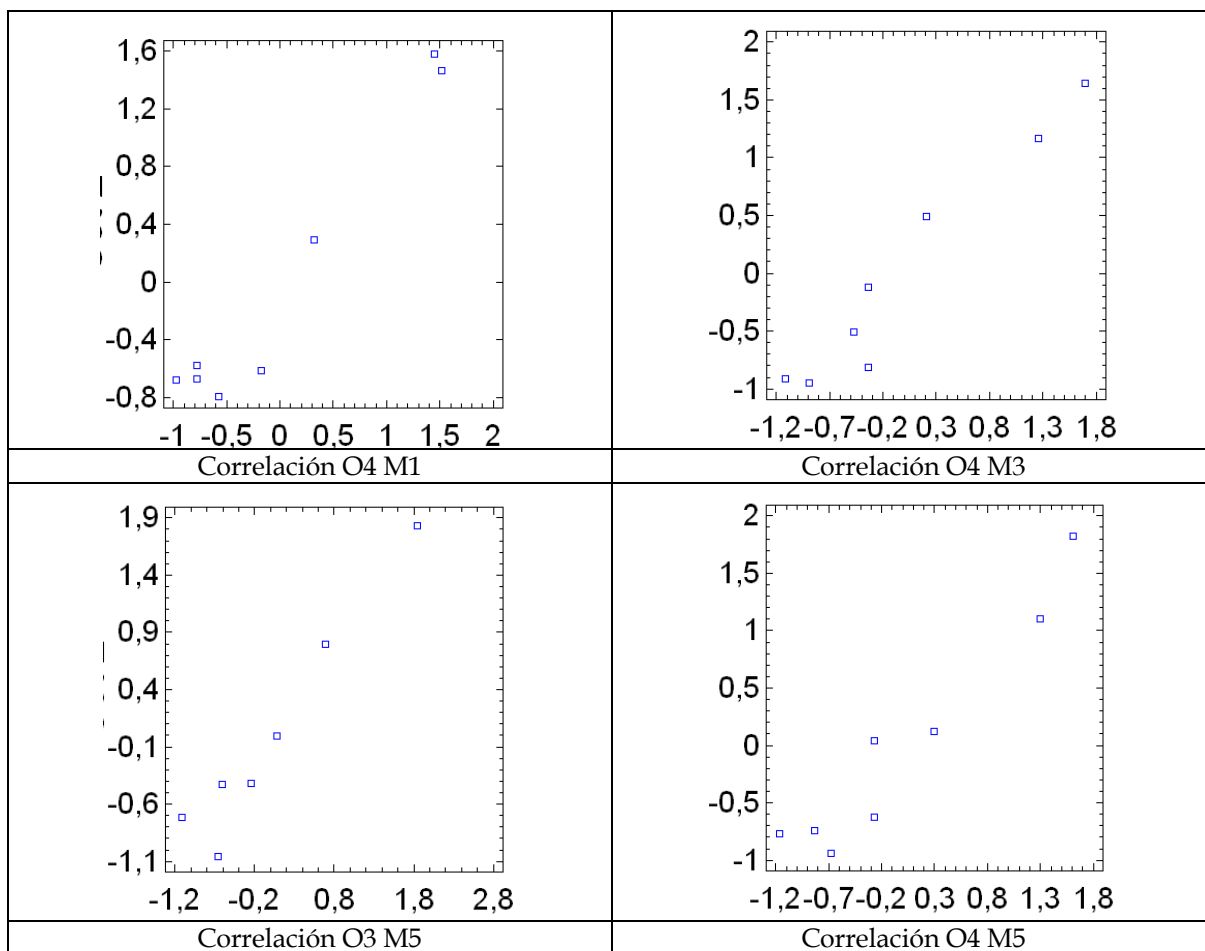


Figura 60. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de Febrero

Mes de Marzo

Tabla 31. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de marzo entre las masas de aire y de agua en la CPC

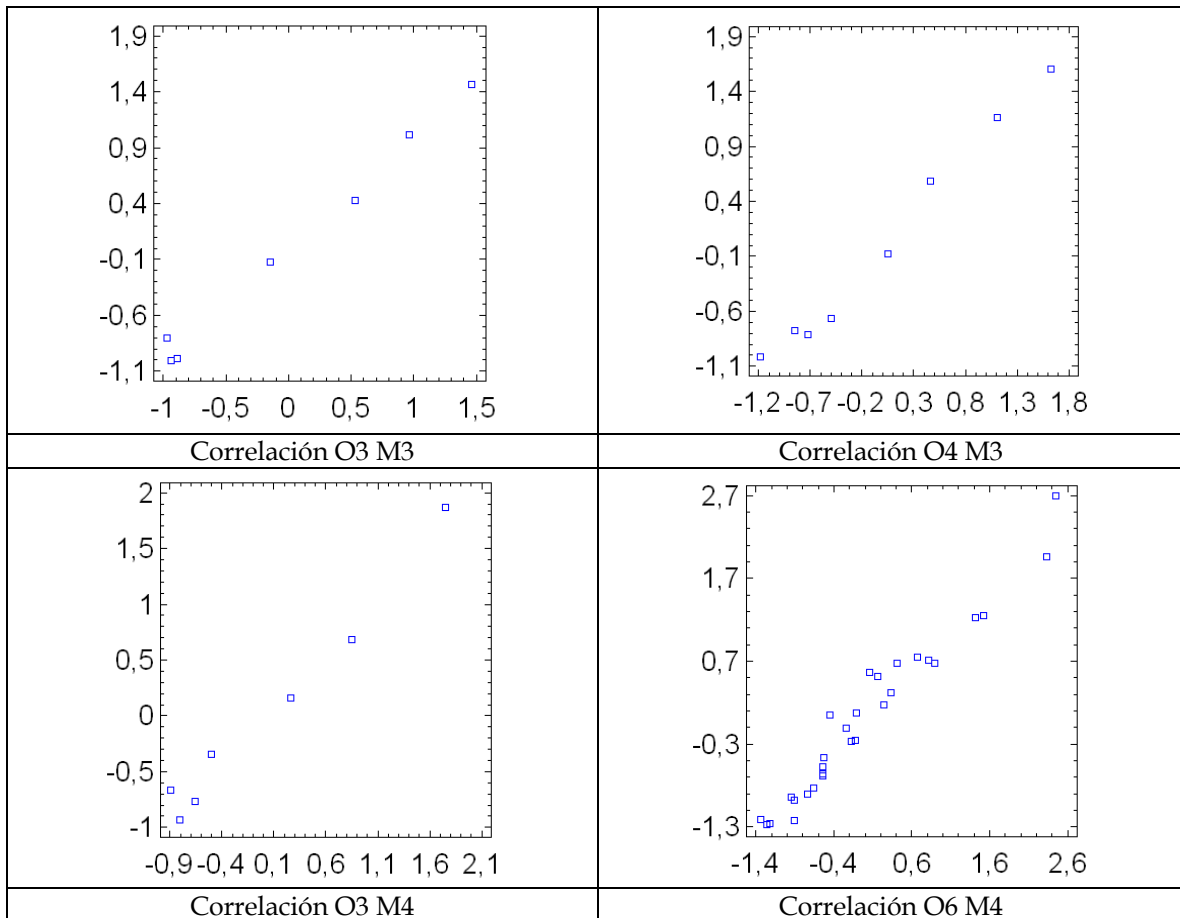
	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,70	0,89	0,56	0,51	0,62
O3	0,96	0,84	0,99	0,98	0,95
O4	0,92	0,96	0,99	0,96	0,92
O5	0,91	0,74	0,82	0,91	0,94
O6	0,86	0,85	0,92	0,97	0,94
O7	0,84	0,83	0,73	0,88	0,86

En la tabla 31 se observa las correlaciones que se obtuvieron del análisis canónico para el mes de marzo, en la tabla 32 se listan las correlaciones con más altos valores.

Tabla 32 Correlaciones entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de marzo en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M3	0,99
O4 M3	0,99
O3 M4	0,98
O6 M4	0,97
O3 M1	0,96
O4 M4	0,96
O4 M2	0,96
O3 M5	0,95

La figura 61, presenta los gráficos que generaron las más altas correlaciones canónicas relacionadas en la tabla 32.



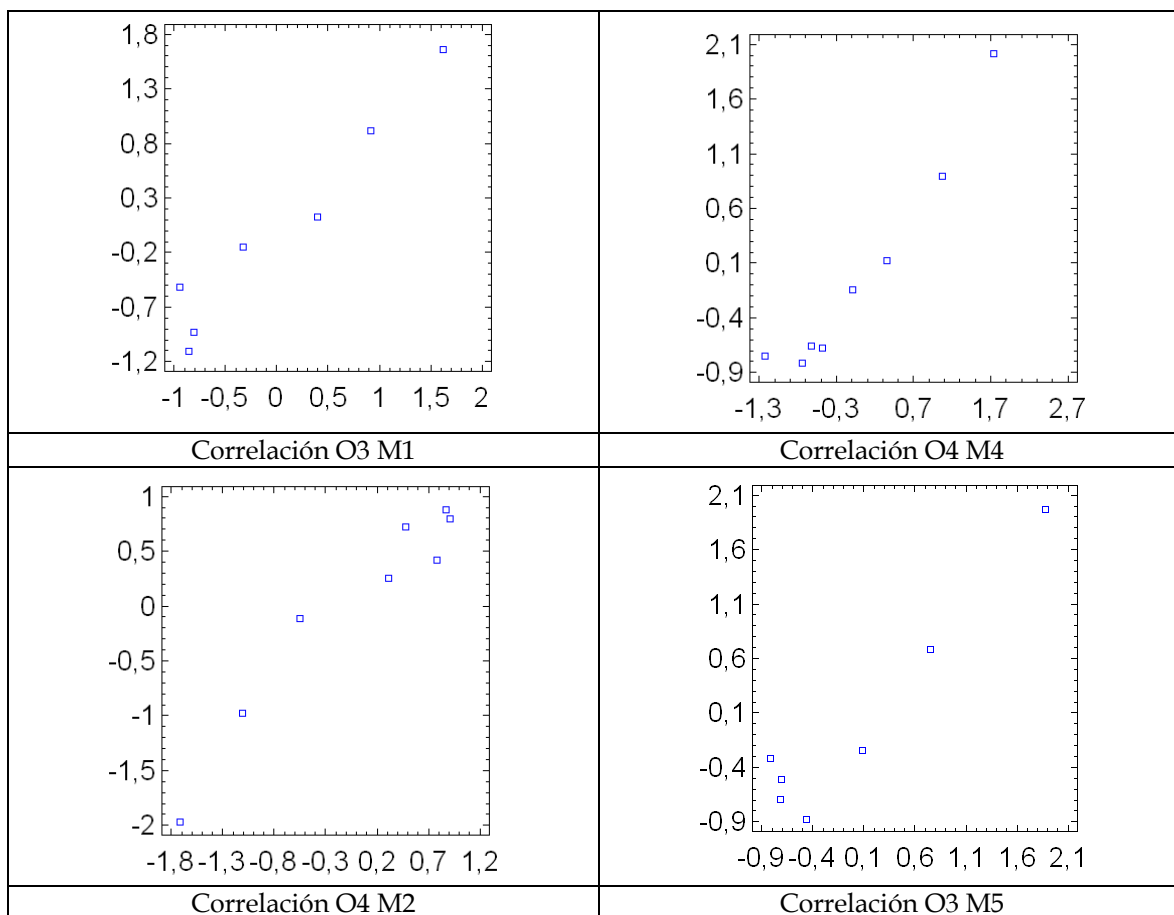


Figura 61. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de marzo

Mes de abril

Tabla 33. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de abril entre las masas de aire y de agua en la CPC

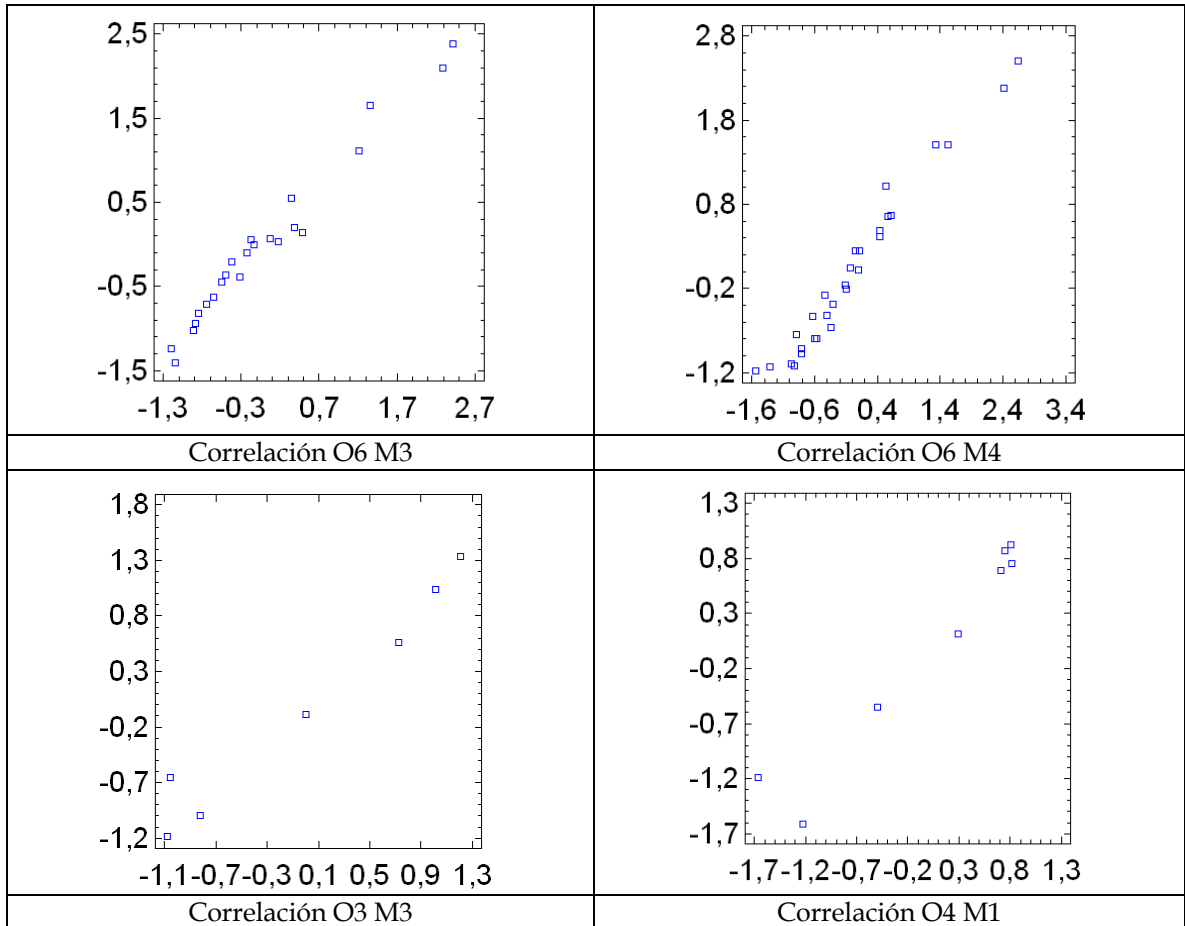
	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,76	0,90	0,70	0,68	0,67
O3	0,95	0,85	0,97	0,94	0,89
O4	0,96	0,65	0,67	0,68	0,55
O5	0,93	0,87	0,90	0,90	0,94
O6	0,87	0,88	0,98	0,98	0,96
O7	0,50	0,47	0,57	0,58	0,35

Como se observa en la tabla 33, la distribución de las mayores correlaciones se dan en la masa de agua O6 y en la masa de aire M1, presentándose una buena correlación en la masa de aire M3. En la tabla 34 se relacionan las correlaciones más altas presentadas en el mes de abril.

Tabla 34 Correlaciones entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de abril en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O6 M3	0,98
O6 M4	0,98
O3 M3	0,97
O4 M1	0,96
O6 M5	0,96
O3 M1	0,95

En la figura 62, se observan los gráficos de las correlaciones más altas presentadas en el mes de abril entre las masas de aire y de agua.



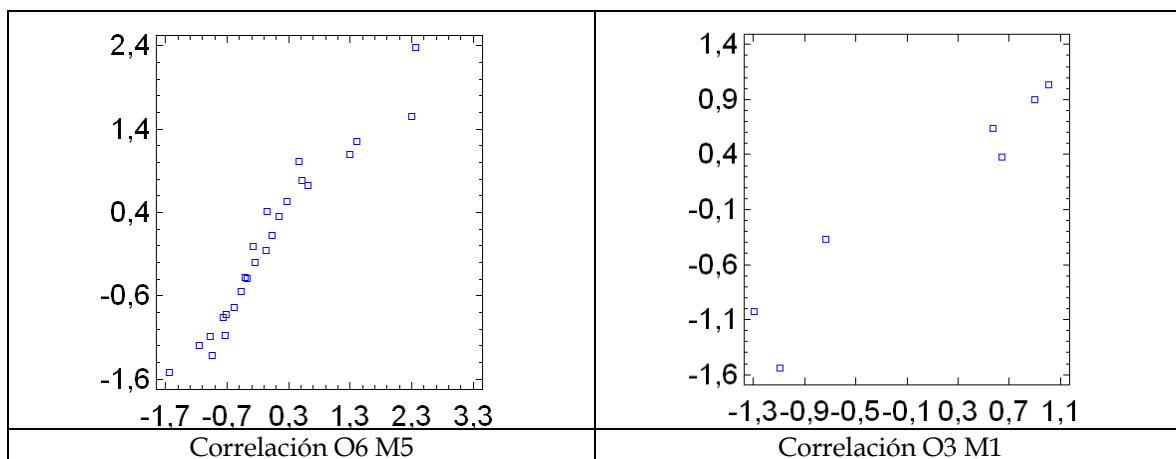


Figura 62. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de abril

Mes de mayo

Tabla 35. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de mayo entre las masas de aire y de agua en la CPC

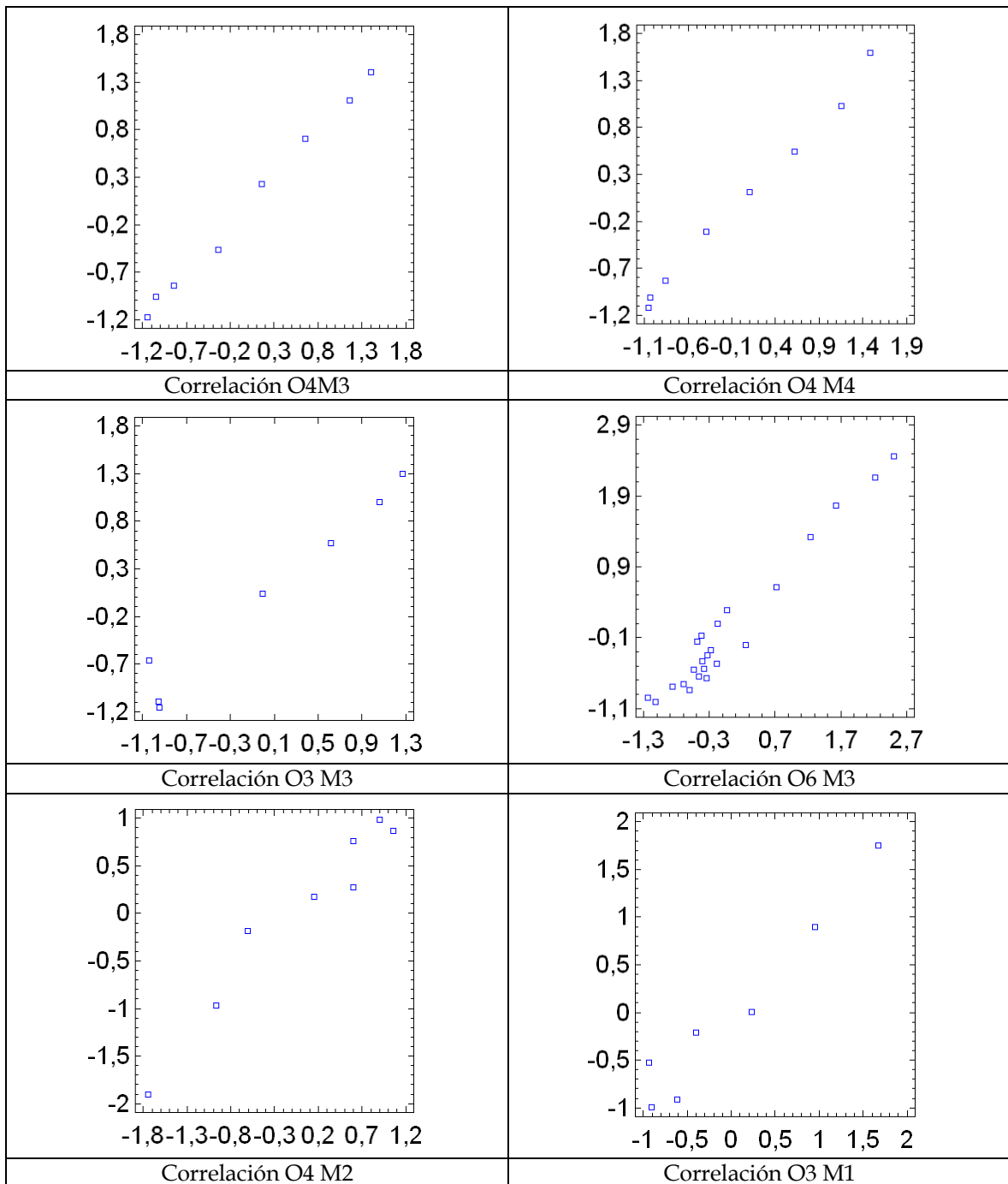
	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,88	0,86	0,94	0,88	0,75
O3	0,97	0,86	0,98	0,96	0,94
O4	0,96	0,97	0,99	0,99	0,96
O5	0,90	0,83	0,94	0,93	0,94
O6	0,76	0,81	0,97	0,95	0,94
O7	0,75	0,86	0,83	0,80	0,73

En este mes se presenta un gran número de correlaciones con valores superiores a 0.95, en total 10. Las masas de agua que presentaron mayores valores son O4 y O3. En la tabla 36 se presentan de mayor a menor los valores de las correlaciones.

Tabla 36 Correlaciones entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de mayo en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O4 M3	0,99
O4 M4	0,99
O3 M3	0,98
O6 M3	0,97
O4 M2	0,97
O3 M1	0,97
O4 M1	0,96
O3 M4	0,96
O4 M5	0,96
O6 M4	0,95

En las figura 63, se pueden apreciar las correlaciones con mayores valores.



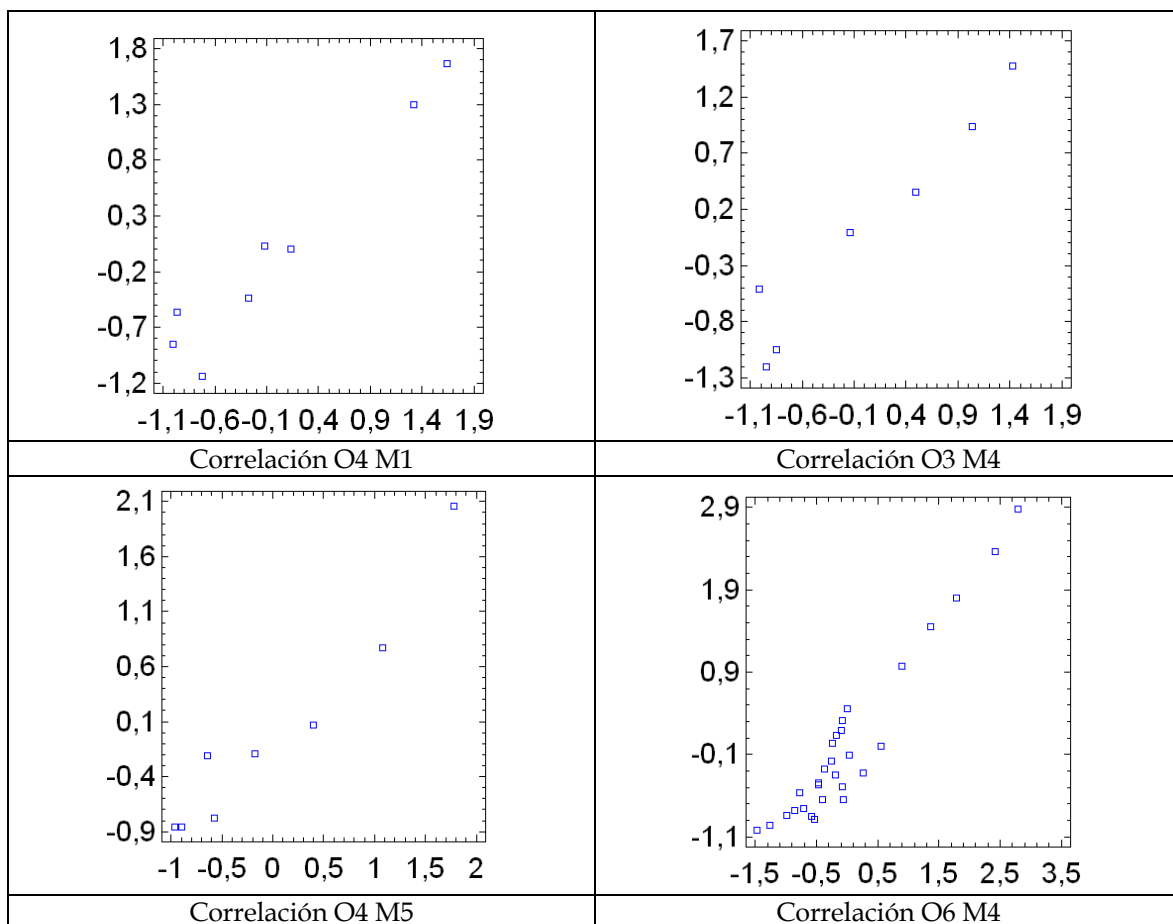


Figura 63. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de mayo

Mes de Junio

Tabla 37. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de junio entre las masas de aire y de agua en la CPC

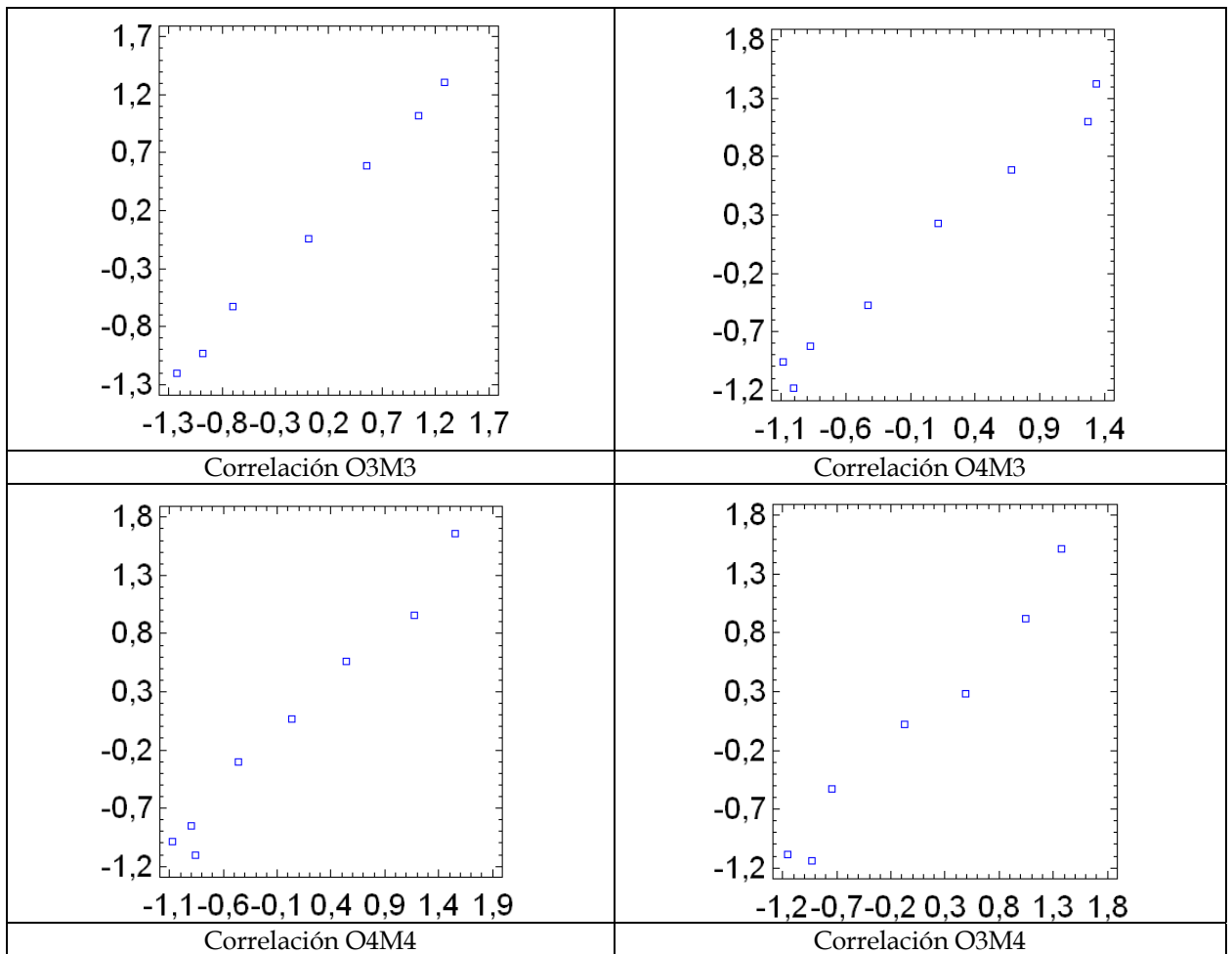
	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,77	0,91	0,95	0,95	0,86
O3	0,98	0,89	0,99	0,98	0,92
O4	0,92	0,94	0,99	0,98	0,97
O5	0,70	0,39	0,44	0,45	0,56
O6	0,41	0,47	0,58	0,59	0,60
O7	0,59	0,62	0,73	0,68	0,58

En el mes de junio se observan las mejores correlaciones en las masas de aire M3 y M4, presentando un total de 6. En la tabla 38 se observan las correlaciones organizadas de mayor a menor.

Tabla 38 Correlaciones entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de junio en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M3	0,99
O4 M3	0,99
O4 M4	0,98
O3 M4	0,98
O3 M1	0,98
O4 M5	0,97
O1+2 M4	0,95
O1+2 M3	0,95

Las graficas de las mejores correlaciones se observan en la figura 64, apreciándose el comportamiento y la relación existente entre las masas de aire y agua para este mes.



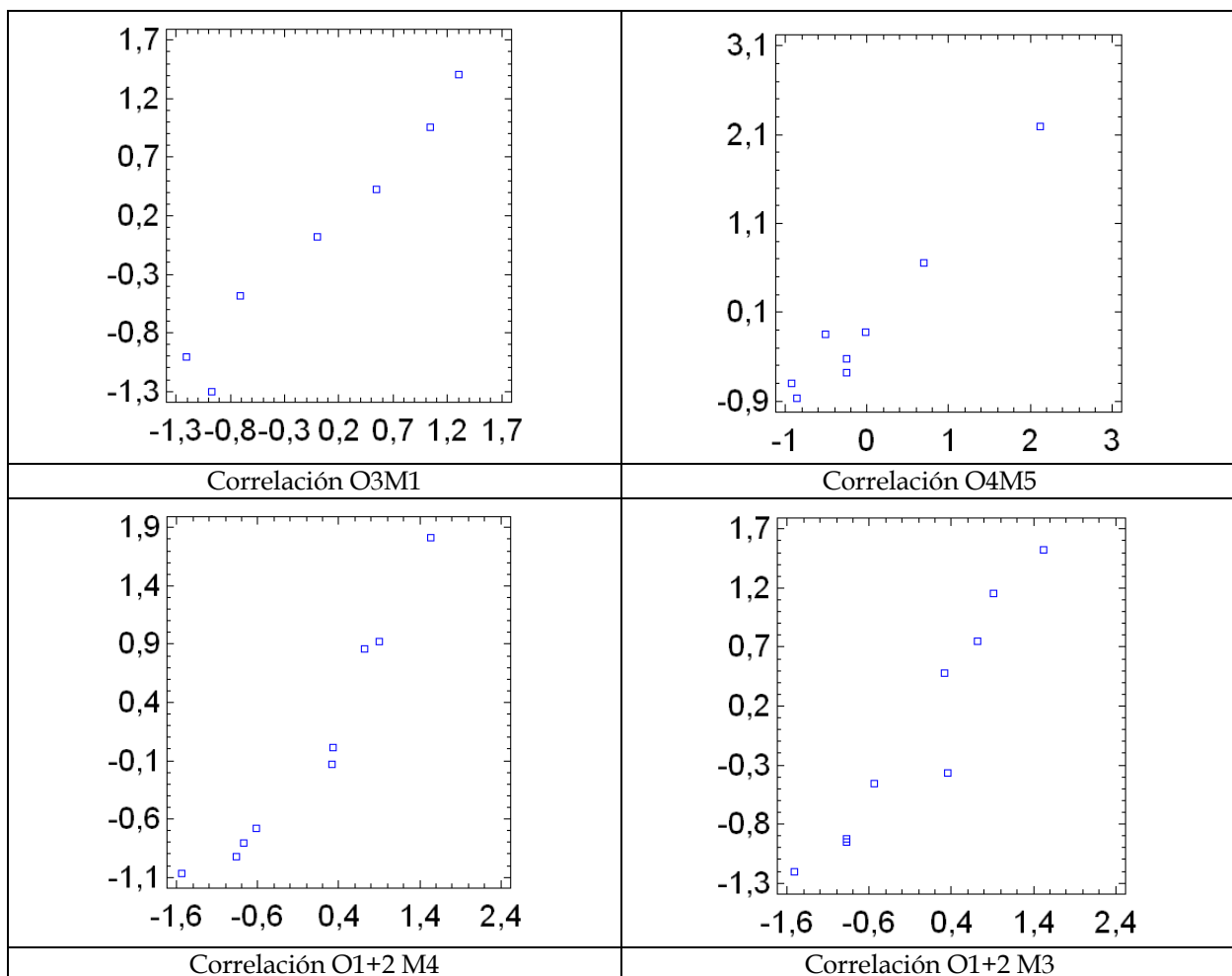


Figura 64. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de junio

Mes de Julio

Tabla 39. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de julio entre las masas de aire y de agua en la CPC

	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,67	0,92	0,90	0,9059	0,84
O3	0,97	0,99	0,96	0,97	0,90
O4	0,87	0,94	0,97	0,97	0,90
O5	0,76	0,52	0,42	0,40	0,69
O6	0,48	0,37	0,46	0,48	0,46
O7	0,80	0,80	0,81	0,8	0,59

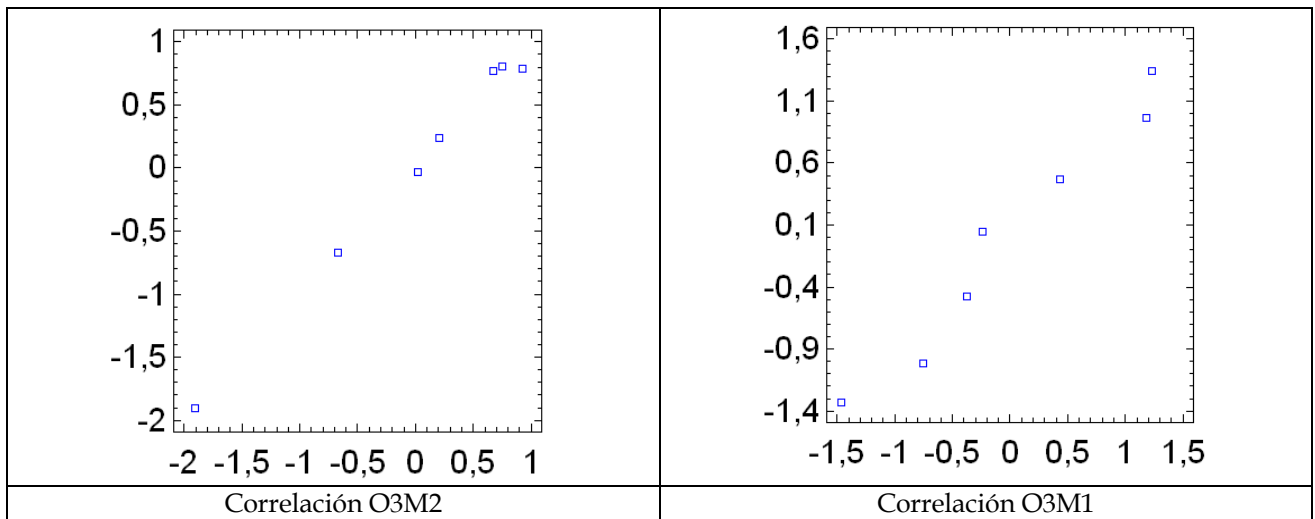
En la tabla 39 se observan los resultados del mes de julio, que presenta 6 correlaciones canónicas con un valor igual o superior a 0.95. Dichas correlaciones se ubican en su

mayoría en la masa de agua O3. En la tabla 40 se puede observar de mayor a menor las correlaciones que se presentaron en este mes.

Tabla 40 Correlaciones entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de julio en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M2	0,99
O3 M1	0,97
O4 M3	0,97
O3 M3	0,96
O4 M4	0,96
O3 M4	0,96

En la figura 65, se observan los gráficos de las correlaciones con mayor valor para el mes de Julio.



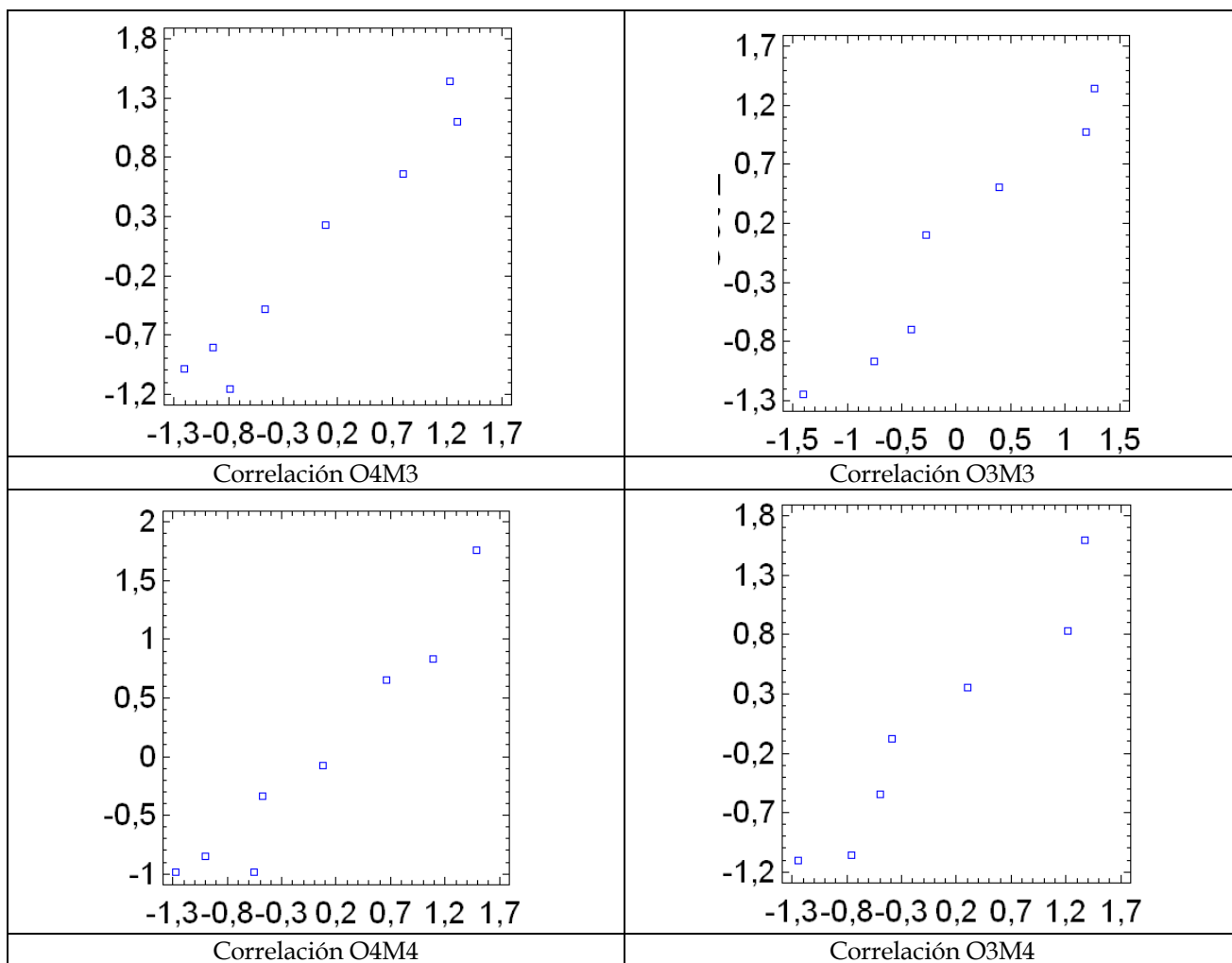


Figura 65. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de julio

Mes de Agosto

Tabla 41. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de agosto entre las masas de aire y de agua en la CPC

	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,66	0,91	0,92	0,94	0,90
O3	0,98	0,98	0,96	0,97	0,93
O4	0,85	0,93	0,977	0,96	0,82
O5	0,79	0,57	0,50	0,37	0,50
O6	0,55	0,37	0,32	0,22	0,52
O7	0,76	0,87	0,92	0,94	0,89

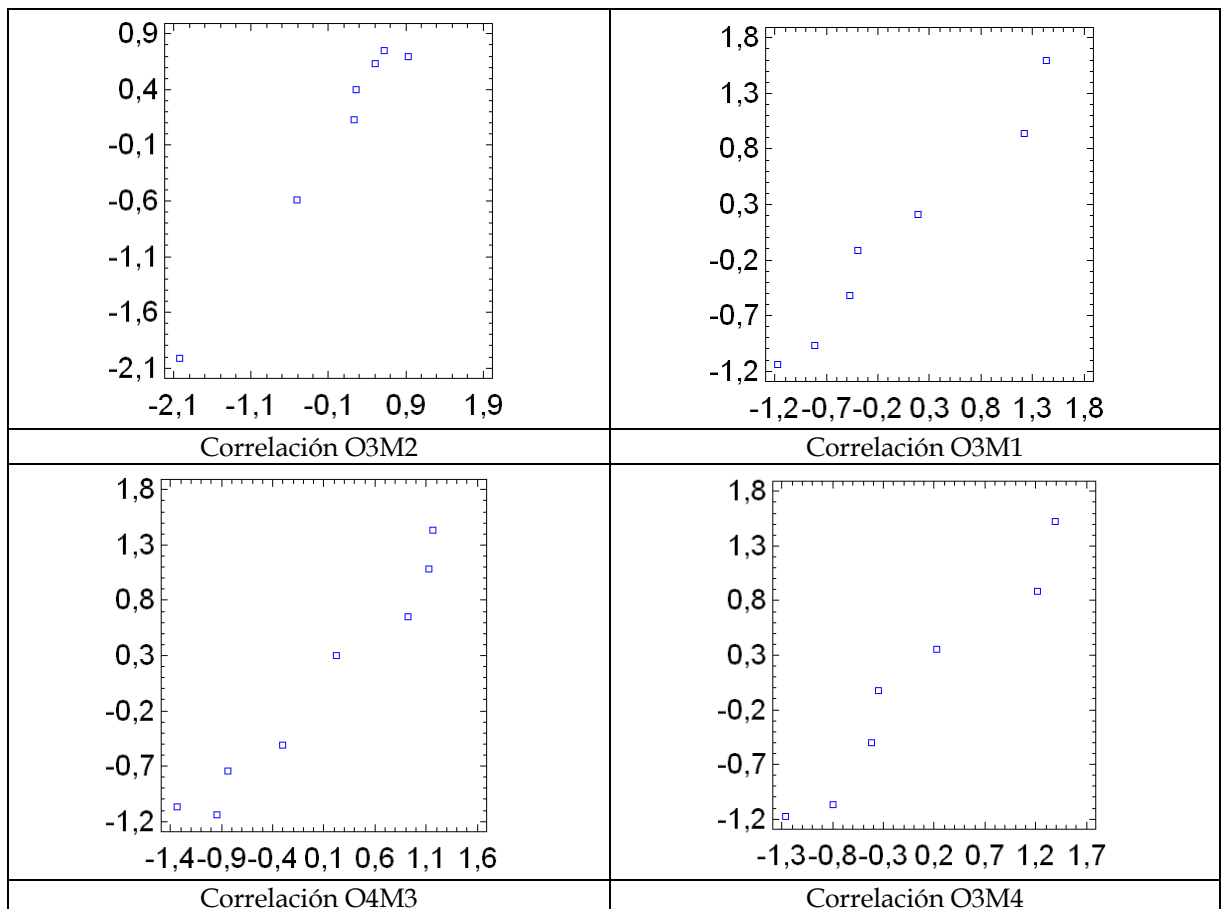
Para el mes de agosto se observa las correlaciones en la tabla 41. El mes de agosto y el mes de julio presentan una las mismas masas con correlación superior a 0.95, pero difieren en

su valor. Por otra parte, los valores organizados que se encuentran en la tabla 42, difieren de los presentados en el mes de julio.

Tabla 42 Correlaciones entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de agosto en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M2	0,98
O3 M1	0,98
O4 M3	0,97
O3 M4	0,97
O4 M4	0,96
O3 M3	0,96

Las correlaciones de la tabla 42, están representados en las graficas de la figura 66



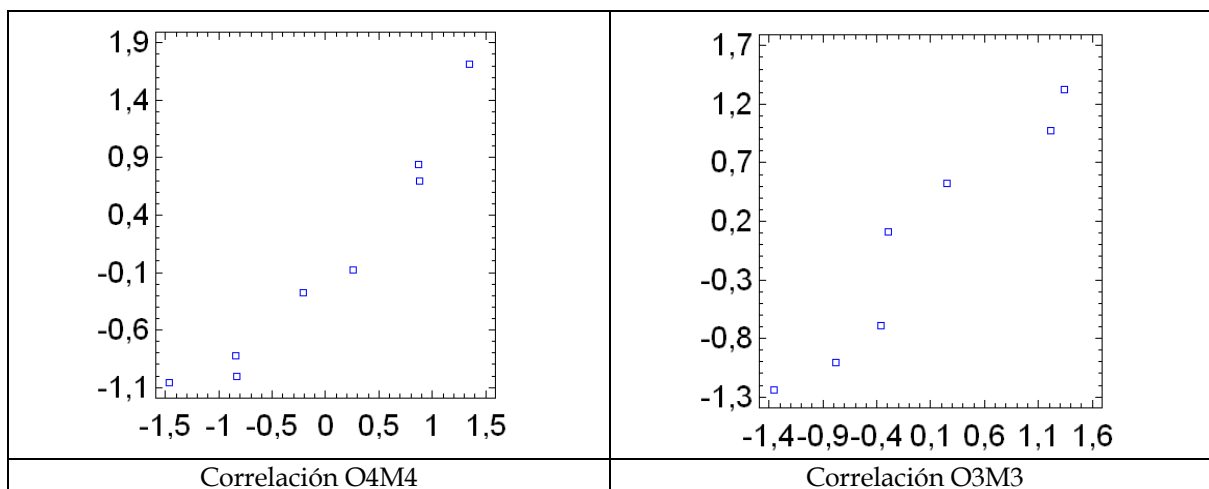


Figura 66. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de agosto

Mes de Septiembre

Tabla 43. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de septiembre entre las masas de aire y de agua en la CPC

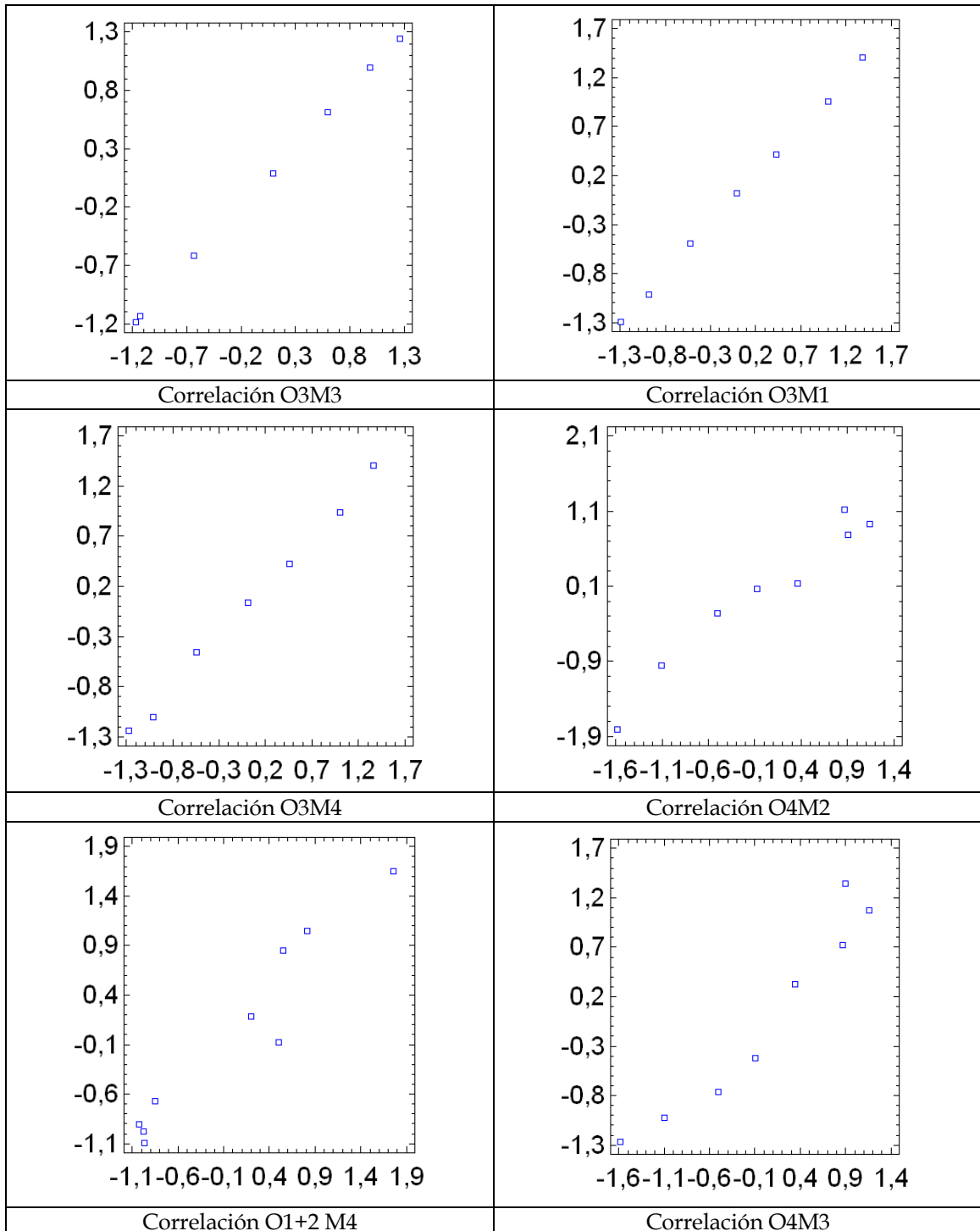
	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,72	0,77	0,93	0,96	0,93
O3	0,99	0,89	0,99	0,99	0,95
O4	0,78	0,97	0,96	0,95	0,72
O5	0,80	0,70	0,52	0,40	0,46
O6	0,51	0,45	0,37	0,20	0,46
O7	0,80	0,89	0,92	0,93	0,92

En el mes de septiembre se presentan 8 correlaciones mayores a 0.95 (tabla 43), las cuales se distribuyen en su entre las masas de agua O3, O4 y una en O1. Se resalta que la masa de aire que presenta también mayor cantidad de correlaciones es la masa de aire M4. En la tabla 44 se observa de mayor a menor la distribución en las masas de las correlaciones.

Tabla 44 Correlaciones entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de septiembre en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M3	0,99
O3 M1	0,99
O3 M4	0,99
O4 M2	0,97
O1+2 M4	0,96
O4 M3	0,96
O3 M5	0,95
O4 M4	0,95

En la figura 67 se observan las graficas de las correlaciones que obtuvieron un valor superior a 0.95.



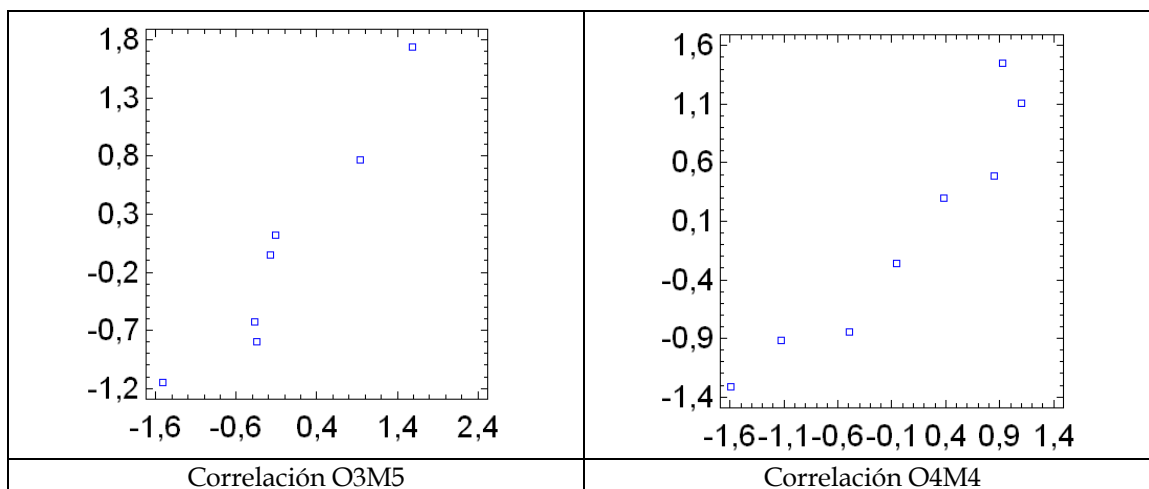


Figura 67. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de septiembre

Mes de Octubre

Tabla 45. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de octubre entre las masas de aire y de agua en la CPC

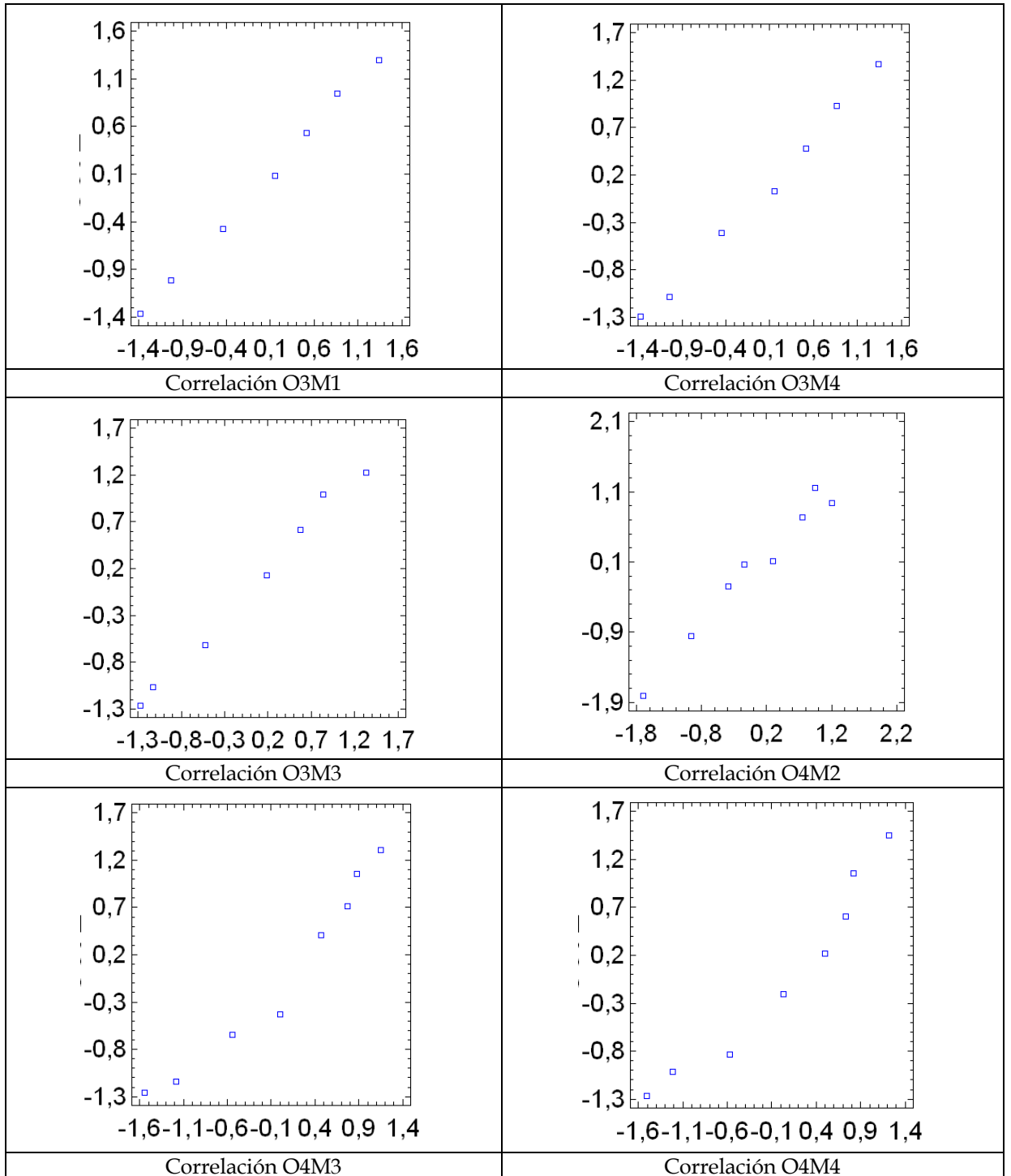
	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,70	0,75	0,91	0,95	0,95
O3	0,99	0,93	0,99	0,99	0,90
O4	0,76	0,98	0,97	0,96	0,87
O5	0,81	0,74	0,55	0,45	0,46
O6	0,54	0,51	0,42	0,26	0,45
O7	0,87	0,93	0,93	0,93	0,94

El mes de octubre presenta 8 correlaciones con valores superiores a 0.95 (tabla 45), distribuidos entre las masas de agua O1+2, O3 y O4. Es de resaltar que nuevamente la masa de aire M4 presenta 3 correlaciones con valores altos. En la tabla 46 se observan dichos valores organizados de mayor a menor.

Tabla 46 Correlaciones entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de octubre en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M1	0,99
O3 M4	0,99
O3 M3	0,99
O4 M2	0,98
O4 M3	0,97
O4 M4	0,96
O1+2 M5	0,95
O1+2 M4	0,95

En la figura 68 se observan las graficas de las correlaciones relacionadas en la tabla 46.



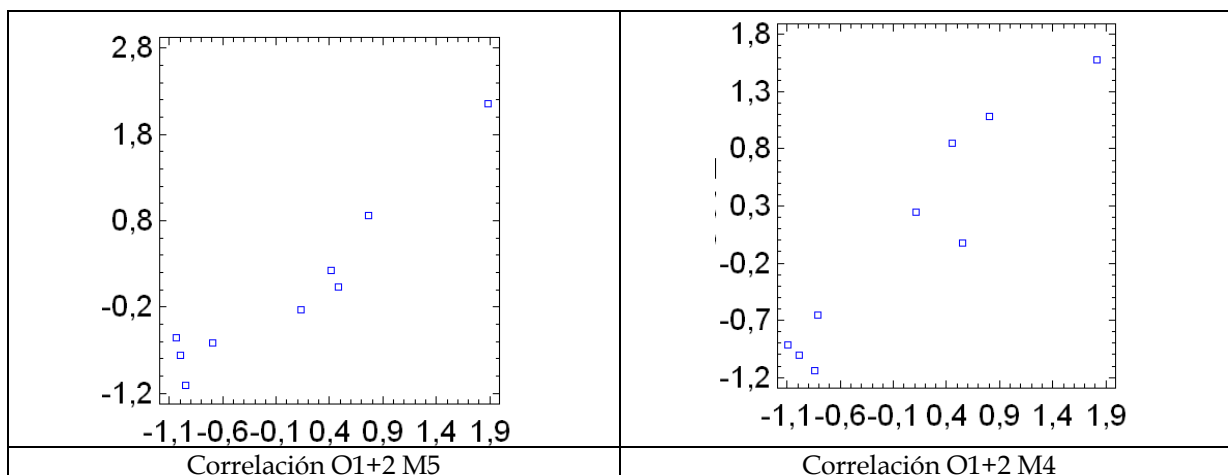


Figura 68. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de octubre

Mes de Noviembre

Tabla 47. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de noviembre entre las masas de agua y de aire en la CPC

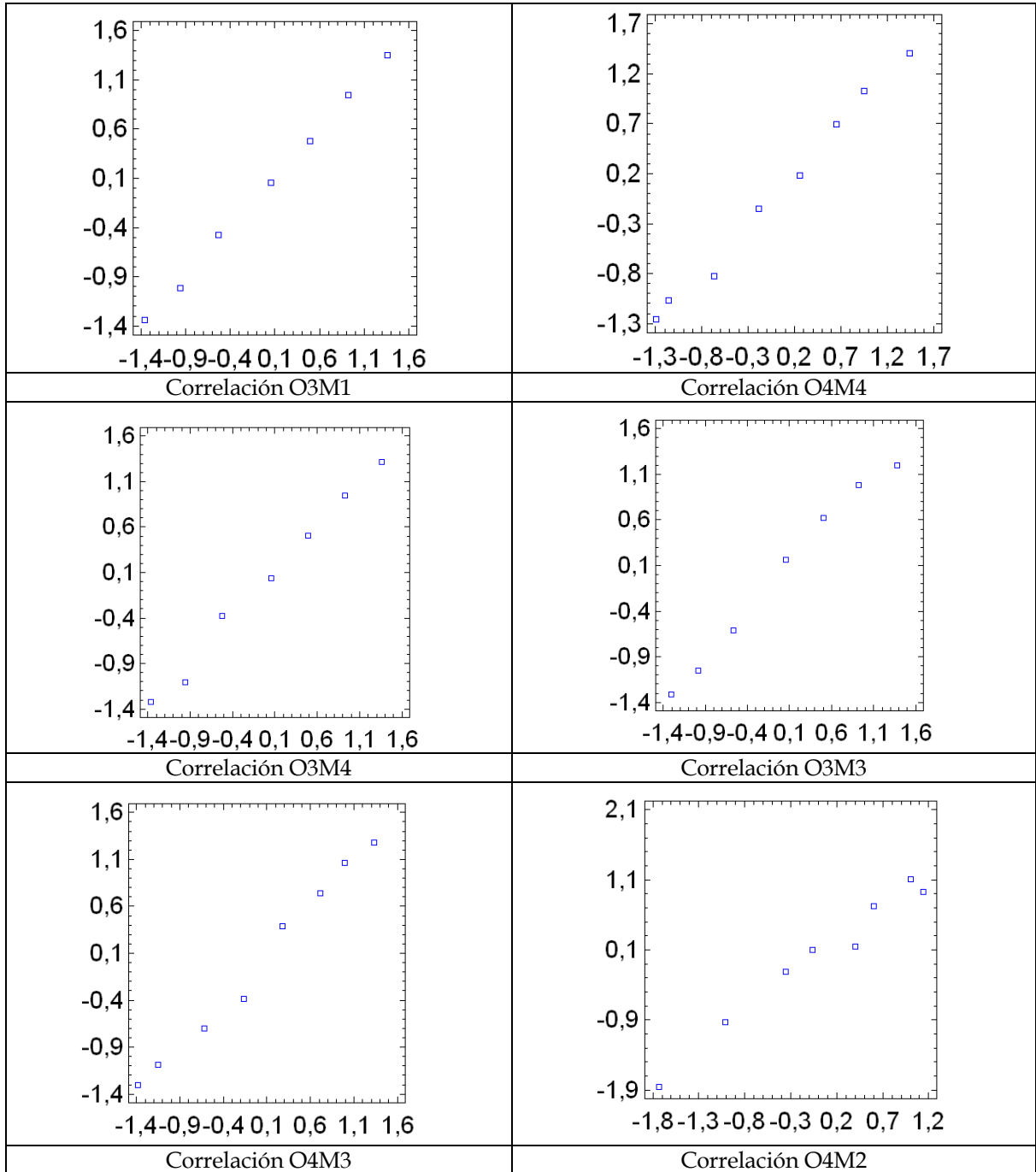
	M1	M2	M3	M4	M5
O1+2	0,64	0,76	0,88	0,92	0,93
O3	0,99	0,98	0,99	0,99	0,92
O4	0,92	0,98	0,99	0,99	0,98
O5	0,71	0,55	0,61	0,40	0,45
O6	0,48	0,43	0,37	0,25	0,39
O7	0,82	0,88	0,89	0,92	0,95

En el mes de noviembre se presenta un número de 9 correlaciones que están por encima del 0.95 (tabla 47). Se distribuyen nuevamente en su mayoría entre las masas de agua O3 y O4 de manera casi uniformes entre las masas de aire. En la tabla 48 se observan los valores organizados de las correlaciones mencionadas.

Tabla 48 Correlaciones entre masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de noviembre en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M1	0,99
O4 M4	0,99
O3 M4	0,99
O3 M3	0,99
O4 M3	0,99
O4 M2	0,98
O4 M5	0,98
O3 M2	0,98
O7 M5	0,95

La figura 69 presenta las graficas de las correlaciones relacionadas en la tabla 48.



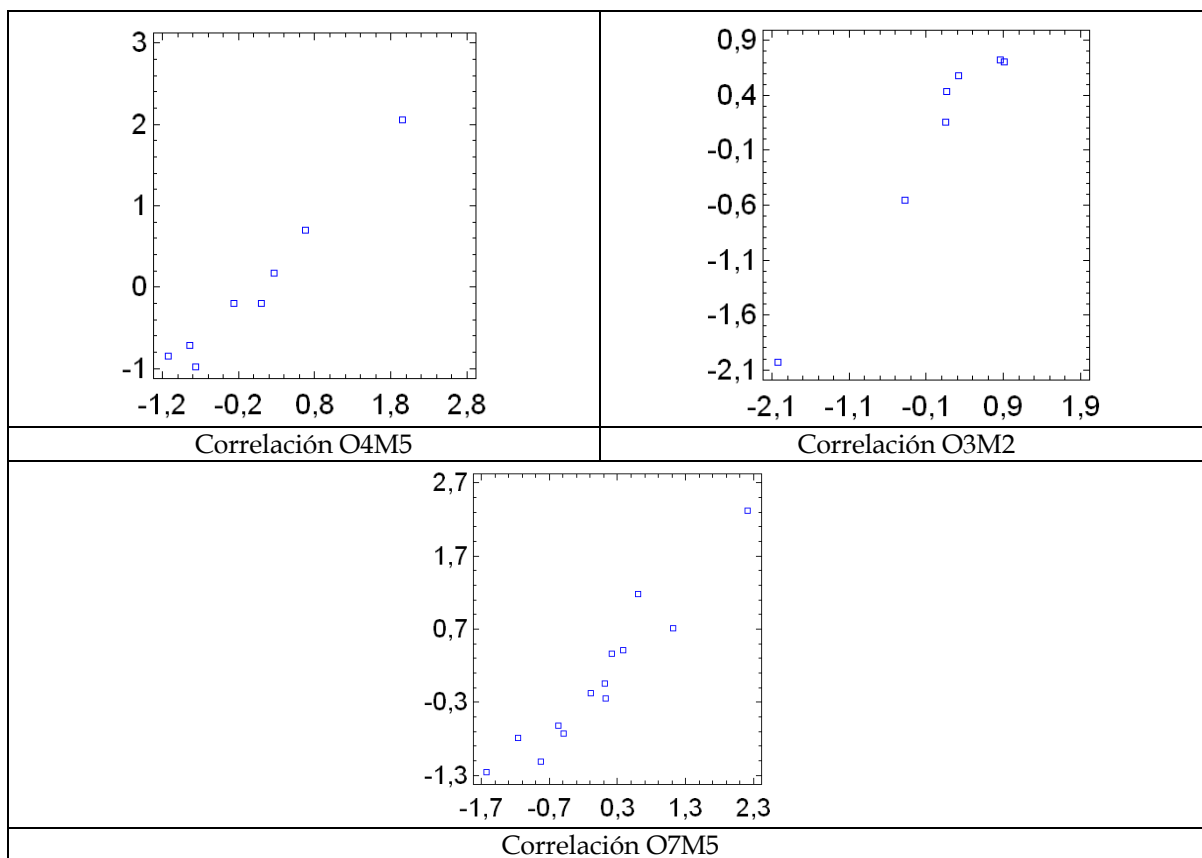


Figura 69. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de noviembre

Mes de Diciembre

Tabla 49. Resultados de las correlaciones canónicas para el mes de diciembre entre las masas de aire y de agua en la CPC

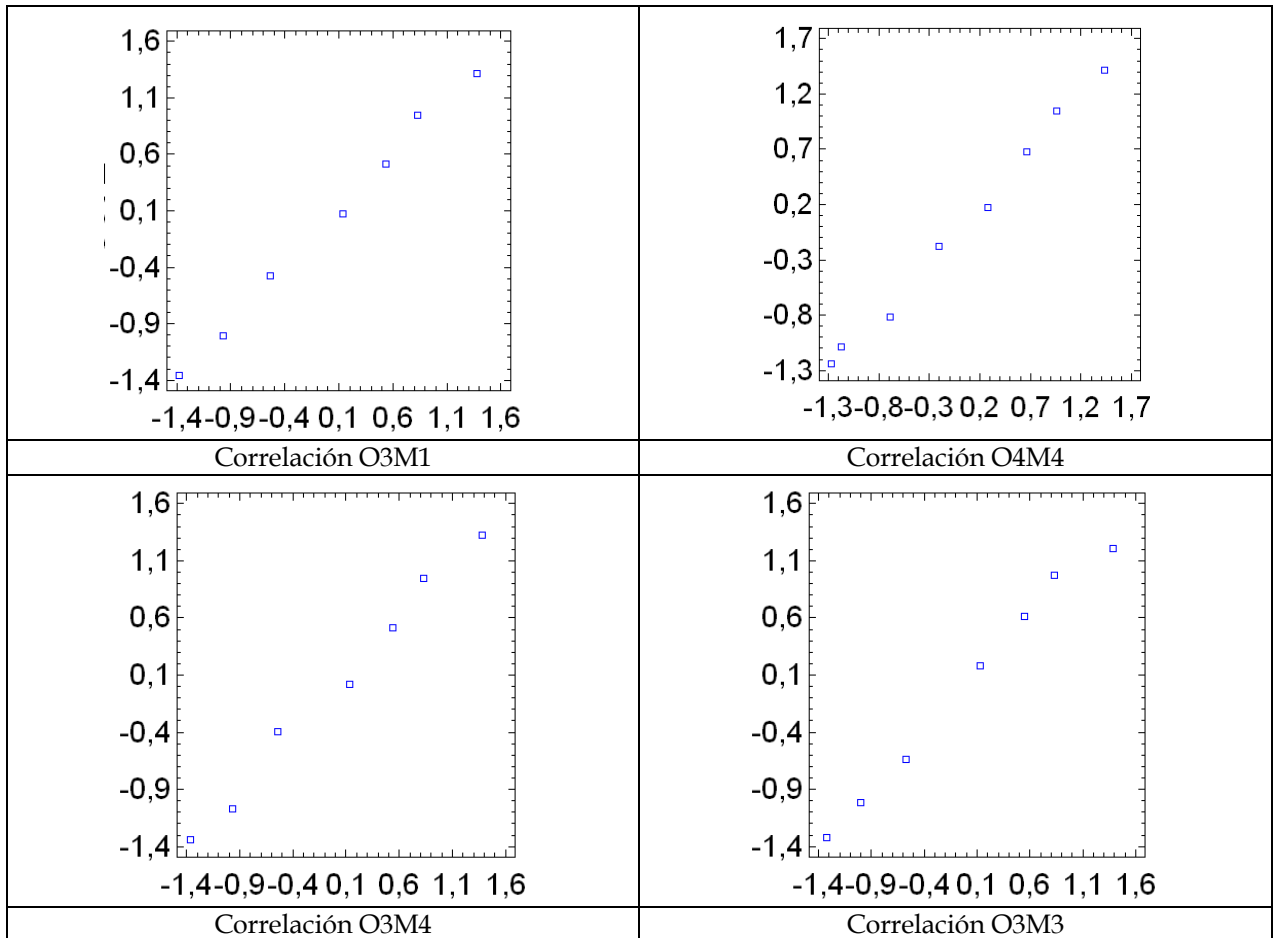
	M1	M2	M3	M4	M5
O1	0,63	0,80	0,88	0,93	0,97
O3	0,99	0,98	0,99	0,99	0,93
O4	0,89	0,96	0,99	0,99	0,98
O5	0,85	0,33	0,83	0,77	0,82
O6	0,52	0,39	0,56	0,65	0,53
O7	0,70	0,78	0,80	0,86	0,88

En el mes de Diciembre encontramos 9 correlaciones canónicas superiores a 0.95, donde nuevamente se destacan las masas de agua O3 y O4 con la mayor cantidad de correlaciones superiores (tabla 49). En la tabla 50 se observa en orden los valores más altos de las correlaciones.

Tabla 50 Correlaciones entre las masas de agua (On) y las masas de aire (Mn) correspondientes al mes de diciembre en la CPC

Masas Correlacionadas	Valor de la correlación
O3 M1	0,99
O4 M4	0,99
O3 M4	0,99
O3 M3	0,99
O4 M3	0,99
O3 M2	0,98
O4 M5	0,98
O1+2 M5	0,97
O4 M2	0,96

Las gráficas correspondientes a los valores de la tabla 50, se presenta en las figura 70.



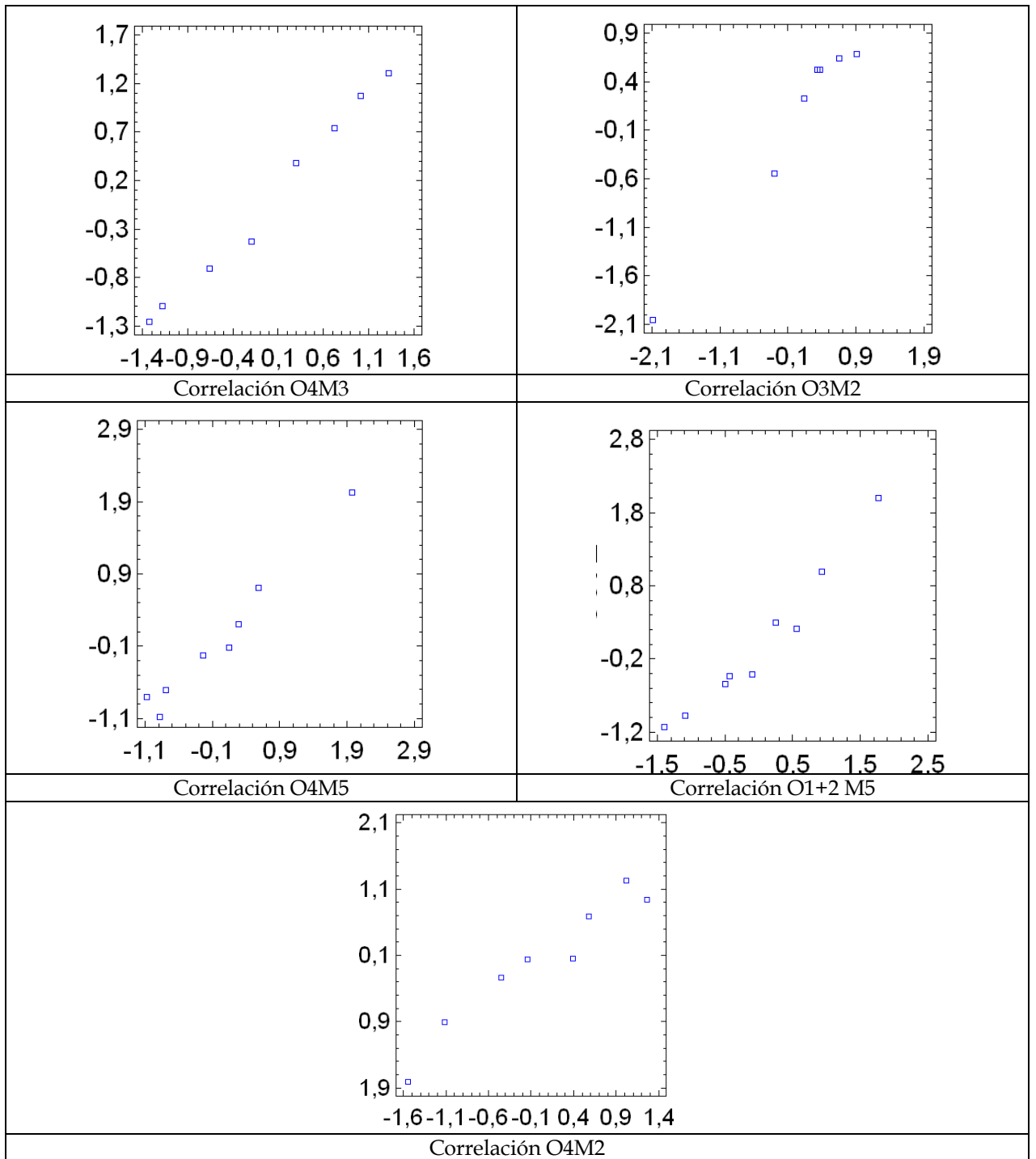


Figura 70. Gráficos de correlaciones obtenidas del análisis canónico entre las masas de agua y de aire para el mes de diciembre

12.3. Masas Promedio

Después de identificar las masas de agua y de aire mes a mes, y de hallar su correlación para conocer la climatología mes a mes, se decidió hallar las masas de agua y de aire promedio, teniendo en cuenta que el objetivo del presente trabajo de tesis es encontrar los puntos de monitoreo más adecuados en la CPC, las masas de agua y de aire promedio ofrecen una oportunidad más adecuada para tal fin.

12.3.1. Masas de Aire Promedio

Las masas de aire promedio (fig.71) identifican el comportamiento general durante el año de las variables de temperatura y humedad relativa. En la tabla 51 podemos identificar los valores resultantes de cada una de las masas de aire. Allí observamos el comportamiento de la temperatura del aire, donde la masa de aire I tiene un valor de 23.22 °C correspondiente a la temperatura del aire que está sobre las aguas costeras, las cuales se influyen en general del proceso océano-tierra-océano que se presenta por el calentamiento y enfriamiento de la franja continental durante el día y la noche respectivamente. También se influye por las altas precipitaciones ocasionadas por la entrada del aire caliente al continente que se encuentra con la cordillera occidental, donde se concentra gran acumulación de humedad y consecuentemente precipitaciones en toda la franja continental (Devis, Et. al. 2002), disminuyendo así la temperatura del aire presente sobre la franja de litoral y consecuentemente sobre las aguas costeras.

A medida que las masas de aire se alejan del litoral en dirección al mar abierto, vemos como se van teniendo valores más altos de temperatura del aire, llegando así a 25.86°C en la masa de aire IV y a 26.47°C en la masa de aire V. Como se observa en la fig. 58, existe una división de las masas de aire a lo largo de los 4°N desde los 80W a los 84W, teniendo como explicación que en la mayor parte del año la ZCIT se encuentra desplazándose de sur a norte y posteriormente de norte a sur entre los 4°N y los 13°N, teniendo así mayor radiación solar incidente sobre la masa de aire 5, aumentando su temperatura.

La humedad relativa presente en la CPC, tiene un comportamiento inverso al presentado con la temperatura del aire, donde es mayor la humedad relativa en cercanía a las aguas costeras por el excesivo aire cálido y húmedo tropical, reinante en toda el área costera de la CPC. (Devis, Et. al. 2002), lo cual genera una intensa precipitación durante todo el año en los departamentos que componen el litoral pacífico colombiano.

Tabla 51. Características promedio de las masas de aire de la CPC

Masas de aire	Temperatura, °C	Humedad Relativa %
I	23.22	91.65
II	24.33	89.34
III	25.10	85.95
IV	25.86	83.81
V	26.47	83.04

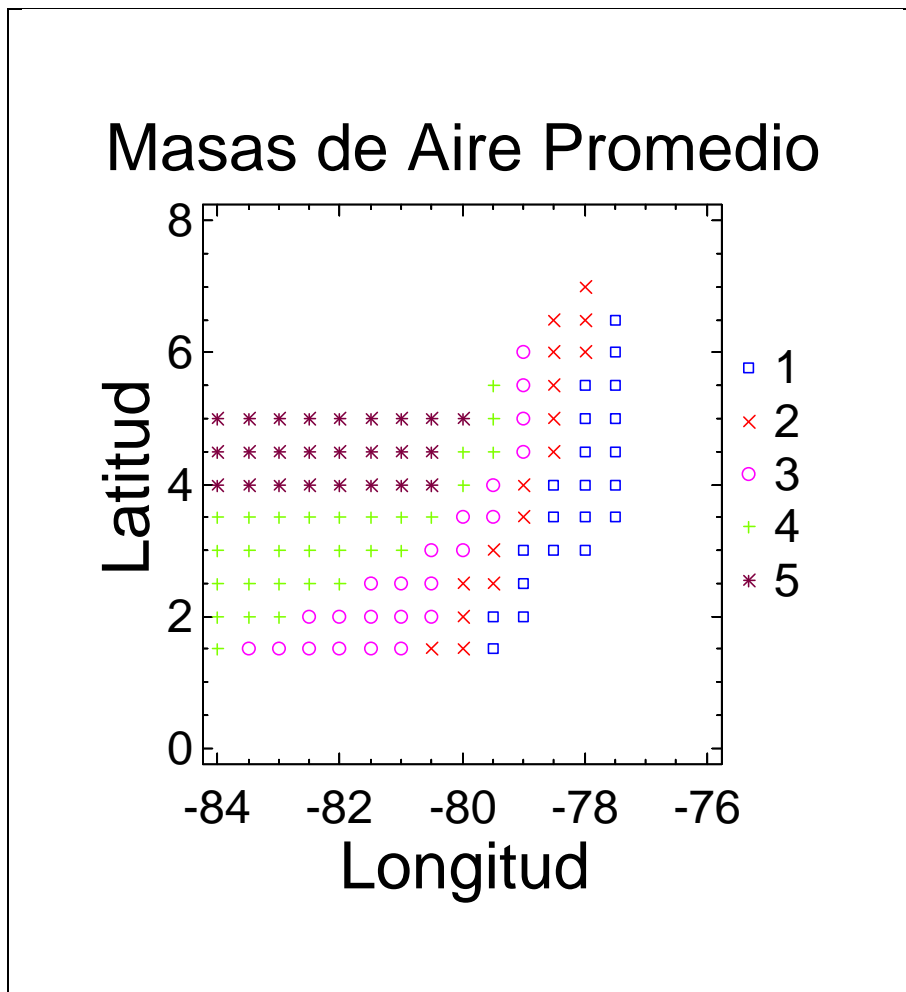


Figura 71. Resultado del análisis de cluster para las masas de aire promedio en la CPC

12.3.2. Masas de Agua Promedio

Las masas de agua promedio en la CPC (Fig. 72), presenta un comportamiento con tres zonas claramente definidas según las VII masas de agua que tenemos allí; son la zona costera, zona de mezcla y la zona oceánica. En la tabla 52 se identifican las masas que corresponden a cada una de las zonas en mención.

Las masas de agua I y II, corresponden a las masas más cercanas a la costa, las cuales se ven influenciadas por los aportes de los ríos, la precipitación abundante de la zona costera y los movimientos verticales y horizontales constantes que se tienen allí por la variación diaria de la marea. La masa de agua III completa la zona costera, la cual tiene características muy similares a las masas I y II con pequeñas variaciones en sus valores de temperatura y salinidad y siendo un poco más densa que las anteriores. Esta masa de agua delimita la zona costera con la zona de mezcla.

La zona de mezcla se compone de las masas de agua IV y VI, se ubican en la zona de mezcla de las aguas costeras con las aguas oceánicas. La salinidad y la densidad aumentan al desplazarse al océano, la variación de las oscilaciones de los parámetros físicos disminuye presentando estabilidad en su variabilidad dentro del año climático, en comparación con las grandes variaciones de la zona costera. Por la distribución de las áreas IV y V se puede suponer que las aguas costeras Ecuatorianas desde el sur se mueven hacia al occidente de la CPC.

Las últimas dos zonas oceánicas VI y VII, llegan a la cuenca del Pacífico Colombiano desde el occidente y se forman por movimientos horizontales advectivos.

Tabla 52. Características promedio de las masas de agua correspondientes a las zonas de la CPC

Zona	Masas de agua	Temperatura, °C	Salinidad	Densidad, kg / m^3
Costera	I	25.97	33.58	21.68
	II	24.97	32.61	21.29
	III	25.77	33.78	21.89
De mezcla	IV	25.71	33.86	21.97
	V	26.01	33.78	21.82
Oceánica	VI	25.64	34.04	22.12
	VII	25.03	33.95	22.24

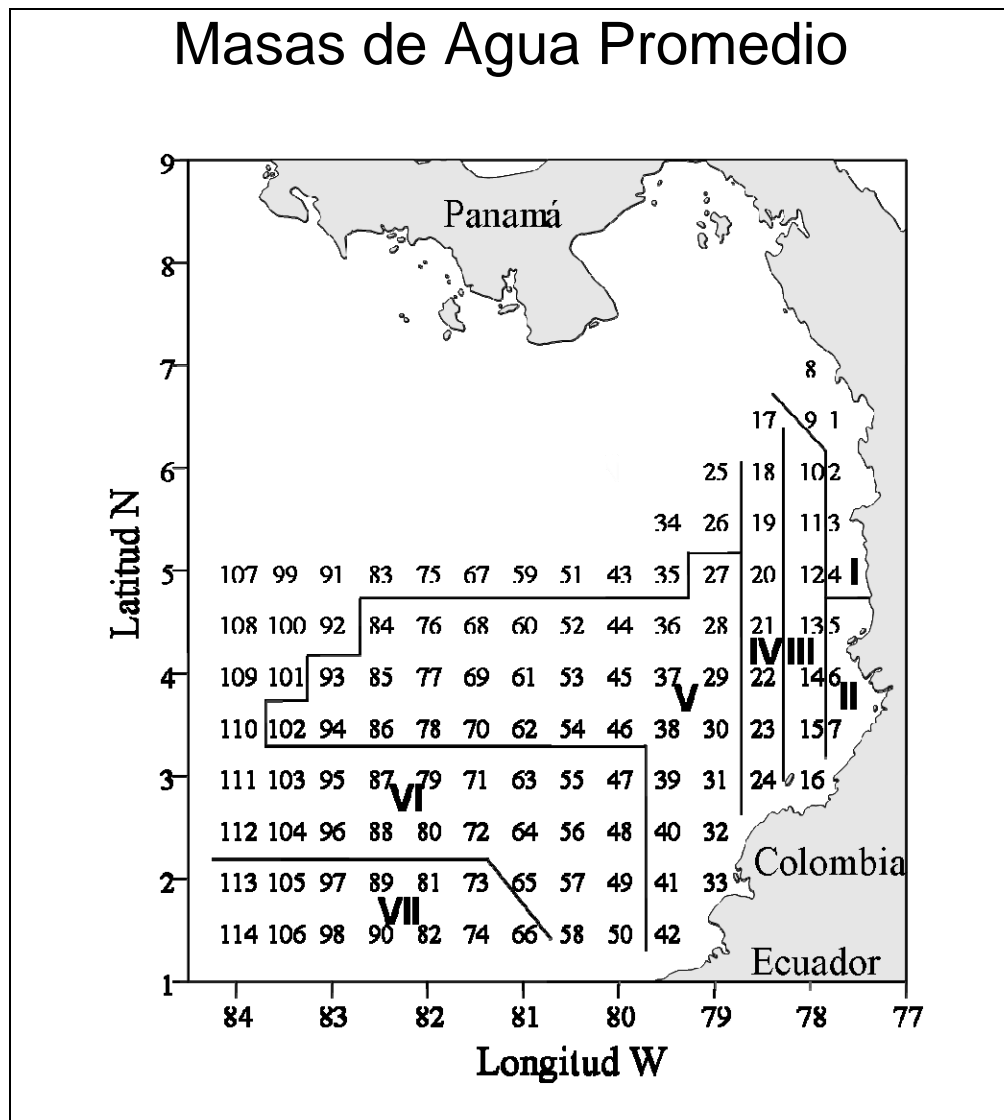


Figura 72. Resultado del análisis de cluster para las masas de agua promedio en la CPC

12.4. Clasificación local de las masas de aire y de agua para la CPC

A continuación se hará referencia a la clasificación de las masas de agua y de aire hechas para la CPC, teniendo en cuenta la clasificación mundial referenciada en los puntos 10.2 y 10.4, como también las características específicas de las variables de TSM Y SSM para las masas de agua y de Ta y Hr para las masas de aire.

12.4.1. Clasificación local masas de agua

La clasificación propuesta para las masas de agua de la figura 73, se tomó del Atlas de las características termohalinas de las aguas de la cuenca del pacífico colombiano con base en simulación matemática (Villegas, 2009).

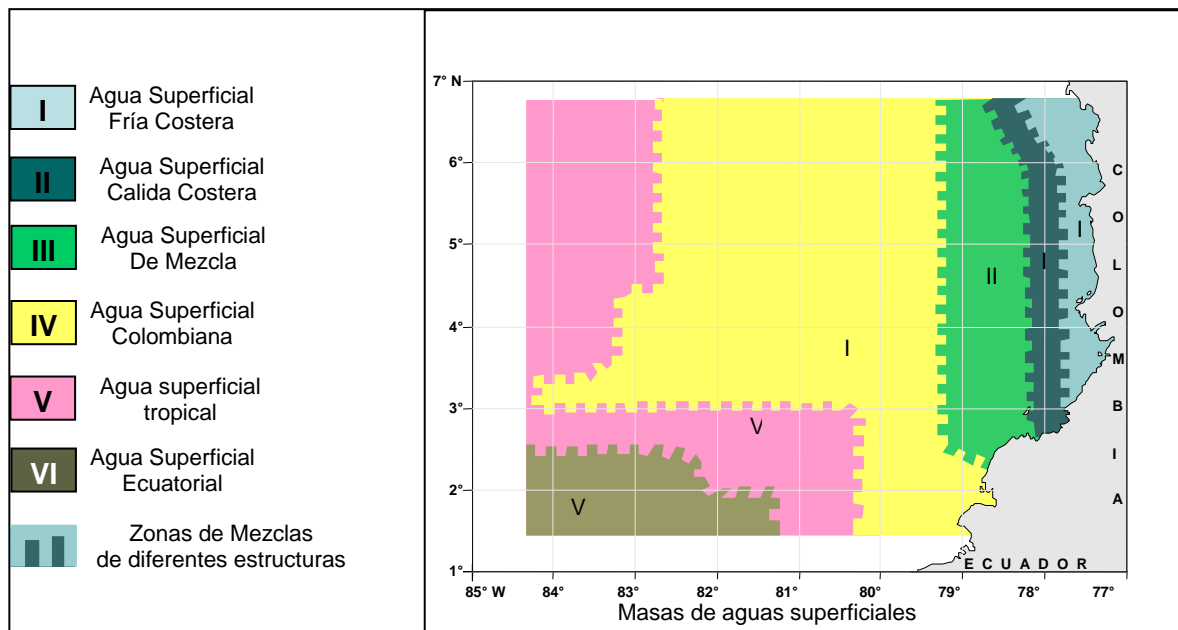


Figura 73. Clasificación de las masas de agua superficial para la CPC
Fuente: Villegas y Málikov (2009)

12.4.2. Clasificación local masas de agua

La propuesta de clasificación de las masas de agua que se presenta en la figura 74, se llevó a cabo teniendo en cuenta tres características fundamentales, las cuales son:

1. Valores de temperatura, mostrados en el resultado del análisis de cluster de las masas de aire promedio, que estuvieran dentro del rango establecido a nivel mundial
2. Procesos que influyen en el comportamiento de las masas de aire de la CPC, como lo son los vientos alisios del suroeste y del noreste.
3. Posición de cada una de las masas con respecto a la costa y respectivamente al mar abierto.

De esta manera, se ha llegado a la propuesta que se aprecia en la figura 74.

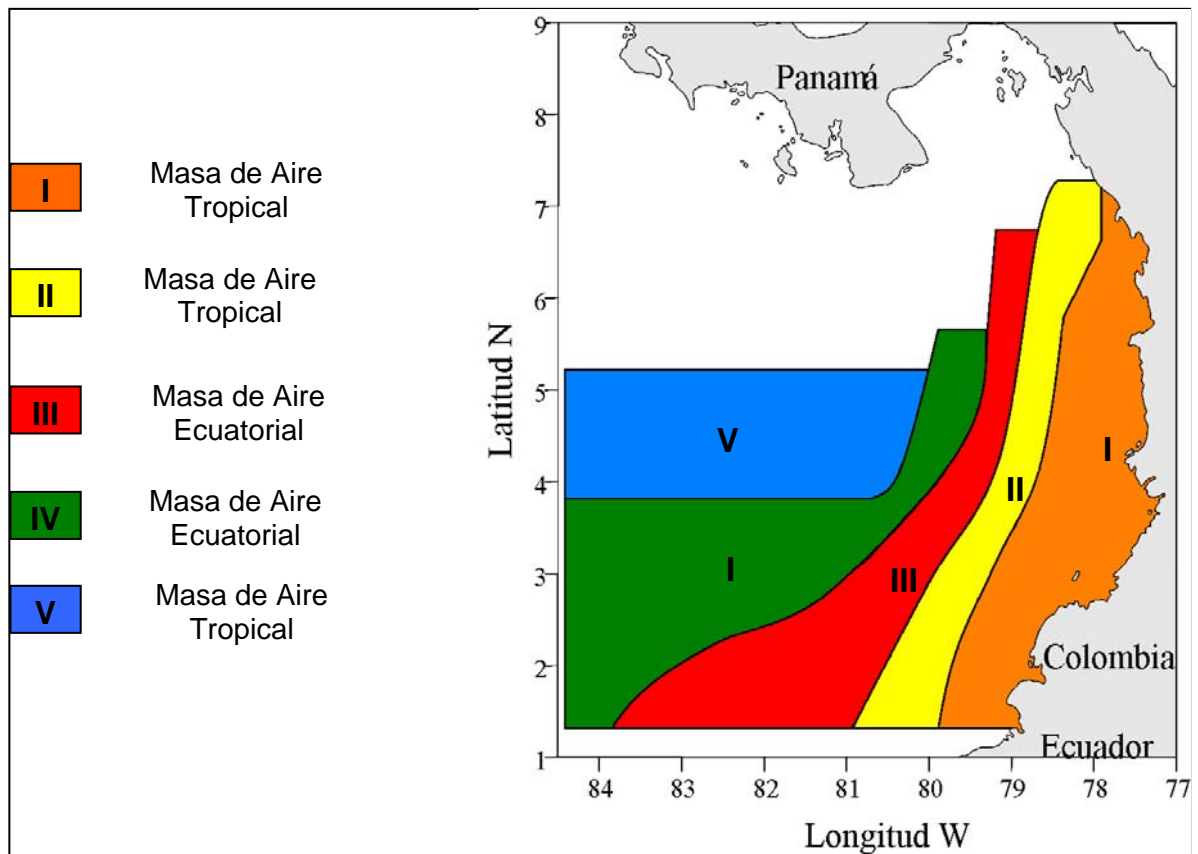


Figura 74. Clasificación local de las masas de aire para la CPC
Fuente: Esta investigación

12.5. Correlación entre las Masas de Aire y de Agua Promedio en la CPC

Teniendo las anteriores masas de aire (tabla 51 y fig. 71) y de agua promedio (tabla 52 y fig. 72) identificadas, se procedió a hacer un análisis estadístico multivariante de correlación canónica entre los valores de dichas masas.

Los resultados (tabla 53) muestran las zonas con mejor correlación y su coincidencia (fig.75) para la ubicación de las estaciones de monitoreo.

En la tabla 53 se encuentran los valores de correlación canónica obtenidos entre las 7 masas de agua promedio (O1,...,O7) y las 5 masas de aire promedio (M1,...,M5), donde se diferencian los valores en celdas de colores para facilitar la interpretación de los resultados.

Debido a que la importancia aquí consiste en definir cuáles son los puntos estratégicos para toma de datos océano atmosféricos en la región, se pretende que, por medio de este análisis de correlación, se puedan encontrar las futuras estaciones de muestreo permanentes que representen a un sector específico dentro de la CPC, según la homogeneidad de sus características atmosféricas y oceanográficas base (Ta, Hr, TSS y

SSM), conservando el comportamiento lógico de las masas de aire y masas de agua promedio.

De esta manera, al presentar valores altos de correlación, éstos se clasificaron por rangos y presentados en celdas de colores: el marrón corresponde a valores iguales o superiores a 0.99, naranja oscuro a valores hasta 0.98, naranja claro a valores hasta 0.97, amarillo a valores hasta 0.96 y finalmente a valores inferiores a 0.95 se les asignó un color blanco.


Lo anterior facilita no solo la diferenciación de los resultados si no también su observación sobre la figura 75, donde se sobrepuso a las gráficas que representan las masas de agua y de aire con su correspondiente color correspondiente a los valores mencionados.

De esta manera se tiene lo siguiente:

Según el comportamiento de las masas de agua y de aire analizados en los capítulos anteriores y teniendo en cuenta los resultados de la correlación canónica, se obtuvo que hay 25 correlaciones que poseen un valor superior o igual a 0.96 y, de éstas sólo 16 tienen una correspondencia lógica y espacial en la CPC, las cuales corresponden en la tabla 53 a las celdas con números resaltados en color verde. Es decir que al sobreponer las masas de aire y las de agua promedio se corrobora una coincidencia espacial relacionada con los procesos océano - atmosféricos propios de la región.

Tabla 53. Resultado del análisis canónico entre las masas de agua (O1...O7) y las masas de aire (M1... M5). Con letras de color verde se observan las correlaciones que coincidieron espacialmente en la figura 60 y con color rojo las que no.

	M1	M2	M3	M4	M5
O1	0,98	0,97	0,98	0,99	0,99
O2	0,84	0,85	0,96	0,93	0,88
O3	0,95	0,96	0,95	0,95	0,97
O4	0,97	0,97	0,94	0,94	0,96
O5	0,99	0,99	0,97	0,96	0,98
O6	0,99	0,99	0,97	0,97	0,99
O7	0,96	0,95	0,98	0,98	0,97

Colores según valores de correlación de masas de aire y agua:

 ● ≥ 0.99 , ● 0.98, ● 0.97, ● 0.96, ○ < 0.95

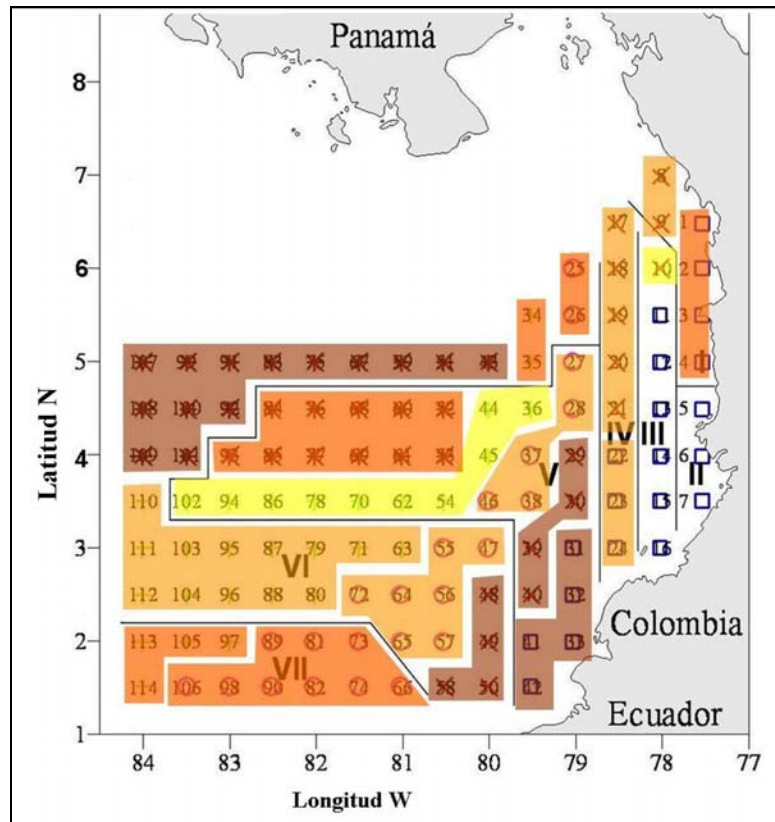
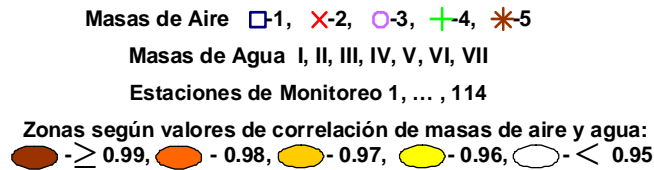


Figura 75. Superposición resultante de la correlación canónica entre masas de agua y de aire en la CPC



12.6. Discusión

Estudios previos para la identificación de masas de aire sobre la CPC, no se han realizado. Se conoce una descripción aproximada resultante de la extrapolación de información meteorológica del litoral del pacífico colombiano hacia la CPC (Devis et.al.2002). Por lo tanto, en el presente trabajo, la utilización de información de archivos reanálisis del NCEP-NCAR, ha permitido obtener por primera vez una descripción detallada mes a mes y en promedio del comportamiento de las masas de aire sobre la región.

En Devis et.al. 2002, se asegura que debido a que el litoral Pacífico Colombiano (parte continental de Colombia) se puede subdividir en tres zonas climáticas, las correspondientes zonas marítimas serían tres: Zona Norte, (entre 07°08' y 04°57' N), Zona Centro (entre 04°57' y 03°00' N) y Zona Sur (entre 03°00' y 01°36' N), como se muestra en la figura 22. Pero por las características océano - atmosféricas locales de la CPC es lógico entender que esta subdivisión es muy general y no corresponde a los procesos que determinan a la dinámica de la región.

En el presente trabajo, se obtuvo, que en promedio las masas de aire sobre la CPC son cinco. De éstas, hay 3 masas de aire que se posicionan a lo largo de la costa representando con sus valores de Ta y Hr no a una correspondencia latitudinal como se menciona en Devis et.al.2002, si no al acompañamiento de los movimientos oceánicos característicos de las zonas costeras. En este caso, el valor promedio de Ta de la masa de aire I es el menor, el cual se da como combinación entre las masas de aire costeras frías provenientes de la cordillera y las masas de aire de carácter local de la CPC formadas por influencia de las aguas de los ríos que llegan del continente, así mismo, el alto valor de Hr estaría correspondiendo a los procesos de convección característicos de la costa.

La masa de aire II, por sus valores un poco más altos de Ta y aún altos de Hr, representa en sí su interacción con la corriente marítima superficial cálida de Colombia, la cual atraviesa el sector en forma permanente y proporciona calor y humedad al aire sobre él. Con relación a la III, ésta refleja a la masa de aire que se encuentran sobre aguas que inician su alejamiento de la costa del pacífico Colombiano y acercamiento a las aguas cálidas panameñas del norte y frías que llegan del sur, logrando así una combinación en las características Ta y Hr que reflejan un valor promedio al ser comparados con los valores de las otras 4 masas de aire.

Al hacer un paralelo entre los valores de Ta de las masas de aire IV y V, se observa que la Ta de la masa de aire localizada sobre las aguas provenientes del sur es menor que la Ta de la masa de aire ubicada sobre aguas panameñas, lo cual muestra que la determinación de masas de aire realizado en este trabajo si refleja el comportamiento lógico de interacción océano - atmosférica de la región de estudio.

En cuanto a las masas de agua, las zonas homogéneas identificadas en Villegas, N. 2002, presentan VII masas, las cuales se determinaron con información promediada de valores in situ de TSM y SSM de 82 estaciones oceanográficas obtenidas durante 1970 y 2000 sobre la CPC en expediciones oceanográficas de la Armada Nacional de Colombia. En el presente estudio la información utilizada son valores de TSM y SSM modelados para 114 estaciones, obteniendo VII masas de agua promedio.

En Villegas, N. 2002, las 7 masas de agua son agrupadas a su vez en 3 grandes zonas: zona costera, zona de mezcla y zona oceánica. Con el fin de hacer una comparación de los resultados aquí obtenidos, se realiza la misma división de zonas, encontrando que la zona costera presentada en el trabajo mencionado muestra valores de TSM mayores hasta en 2°C y valores de SSM menores hasta en 50/00. La diferencia indica que las TSM y SSM modeladas utilizadas para el presente estudio no muestran la influencia de los procesos costeros, como lo hacen los valores de TSM y SSM in situ utilizados en el trabajo Villegas, N. 2002.

Las zonas homogéneas II y III presentadas en Villegas, N. 2002 son definidas como zonas de mezcla de las aguas costeras con las aguas oceánicas pero, para las masas de agua del presente estudio se delimitaron como las masas de agua IV y V también encontradas en

Moreno et.al.2008. Nuevamente el estudio de Villegas, N. 2002, presenta valores de TSM mayores en 1.5°C y de SSM menores en 3 o/oo aproximadamente.

Finalmente las masas de agua oceánicas para el presente estudio se componen de las masas VI y VII teniendo temperaturas ligeramente por encima de las masas de la zona de mezcla. En Villegas, N. 2002 se contempla a la zona oceánica con las zonas homogéneas IV, V, VI y VII, con ligeros cambios de TSM entre sí, estando en promedio en los 27°C, mientras que en el presente estudio el promedio es de 25.5°C, así mismo la SSM en las zonas homogéneas de Villegas, N. 2002 están alrededor de 32.5%, teniendo una diferencia de aproximadamente 1.4% con respecto al presente estudio.

La comparación muestra, que a medida que hay un alejamiento de la costa, los valores modelados presentan menores diferencias. Además, aunque la información de TSM y SSM utilizada en el presente trabajo es resultado de una modelación, ésta permitió determinar la misma cantidad de masas de agua encontradas en Villegas, N. 2002 y Moreno et. al. 2008.

Por lo anterior se entiende que, aunque la existencia de modelos numéricos para la obtención de información oceanológica y atmosférica facilita la investigación, es indispensable la utilización de información in situ para corroborar dichos modelos. De ahí la importancia de hacer un trabajo detallado de identificación de masas de aire y de agua con información no modelada con el fin de encontrar una adecuada ubicación de estaciones hidrometeorológicas permanentes sobre la CPC para el continuo monitoreo de variables océano – atmosféricas en la región.

12.6.1. Descripción Masas de Aire Mes a Mes.

1. Los meses de Diciembre, enero, febrero, marzo y abril, presentan características normales en el comportamiento, es decir, a medida que las masas de aire se alejan de la costa hacia el océano, se presenta un aumento de temperatura y una disminución en el valor de la humedad relativa, siendo esto lo esperado en el comportamiento de las masas de aire, ya que la influencia del continente hace que la humedad relativa sea alta y propicia para la generación de precipitación, siendo esto lo que origina una baja temperatura de manera general. El comportamiento en el océano abierto es más estable y la convección que se presenta por la irradiación del sol, permite que exista precipitación, pero de manera más esporádica y menos frecuente, afectando la temperatura y la humedad relativa.
2. En los 4°N de latitud, se presenta para los meses de mayo junio, agosto, septiembre, octubre y hasta noviembre, una especie de frontera para algunas masas de aire, ya que se ven claramente divididos por los valores de temperatura y humedad, generando así un aumento en la cantidad de masas de aire, como también una marcada diferencia entre las mismas, llegando así a una valor de 7 masas de aire para el mes de septiembre.

12.6.2. Correlación Canónica Masas de Aire y Agua mes a mes

1. El análisis multivariado de correlación canónica, permitió que las cuatro variables de las masas de agua y de aire estudiadas, pudieran ser analizadas según su ubicación dentro de la CPC. Lo anterior es importante para poder determinar mes por mes la correlación existente entre las masas de aire y de agua.
2. En todos los meses se obtuvieron correlaciones muy cercanas a 1, indicando su dependencia en los procesos océano-atmósfera que se presentan en la CPC.
3. Las masas de agua y de aire en las que se presentaron las correlaciones más altas, en la mayoría de los casos fueron O3 y O4 con respecto a las masas de aire M1 a M5, las cuales se ubican en una zona de mezcla, entre las aguas costeras y aguas oceánicas.

12.6.3. Correlación canónica entre las masas de aire y de agua promedio.

De los valores de las correlaciones coincidentes (letras color verde, tabla 53) espacialmente sobre la CPC en la figura 75, se puede decir que:

1. Se comprueba que existe una fuerte relación entre las variables meteorológicas y oceanográficas en la CPC.
2. Existe una coincidencia lógica entre los valores encontrados y los que espacialmente deberían estar.
3. Los valores encontrados permiten tener una aproximación espacial de los lugares o puntos en los que se deben ubicar las estaciones hidrometeorológicas para el monitoreo océano-atmosférico en la CPC, en la capa superficial del océano y las masas de aire superficial.
4. Las correlaciones encontradas fueron muy buenas, ya que en su gran mayoría están muy cerca al valor ideal de 1
5. En la figura 60 se observan las correlaciones que tienen valores superiores a 0.96. De ellas se puede concluir que todas tiene diferencias en sus relaciones pero presentan valores muy iguales en general de su correlación.
6. Las zonas en las que existe un mayor número de correlaciones entre las masas de aire y de agua se ubican de los 78.5°W hasta los 84.0°W.
7. Las correlaciones más altas están ubicadas entre los 79°W y 80.5°W y entre los 1°N y los 4°N

De los valores de las correlaciones que no coincidentes (letras color rojo, tabla 53) espacialmente sobre la CPC en la figura 75, se puede decir que:

1. Se tienen 6 valores de correlaciones altas que no coinciden espacialmente con referencia a lo visto en la figura 75.
2. Es posible que una de las razones por las que no exista una coincidencia, a pesar de que se tiene un valor alto de correlación, es por tratarse de la cercanía que existe en algunos casos, ya que las masas de aire atraviesan a la mayoría de las masas de agua y algunas no alcanzan a coincidir a pesar de estar muy cerca. Caso O6 -M1

12.6.4. Equipos usados en Colombia para el aporte al GOOS

Como se describió en el Capítulo 7, el SMOO requiere de información específica para lograr obtener los datos necesarios, los cuales aportan a los diferentes programas internacionales descritos anteriormente.

Para obtener dicha información se ha descrito en el punto 7.2.2 y en el punto 7.2.3 las diferentes plataformas que toman datos meteorológicos y oceanográficos a nivel mundial, siendo estas el referente a nivel internacional y nacional para la implementación de un sistema de monitoreo a nivel nacional.

Las plataformas actuales implementadas en Colombia, descritas en el capítulo 9, cumplen parcialmente con los requerimientos de información del SMOO, teniendo en cuenta que el monitoreo océano-atmosférico es muy costoso en su operación y mantenimiento.

Las plataformas oceanográficas usadas en Colombia por la DIMAR, son las boyas de oleaje direccional Triaxys, del fabricante Axys, que son óptimas para el monitoreo de aguas costeras, permitiendo conocer los parámetros físicos básicos del comportamiento del mar, como lo son la TSM, altura y dirección de la ola. Algunas de las boyas que han sido fondeadas, se les ha instalado correntómetros (ADCP Perfilador acústico de corrientes Doppler), que permite conocer en un perfil de 30 metros de profundidad el comportamiento de las corrientes mediante una señal acústica por el efecto físico doppler. La transmisión satelital usada por estos equipos son Inmarsat D+ e Iridium, los cuales hacen parte de los sistemas de comunicación usados actualmente por el JCOMMOPS. Dichos instrumentos cumplen de manera importante los requerimientos del SMOO para los parámetros físicos costeros. Por otro lado, es insuficiente, ya que la información que estos equipos suministran aun no se encuentra disponible en el JCOMMOPS, para ser consultada a nivel mundial.

Para el monitoreo atmosférico en la CPC, se tiene nada más que la información costera descrita en el numeral 9.1 que como se observa en su gran mayoría no son estaciones climatológicas principales u ordinarias, sino que poseen únicamente instrumentos registradores de nivel de ríos (limnógrafos) o de medición de cantidad de lluvia (pluviómetros o pluviógrafos), Lo anterior limita la información disponible para la zona y en especial para la CPC.

En el caso de las Estaciones Meteorológicas Automáticas Satelitales, las estaciones de Malpelo y Gorgona (tabla 10), no poseen un registro continuo desde su instalación, debido a los problemas técnicos y a la dificultad que representa el hacer mantenimiento en dichos sitios.

En el caso de la información que se ha registrado con los cruceros oceanográficos llevados a cabo en la CPC, la cual ha sido un esfuerzo valioso para el país, es necesario mejorar la toma de datos en los meses de enero y julio, teniendo en cuenta que en Devis et. Al. 2002,

se muestra que para los meses mencionados no se llevaron a cabo cruceros, sin embargo en la tabla 8 se observa que desde el año 2005 se han hecho observaciones en dichos meses y se han incrementado la regularidad de los cruceros a dos veces por año, siendo las épocas escogidas para tal fin las correspondientes a los meses de septiembre y marzo. De igual manera, se observa en la tabla 9, el aumento de parámetros muestreados u observados, teniendo desde el año 1996 parámetros físicos, químicos, biológicos y meteorológicos. Los avances mostrados en los últimos años, reflejan el gran interés que a nivel nacional existe para conocer el comportamiento océano - atmosférico de la CPC, participado diferentes instituciones a nivel nacional e internacional. Existen compromisos internacionales que hacen de los cruceros oceanográficos una importante herramienta para conocer el comportamiento del océano pacífico a nivel regional, especialmente a los países que conforman la Comisión Permanente del Pacífico Sudeste, Colombia, Ecuador, Perú y Chile.

A pesar del buen trabajo y esfuerzo que se ha llevado a cabo, las circunstancias anteriores limitan la obtención de información constante o permanente in-situ de la CPC. La CPC esta influenciada por la diferentes corrientes que se presentan en la región como lo es la Corriente de Humboldt, que son aguas frías proveniente del Océano Glaciar Ártico iniciando su recorrido desde la Isla Chiloé (Chile) y recorre principalmente el litoral peruano. Esta corriente representa una importante fuente económica de ingresos para el Perú y Chile.

De igual manera, existe otra importante corriente que influencia de manera directa la CPC denominada la corriente Colombia. La corriente de Colombia se desplaza en sentido contrario de las manecillas del reloj, con dirección predominante NNE y se manifiesta entre cabo Manglares y punta de Coco, desempeñando un importante papel en la dinámica de sedimentación y disposición de las barras arenosas paralelas a la costa (Cantera, 1993)

En síntesis, los equipos que registran actualmente la información de la CPC no pueden llegar a registrar de manera constante los diferentes procesos que se están presentando allí, como tampoco el seguimiento permanente de los fenómenos que influyen el comportamiento de la CPC y por ende del clima en el interior del país.

12.7. Puntos de Monitoreo de Parámetros Oceanográficos y Meteorológicos en la CPC.

Con el análisis de correlación canónico realizado entre las masas de aguas y de aire sobre la CPC, se puede clarificar lo encontrado en el trabajo Moreno et. al. 2008, donde se sugieren 8 estaciones hidrometeorológicas permanentes basado en el análisis de cluster de masas de agua, distribuidas según tabla 54.

Al localizar la posición de los 8 puntos geográficos de la tabla 54 en la gráfica de superposición resultante de la correlación canónica (Fig. 75), se observa que las mejores opciones para instalación de estaciones océano - atmosféricas permanentes (boyas

oceanográficas con equipos de medición de variables atmosféricas y oceanológicas superficiales y subsuperficiales, como las descritas en el punto 7.2.2 plataformas oceanográficas punto B.) son (Fig. 76): para la zona costera, el identificado como punto 1, el cual estaría representando a las masas de agua I y de aire I; para la zona de mezcla, el punto 29 que representaría a las masas de agua V y de aire II; y, para la zona oceánica, el punto 74 que representaría a las masas de agua VII y de aire III. Además, teniendo en cuenta que las boyas oceanográficas tienen como fin obtener información permanente en lugares donde es difícil el acceso continuo de buques oceanográficos, como es el caso de sectores alejados a la costa, se sugiere el punto 107 que representa a la masa de agua VI y masa de aire VI.

Tabla 54. Posición sugerida para estaciones hidrometeorológicas permanentes en la CPC.
Fuente: Moreno, et. Al. 2008

Zona	Longitud oeste	Latitud Norte	Profundidad, m	No. estación
Costera	77° 30´	6° 30´	300	1
	77° 30´	3° 30´	150	7
	78°	5°	3000	12
De mezcla	78° 30´	6° 30´	3000	17
	79°	4°	2500	29
	80°	4° 30´	2500	44
Oceánica	81° 30´	1° 30´	2500	74
	84°	3°	2500	111

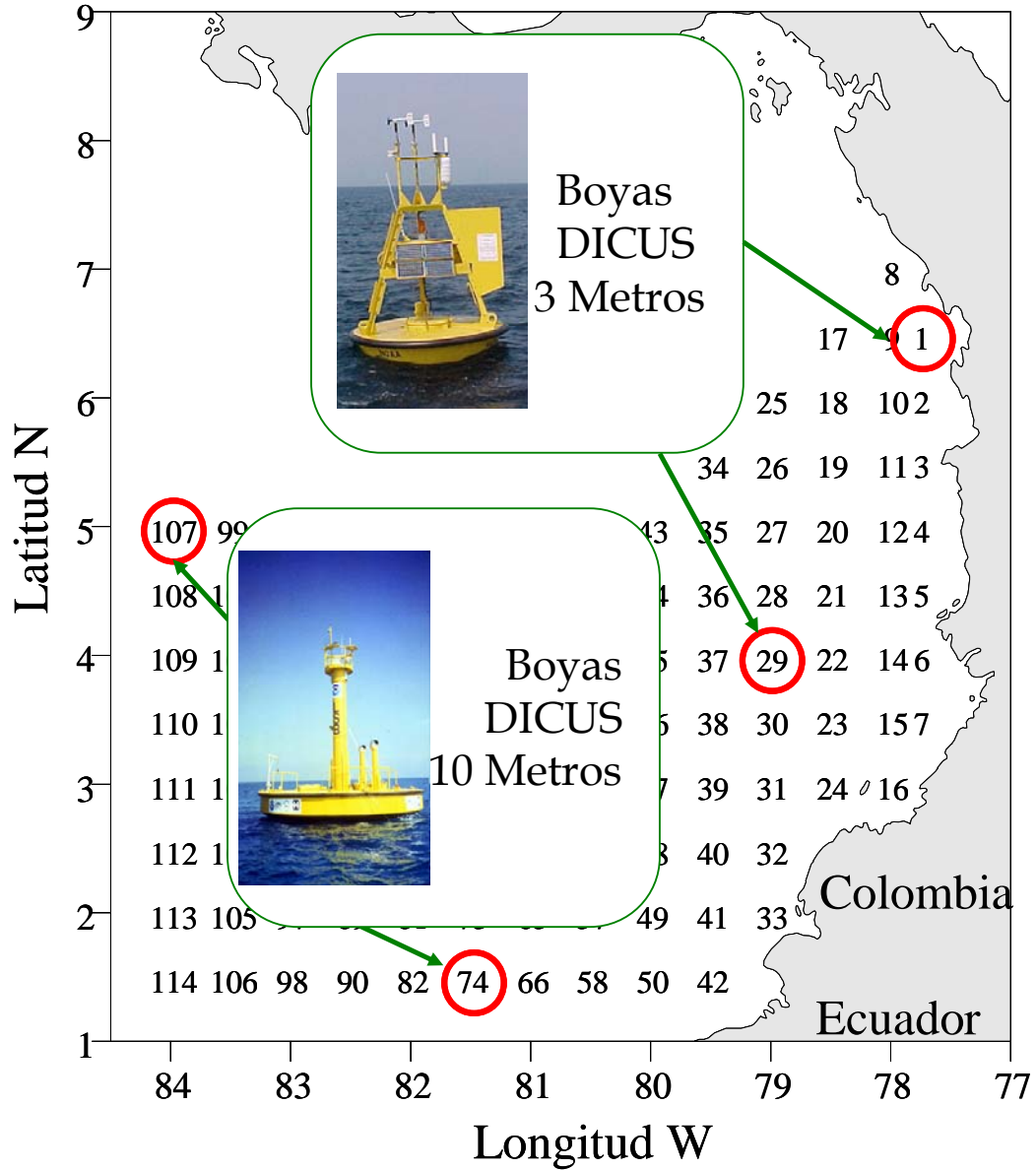


Figura 76: Puntos geográficos de ubicación permanente de estaciones de monitoreo hidrometeorológicas.

Para los sectores no mencionados, se sugiere la realización de transeptos como se muestra en la gráfica 77 para las masas no cubiertas en los puntos de monitoreo de la figura 76, como lo son mas de aire IV y masas de agua II, III y IV, lo cual se ha hecho teniendo en cuenta algunos de los principios de organización de estaciones oceanográficas que son de aplicación general para cualquier región, a excepción de áreas que se desconocen totalmente (Korovin, 1998), como también los meses que revisten mayor importancia para el monitoreo como los son los meses de enero y julio, por la falta de información de los cruceros oceanográficos y los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre, según Devis, et. al. 2002):

- a) Los transeptos deben ser perpendiculares a las isóneas de las propiedades (temperatura, salinidad) que van a ser objeto de muestreo
- b) La distancia entre las estaciones debe determinarse en primer lugar de acuerdo al supuesto cambio de las propiedades que se van a medir a lo largo del transepto, a no ser de que ya existan estaciones regulares establecidas y, en segundo lugar, según el ritmo espacial esperado de cambio de las propiedades que se muestrean (cuanto mayor sea éste, menor la distancia entre estaciones)
- c) La frecuencia del muestreo debe estar relacionado con la periodicidad esperada de cambio de las propiedades que se muestrean con el transcurso del tiempo propio de la región de estudio

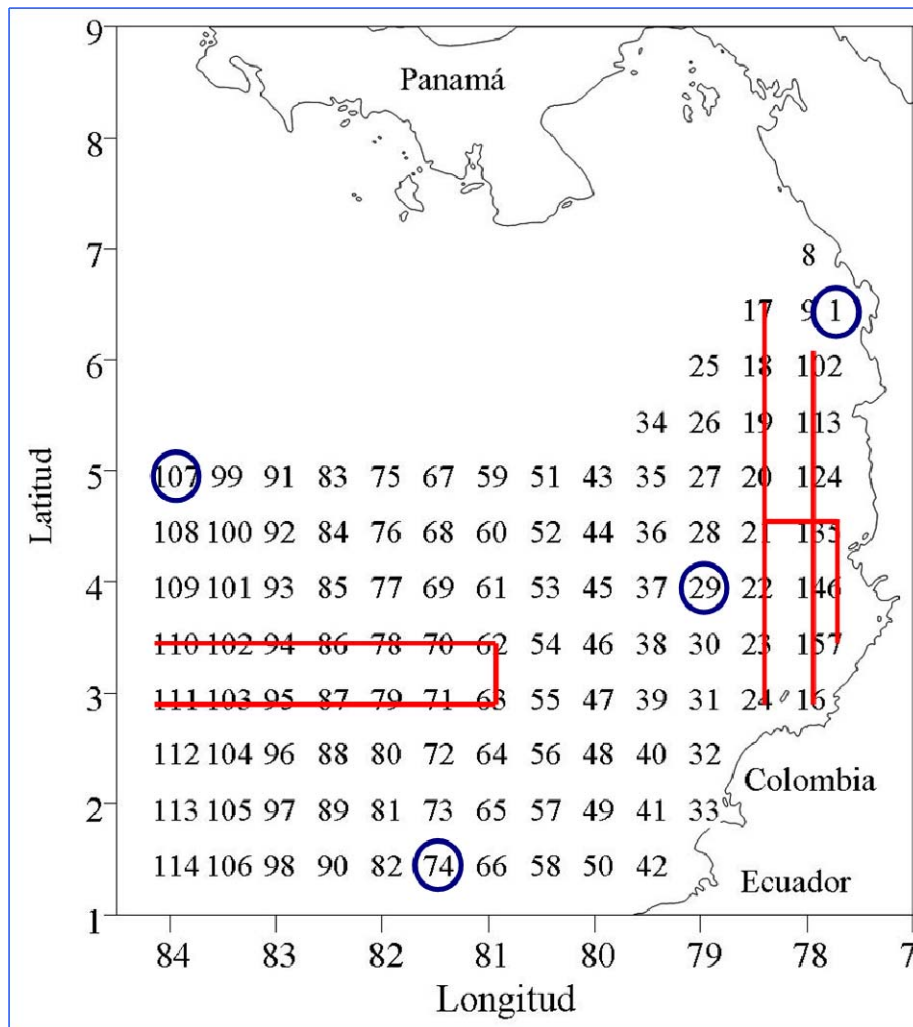


Figura 77: Transeptos propuestos para áreas no cubiertas por las estaciones hidrometeorológicas.

13. CONCLUSIONES

Se estableció la predominancia de cinco masas de aire sobre la CPC teniendo en cuenta la homogeneidad de la T_a y la H_r . Las primeras tres masas se ubican de norte a sur del sector este de la CPC, comenzando desde la costa y llegando hasta aguas centrales o de mezcla, las masas IV y V abarcan el resto de la región cubriendo las aguas centrales y oceánicas hasta el oeste de la CPC, la IV ubicada al norte y noroeste y, la V al sur y suroeste.

Se definieron nombres específicos de masas de aire de acuerdo a las características locales

En promedio, las masas de agua sobre la CPC son siete, de acuerdo con la homogeneidad de la TSM y la SSM.

Se observa una gran influencia de la ZCIT tanto en el comportamiento de las masas de aire como en el de las masas de agua.

Se obtiene una mejor aproximación en el conocimiento de las masas de aire debido a la utilización de información sobre la CPC acorde con procesos océano-atmosféricos de la región, lo que no se tuvo en cuenta en estudios anteriores, donde el análisis se realizaba a través de información de estaciones meteorológicas localizadas en la costa.

Aunque la herramienta de la modelación matemática es muy importante para la investigación oceanográfica y atmosférica de una región de estudio, se corrobora la importancia del acceso a información in situ para la verificación de datos, mejoramiento de modelos y estudios específicos.

Se comprueba que existe una fuerte relación entre las variables meteorológicas y oceanográficas en la CPC, justificando los procesos físicos que se suscitan en el área al analizar los valores de correlación encontrados y los procesos océano-atmosféricos presentes en la región.

Los valores de correlación entre masas de aire y de agua encontrados, provén una aproximación espacial para la localización de cuatro puntos estratégicos de instalación de estaciones océano - atmosféricas permanentes (boyas oceanográficas con equipos de medición de variables atmosféricas y oceanológicas superficiales y subsuperficiales) que cubrirían el estudio de las masas de aire I, II, III y VI y las masas de agua I, V, VI y VII.

Se sugiere un mapa de transeptos teniendo en cuenta las masas de aire y de agua no cubiertas en los 4 puntos propuestos para ser realizados en los meses enero y julio, por falta de información en esos meses y, en los meses de valores mínimos y máximos de temperatura del mar: marzo, junio, septiembre y diciembre.

14. RECOMENDACIÓN

Se hace necesario, la continuación de los cruceros oceanográficos y que proyectos como el Sistema de Medición de Parámetros Oceanográficos y de Meteorología Marina (SMPOM) que actualmente esta llevando a cabo la DIMAR, sean fortalecidos con la interacción de otras instituciones que requieren y usan información del comportamiento oceano - atmosférico de la CPC, debido no solo a los compromisos internacionales que se tienen para esta información, sino a el seguimiento de fenómenos importantes como el Niño que afectan la climatología en el interior del país.

15. BIBLIOGRAFÍA

Barry R. y Chorley R. 1985. *Atmósfera, Tiempo y Clima*, 4a edición, Ediciones Omega, Barcelona España.

Bubnov, V. A. 1990. *Circulación de las Aguas de la Zona Ecuatorial del Océano Mundial*. Hidrometeoizdat. Leningrado. 210 p.

Cantera, J. 1993. *Oceanografía*. Cap. 1, págs. 13-23 en: P. Leyva (ed.). *Colombia Pacífico*. Tomo 1. Fondo de protección del medio ambiente "José Celestino Mutis" FEN Colombia

CCCP. 2004. Centro Control Contaminación del Pacífico, tsunamis, vínculo web <http://www.cccp.org.co/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=23>

Cifuentes, J.L. 1995. *El océano y sus recursos III. Las ciencias del mar: Oceanografía física, matemáticas e ingeniería*. Fondo Cultural Económica. Mexico

Colaboradores de Enciclopedia. *Masa de aire* [en línea]. Enciclopedia, Artículo de la Enciclopedia Libre Universal en Español. Disponible en http://enciclopedia.us.es/index.php?title=Masa_de_aire&oldid=401127.

CONPES. 2004. Consejo Nacional de Política Económica y Social 3315. *Inversiones estratégicas prioritarias en zonas portuarias de Colombia*.

Devis, A; I. García; Málikov, I.; N. Villegas. 2002. *Compilación oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana*. Panamericana formas e impresiones S.A. Tumaco.: Cntr. Contr. Cont. Pac.

División de Transporte Marítimo - DIMAR. 2006.

Eslava, J., López, V. & Olaya, O. 1986a. *Los Climas de Colombia (Sistema de W. Köeppen)*. *Atmósfera* (5): pp. 35-81. Sociedad Colombiana de Meteorología, Santafé de Bogotá.

Gansser, A. 1950. *Geological and petrological notes on Gorgona Island in relation to north-western South America*. Schweiz. Min. Petrogr. 30: 219-237

GOOS Report No. 125 IOC. 2003. *Information Documents Series N° 1183. The Integrated Strategic Design Plan for the Coastal Ocean Observations Module of the Global Ocean Observing System*.

GOOS Report 134. COI. 2003 Comisión Oceanográfica Intergubernamental – COI. Informe de reunión de expertos y órganos equivalentes. Reunion de la Alianza Regional de GOOS para el Pacífico Sudeste (GRASP) Cartagena, 30-31 de mayo de 2003.

Gottschalck Jon, Kousky Vernon, Higgins Wayne, and L'Heureux Michelle. 2003. National Oceanic Atmospheric Agency NOAA. www.noaa.gov

Graefe, K., W. Frisch y M. Meschede. 1997. Exhumation of the Cordillera de Talamanca, SE Costa Rica. Geol. Soc. Am. Abstr. Progr., 29:A 442

Gutscher, M.A., J. Malavielle, S. Lallemand y J. Y. Collot. 1999. Tectonic segmentation of the North Andean margin; impact of the Carnegie Ridge collision. Earth Planet. Sci. Lett. 168: 255-270

GRASP. 2005. Reunión de alto nivel para el fortalecimiento de la Alianza Regional del Sistema Mundial de Observación de los Océanos GOOS en el Pacífico Sudeste GRASP, Guayaquil - Ecuador, 26-28 Octubre de 2005.

IDEAM. 2006. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Zonas de Reserva Forestal de Colombia. Ley 2ª de 1959 Atlas Temático.

IDEAM. 2005. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Atlas climatológico de Colombia.

IDEAM. 2001. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. El medio ambiente en Colombia.

IDEAM. 2001a. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Manual Del Observador Meteorológico, Medellín 2001

IDEAM. www.ideam.gov.co

Korovin, Y. 1988. Hidrometría Marina. LGMI. Leningrado. 180. p.

León, G. 2003. Apuntes de Meteorología Sinóptica, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Grupo de Meteorología, Programa de Postgrado en Meteorología.

Málikov, I. (1998), 'Investigación Acerca de la Presencia o Ausencia de Autocorrelación de Temperatura y Salinidad en Profundidades Estándar hasta los 500 Metros', Boletín Científico Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCCP) 7, 42-49.

Málikov, I. y G. Camacho. 1998. Método de Aproximación para Determinar Cambios Entreanuales Aplicado a Parámetros de Temperatura y Salinidad del Pacífico

Colombiano', Boletín Científico Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP). 7, 30-41.

Málikov, I. 2000. Determinación de Zonas Homogéneas del Pacífico Colombiano. Informe Final., Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP), Tumaco, Colombia. 50 p.

Málikov, I. y N. Villegas. 2005. Construcción de Series de Tiempo de Temperatura Superficial del Mar de las Zonas Homogéneas del Océano Pacífico Colombiano. Boletín Científico CCCP, (12): 79-93.

MAVDT. 2004. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Guías ambiental para terminales portuarios. P. 38 - 42.

Microsoft® Encarta® 2006 [DVD]. Microsoft Corporation, 2005. Microsoft ® Encarta ® 2006. © 1993-2005 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Moreno J.; Villegas N.; e I. Málikov. 2008. Localización de estaciones de monitoreo de las aguas del pacífico colombiano con base en el estudio de información meteorológica y oceanográfica. Ponencia VIII Congreso Colombiano de Meteorología, Quibdo, Chocó. Marzo 2008

Moreno, J. y Muñoz, A. 2007 Desarrollo de un Sistema de medición de parámetros oceanográficos y de meteorología marina, para el Litoral Caribe y Pacífico Colombiano. Boletín Científico CIOH No 24, Cartagena de Indias, 2007. PP. 66-74.

Muñoz, J. 1995 Banco Central de Costa Rica, División Económica, Departamento de Investigaciones Económicas. Técnicas de Análisis Multivariante

Meldrum, D. 2008. Developments in Satellite Communication Systems, useful satellite systems for data buoy operators. Miembro del Scottish Association for Marine Science

OMM. N° 933. 2006. Prevención de los desastres naturales y atenuación de sus efectos.

Poveda G. 2004. La hidrología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Rev. Acad. Colom. Cienc. 28(107):201-222, 204.

Quiceno, A. y M. Ortiz. 2001. Evaluación del impacto de tsunamis en el litoral Pacífico Colombiano Parte I (región Tumaco), Boletín Científico CCCP No 8, San Andrés de Tumaco, 2001 Páginas 5-14.

Reyna, J. 2001. Simulación Numérica de un Tsunami de Origen Lejano en su Aproximación a la Costa Pacífica Colombiana, Boletín Científico CIOH No 19, Cartagena de Indias, 2001. PP. 58-67.

Scientific American. 1976. Deriva Continental y Tectónica de Placas. H. Blume Eds. España. 271 p.

SHOA. 2008 <http://www.shoa.cl/cendhoc/argo/index.htm> Argo - Chile parte de la estrategia integrada de observación global.

Suzunaga, J. O. y Gómez, R. E. (1995), 'Características Oceanográficas y Meteorológicas en el Sur del Pacífico Colombiano en el Período Enero-Diciembre/93 y su Relación con el Fenómeno El Niño 91/92', Boletín Científico Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP) 5, 36-72

Tejada C. y Afanador F. 2003. Evolución del riesgo debido a derrame de hidrocarburos en la Bahía de Tumaco. Boletín Científico CCCP No 10, San Andrés de Tumaco, 2003 Páginas 51 - 66.

Trojer, H. 1958. Meteorología y climatología de la vertiente del Pacífico colombiano. Rey. Acad. Colom. Ci. Ex. Fis. Nat., 10(40): 199-219.

Villegas, N. 2002. Determinación de zonas homogéneas en las aguas superficiales de la Cuenca del Pacífico Colombiano. Material de la sección final del Consejo científico. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Russia. p. 126-128.

Villegas, N. 2003. Formation laws of Colombian Pacific Ocean thermodynamic structure, PhD. Thesis. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Russia. 189 p.

Villegas, N. y Málíkov I. 2007. Modelación de la estructura dinámica de las aguas de la cuenca del pacífico colombiano. Boletín Científico CCCP No 13, San Andrés de Tumaco.

Villegas, N., Málíkov, I., Reyna, J. y Paul, Y. (2007), Búsqueda de Señales de El Niño Oscilación del Sur en las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar de la Costa Pacífica Colombo-Ecuatoriana, en 'Libro de Resúmenes XII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar (COLACMAR), Florianópolis, Brasil'.

Villegas, N. y Neelov, I. 2002. Modelación de variaciones estacionales de circulación de las aguas del Océano Pacífico Colombiano., Materiales sección final Cons. Cient. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University (RSHU), 2002. p. 123-125.

Villegas, N. y L. Karlin. 2004. Modelación de la Circulación y de la Estructura Termohalina de las Aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano. Selección de Trabajos de Jóvenes Científicos en Hidrometeorología. Universidad Hidrometeorológica del Estado Ruso (RSHU). San Petersburgo. RSHU. Pp. 116-125.

Villegas, N e I, Málíkov 2009. Atlas de las características termohalinas de las aguas de la cuenca del pacífico colombiano con base en simulación matemática.

Weihaupt, J. 1984. Exploración de los océanos. Introducción a la oceanografía. Primera edición. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México D.F.

<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>

Zevallos , O. 2003. Proyecto gestión del riesgo Enso en América latina. Investigación Comparativa, Información y Capacitación desde una Perspectiva Social, Guayaquil Ecuador.