

CARACTERIZACION Y DIAGNOSTICO ANALITICO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DE LA CIENAGA DE MALLORQUÍN

I. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Localización

La cuenca de la Ciénaga de Mallorca presenta una superficie aproximada de 272 Km², cuya área de influencia esta definida a partir del nacimiento del arroyo Grande a la altura de Pital de Megua del municipio de Baranoa, extendiéndose hacia el norte hasta desembocar en la margen suroccidental de la ciénaga de Mallorca. La extensión se define por los divorcios de los arroyos Santo Domingo y Hondo, en la margen occidental del Distrito de Barranquilla; sectores de los municipios de Puerto Colombia por la trayectoria del Arroyo León; Baranoa por los divorcios de las aguas de los arroyos Jubilado, Simón y Megua; Tubará por los divorcios de los arroyos Batuque, Malemba, Horno, San Luis, Don Juan y Granada y Galapa en su totalidad, por los divorcios de los arroyos Mollo, Grande y Caña.



Figura 1. Mapas de localización de la cuenca Hidrológica de Mallorca. Fuente: CI (2005).

Geología General

Sobre las condiciones geológicas de la cuenca de la ciénaga de Mallorquín existe un buen informe elaborado por HIDROESTUDIOS & CONCEP (1998)¹, así como otras referencias en Universidad del Norte (1998)² y en IGAC (1994)³. Los aspectos geológicos de la cuenca que se incluyen en este informe están basados en estos documentos y serán expuestos considerando cuatro secciones principales: la estratigrafía, la geología estructural, la hidrogeología y los recursos minerales.

Geología

La génesis de las estructuras del relieve en el Departamento del Atlántico, de acuerdo con Universidad del Norte (1998), data de hace unos 65 millones de años (Terciario), cuando se dio inicio a los procesos de sedimentación y depositación de materiales en ambientes marinos y continentales que aún continúan. En razón de este origen se encuentran en su territorio depósitos de rocas calizas, silíceas, arcillas y areniscas. Entre los pocos accidentes geográficos destacables sobre la zona litoral, se pueden señalar el cabo Barros y las puntas Astilleros, Castillejo, Los Manzanillos, Morro Hermoso, Morro Pelado, Piedra y Sabanilla y las ensenadas Rincón Hondo y El Puente.

Los afloramientos en el área de la cuenca comprenden principalmente rocas sedimentarias y sedimentos del Cuaternario, dominadas por una tectónica de plegamiento, representadas por estructuras sinclinales, anticlinales y fallas con dirección regional NNE – SSW (HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998).

Estratigrafía

La información que se presenta en esta sección y en las siguientes fue extractada de HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998. En la figura 1 se presenta el mapa geológico que elaboraron para ilustrar su documento.

Unidad arcillolitas de Sibarco (T7)

Se caracteriza por la presencia de arcillolitas con yeso y limolita arenosa con delgadas intercalaciones de arenisca arcillosa y hace parte del anticlinal de Sibarco y de los sinclinales de Tubará y Sabanalarga, con un espesor de unos 200 m. Esta unidad se depositó en un ambiente marino durante el Mioceno medio y aflora en las cercanías de la ciénaga de Mallorquín, en la zona baja de la cuenca y en los alrededores de Barranquilla.

¹ HIDROESTUDIOS & CONCEP. *Evaluación ambiental de las microcuencas de los arroyos Grande y León*. Corporación Autónoma Regional del Atlántico. CRA. Barranquilla, 1998.

² Universidad del Norte – Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores. *Estudio de factibilidad de saneamiento de la ciénaga de Mallorquín*. CORMAGDALENA. Barranquilla, 1998.

³ INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. IGAC. *Atlántico. Características geográficas*. Subdirección de Geografía. Bogotá, 1994.

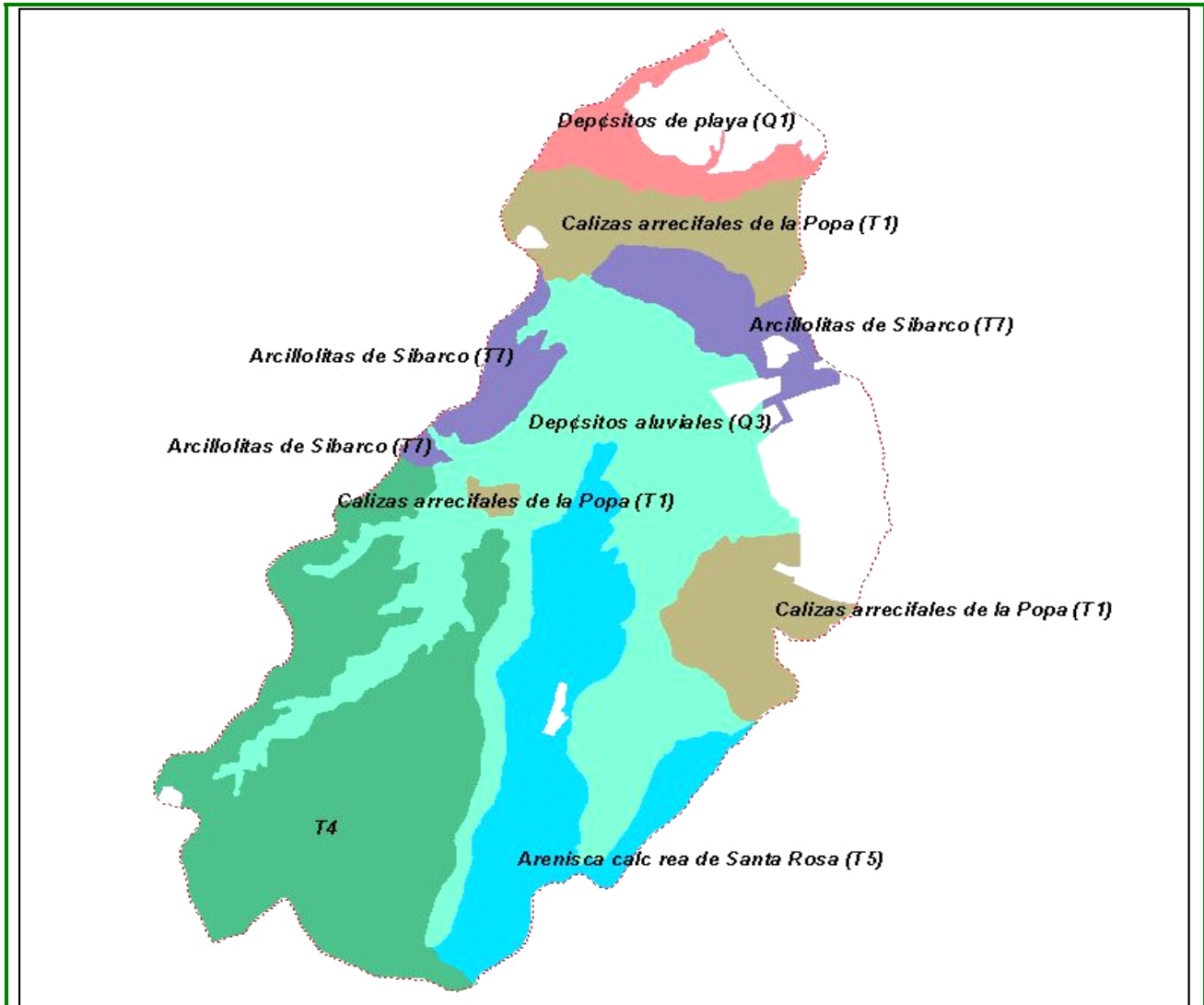


Figura 2. Mapa geológico. Fuente: Adaptado de HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998

Unidad arenisca calcárea de Santa Rosa (T5)

Su composición está representada por una alternancia de areniscas friables, fosilíferas, de grano grueso a conglomerático y shale limo-arcilloso fosilífero, que hacen parte de estructuras mencionadas en el numeral anterior; su espesor máximo de 500 m. En el área de la cuenca se encuentran estas areniscas de tamaño de grano variable desde medio a conglomerático y un alto porcentaje de fósiles tales como bivalvos y gasterópodos principalmente, los cuales yacen en los alrededores de la población de Galapa en la parte media de la cuenca del arroyo Grande. De acuerdo con Duque, (1984), los materiales de esta unidad se depositaron durante el Mioceno superior - Plioceno en un ambiente marino de aguas someras.

Unidad de Arcillolitas Calcáreas (T4)

Los afloramientos de esta unidad se producen al sur de Tubará, (parte media y superior de la cuenca del arroyo Grande) constituyendo parte del Sinclinal del mismo nombre. Su composición litológica se describe como una alternancia de arcillolitas y areniscas calcáreas que hacen presencia en los alrededores de Baranoa y Tubará; hacia el sinclinal de Sabanalarga la secuencia es predominantemente arcillosa, indicando un cambio lateral de facies en sentido N-S.

Los estratos de arenisca están compuestos por grano fino a grueso, friables, con matriz arcillosa y en algunas partes con cemento calcáreo. La porosidad es primaria y su ambiente de depositación es marino de aguas someras, de edad Mioceno superior - Plioceno. Algunas ladrilleras en la cuenca utilizan esta unidad para obtener la materia prima de sus productos; su color es café oscuro y su consistencia bastante dura por el bajo contenido de agua.

Unidad de Calizas arrecifales de la Popa (T1)

Sus materiales comprenden calizas arrecifales, arenisca calcárea fosilífera y arcillolita, que afloran sobre el casco urbano de Barranquilla y al NW de los municipios de Tubará y Baranoa. Su máximo espesor es de 100 m y se depositó en un ambiente marino somero durante el Plioceno superior - Pleistoceno. Las calizas y areniscas presentan algún fracturamiento y fenómenos de disolución, siendo consideradas como de porosidad secundaria. En el área de la cuenca estos materiales son utilizados como fuente de caliza para la elaboración de cementos y de arenas, y para la elaboración de agregados y concretos.

Unidad de depósitos aluviales (Q3)

Está conformada por depósitos aluviales asociados a las márgenes de los ríos y arroyos. Se destacan los sedimentos tamaño fino, arena y grava, con un espesor variable de 5 a 10 m. En la cuenca del arroyo Grande los afloramientos de esta unidad están representados por arenas de tamaño fino a medio, ricas en cuarzo y feldespato, casi carentes de minerales ferromagnesianos; en algunos sectores subyacen depósitos de sedimentos muy finos de poco espesor, de tipo arcilloso.

Unidad de depósitos de playa (Q1)

Su manifestación principal está en la línea de costa y la constituyen limos y arenas de grano medio, incluyendo en ocasiones restos de conchas y bivalvos, con un espesor que no sobrepasa los 5 m. Desde el punto de vista mineralógico están compuestos por cuarzo, plagioclasa, moscovita y en menor proporción algunos fragmentos líticos y minerales ferromagnesianos, tales como anfíboles y piroxenos. También se pueden observar formaciones de dunas trasladadas por el viento sobre estos depósitos.

Geología Estructural

Entre los principales eventos tectónicos que dieron forma a la estructura geológica del departamento se pueden mencionar los siguientes:

- La Orogenia Pre-Andina (Eoceno medio), que dio lugar al plegamiento y fallamiento del Anticlinorio de Luruaco
- La Orogenia Andina (Mioceno - Plioceno), en la cual surgieron las estructuras del Sinclinal de Tubará, del Anticlinal de Sibarco y del Sinclinario de Sabanalarga.
- El evento tectónico en forma de artesa (Pleistoceno superior), con bajo fracturamiento de dirección E-W, que se manifiesta al W del Anticlinorio de Luruaco.

Se destaca la presencia de dos sistemas principales de fallamiento: el primero, con orientación NE-SW, donde se encuentran las fallas de Molinero, San Vicente y Guaimaral, muy próximas al área de la cuenca y, el segundo, con dirección NW-SE, en cuyo sistema se encuentra la falla de Tubará.

Hidrogeología

En el área de la cuenca se pueden observar diferentes tipos de depósitos de agua subterránea (acuíferos, acuitardos y acuícludos). Dentro de la cuenca se encuentran 5 de las 11 clases hidrogeológicas que cubren el departamento. En la siguiente tabla 1 se sintetizan las características generales de estos acuíferos, como la litología, calidad del agua y las condiciones de la explotación de las aguas subterráneas como recurso.

Unidades Hidrogeológicas

Clase I

Representa los sedimentos y rocas permeables del Cuaternario, dentro de la cual se puede encontrar acuíferos regulares a buenos, explotables mediante aljibes y pozos.

- **Unidad Hidrogeológica I₁**

Conformada por Depósitos de Playa (Q1) a lo largo de la línea de costa, constituidos por arenas y gravas, las cuales tiene una porosidad primaria media y un espesor promedio de 12 m, con capacidad de contener y transmitir una reducida cantidad de agua subterránea potable. En la zona estudiada, el agua subterránea no es apta para consumo humano, por presentar alta concentración en cloruros y conductividad superior a 300 m S/m.

Símb.	Unidad Geolóc.	Litolog.	Características Hidrogeológicas	Calidad del Agua	Recursos de Agua Subterránea Explotación Actual	Posibilidades de Explotación
I ₁	Depósitos de playa (Q1)	Areniscas y gravas bien seleccionadas	Acuífero regular, a pobre, de poco espesor y extensión lateral. Fuente de recarga: Precipitación	Agua clorurada sódica, dura a muy dura	Mediante aljibes para uso doméstico y abrevadero de animales	Aljibes en áreas con resistividades entre 20 y 100 ohm-m
II ₁	Depósitos aluviales (Q3)	Limos, arenas y gravas	Acuitardos y acuíferos locales, pobres, libres y de poco espesor. Fuente de recarga: Precipitación y agua superficial	Agua clorurada y sulfatada sódica, bicarbonatada cálcica, dura a muy dura. No potable en la zona costera por su alto valor en cloruros y localmente por su contenido en nitrato	Algunos aljibes drenan los acuíferos locales para abrevadero de animales y pequeños regadíos	Localmente posibilidades de explotación mediante aljibes
III ₂	Arenisca calcárea de Santa Rosa (T5)	Arcillolita y arenisca fina, arenisca calcárea fosilífera con intercalaciones arcillosas, conglomerados y arenisca friable	Arenisca y conglomerado constituyen un acuífero regular a bueno, confinado a libre según la disposición estructural. Fuente de recarga: precipitación, agua subterránea y superficial.	Agua clorurada sódica y bicarbonatada cálcica, dura a muy dura, salobre a poco dulce, permisible para consumo humano	A través de pozos para consumo humano	Mediante pozos profundos hasta 250 m, en los ejes o hacia los flancos de las estructuras sinclinales
V ₁	Calizas arrecifales de la Popa (T1)	Calizas y margas coralinas	Acuíferos muy locales, por la densidad de fracturamiento. Fuente de recarga: precipitación	Agua bicarbonatada cálcica, dura a muy dura, poco dulce, potabilidad impedida en la línea de costa por alta concentración en cloruros	Aljibes y manantiales que proveen agua para uso doméstico y abrevadero de animales	Pocas posibilidades de explotación mediante pozos
VI ₁	Arcillolitas de Sibarco (T7)	Lodo, arcillolita y limolita ferruginosa con esporádicas intercalaciones de arenisca arcillosa	Acuicludo. Fuente de recarga: Precipitación	Agua clorurada y sulfatada sódica, muy dura, impotable por la alta concentración de los principales iones	No existe explotación alguna	No se presentan posibilidades de explotación

Tabla 1 .Unidades Hidrogeológicas de las Cuenca de los Arroyos Grande y León.

Clase II

Son sedimentos cuaternarios poco permeables, constituidos por depósitos aluviales de origen continental y transicional y contiene acuíferos pobres, locales, explotables mediante aljibes.

- **Unidad Hidrogeológica II1**

Son Depósitos aluviales (Q3), de origen continental y transicional. Tiene sedimentos inconsolidados poco permeables, finos a gruesos y de poco espesor. Se considera como acuitado y acuífero pobre, sobre las márgenes de las corrientes principales. Las características químicas del agua varían según su cercanía a la línea de costa y según la litología de las unidades adyacentes, debido a que su mayor recarga proviene de la escorrentía superficial. El agua es clorurada a sulfatada sódica y moderadamente dura a dura y no es recomendable para consumo humano.

Clase III

Son rocas permeables del terciario de origen marino y continental, con acuíferos regulares a buenos, explotada mediante pozos.

- **Unidad Hidrogeológica III2**

Constituida por Arenisca Calcárea de Santa Rosa (T5), que corresponde a un acuífero regular a bueno y se compone de conglomerado y arenisca friable con intercalaciones de arcillolita, siendo su espesor no mayor de 600 m. En el sinclinal de Tubará, los niveles de areniscas y conglomerados muestran resistividades del orden de 20 Ohm/m, indicando una saturación con agua poco salobre. El agua se caracteriza por ser salobre, moderadamente dura a muy dura, de tipo bicarbonatada cálcica o sódica y clorurada sódica; sin embargo, se considera apta para consumo humano.

Clase V

Son rocas terciarias poco permeables y fracturadas; contiene acuíferos pobres, explotables mediante aljibes.

- **Unidad Hidrogeológica V1**

Está conformada por Calizas arrecifales de la Popa (T1), compuestas por calizas y margas coralinas, depositadas en un ambiente marino de aguas someras. Desarrolla acuíferos pobres muy locales, supeditados al grado de fracturamiento de la roca. Su espesor varía entre 40 y 70 m, con valores de resistencia entre 10 y 360 ohm/m⁴.

El agua subterránea es poco dulce a salobre, moderadamente dura a muy dura, de tipo bicarbonatada cálcica. En general se considera apta para consumo humano, excepto en algunos sitios cercanos a la costa, donde la concentración de iones aumenta considerablemente.

⁴ Valores de resistividad mayores de 100 ohm/m se interpretan como equivalentes a zonas secas y entre 30 y 100 ohm-m a zonas parcialmente saturadas con aguas salobres.

Clase VI

Está representada por la unidad VI₁, la cual engloba a sedimentos y rocas que por su carácter impermeable, se comportan como acuicludos.

- **Unidad Hidrogeológica VI1**

Está representada por Arcillolitas de Sibarco (T7); por su carácter litológico impermeable se comporta como acuicludo, es decir, sin ninguna posibilidad de explotación de aguas subterráneas.

Características hidrogeológicas

Las fuentes más profundas (entre 35 y 250 m) captan aguas de las unidades sedimentarias del terciario; las fuentes más someras (entre 2 y 35 m) lo hacen de las rocas calcáreas de la unidad de Calizas Arrecifales de la Popa (T1). Los acuíferos de las rocas sedimentarias del terciario tienen como fuente la precipitación, mientras que los acuíferos cuaternarios cuentan, además, con las corrientes superficiales y el agua subterránea de los acuíferos terciarios limítrofes. En cuanto a la infiltración, las zonas más favorables son aquellas en que afloran arenas y gravas del cuaternario o calizas arrecifales y areniscas del terciario.

La zona con mejor calidad de agua subterránea corresponde a la unidad hidrogeológica III₂, situada en la región del Sinclinal de Tubará, entre las localidades de Pital de Megua y La Peña, donde la producción por pozo es menor de 5 l/s. Las aguas son poco dulces a salobres, duras a muy duras, se encuentran dentro de los límites permisibles para consumo humano y son recomendables para casi todos los suelos.

El potencial en aguas de buena calidad es limitado y no permite explotaciones a gran escala; sin embargo, en algunos casos puede ser suficiente para abastecer a medianas y pequeñas concentraciones de población. Esta limitación se debe a la litología predominantemente fina del área de estudio y a la calidad fisicoquímica del agua.

Recarga del sistema de aguas subterráneas

La principal fuente de recarga de los acuíferos más profundos (terciarios) es la lluvia, la de los superficiales (cuaternarios), además de la precipitación, son las corrientes superficiales y subterráneas provenientes de los acuíferos terciarios vecinos. La fracción de lluvia que se infiltra y recarga un acuífero es la percolación, cuya media diaria para la cuenca, para un promedio de 3 meses de lluvia, es de unos 0,91 mm, considerándose una recarga media anual del orden de 100 mm.

Movimiento de las aguas subterráneas

Los flujos subterráneos horizontales del sistema acuífero se dirigen desde el borde de la zona montañosa hacia el río Magdalena y la laguna del Guájaro y, en la zona costera, desde el borde de los valles hacia el mar. El agua lluvia que

se infiltra en el subsuelo recarga el acuífero superficial o libre en los lugares donde faltan capas arcillosas sobre el acuífero, por lo que se pueden considerar como importantes áreas de recarga las zonas a lo largo de los límites de la región semiplana como la costera.

Descarga del sistema de agua subterránea

Se presenta en dos formas: natural (descarga difusa) y artificial (aljibes, pozos). La primera es agua suministrada por la descarga difusa, que se evapora o alimenta a las aguas superficiales (río o lagunas). La segunda, se efectúa mediante la extracción del agua subterránea por medio de aljibes y pozos.

Los aljibes se localizan principalmente en la región semiplana que ocupa todo el borde occidental del río Magdalena, en la región plana y en la zona costera; drenan agua de los sedimentos cuaternarios (Unidades hidrológicas I₁ y II₁). También se hallan algunos en los valles estrechos de la región montañosa, especialmente hacia la parte NW de la cuenca, con profundidades que no sobrepasan los 5m, los cuales también reciben la escorrentía superficial de las laderas y, por lo tanto, la recarga en estos lugares es mayor que la de los sedimentos ubicados en las regiones semiplanas y planas en donde los aljibes no suministran agua durante todo el año.

Se utilizan también aljibes en las unidades hidrogeológicas terciarias permeables y poco permeables, con profundidades hasta de 10 m, ubicados la mayoría de ellos en las laderas que bordean las áreas planas cuaternarias o entre cerros o en sitios donde cambia la pendiente. Cualquiera de las anteriores situaciones es favorable para encontrar agua subterránea. Los pozos suministran agua subterránea principalmente de las unidades hidrogeológicas que presentan porosidad primaria, como la unidad III₂.

Potencialidad de explotación

La unidad III₂, que incluye las areniscas y conglomerados permeables de la Arenisca Calcárea de Santa Rosa (T5), es la de mayor potencial y presenta características acuíferas de confinamiento favorables pero, no obstante, una explotación económica adecuada sólo es posible si se cuenta con suficiente recarga. Estos sitios están en la región montañosa, a lo largo de los estrechos, valles formados a lo largo de los ejes de las estructuras sinclinales y en la región semiplana a lo largo del límite con la región montañosa, especialmente hacia los flancos de las estructuras sinclinales. El caudal de futuros pozos que se construyan en estas unidades se espera no sobrepase los 5 l/s.

Las unidades hidrogeológicas I₁, II₁, V₁ tienen porosidad secundaria, lo que implica acuíferos muy pobres y que la acumulación del agua subterránea está supeditada a la densidad de fracturamiento. Los depósitos eólicos y fluviales (Unidades Hidrogeológicas I₁ y II₁) forman localmente acuíferos poco profundos que son explotables por medio de aljibes.

Se puede, entonces, concluir que en la cuenca la disponibilidad de agua subterránea para el consumo humano es pobre, debido a la litología predominantemente fina de la mayor parte de las unidades hidrogeológicas, a

la calidad química del agua almacenada y a la discontinuidad de los horizontes permeables que hacen variar constantemente las propiedades hidráulicas de un sitio a otro.

En general los acuíferos de los sedimentos cuaternarios constituidos por sedimentos y rocas de origen continental contienen agua poco dulce, de tipo bicarbonatada cálcica, y aquellos de origen marino contienen agua salobre de tipo clorurado sódica o sulfatada sódica cuando existe yeso en su litología. El agua subterránea de las unidades hidrogeológicas consideradas acuíferas, se encuentra dentro de los límites de potabilidad permisibles para el consumo humano y es recomendable para casi todos los suelos.

Recursos Minerales

La presencia de minerales en la cuenca está relacionada genéticamente con el desarrollo de rocas sedimentarias y sedimentos. La caliza es un importante recurso mineral del departamento del Atlántico; las más importantes son las más puras, que tienen origen marino y se presentan en los municipios de Barranquilla, Galapa y Puerto Colombia. Actualmente están siendo altamente explotadas para las industrias cementeras de la región.

También hay depósitos secundarios generados por agentes fluviales y eólicos que actualmente se explotan como depósitos de arena y grava, especialmente en los municipios de Barranquilla y Galapa. Se reportan algunas emanaciones generadas por depósitos residuales de azufre resultantes de los efectos termohidroquímicos sobre algunas calizas, localizadas en la zona aledaña al corregimiento de Pital de Megua, en el arroyo Grande

Geomorfología

Las características geomorfológicas de la cuenca fueron evaluadas por HIDROESTUDIOS & CONCEP (1998); igualmente, IGAC analizó el modelado desde el punto de vista geomorfológico para todo el departamento del Atlántico. Entre las dos evaluaciones existen algunas diferencias para el área de estudio, debidas probablemente a manejo inadecuado de escalas o de poligonalización o cierre de polígonos cuando se digitalizaron las interpretaciones. Por presentar definiciones más concretas tanto en la descripción de las unidades como en la espacialización de estas unidades, la caracterización geomorfológica que aquí se presenta se apoya en las evaluaciones de HIDROESTUDIOS & CONCEP (1998).

Morfodinámica

Los registros de las acumulaciones calcáreas y coralinas de la Formación Popa y las superficies de aplanamientos del costado sur de la cuenca, indican una evolución morfodinámica del área de la cuenca que data probablemente desde finales del Plioceno, con unos materiales terciarios que fueron afectados por

ciclos sucesivos de trasgresión – regresión del mar y, luego, por un proceso progresivo de disección que sigue un patrón dendrítico, controlado en su entorno por estructuras rocosas.

Las variaciones en el nivel del mar durante el Cuaternario facilitaron la formación de dunas eólicas sobre la costa norte de Colombia (Khobzi, 1980, Chorley, et al, 1984 y Selby, 1985, citado por HIDROESTUDIOS & CONCEP). La erosión litoral ocurrida durante los períodos más secos y el transporte de sedimentos eólicos recubrieron las colinas calcáreas sobre la margen norte de la cuenca de Arroyo Grande, imprimiéndole un carácter permeable a las capas superficiales que, unido a la baja precipitación de la región, ha dado lugar a una escorrentía pobre y una infiltración subsuperficial en la zona norte de la cuenca.

En los valles aluviales del arroyo Grande, el sedimento de grano fino y medio fue aportado por el proceso progresivo de disección, proceso erosivo que vigente estimulado por la actividad de deforestación en la cuenca y en especial sobre la laderas y colina inclinadas de las vertientes S y SW. En estas zonas predomina la erosión laminar leve a fuerte según el grado de intervención humana.

El Arroyo Grande formó un pequeño delta con el sedimento que alcanzaba a llegar a su desembocadura, luego de depositar su mayor carga en el valle aluvial. Grandes modificaciones se produjeron primero con la construcción del tajarar occidental y más recientemente, con la desviación del cauce inferior hacia la ciénaga El Rincón para desarrollar un centro turístico y club de Golf, favoreciendo pérdidas por evaporación en los cuerpos lagunares y por infiltración en el valle aluvial.

Unidades Geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas identificadas por HIDROESTUDIOS & CONCEP (1998) corresponden a valles aluviales, terrazas, deltas, marismas, laderas, pedimentos, colinas, volcanes y dunas, su localización se presenta en la figura 1.

Valle Aluvial Torrencial, A1

Se ubica en la vega superior del Arroyo Grande y sus afluentes con forma estrecha. Como esta zona de la cuenca presenta mayor pendiente, los arroyos reciben caudales picos altos en temporada de lluvia y aportes altos de sedimentos. Por estas características, los arroyos presentan tendencias erosivas localmente en las orillas de sus cauces.

Valle Aluvial Inundable, A2

A diferencia de los valles aluviales torrenciales (A1), los valles aluviales inundables presentan una llanura más amplia y dominados por procesos de encharcamientos y inundaciones locales durante el periodo invernal. Los cauces de los arroyos en esta unidad tienden a ser menos dinámicos con poco transporte de sedimentos.

Terraza Baja, T1

Esta unidad corresponde a un nivel aluvial bajo ubicado en la cuenca media del Arroyo Grande, próximo a la población de Juan Mina. Por su poco desnivel y pendiente suave han contribuido para reducir los indicios de erosión.

Delta Antigua Inactivo, D

Esta pequeña unidad representa las acumulaciones periódicas del Arroyo Grande y antes de su desviación artificial hacia la Ciénaga El Rincón. Consta de depósitos aluviales mezclados con sedimentos marinos de playa y orgánicos asociados al ambiente manglar. En la actualidad canalización inferior del cauce del arroyo ha reactivado sus aportes de aguas y sedimentos sobre su flanco oriental del delta en épocas de lluvias, incrementando de nuevo la sedimentación sobre las orillas de la ciénaga Mallorquín.

Playas y Ciénagas Costeras, M

Frente al antiguo delta del arroyo Grande se desarrolla un complejo de playas ciénagas costeras asociados más con el ambiente litoral y deltáico del río Magdalena que con la cuenca del Arroyo Grande. Consta de una ciénaga principal, la ciénaga Mallorquín separada de mar por una barra-playa en retroceso. Desde los años 30, la barra ha sufrido una erosión progresiva debido a la construcción de los tajamares del río Magdalena y el déficit de sedimentos transportados a las playas.

Laderas Coluviales Suaves, L

Corresponde a las pendientes suavemente inclinadas sobre el flanco oriente de la cuenca, próximo a la Ciudad de Barranquilla. Esta unidad consta de sedimentos coluviales, producto del lento retroceso y acumulación coluvial en estas pendientes. En el sector sur, los sedimentos coluviales pueden encontrarse intercalados con aportes del un volcán de lodo que se describe mas adelante. Las acumulaciones coluviales se encuentran levemente entallados por el drenaje y presenta una erosión laminar leve en su superficie.

Pedimento bajo disectado, P1

En la zona central sur de la cuenca se desarrolla una superficie irregular similar a un pedimento, disectado recientemente por la red de drenaje. Superficialmente, afloran las rocas terciarias, generalmente sedimentos del tipo limo arenoso. Esta evolución ha generado un paisaje de colinas suaves a nivel, con suelos de espesor variable y una erosión laminar leve.

Esta antigua superficie de aplanamiento ha truncado las rocas terciarias de la región donde conservan suelos mas o menos profundos. Aunque esta unidad no presenta evidencias notorias de erosión, localmente se aprecian indicios de sofusión o infiltración concentrada que reduciría la

Pedimento alto, P2

Sobre los límites surorientales de la cuenca se conservan restos de un antiguo pedimento más alto, de relieve plano a ondulado. escorrentía superficial de agua.

Colinas bajas con erosión leve, C1

Corresponden al conjunto de colinas de relieve distribuidas sobre gran parte de los flancos de la cuenca. La litología sedimentaria es variable y aflora frecuentemente en superficie y en los cauces. Los indicios de erosión tiende a ser leves y asociados con la deforestación de la cobertura natural y sobrepastoreo.

Colinas bajas con erosión moderada a fuerte, C2

Esta unidad corresponde a la misma unidad (C1) pero presenta una erosión laminar moderado a fuerte. Esta situación responde a el sobrepastoreo de las laderas y la pérdida de la cobertura natural mínima para la control de este tipo de erosión.

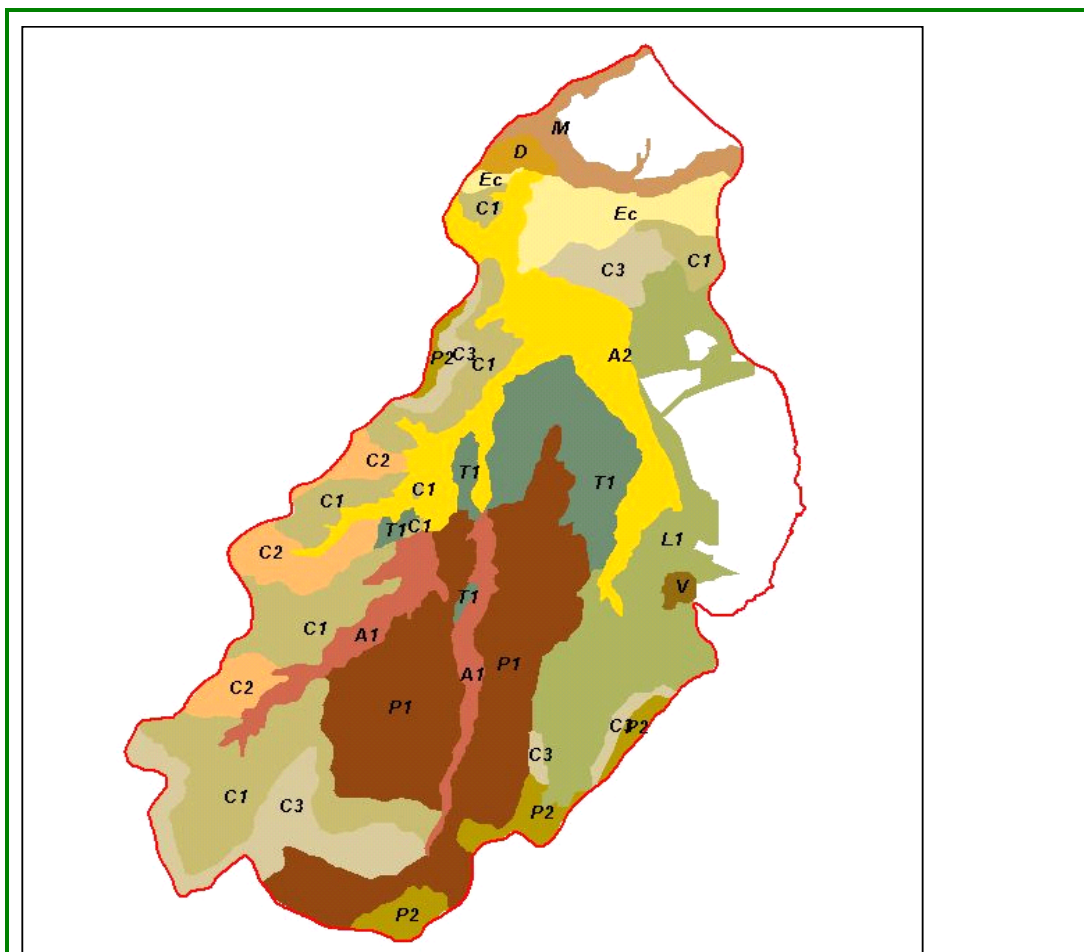


Figura 3. Mapa de las Unidades geomorfológicas. Fuente: Adaptado de HIDROESTUDIOS & CONCEP (1998).

Colinas altas de pendiente fuerte, C3

Sobre el flanco suroccidental de la cuenca se presenta un conjunto de colinas altas asociadas a las rocas terciarias plegadas y niveles resistentes de arenisca y caliza (Robles, et al, 1988). Localmente se desarrollan movimientos en masa, de poca extensión, generalmente en épocas invernales.

Volcán de lodo inactivo, V

Esta estructura diapírica ha generado una colina circular con drenaje radial bien notorio, localizada en la divisoria de aguas al suroriente de la cuenca. La estructura central alcanza a tener un diámetro de más de un kilómetro y los flujos de lodos y barro asociado a su construcción probablemente afectaron las unidades próximas, en especial Laderas coluviales (L1) que drenan hacia la cuenca del Arroyo León. Aunque este volcán de lodo no presenta evidencias de actividad reciente, su nitidez y forma bien conservada sugiere un origen reciente.

Dunas eólicas sobre calizas, Ec

Corresponden a depósitos eólicos que recubren las colinas próximas a la costa norte en el sector norte de la cuenca del Arroyo Grande. Las dunas eólicas recubren en forma variable colinas y rocas de origen calcáreo de la Formación La Popa (Robles, et al, 1988). Sobre el flanco norte se conserva un talud fuerte o acantilado, evidencia de la antigua línea de costa.

Estos antiguos depósitos de arena eólica fueron transportados desde las playas, a partir de la antigua línea de costa durante el Pleistoceno medio y debe considerarse inactivos en la actualidad (Khobzi, 1980). Sin embargo, dada su poca compactación y granulometría fina sin cohesión, deben considerarse altamente erosionables si no se conserva una vegetación mínima y natural. En la actualidad se ha construido un campo de golf sobre estas colinas y dunas, aumentando la infiltración de agua que debe percolar hasta los niveles freáticas en las rocas calcáreas subyacentes.

Suelos

El suelo es la capa más superficial de la litosfera donde se integran factores formadores que por varios procesos a través del tiempo, hacen del mismo una capa viva, que sirve de soporte a las plantas, IGAG (1994). Los suelos de la cuenca han sido estudiados por varias entidades: el IGAC realizó en 1981 el estudio *Los suelos en el Departamento del Atlántico*, utilizando la técnica de la interpretación de fotografías aéreas y un sistema taxonómico sencillo pero útil para distinguir características comunes en cuanto a uso del suelo y manejo. Luego, ECOFOREST, en 1996, e HIDROESTUDIOS & CONCEP, en 1998, revisaron este documento con información nueva y visitas de campo y la ajustaron, en algunos uniéndolo subdivisiones en un solo concepto, para simplificar y esquematizar propuestas de manejo. Con base en estos documentos se elaboró el presente informe.

Origen de los suelos

De acuerdo con HIDROESTUDIOS & CONCEP (1998), los suelos de la cuenca se formaron de materiales recientes de origen sedimentario, depositados en el Cuaternario y Terciario.

Los materiales del Cuaternario son de origen aluvial, marino y eólico que formaron la planicie marina, la llanura eólica y colinas estructural-denudativas, en asocio con pequeños abanicos. Los de origen aluvial corresponden a texturas gruesas y medianas aportadas por los ríos, arroyos y cuerpos de agua decantados. Los de origen marino explican la presencia de suelos saturados de sales solubles y de sodio; en otros casos son aportados por la escorrentía actual presentándose suelos finos con altos contenidos de arena y limo. Los de origen eólico se ubican cerca al litoral ocupando las vertientes de las colinas bajas en la franja entre Barranquilla y Puerto Colombia, constituida por depósitos de dunas de texturas gruesas y medias de composición mineralógica variada.

Los materiales del Terciario son de origen sedimentario, donde la tectónica originó plegamientos e incluyó en la formación de estructuras de anticlinales y sinclinales de relieve colinado en modelado estructural denudativo, encontrándose en la región una serie de abanicos y valles estrechos.

Se destacan como factores de mayor incidencia en la formación de éstos suelos el rango de lluvias (650 a 1100 mm/año) que influye en su grado de evolución, el material parental y la topografía, que dan origen a suelos pocos evolucionados de texturas gruesas y medianas. Las características físicas del área del estudio están íntimamente asociadas a su grado evolutivo con texturas medias alivianas, baja estabilidad estructural, estructuras blocosas y prismáticas, bajo contenido de humedad y profundidad efectiva promedio no mayor de 75 cm. Químicamente los suelos son muy variables, con pH desde ligeramente ácido a medianamente alcalino, contenidos medios de materia orgánica factores que condicionan la fertilidad actual de los suelos y su potencial agropecuario.

Formación del Suelo

Siguiendo con HIDROESTUDIOS & CONCEP (1998), los suelos de la cuenca presentan un predominio de arcillas endurecidas y calcáreas del Terciario, con drenaje natural deficiente debido a la difícil penetración del agua y aireación, presentándose situación opuesta en los suelos formados a partir de acumulación de sedimentos del Cuaternario, en donde el drenaje natural es rápido. La alta temperatura, los fuertes aguaceros de corta duración y la existencia de un verano prolongado ocasiona grandes fluctuaciones en la humedad del suelo, situaciones que ocasiona agrietamiento del suelo y la exposición a los agentes denudativos.

Como consecuencia de la deforestación, de la influencia directa de los rayos solares sobre el suelo y de la combinación de estos fenómenos con la libre aireación del suelo, los procesos microbiológicos producen una rápida oxidación de la materia orgánica, situación que explica el poco espesor de los suelos y la carencia de un manto profundo de materia orgánica. Finalmente, es importante resaltar que por la cercanía del área de estudio al mar, los suelos presentan

diversos niveles de salinidad y están propensos a desecación por evaporación de antiguas ciénagas salobres.

Clasificación de los suelos

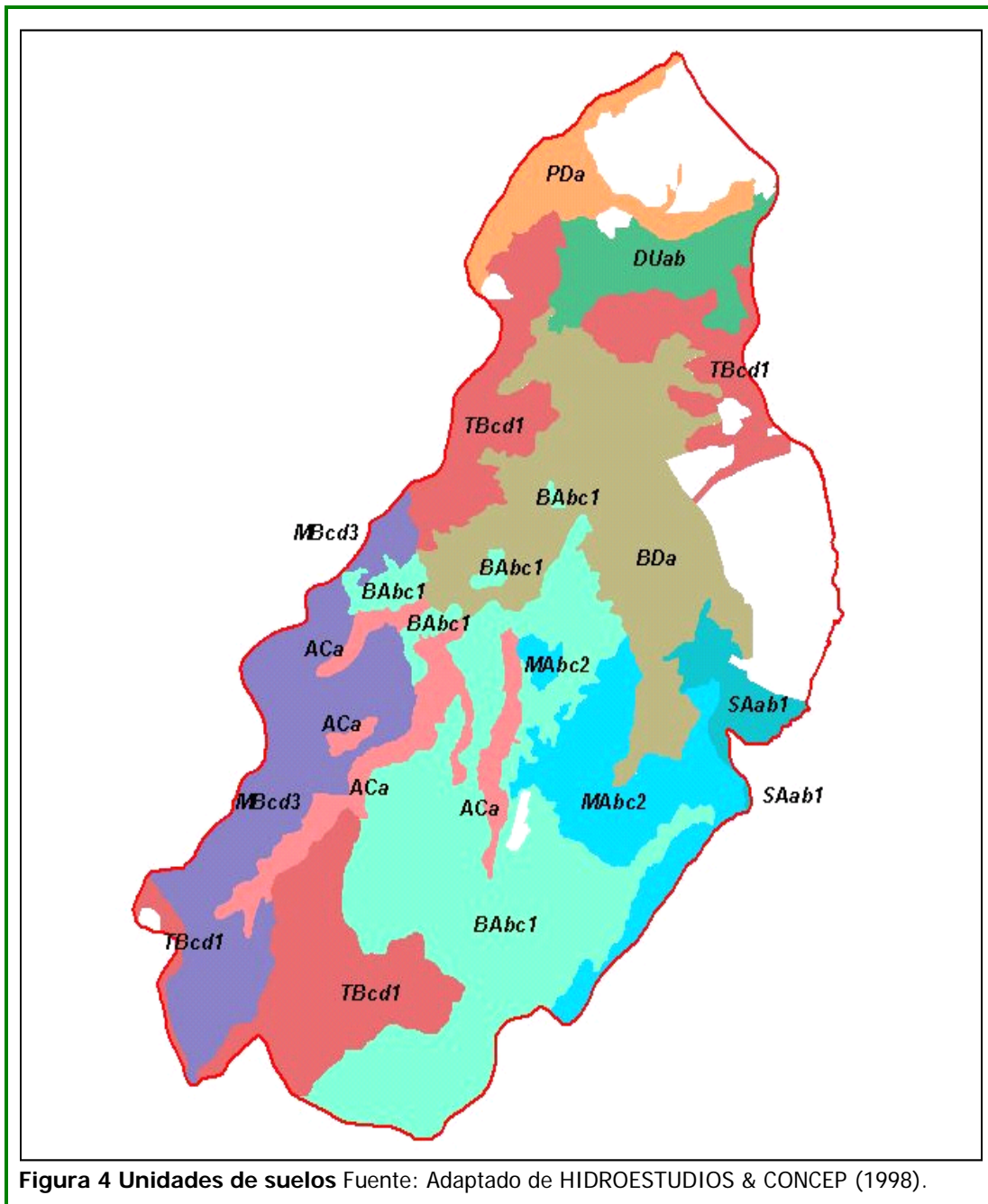
En la cuenca se encuentran todos los tipos de suelos que identificó IGAC (1981) para el departamento del Atlántico, relacionados todos ellos con el paisaje (figura 1):

- Suelos de planicie aluvial
- Suelos de planicie lacustre
- Suelos de planicie fluvio-marina
- Suelos de planicie eólica
- Suelos de colinas
-

Suelos de planicie aluvial

Entre estos suelos, IGAC (1981) destaca los correspondientes a terrazas no inundables, ubicados entre la planicie de desborde del río Magdalena y los sistemas de dunas, colinas y planicies lacustres y, más específicamente, al costado oriental de la cuenca. En esta clasificación están los suelos de la Asociación Soledad (SAab1), integrados por los Conjuntos Soledad (Typic Ustorthents) y Malambo (Typic Ustipsammets). Los primeros presentan recubrimiento de materiales arenosos de origen eólico, descansan sobre materiales de texturas finas, muy compactos, con altos contenidos de sodio e intercalados con otros materiales blandos. Tienen muy alta saturación de bases, pH ligeramente ácido a neutro y bajos niveles de capacidad catiónica de cambio y de contenidos de fósforo. Cuando el recubrimiento arenoso supera 1,0 metro de espesor corresponden, entonces, a suelos del conjunto Malambo.

También se incluyen los suelos de valles estrechos ocasionalmente inundables, distribuidos en todo el Departamento en pequeños valles estrechos labrados por arroyos sobre materiales terciarios de las colinas, o sobre materiales cuaternarios de las terrazas. En esta unidad se encuentran los suelos de la Asociación Juan de Acosta (ACa), que incluye los Conjuntos Juan de Acosta (Vertic Ustrophepts), Saco (Fluventic Haplustoll) y algunas inclusiones de suelos del suborden Typic Ustorthens. Los del Conjunto Juan de Acosta son de texturas finas a moderadamente finas y moderadamente profundos; se agrietan fácilmente en superficie y a veces limitados por presencia de sales después de los 60 cm de profundidad. Muestran saturación de bases muy alta, PH ligeramente ácidos a alcalinos, capacidad catiónica de cambio alta a muy alta y contenidos de fósforo alto a medio. Los de la Asociación Saco son aptos para la agricultura pero muy limitados por la escasa precipitación.



Suelos de planicie lacustre

Formados a partir de materiales de origen lacustre depositados por grandes masas de agua sobre el cauce abandonado de un antiguo brazo del río Magdalena, en una depresión tectónica entre Barranquilla y Juan Mina. Entre las formaciones principales están las de basines, rebordes de ciénagas, diques y pantanos. En la cuenca se encuentran suelos de basines pertenecientes a la Asociación Bejucal (BDa), conformada por los Conjuntos Bejucal (Vertic Ustropepts) y Molinero (Fluventic Ustropepts). Los del Conjunto Bejucal son

arcillosos, encharcables y endurecidos en el verano y por eso están limitados para la ganadería, aunque se puede cultivar algodón en épocas de lluvia. Tienen saturación de bases muy alta, pH ligeramente ácidos a casi neutros, capacidad catiónica de cambio alta a muy alta y contenidos de fósforo medio a alto. Pueden presentar sales y/o sodio después de los 80 cm de profundidad.

Suelos de planicie fluvio marina

Son suelos que han evolucionado a partir de materiales fluviales y marinos originando formas como las cubetas, terrazas y playones. En la cuenca se encuentran suelos de playones sobre la línea de costa, en contacto casi permanente con aguas marinas, que no tienen valor agrícola porque no han podido desarrollar un perfil definido. Estos suelos de la Consociación Playón (PD) están constituidos por materiales gruesos, ricos en sales y sodio y sometidos a procesos de permanente reducción. Pertenecen al Conjunto Playón (Typic Psammaquents). En algunos sectores se encuentran mezclas de arcillas, limos y arenas finas permanentemente saturadas de agua.

Suelos de planicie eólica

Son suelos que han evolucionado a partir de materiales gruesos transportados por el viento y han dado lugar a la formación de dunas cuyas alturas apenas llegan a los 5 metros entre Barranquilla y Puerto Colombia. Su composición es muy similar a las arenas de playa, las cuales muestran contenidos de minerales densos entre 24 y 26%. Los suelos de la cuenca pertenecen a la Consociación Salgar (DUab) (Ustic Torripsamments), desarrollados a partir de materiales arenosos recientes que forman dunas más o menos estabilizadas, cubiertas con un matorral alto donde predominan los trupillos, zarzas y cactus. Son suelos superficiales, bien drenados, de consistencia suelta y no estructurados; su saturación de bases es muy alta, con predominancia del catión magnesio, pH ligeramente ácidos a alcalinos, muy baja capacidad de intercambio catiónico y altos contenidos de fósforo. Por las condiciones de sequía y malas propiedades físicas su uso está limitado a la explotación de materiales calcáreos que están bajo los depósitos arenosos.

Suelos de colinas

Son suelos desarrollados en un sistema de colinas modeladas sobre materiales sedimentarios del terciario. Hay dos grupos: los suelos de colinas de relieve ligera a fuertemente ondulado y los suelos de colinas de relieve quebrado a fuertemente quebrado.

En el primer grupo están los suelos de la Consociación Baranoa (BAbc1), ubicados sobre la parte media y alta de la cuenca del arroyo Grande y sobre la parte alta de la cuenca del arroyo Caña, sobre el costado sur de la cuenca en estudio. Presentan texturas moderadamente finas y finas provenientes de la alteración de lutitas débilmente consolidadas que incluyen nódulos de areniscas calcáreas. Los del Conjunto Baranoa (Typic Ustropepts) son medianamente evolucionados, bien a moderadamente bien drenados y presentan sales y /o sodio después de los 40 cm de profundidad. Tienen saturación de bases muy

alta, pH entre ácido y casi neutro, alta capacidad catiónica de cambio y contenidos muy bajos de fósforo. Están dedicados a ganadería extensiva y semi-extensiva, aunque se le puede utilizar en agricultura en época de lluvias. También están en este primer grupo los suelos de la Asociación Blanquice (MBcd3), originados a partir de materiales de texturas finas y moderadamente finas provenientes de la alternación de shales de color pardo débilmente estratificados y con abundante yeso. Está conformada por los conjuntos Blanquicé (Vertic Ustropepts) y Macondo (Ustic Torriorthents). Los primeros son bien drenados, de texturas finas y moderadamente finas, con presencia de yeso, sales y/o sodio en los horizontes más profundos, capacidad catiónica de cambio alta a muy alta y contenidos de fósforo bajos a altos; generalmente están cubiertos por vegetación de rastrojo, aunque hay grandes extensiones de pastos donde se explota ganadería de tipo extensivo. Los segundos están muy limitados por la severa y muy severa erosión que los ataca.

En el segundo grupo están los suelos de colinas de relieve quebrado a fuertemente quebrado, donde se destacan los suelos de la Asociación Tameme (TBcd1), integrados por los Conjuntos Tameme (Typic Ustropepts), Carretal (Paralithic Ustorthents), Azúcar (Typic Ustorthents) y algunas inclusiones de suelos clasificados como Lithic Ustorthents. Se han desarrollado a partir de materiales provenientes de la alteración de lutitas arenosas, shales grises, y areniscas fosilíferas; presentan erosión ligera a moderada, causada por escurrimientos difusos a concentrados. En el Conjunto Tameme los suelos son medianamente evolucionados, de texturas medias y moderadamente finas. Los del Conjunto Azúcar son suelos poco evolucionados y de texturas moderadamente gruesas, y los del Conjunto Carretal también son poco evolucionados pero de texturas moderadamente finas.

II. CARACTERIZACION CLIMATICA

Generalidades Aspectos Climáticos

El clima general de la costa Atlántica del país es clasificado por CIOH (1998) como tropical semiárido debido a la interacción de varios factores involucrados, tales como la Zona de Convergencia Intertropical (CIT), los vientos Alisios, el paso de las ondas del Este y la presencia de frentes fríos del hemisferio Norte. Por otra parte, IGAC (1994), agrega otros factores como la latitud de ubicación del territorio, la altura del territorio sobre el nivel del mar, el relieve que define el modelado del territorio y, finalmente, la cercanía a la línea de costa.

En el caso de la cuenca de la ciénaga de Mallorquín todos estos factores intervienen de una u otra manera:

- *El movimiento de la CIT* genera desplazamientos de masas de aire húmedas marinas y continentales propiciando condiciones de clima de tipo ciclónico alternas (lluvia - seco - nubosidad); de acuerdo con CIOH (1998) es el principal regulador del clima en la región.

- *Los vientos Alisios* se originan en los centros de alta presión del norte y del noreste e inciden con mayor intensidad entre diciembre y marzo, generando un tiempo anticiclónico (sol – cielo despejado – escasas lluvias).
- *Las ondas tropicales del Este* avanzan de este a oeste junto a los Alisios, causando vientos, nubosidad y precipitaciones entre junio y noviembre, y creando condiciones para formación de huracanes.
- *Los frentes fríos* dan lugar a vientos y a trenes de olas sobre las costas que resultan en marejadas en enero y abril (CIOH, 1998) y, excepcionalmente, en el mes de diciembre.
- *La latitud*, según IGAC (1994), es determinante por cuanto define la cantidad de luz y de calor que se recibe y homogeniza la duración de los días y las noches y, aunque señala que queda fuera de la influencia directa de la CIT, coincide con CIOH (1998) al destacar su influencia en la distribución de las lluvias y en la recepción de gran cantidad de brillo solar.
- *La altitud*, en el caso de Mallorcaín y su cuenca, no es significativa su influencia ya que las diferencias altitudinales no son mayores y las mayores alturas apenas superan los 300 metros en las lomas de Tubará y de Santa Rosa, al sur de la cuenca.
- *El relieve*. Su orientación y magnitud en combinación con los vientos alisios incide en la cantidad de lluvias y la humedad del aire, observándose que aunque baja la altimetría contribuye en parte al incremento de lluvias en el sur del departamento (IGAC, 1994, en HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998).
- *La cercanía al mar* es fundamental por su papel moderador de las temperaturas en las zonas cercanas a la línea de costa (IGAC, 1994); las brisas de mar y tierra retiran la masa húmeda de la costa imprimiéndole un carácter más seco y haciendo que las descargas de lluvia se produzcan tierra adentro, específicamente al sur de la cuenca.

Información Básica

Para el análisis del clima se contó con la información climatológica suministrada por la Universidad del Norte, quien la obtuvo de IDEAM en marzo (2005). Adicionalmente, se revisaron diversos informes técnicos en la biblioteca de CRA en Barranquilla, cuya reseña se menciona en la bibliografía.

La información básica comprende los parámetros climatológicos de las estaciones Aeropuerto Ernesto Cortissoz, Las Flores, La Pintada, Montebello y Juan de Acosta, hasta el año 2004. A excepción de la primera, las demás estaciones no cuentan con buenos registros **adecuados** de información en cuanto a continuidad de las series. Por tanto, los análisis que se presentan a continuación hacen énfasis en la información del aeropuerto; no obstante, se presenta la información de las otras cuatro estaciones como elementos de referencia para la determinación de la variación espacial del régimen de

precipitaciones en la franja costera de la cuenca y en la zona de colinas del costado sur.

También se incluyen datos de las estaciones Puerto Colombia, Base Naval y Sabanalarga, cuyas series de lluvias fueron analizadas por HIDROESTUDIOS & CONCEP hasta los años 1995 para la primera y hasta 1994 para las dos últimas. Por tanto, el análisis del clima que se presenta, aunque representativo, debe ser analizado más a fondo en fases posteriores de estudio (ver características de las estaciones en la tabla 2 y 3 y su localización en la figura 5).

Precipitaciones

Variación Espacial

En el área de la cuenca, las precipitaciones varían entre los 650 hacia la parte más norte y los 1.100 mm hacia el costado sur (tabla 2) Es, entonces, notoria la influencia de los vientos alisios que se presentan en el primer semestre del año, que arrastran las masas húmedas hacia el continente, lejos de la zona costera, creando un tiempo seco, con brisa y sin nubosidades. Se puede observar que el volumen de las lluvias crece en la medida que se avanza hacia el sur por un territorio muy plano y de baja altura hasta cuando empiezan a aparecer las elevaciones que conforman la divisoria de aguas.

Numero de estación	Nombre Estación	Localización			Fecha de Instalación
		Latitud	Longitud	Altura	
1	Base Naval	11° 00' N	74° 47' W	5	1973
2	Las Flores	11° 02' N	74° 49' W	2	1971
3	Puerto Colombia	10° 59' N	74° 58' W	5	1974
4	La Pintada	10° 57' N	74° 59' W	200	1994
5	Aeropuerto Ernesto Cortissoz	10° 53' N	74° 47' W	14	1940
6	Juan de Acosta	10° 50' N	75° 03' W	20	1964
7	Montebello	10° 48' N	74° 55' W	100	1985
8	Sabanalarga	10° 38' N	74° 55' W	100	1959

Tabla 2. Características de las estaciones consideradas Fuente: Adoptada de HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998 y complementada con datos de Universidad del Norte, 2005.

Estaciones	Distancia (km)	lluvia anual (mm)
Las Flores	9	690,6
Base naval	10	655,4
Puerto Colombia	18	825,4
Aeropuerto Ernesto Cortissoz	27	855,4
La Pintada	29	1051,0
Juan de Acosta	38	1040,2
Montebello	36	1073,5
Sabanalarga	56	1104,9
Cuenca		815,0

Fuente: Conservación Internacional, 2005; con información de HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998, y de Universidad del Norte, 2005.

Tabla 3
Promedio anual de
lluvias y distancia al
mar

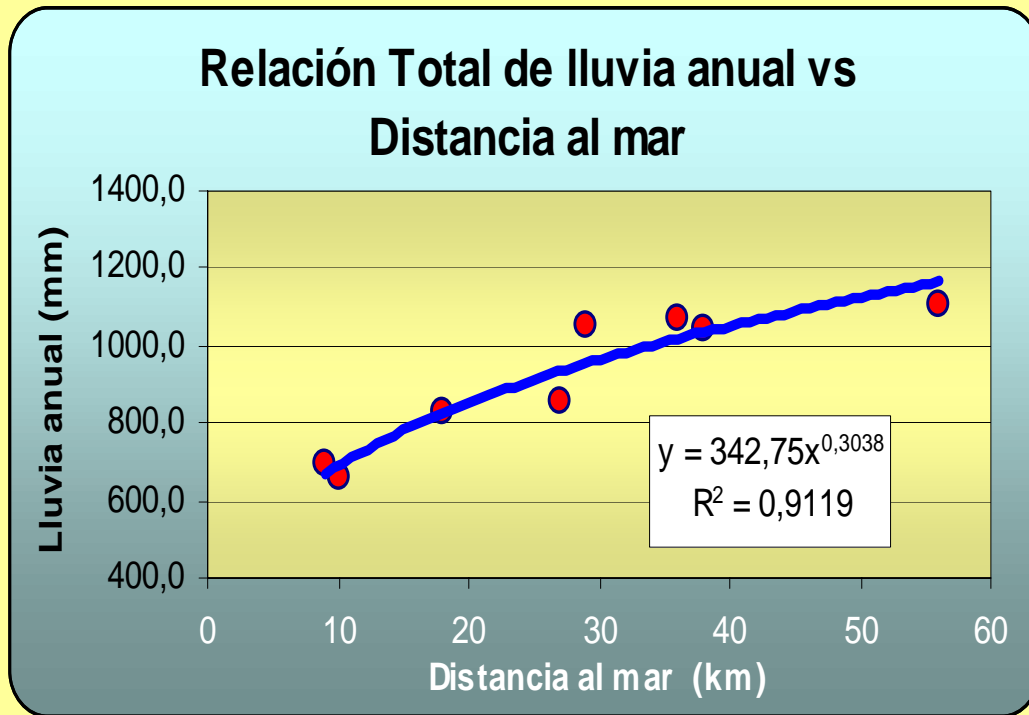
Dentro de los factores mencionados por IGAC (1994) como determinantes en la distribución espacial de las lluvias, se considera que el más relevante es la cercanía al mar; este factor tiene un alto grado de cumplimiento. En efecto, teniendo en cuenta el alineamiento del frente costero al oriente de la desembocadura del río Magdalena, que tiene una orientación general NW – SE, las lluvias medias anuales crecen a medida que se aleja de este alineamiento hipotético (tabla 2). Entre estos conceptos existe una relación de generalización de la lluvia media anual versus la distancia al mar que tiene un alto coeficiente de correlación, definida por una línea de tendencia de tipo potencial (figura 2), lo que confirma este factor como relevante en la distribución de la precipitación, según lo plantea IGAC (1994).

Figura 5. Localización de estaciones para el análisis de clima. Fuente: Conservación



La precipitación media en el área de la cuenca es de 815 mm y se determinó aplicando la metodología de los Polígonos de Thiessen

Figura 6. Relación de generalización Precipitación vs Distancia al Mar



Fuente: Conservación Internacional, 2005; con información de Universidad del Norte, 2005, y de HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998.

Variación dentro del año

De acuerdo con Oster, R. (1979), citado en ESTINCO (1988), y en contra posición frente a lo señalado por IGAC (1994), la variación dentro del año de la precipitación media sí está regida por los dos tránsitos que hace el cinturón de Convergencia Intertropical (CIT) sobre la costa norte colombiana; por su posición al norte del Ecuador es más notorio el paso del segundo semestre creando un tiempo ciclónico, cubierto, lluvioso y fresco, opuesto al tiempo anticiclónico que antecede o sigue a las depresiones de la CIT, que es un tiempo soleado, seco y con contrastes en la amplitud diurna de las temperaturas más marcados. Con base en lo anteriormente expuesto, la variación intra-anual se caracteriza por presentar tres periodos lluviosos marcados en el área de la cuenca (tabla 3 y figura 3), pero que de todas formas llevan implícita la variación territorial derivada de la distancia al mar,

que se mencionó en el párrafo anterior; los tres períodos se describen a continuación.

- **Un período lluvioso**, entre los meses de septiembre y noviembre en donde se reciben el 54,2% de las lluvias totales del año, que representan del orden de los 440 mm al año. El mes más lluvioso en este período es octubre en el que se han registrado lluvias de más de 360 mm en la estación del aeropuerto; hacia la franja costera se han registrado máximos mensuales de hasta 440 mm en Puerto Colombia y hacia la parte sur de la cuenca las precipitaciones máximas bajan a valores del orden de los 340 mm/año.
- **Un período seco**, entre los meses de diciembre y abril donde las lluvias representan el 6,9% de las lluvias totales del año. Hacia la parte sur de la cuenca este período seco se extiende sólo hasta el mes de marzo, cuando empiezan a caer ya las primeras lluvias del siguiente período. Cabe destacar que, aunque este es el período típicamente seco, las mayores precipitaciones de la cuenca se registraron en el mes de diciembre del año 2003 en las estaciones de Puerto Colombia y La Pintada con lluvias superiores a los 400 mm al mes. El mes más seco del año es enero; esta resequedad del mes se manifiesta con mayor severidad sobre la franja costera, donde en este mes no ha caído una gota de agua en los últimos 16 años.
- **Un período de transición**, entre los meses de mayo a agosto, en donde se reciben el 39% del total anual de lluvias y se produce la transición entre los períodos antes señalados. En el mes de julio se presenta el *veranillo de San Juan* donde las lluvias se reducen un poco y luego retoman el ascenso hasta la época lluviosa. Debe anotarse que esta transición se hace cada vez más lluviosa a medida que se avanza hacia el sur de la cuenca y se puede afirmar que esta lluviosidad del período es la que principalmente contribuye a marcar la diferencia de los totales anuales de lluvia entre la franja costera y el costado sur de la cuenca; mientras en la estación Las Flores se registran 252 mm en el período, en la estación Montebello este registro es de 526 m

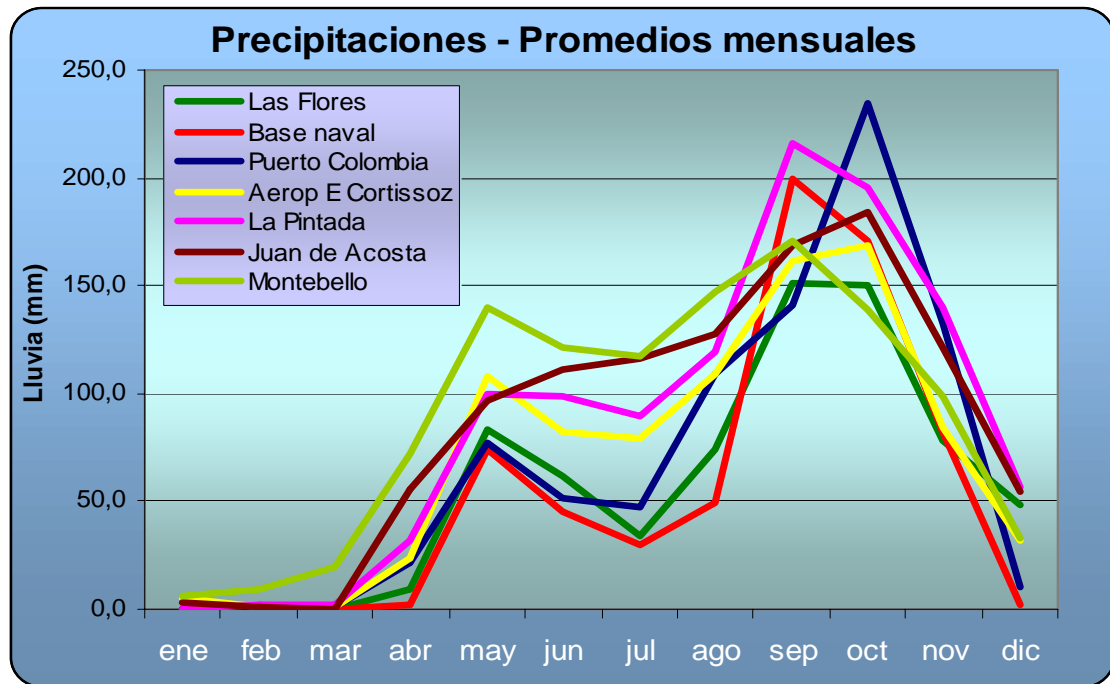


Tabla 3 Régimen intra-anual de la precipitación media (mm) Fuente: Elaboración propia; con información de Universidad del Norte, 2005, y de HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998.

Estaciones	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
Las Flores	0,0	0,7	0,3	9,1	83,1	61,7	33,8	73,8	150,8	150,7	78,5	47,9	690,6
Base naval	0,0	0,0	0,1	1,8	74,4	45,1	29,8	49,2	199,7	170,5	82,8	2,0	655,4
Puerto Colombia	0,0	0,0	1,0	21,2	76,8	51,1	47,5	109,1	141,1	234,3	133,1	10,2	825,4
Aerop E Cortissoz	4,9	0,6	1,2	24,1	108,5	82,0	79,0	109,4	161,1	168,6	84,1	31,8	855,4
La Pintada	0,0	1,7	2,5	31,8	99,8	98,7	89,9	119,2	215,8	195,0	140,0	56,6	1051,0
Juan de Acosta	3,3	0,8	0,3	55,5	97,1	110,8	116,5	127,5	168,4	183,7	121,4	54,8	1040,2
Montebello	6,5	8,9	19,9	71,8	140,2	121,0	117,5	146,9	170,6	138,5	98,8	32,8	1073,5
Cuenca (mm)	1,7	0,4	0,7	22,1	89,1	69,8	60,5	97,1	158,5	183,0	100,4	30,9	815,0
Cuenca (%)	0,2	0,1	0,1	2,7	10,9	8,6	7,4	11,9	19,4	22,5	12,3	3,8	100,0

Figura 7. Variación dentro del año de la precipitación media (mm). Fuente: Elaboración propia; con información de Universidad del Norte, 2005, y de HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998.

Máximas precipitaciones en 24 horas

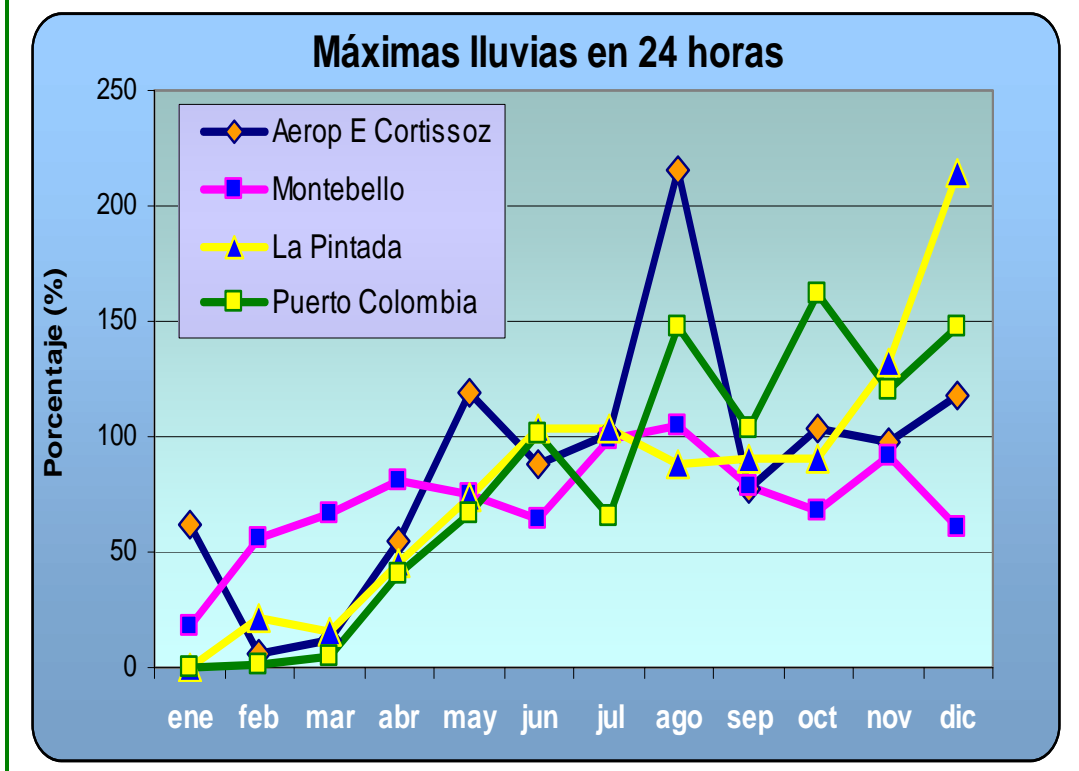
Las máximas precipitaciones diarias en la costa Atlántica ocurren generalmente en el segundo semestre del año mes de octubre y, específicamente, en los meses lluviosos de septiembre a noviembre; no obstante, en la franja costera pueden ocurrir en cualquier mes de este segundo semestre (figura 4). Los

aguaceros son cortos, generalmente no duran más de 6 horas, pero de alta intensidad. El mayor aguacero se registró en la estación del aeropuerto en agosto de 1989 con 215 mm.

Días Lluviosos

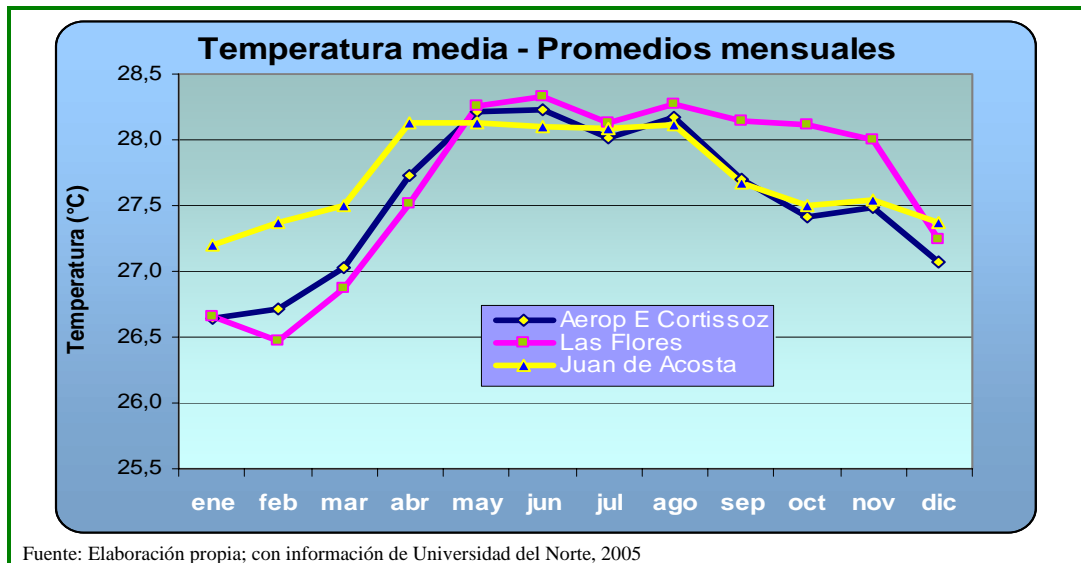
En cuanto a este parámetro, solamente se tienen series de la estación del aeropuerto, cuyos registros indican que en promedio ocurre lluvia en 78 días del año. El mes más lluvioso es octubre con 15 días de lluvia, pero se han presentado máximos de hasta 23 días lluviosos. El mes más seco, ya se mencionó, es enero, que no ha registrado lluvias en los últimos 16 años.

Figura 8. Precipitaciones máximas en 24 hora. Fuente: Elaboración propia; con información de Universidad del Norte, 2005, y de HIDROESTUDIOS & CONCEP, 1998.



Temperaturas

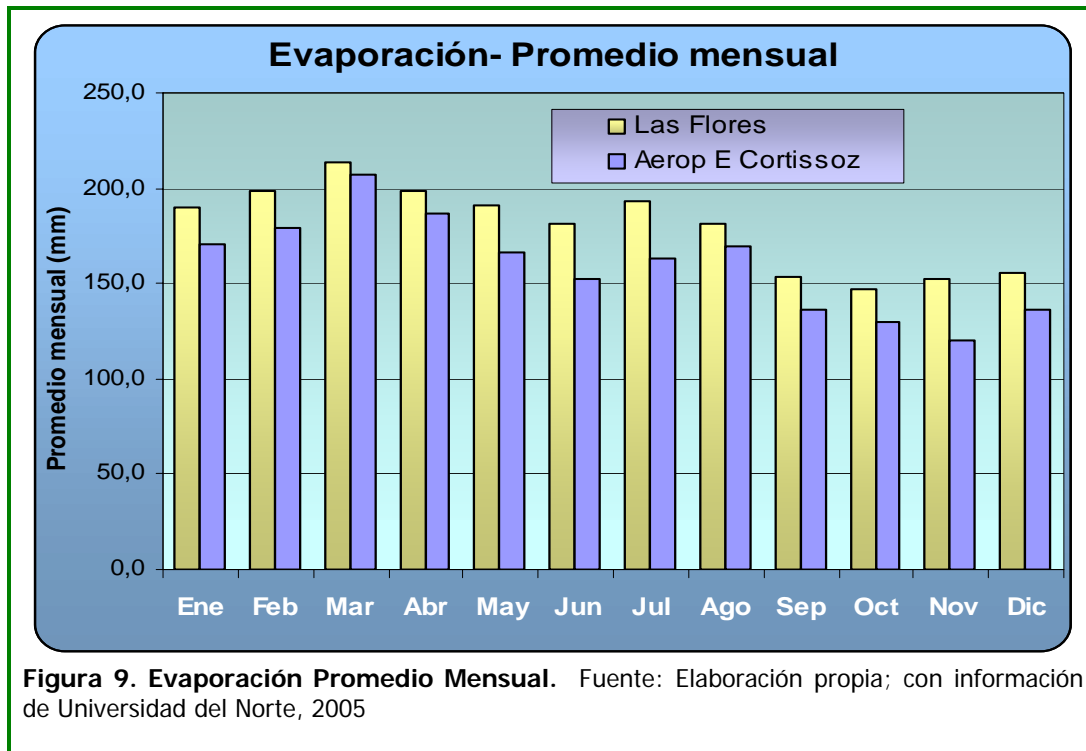
La temperatura media anual es constante en toda la cuenca; varían entre 27,5°C sobre la franja costera y 27,7°C hacia el sur de la cuenca, confirmando las apreciaciones HIDROESTUDIOS & CONCEP (1998) en cuanto a que es "...un régimen de temperatura isotérmico, con temperaturas que son reguladas por la circulación de los vientos, manifestados en brisas mar - tierra, fenómeno que se manifiesta de manera pronunciada hacia la franja cercana del litoral".



Esta regulación se manifiesta en el comportamiento de la temperatura dentro del año (figura 5), el cual está muy relacionado con otros parámetros como los sistemas de vientos y la temporada de lluvias. En el primer semestre hay un tiempo fresco debido a la presencia de los vientos alisios del norte y del noreste que soplan fuerte en esta temporada y refrescan el clima. Luego viene una temporada de calmas donde aumenta la temperatura promedio, y después las lluvias del período húmedo del segundo semestre y la acción de los vientos del oeste y suroeste la hacen bajar un poco, hasta empalmar con el tiempo de la temporada de los alisios. La máxima amplitud térmica mensual alcanza los 7°C (entre 23°C y 31°C) en el período de lluvias. No se pudo contar con registros de máximas y mínimas temperaturas diarias, pero de acuerdo con registros de otras estaciones costeras (por ejemplo, Aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena), el máximo maximorum puede llegar a los 40°C y el minimorum a 18°C.

Evaporación

La única información disponible de evaporación es la de la estación Las Flores, con serias irregularidades desde 1985, y la de la estación del aeropuerto, que presenta datos errados (por ejemplo, evaporaciones diarias de más de 100 mm) hasta el año 1996. Por tanto, la información que aquí se presenta es sólo indicativa. La evaporación media anual sobre la franja costera es del orden de los 2.150 mm, y en la zona del aeropuerto está sobre los 1.915 mm. Los máximos valores se alcanzan en el primer semestre del año (en marzo, unos 210 mm) como resultado del tiempo anticiclónico de esta temporada, soleado, con baja nubosidad y baja precipitación; para el segundo semestre del año se invierte la situación climática por efecto del segundo tránsito de la CIT por el ecuador, reduciendo la evaporación.



Humedad Relativa

La humedad relativa en general es alta a lo largo del año debido a su vecindad con el litoral; en promedio es del 82% al año, con variaciones dentro del año que están estrechamente ligadas a la ocurrencia de aguaceros y a la proximidad con la línea de costa. Sobre la franja costera la humedad relativa es más regular a lo largo del año y de mayor magnitud que en el costado sur de la cuenca (figura 7). En los primeros meses del año, con bajas precipitaciones, se presentan también bajos valores de humedad, (81,5% en Las Flores, 77,8% en el aeropuerto y 79,1% en Juan de Acosta); luego, se van incrementando con la llegada de la temporada lluviosa del segundo semestre alcanzado su máximo en octubre (84,0% en Las Flores, 85,7% en el aeropuerto y 85,3% en Juan de Acosta).

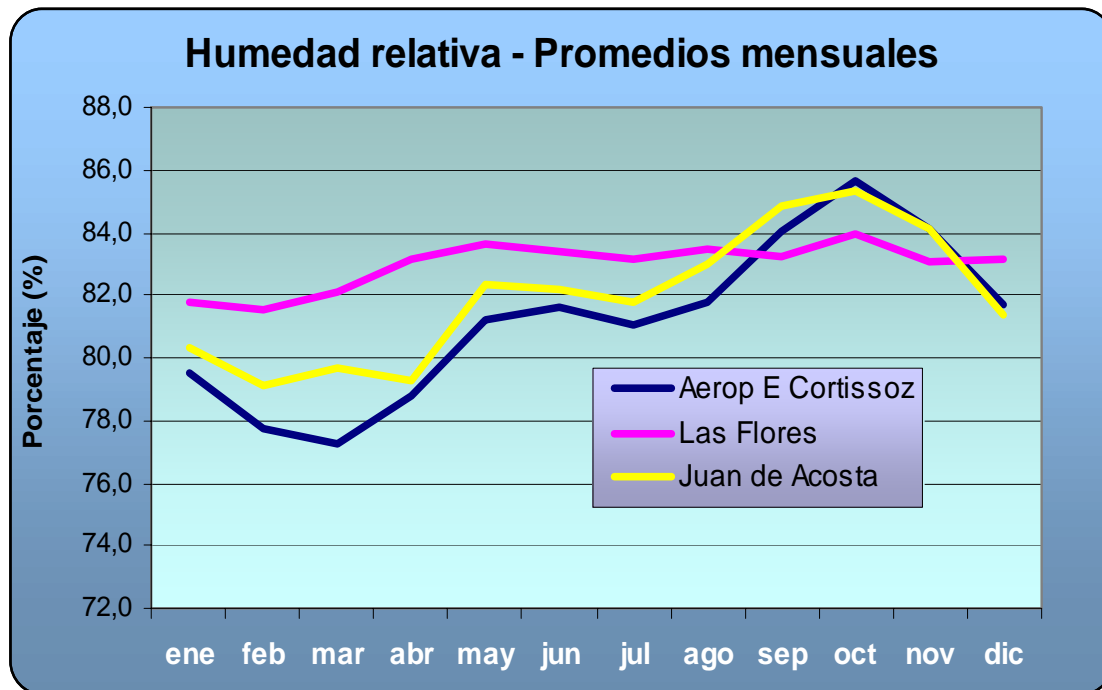
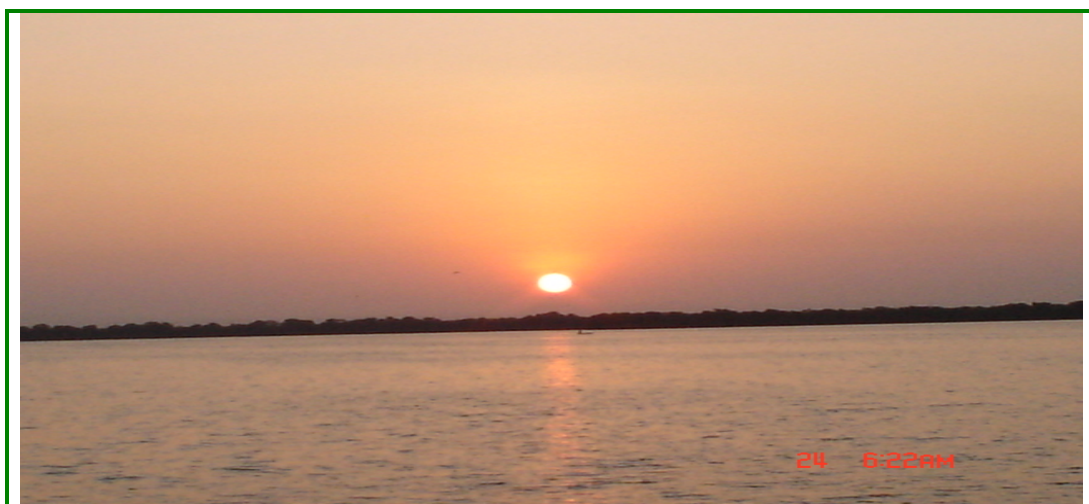
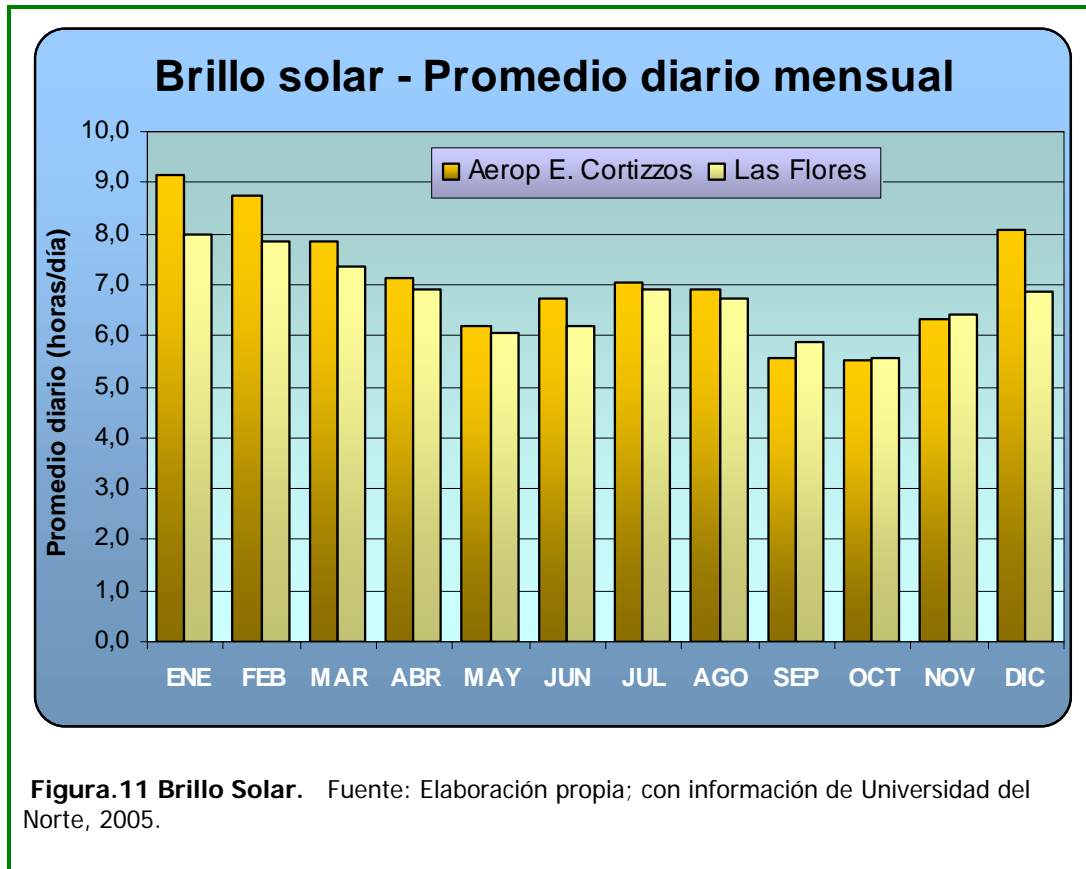


Figura 10. Humedad Relativa. Fuente: Elaboración propia; con información de Universidad del Norte, 2005

Brillo Solar

Es el tiempo durante el cual no hay interferencia a los rayos solares por efecto de la nubosidad. El promedio es de unas 2500 horas al año, para una media mensual de 210 horas y una media diaria de 6,8 horas. Dentro del año, la distribución al nivel mensual sigue una tendencia de carácter inverso a las lluvias, alcanzando los máximos valores en el primer semestre del año (283 horas en enero) y los más bajos a mediados del segundo semestre (octubre, con 171 horas), en plena época lluviosa.





Vientos

De acuerdo con CIOH (1981), la zona costera del Caribe colombiano está sometida al régimen constante de los vientos alisios provenientes del N y del NE, que soplan de manera constante durante los meses de diciembre a abril. El resto del año los vientos son muy variables tanto en dirección como en fuerza. Para este parámetro sólo se pudo contar con la información del Aeropuerto Ernesto Cortissoz, de Barranquilla. Se observa (figura 9) que al nivel anual la dirección predominante es la del NE, con una participación del 48% sobre un total de 7.137 observaciones realizadas entre 1985 y 2004, seguida por la dirección N, con el 35%. El resto de las direcciones ocurren de manera muy minoritaria con participaciones que varían entre el 1% y el 4,8%.

Las direcciones predominantes del NE y del N se hacen sentir con mayor frecuencia en los primeros meses del año (figura 10) y, así mismo, con las mayores velocidades (5,3 m/s en promedio mensual y 12,8 m/s en racha máxima diaria). Hacia el segundo semestre estos valores se atenúan al cesar la influencia de los alisios y otras direcciones como el SW y el NW elevan su participación hasta un poco más del 10%; de igual manera, el promedio mensual de la velocidad y la racha máxima diaria se reducen hasta 1,6 m/s y

7,0 m/s, respectivamente.

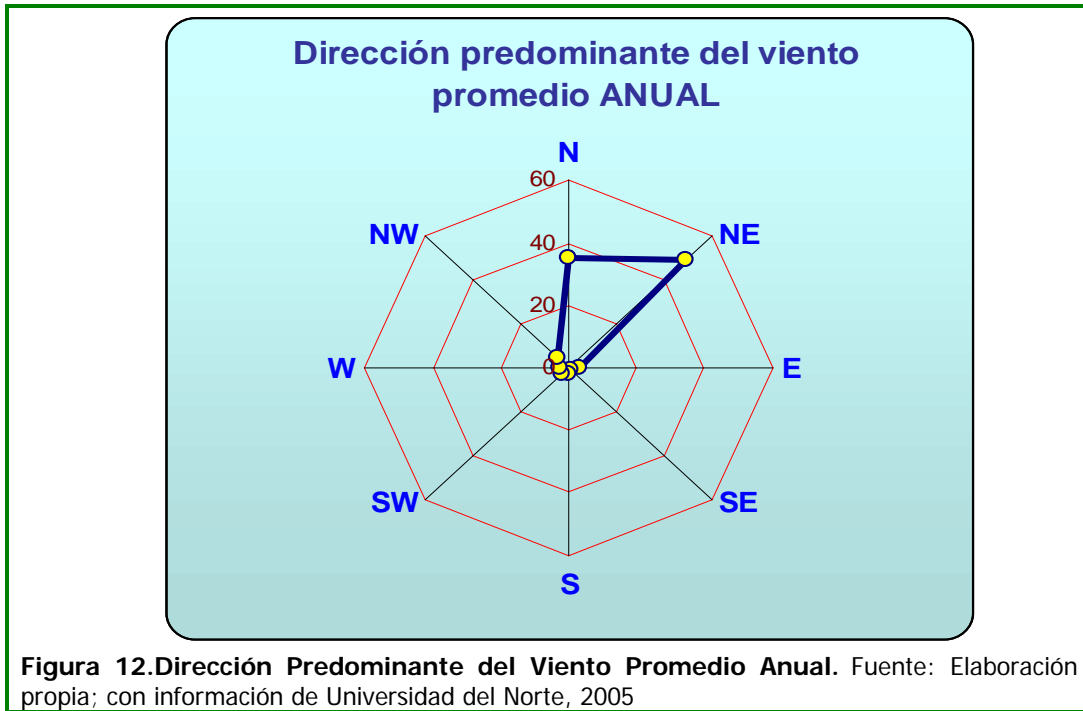
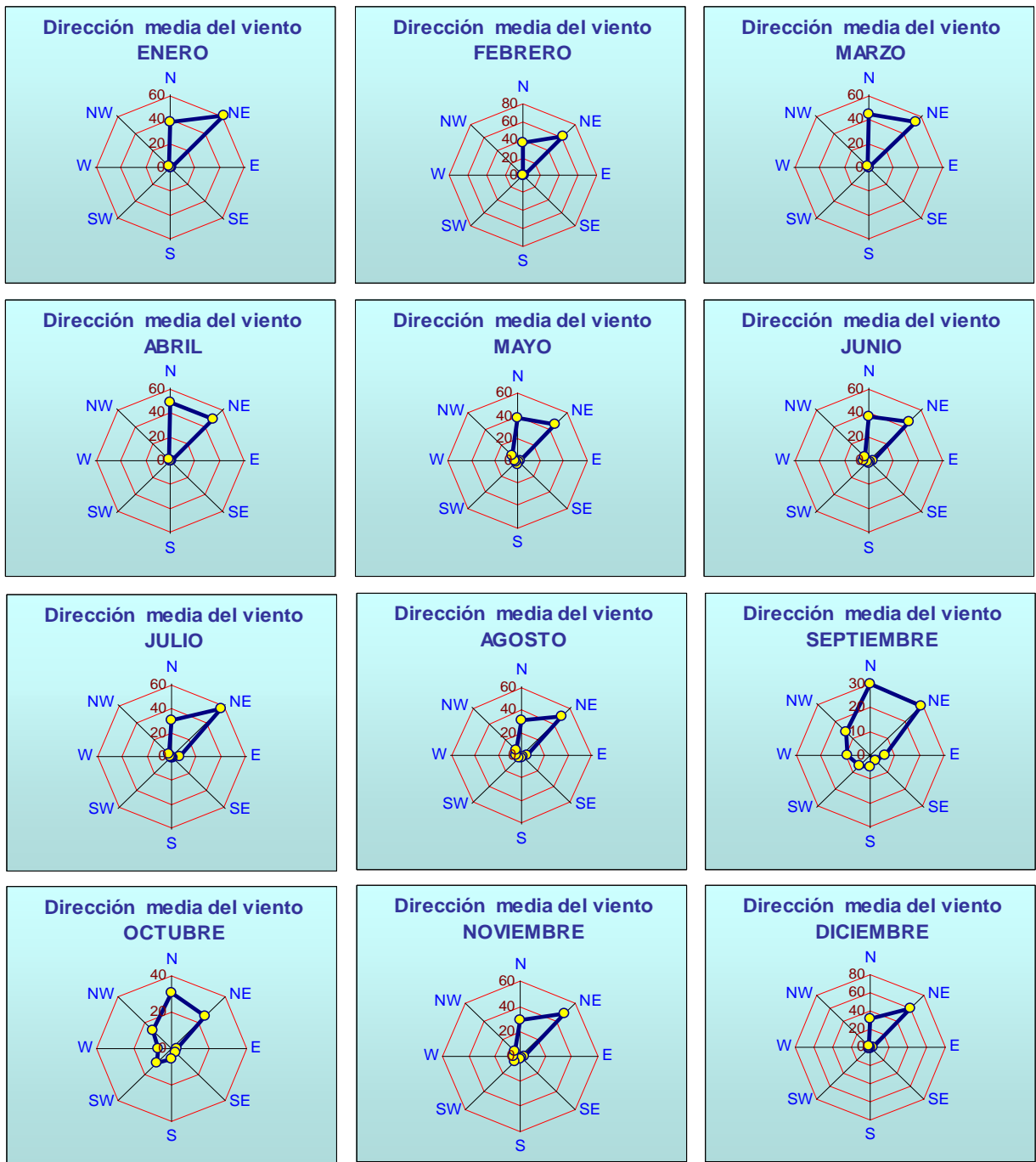


Figura 13. Dirección media anual del viento en distinción mensual. Fuente: Elaboración propia; con información de Universidad del Norte, 2005



Nubosidad

Los períodos de alta nubosidad corresponden generalmente a las épocas en que se producen los tránsitos de la CIT por el ecuador y en donde predomina el tiempo ciclónico (Figura 12). De acuerdo con la información del Aeropuerto y de la estación Juan de Acosta, la nubosidad promedia anual para la cuenca es de 4 octas, registrando bajos valores para los primeros meses del año, alrededor de 2,5 octas, y manteniéndose sobre las 5 octas para el período lluvioso.

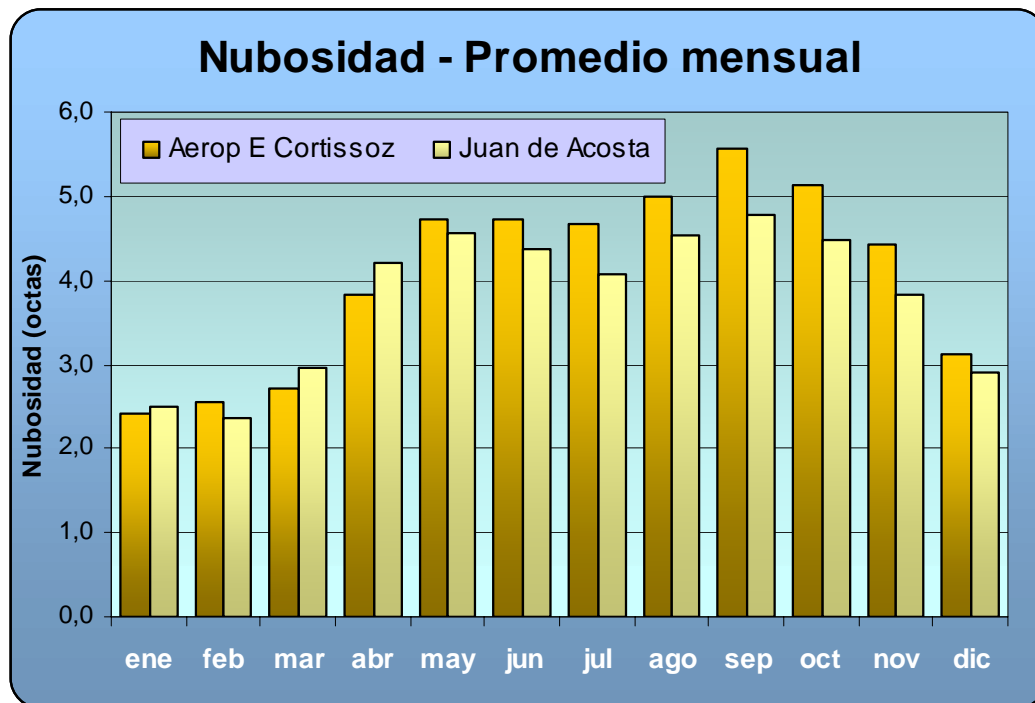


Figura 14. Nubosidad promedio mensual. Fuente: Elaboración propia; con información de Universidad del Norte, 2005

Evapotranspiración

De acuerdo con Henao (1988), la evapotranspiración es el proceso combinado de la evaporación y de la transpiración, que pierde agua del suelo a la atmósfera en forma de vapor. De otra parte, Doorenbos, J. (1988), indica que la demanda evaporativa puede ser expresada como la evapotranspiración de referencia E_{to} para predecir el efecto del clima sobre el nivel de evapotranspiración del cultivo y señala la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa cubierta de hierba verde de 8 a 15 cm de altura, que está creciendo activamente, que sombrea completamente el terreno y que no sufre de escasez de agua.

Ahora, la evapotranspiración máxima potencial, E_{tm} , hace referencia a la máxima evapotranspiración de un cultivo cuando hay suministro seguro de

agua para satisfacer las necesidades de este cultivo y se obtiene al aplicarle a E_{to} un coeficiente k_c determinado empíricamente para dicho cultivo. El valor de k_c varía con el cultivo, con la etapa de su desarrollo y, en alguna medida, con la velocidad del viento y la humedad relativa. Para la mayoría de los cultivos k_c alcanza su máximo valor durante el período en que el cultivo alcanza su máximo desarrollo.

Considerando la situación de la ciénaga de Mallorquín, el uso más importante por las técnicas de manejo empleadas y por la extensión de las áreas explotadas es el pecuario, que requiere mantenimiento en buenas condiciones de grandes extensiones de pastos apropiados para la alimentación de la ganadería. Este uso predomina en buena parte de la parte plana y de ondulaciones suaves de la cuenca, que es el tipo de terreno de mayor extensión. Por lo tanto, si se considera que E_{to} hace referencia al cultivo de pastos, con condiciones similares a las de las explotaciones ganaderas de la cuenca, se utilizará este concepto para la determinación de la evapotranspiración en el área de estudio y luego para la estimación del balance hídrico. Desde luego que existen otros usos del suelo en el área de la cuenca e, incluso tierras abandonadas (véase el capítulo de Usos del Suelo), pero la extensión de sus explotaciones y su importancia económica son menores y, así mismo, la demanda de agua. Para el cálculo de E_{to} se emplearon las metodologías de Penman y la de la Radiación propuestas por Doorenbos (1988).

Evapotranspiración por el método de Penman

La formulación de esta metodología está expresada de la siguiente manera:

$E_{to} = c * (W * R_n + (1 - W) * f(u) * (e_a - e_d))$ donde:

e_a = presión de saturación del vapor a la temperatura media, en milibares.

e_d = presión real del vapor = $e_a * H_r / 100$

H_r = humedad relativa media, en %

$f(u)$ = función del viento = $0,27 * (1 + u / 100)$

u = recorrido medio del viento, en km/día

R_n = radiación neta total, en mm/día = $0,75 * R_s - R_{n1}$

R_s = radiación percibida de onda corta, en mm/día = $(0,25 + 0,5 * n / N) * R_a$

n = insolación media, en horas/día

N = máxima insolación, en horas /día

R_a = radiación extra terrestre, en mm/día

R_{n1} = radiación neta de onda larga, en mm/día

W = factor de ponderación dependiente de la temperatura y de la altitud media

c = factor de ajuste para la relación $u_{día} / u_{noche}$

Los valores de ea , Ra , N , $Rn1$, W y c se obtienen de tablas presentadas en Doorenbos (1988). Los valores medios mensuales de temperatura, humedad relativa, insolación y viento se obtuvieron de las tablas y figuras presentadas en los numerales anteriores de este capítulo. El procesamiento se llevó a cabo en una hoja electrónica y los resultados se presentan en la tabla 4.

Cálculo de la evapotranspiración. Ciénaga de Mallorquín												
Método de Penman	Meses											
Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media (°C)	26,6	26,7	27,0	27,7	28,2	28,2	28,0	28,2	27,7	27,4	27,5	27,1
Humedad relativa media, (%)	79	78	77	79	81	82	81	82	84	86	84	82
Humedad relativa máxima (%)	94	93	96	94	99	100	95	98	100	100	99	98
Brillo solar, n (h/día)	n	9,1	8,7	7,9	7,1	6,2	7,1	6,9	5,5	5,5	6,3	8,1
Viento (km/día)	u	415,7	457,9	459,7	394,2	247,3	198,1	226,3	200,7	150,6	141,3	197,7
Viento (m/s)		4,8	5,3	5,3	4,6	2,9	2,3	2,6	2,3	1,7	1,6	2,3
Presión de satur vapor	ea	34,9	35,1	35,7	37,2	38,3	38,3	37,8	38,0	37,2	36,5	36,5
Presión real de vapor	ed	27,7	27,3	27,6	29,3	31,1	31,2	30,6	31,1	31,2	31,3	30,7
ea-ed		7,2	7,8	8,1	7,9	7,2	7,0	7,2	6,9	5,9	5,2	5,8
Función del viento, f(U)	f(U)	1,39	1,51	1,51	1,33	0,94	0,80	0,88	0,81	0,68	0,65	0,80
Radiación extra terrestre	Ra	13,0	14,1	15,2	15,7	15,6	15,4	15,4	15,6	15,3	14,6	13,5
Máxima insolación, N (h/d)	N	11,6	11,8	12	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6
Radiación de onda corta	Rs	8,37	8,68	8,78	8,47	7,74	7,93	8,16	8,22	7,30	7,04	7,02
f(T)		16,0	16,0	16,1	16,2	16,3	16,3	16,3	16,3	16,2	16,2	16,1
f(ed)		0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10
n/N		0,79	0,74	0,66	0,58	0,49	0,53	0,56	0,56	0,46	0,47	0,54
f(n/N)		0,80	0,76	0,69	0,62	0,54	0,57	0,61	0,60	0,51	0,52	0,59
Rad. Neta de onda larga, Rn1	Rn1	1,40	1,34	1,21	1,02	0,84	0,88	0,96	0,93	0,78	0,79	0,92
Radiación neta total, Rn	Rn	4,88	5,17	5,38	5,34	4,96	5,07	5,17	5,24	4,70	4,50	4,35
Factor de ponderación	W	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,76
factor de ajuste	c	0,86	0,86	0,88	0,92	1	1,02	1,01	1,0	1,03	1,03	1,02
Eto día	mm	5,3	5,8	6,2	6,0	5,4	5,3	5,5	5,3	4,7	4,4	4,6
Eto mensual	mm	163,0	164,3	191,6	180,4	166,4	159,3	170,0	165,2	140,3	135,4	136,7
Método de la radiación												
W*Rs		6,3	6,6	6,7	6,5	6,0	6,1	6,3	6,3	5,6	5,4	5,8
Eto día		5,3	5,8	6,2	6,0	5,4	5,3	5,5	5,3	4,7	4,4	4,6
Eto mensual		163,0	164,3	191,6	180,4	166,4	159,3	170,0	165,2	140,3	135,4	136,7
Eto mensual ajustada con c		140,2	141,3	168,6	166,0	166,4	162,4	171,7	165,2	144,5	139,4	140,8

Tabla 4. Fuente: Elaboración propia a partir de información tomada de Universidad del Norte, 2005 y de Doorenbos (1988)

Evapotranspiración por el método de Radiación

La formulación de esta metodología está expresada de la siguiente manera:

$Eto = c * (W * Rs)$ donde:

Rs = radiación percibida de onda corta, en mm/día = $(0,25 + 0,5 * n/N) * Ra$

W = factor de ponderación dependiente de la temperatura y de la altitud media

c = factor de ajuste con base en el valor de $W * Rs$

Los valores de Rs y W son iguales a los estimados por el método de Penman. El valor de c se determina en una gráfica presentada por Doorenbos. Los resultados se presentan en la Tabla 7.

Resultados

Los resultados obtenidos (figura 13) reflejan la severidad del clima por cuanto los valores de la evapotranspiración estimados por los dos métodos presentan variaciones entre ellos al nivel mensual que apenas sobrepasan el 10%. El comportamiento a lo largo del año y el valor de la evapotranspiración también

son sensiblemente similares a los de la evaporación, como se observa en la Figura 10. Por lo general, la evapotranspiración real es ligeramente menor que la evaporación, por lo que en adelante, se considerarán como representativos los resultados obtenidos por el método de la Radiación.

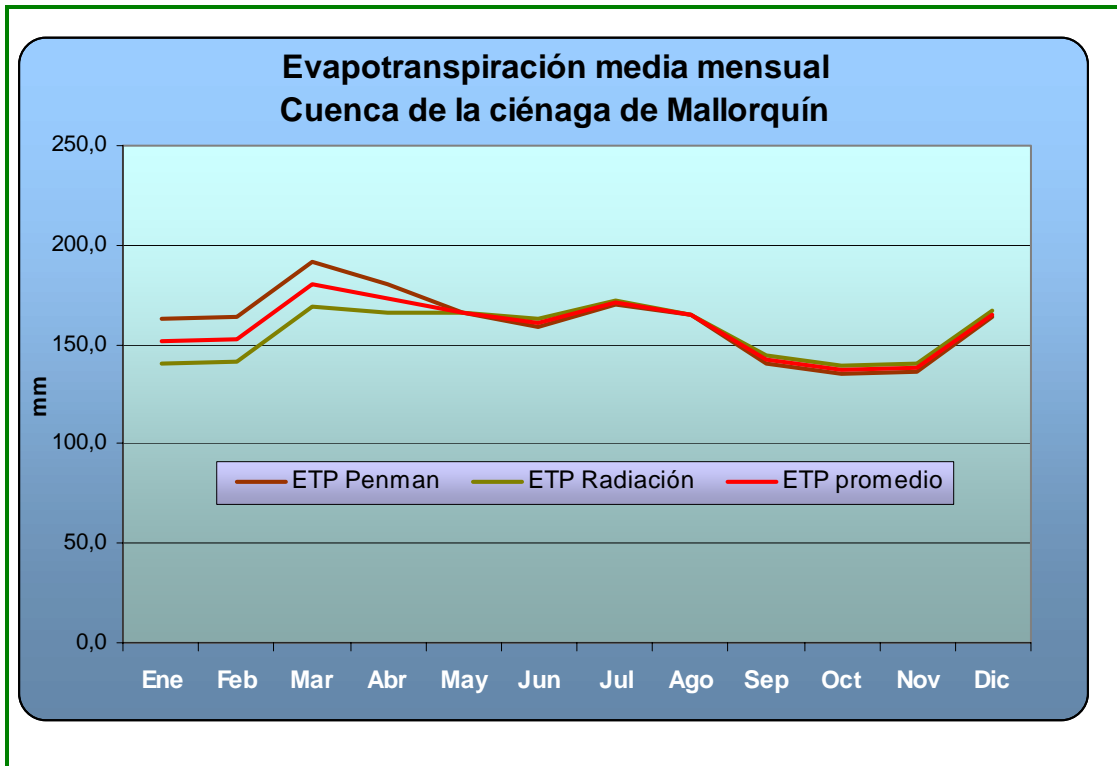


Figura 15. Evapotranspiración media mensual de la Ciénaga de Mallorquín. Fuente: Elaboración propia con información de Universidad del Norte, 2005 y de Doorenbos (1988)

BALANCE HÍDRICO

Según Herrera, J. (2000), el balance hídrico es una formulación matemática de la ley de conservación de la materia, a través de la ecuación de continuidad aplicada al agua en un sistema dado, que especifica que el total del agua entra en un sistema debe ser igual al que sale por las diferentes vías.

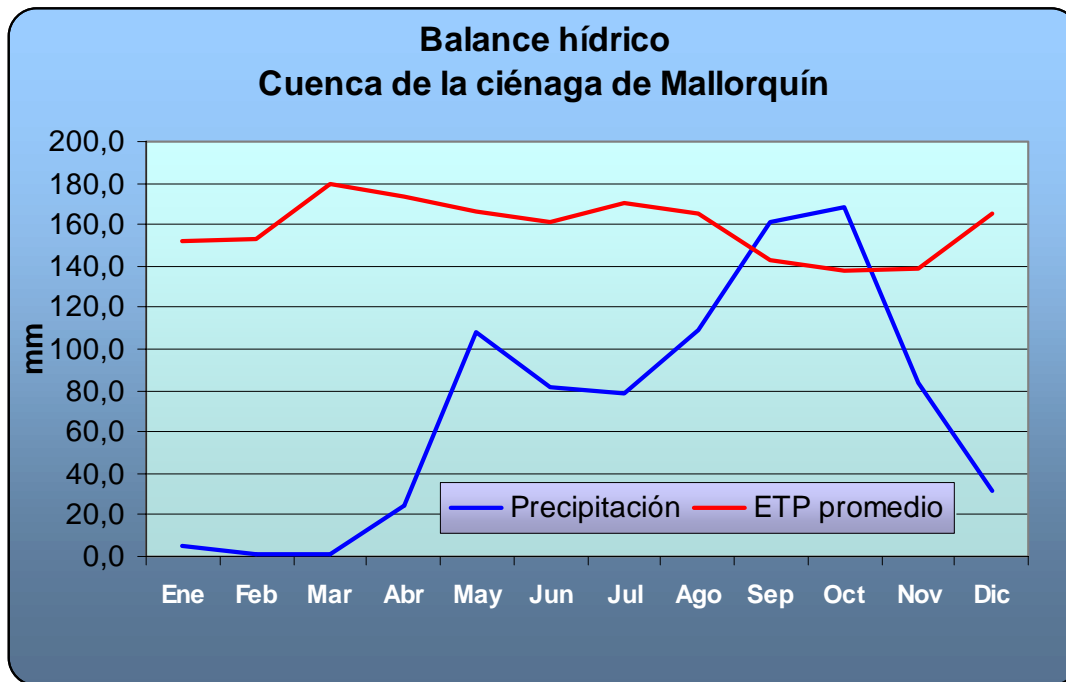
Para la cuenca se consideraron como entradas la precipitación media mensual (Tabla 3) y los resultados obtenidos para la determinación de la evapotranspiración en el numeral anterior (Tabla 4). No se consideraron otros parámetros, como la precipitación efectiva o la capacidad de campo y punto de marchitez, por cuanto se encuentran implícitas en las condiciones del cultivo de referencia (pastos) asumidas en las metodologías de cálculo de la evapotranspiración propuestas por Doorenbos. Por supuesto que deberían haberse considerado otros tipos de cultivos presentes en la cuenca, pero la información de campo levantada no permitió el nivel de detalle suficiente para incluirlos en el proceso de cálculo. Además, teniendo en cuenta que son áreas relativamente pequeñas en comparación con las que se dedican a la ganadería, se considera que los resultados que el balance hídrico que se presentan a

continuación (tabla 5 y figura 16) permiten establecer con representatividad las condiciones en que se encuentra el área desde el punto de vista hidroclimático.

Balance hídrico. Cuenca de la Ciénaga de Mallorquín. Estación base A. E. Cortissoz													
Parámetros	Valores (mm)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación	4,9	0,6	1,2	24,1	108,5	82,0	79,0	109,4	161,1	168,6	84,1	31,8	855,4
ETP Penman	163,0	164,3	191,6	180,4	166,4	159,3	170,0	165,2	140,3	135,4	136,7	163,6	1.936,1
ETP Radiación	140,2	141,3	168,6	166,0	166,4	162,4	171,7	165,2	144,5	139,4	140,8	166,8	1.873,4
ETP promedio	151,6	152,8	180,1	173,2	166,4	160,9	170,9	165,2	142,4	137,4	138,7	165,2	1.904,8
Evaporación	171,0	176,3	207,5	187,3	168,0	153,2	162,8	169,9	136,8	130,2	120,3	136,7	1.920,1
Excesos									16,7	29,1			45,8
Déficits	-146,8	-152,2	-178,8	-149,1	-57,9	-78,8	-91,9	-55,8			-54,6	-133,4	-1.099,3

Tabla 5. Balance hídrico de la Ciénaga de Mallorquín. Fuente: Elaboración propia con información de Universidad del Norte, 2005 y de Doorenbos (1988).

Figura 16. Balance Hídrico. Fuente: Elaboración propia con información de IDEAM (2004) y de Doorenbos (1988)



Se puede, entonces, concluir que el área de la cuenca está afectada por un déficit hidrológico de considerable magnitud, que hace necesario el riego intensivo de las zonas de explotación en los primeros 5 meses del año y luego con menor intensidad en los meses restantes hasta que llega la temporada lluviosa de septiembre – noviembre.