

## APROXIMACIÓN A LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA DEL RÍO GAIRA

### APPROXIMATION TO CLIMATIC ZONATION OF THE GAIRA RIVER BASIN

*César Enrique Tamarís-Turizo y Héctor Jaime López-Salgado*

#### RESUMEN

La diversidad climática de la Sierra Nevada de Santa Marta y la cuenca del río Gaira se debe principalmente a su posición geográfica, la cercanía al mar, la variación altitudinal y la exposición a los vientos circundantes, lo que permite que sea una zona de alta diversidad biológica y de gran interés para el estudio de su paisaje, en especial de la zonificación climática. Se elaboraron los mapas de zonificación climática e índice hídrico para la cuenca del río Gaira, y se adaptaron algunos rangos de clasificación propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y de Estudios Ambientales - IDEAM.

**PALABRAS CLAVE:** Cuenca del río Gaira, paisaje, clima, índice hídrico.

#### ABSTRACT

Climatic diversity of Sierra Nevada de Santa Marta and Gaira River basin is due to the geographical position, proximity to sea, altitudinal variation and exposition to surroundings winds, structuring a region of high biological biodiversity and interest, especially about climate zonation. Map of Gaira River basin's climate zonation and hidric index were made and some classification ranks proposed by Instituto de Hidrología, Meteorología y de Estudios Ambientales - IDEAM were adapted.

**KEY WORDS:** Gaira river basin, landscape, climate, hidric index.

#### INTRODUCCIÓN

El clima se define como las condiciones atmosféricas predominantes en un lugar o región durante un periodo determinado. Es así como el adecuado desarrollo de la agricultura, ganadería, recreación y diversas actividades de una zona se encuentran ligadas a las condiciones climáticas. Con el ánimo de hacer un seguimiento al clima a partir de indicadores, los cuales permiten hacer una aproximación y evaluar su potencial con fines agrícolas, el Instituto de Hidrología, Meteorología y

de Estudios Ambientales -IDEAM ha propuesto cuatro indicadores (anomalías de temperatura y precipitación, aptitud climática para la agricultura, confort climático y potencial climático para el desarrollo de enfermedades como la malaria) (SIAC, 2002).

La diversidad climática de la Sierra Nevada de Santa Marta obedece principalmente a factores como posición geográfica (dada por la latitud), cercanía al mar, ubicación con respecto a la Serranía del Perijá, variación altitudinal (entre los 0 y 5800 m) y, finalmente,

#### Dirección de los Autores:

Grupo de Investigación en Limnología Neotropical Universidad del Magdalena - Bloque VI piso 1 ext. 162, por Bloque VI piso 2 Teléfono: (+ + 5) 430 12 92 ext. ext 167. cesartamaris@hotmail.com - cesartamaris@yahoo.es (C.E.T.G.) Grupo de Investigación Intérpretes de Ecosistemas Universidad del Magdalena - Instituto de Investigaciones Tropicales - INTROPIC. hector.lopezs@hotmail.com (H.J.L.S.)



exposición de sus flancos a los vientos circundantes (IGAC, 1995); lo anterior genera una variedad de condiciones climáticas que resultan tanto cambiantes como estables en distintos sectores de la Sierra, siendo responsable en parte de la gran diversidad biológica que esta zona presenta.

### BALANCE HÍDRICO

La agricultura se considera como la explotación de la energía solar por parte de las plantas, además de requerir un adecuado suministro de agua y nutrientes, que permitan mantener el crecimiento vegetal (Baldion, 1987). Esto refleja la gran importancia que tiene la estimación de los balances hídricos para cultivos, para conocer la vocación o aptitud del suelo para una actividad específica.

El balance hídrico es una herramienta que permite:

- Planificar la operación de riego y drenaje de los campos agrícolas.
- Planificar y manejar adecuadamente los recursos hídricos.
- Predecir sobre rendimientos agrícolas
- Elaborar calendarios agrícolas.
- Predecir riesgos y amenazas naturales como inundaciones y sequías.
- Apoyar en los estudios de erosión del suelo.
- Predecir incendios forestales.
- Realizar clasificaciones climáticas y agroclimáticas.
- Obtener una aproximación a la zonificación climática.
- Fundamentar planes de ordenamiento territorial.

El índice hídrico permite clasificar la condición de disponibilidad hídrica media en la capa agrícola de suelo, mediante el cálculo de las entradas y salidas del agua en un área determinada (SIAC, 2002), evaluando la disponibilidad del agua en el suelo durante el año y permitiendo la regionalización climática para la adecuada utilización agraria (CIAF, 1986).

### FORMACIONES VEGETALES

La cobertura vegetal en su totalidad y en especial la vegetación forestal constituye uno de los elementos físicos de las cuencas hidrográficas que tienen esencial incidencia en el régimen hidrológico de las aguas superficiales (Stanescu y Godoy, 1999). En la actualidad, dado al manejo inadecuado de las

explotaciones agropecuarias y ganaderas, se han perdido miles de hectáreas productivas, afectando no solamente la producción de alimentos para la población creciente, sino que se han deteriorado las cuencas hidrográficas donde predominan problemas de erosión, improductividad agrícola y desorden en la planificación de cultivos que afectan del régimen hidrológico (Mozo-Morrón et al., 1999).

Las formaciones vegetales nativas de una región son el producto principalmente de la conjugación de características geográficas, climáticas y geomorfológicas. En la Sierra Nevada de Santa Marta se pueden encontrar 13 formaciones vegetales (Espinal y Montenegro, 1963; PRO-SIERRA, 1998).

La clasificación climática para la cuenca del río Gaira es un atributo que sirve como base para la creación de planes de manejo adecuados del sector y la elaboración de estrategias de uso de la tierra según la vocación de la zona, permitiendo una adecuada explotación de los recursos.

### METODOLOGÍA

Los mapas se realizaron en el Sistema de Información Geográfica ILWIS 3.1, utilizando la proyección conforme de Gauss y el Datum del Observatorio de Bogotá. El DTM se elaboró con curvas de nivel cada 25 m hasta los 600 m y cada 50 m hasta los 2850 m.

### ELABORACIÓN DEL MAPA DE CLIMA

El procesamiento de la información climática se realizó a partir de los promedios multianuales de precipitación y temperatura de estaciones meteorológicas, pluviométricas y climáticas ubicadas dentro de la cuenca del río Gaira y sus alrededores (Tabla 1).

El mapa de clima (clasificación por pisos térmicos) se realizó teniendo en cuenta el capítulo de clima consignado en el Estudio general de Suelos de la Sierra Nevada de Santa Marta del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC (1995), donde se correlacionan las variables temperatura, altura y precipitación de las estaciones meteorológicas y climáticas de la zona de estudio y sus alrededores lo que permitió realizar una adaptación al mapa de clima (Tabla 2). Los rangos de precipitación que no fueron suministrados por las estaciones climáticas se hallaron por interpolaciones de los datos de estaciones mediante el método de isoyetas.

Tabla 1. Estaciones pluviométricas, meteorológicas y climáticas utilizadas en el estudio. pmma: precipitación media multianual, tmma: temperatura media multianual.

Estación	Altitud (msnm)	pmma	Años	Latitud	Longitud	tmma
Aeropuerto	4	509	1980-2004	11-08	74-14	28,2
Universidad	7	668,5	1980-2001	11-14	74-13	27,9
Planta Gaira	150	860,4	1964-1971	11-11	74-10	27,1*
Mínca	640	2249	1980-2004	11-08	74-02	23,7*
Jirocasaca	710	2489	1953-1960	11-03	74-02	22,9
Las Delicias	900	2669	1964-1972	11-07	74-08	20,8*
Alto de Mira	1080	-	1987-2004	11-05	73-56	20,8
La Victoria	1100	2491,8	1994-2000	11-07	74-06	21,5
Vista Nieves	2000	2645,9	1982-2002	11-05	74-09	14,2*
San Lorenzo	2200	2446,2	1982-2003	11-07	74-03	12,8

\* Temperaturas medias multianuales estimadas.

### ELABORACIÓN DEL MAPA DE ÍNDICE HÍDRICO

La estimación de la temperatura promedio mensual y multianual de las estaciones Planta Gaira, Mínca, Jirocasaca, Las Delicias y Vista Nieves se realizó por medio de una regresión lineal entre las altitudes de las estaciones y los valores de temperatura conocidos (con pendiente  $m = 0.0069$ ), de acuerdo con la metodología de Guhl (1974).

Para el cálculo de evapotranspiración potencial (ETP) y el balance hídrico se utilizó el programa para balances hídricos BNorm61.XL, quien aplica la ecuación de Thornthwaite y Mather (1955) como se describe a continuación:

Para la Evapotranspiración potencial

$$ETP = 16(10 \times T/I)^a \times L, \text{ donde}$$

T = temperatura media mensual del aire en °C

I = Eficiencia de la temperatura anual o la suma de los 12 índices mensuales

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0.2T_i)^{1.514}$$

$$a = (675 \times 10^{-9})I^3 - (771 \times 10^{-7})I^2 + (197 \times 10^{-4})I + 0.492$$

L = índice de iluminación en horas de luz

$$L \text{ anual } (11^\circ \text{ Lat}) = 30.82$$

Se realizó una adaptación a la clasificación propuesta por el Sistema de Información Ambiental de Colombia -SIAC- (2002), el cual clasifica como adecuado el índice entre -20 y 20; en este estudio se clasificará como subhúmedo seco.

### PARA LOS BALANCES HÍDRICOS

La precipitación media mensual y multianual se tomó de los datos de las estaciones consignados en la Tabla 1 y la evapotranspiración potencial se estimó por el método de Thornthwaite y Mather (1955), anteriormente descrito.

Para conocer el déficit y el exceso, se calculó la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (Alm) a partir de las curvas de tensión de humedad (a 0.3 y 0.15 atm.) y la densidad aparente (Da) promedio para las unidades cartográficas de suelos presentes en la cuenca del río Gaira tomados del Estudio General de Suelos de la Sierra Nevada de Santa Marta (IGAC, 1995).

El índice hídrico (IH) obtenido por Thornthwaite y Mather (1955) se calculó mediante la fórmula:

$$IH = (100 \times \text{exceso} - 60 \times \text{déficit}) / ETP$$



Tabla 2. Criterio para la clasificación del clima (adaptado de IGAC, 1995).

Altitud (msnm)	Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
> 3500	Nival	< 6	< 500
	Subnival		
Extremadamente frío			
3000 – 3500	Muy frío húmedo *	9-12	< 1000
1700 – 3000**	Frío muy húmedo	12-18	1000 – 2000
	Frío húmedo		~ 1000
800 – 1700**	Templado muy húmedo *	18 - 24	2500 – 3000
	Templado húmedo		2000 – 2500
< 800**	Cálido húmedo *	> 24	1500 – 2000
	Cálido seco *		1000 – 1500
	Cálido muy seco		500 – 1000
	Cálido árido *		< 500

\* Pisos térmicos presentes en la cuenca del río Gaira.

\*\* Rango de altitudes ajustado por la presencia de cultivo de café.

## MAPA DE FORMACIONES VEGETALES

Para la elaboración de este mapa se utilizó la clasificación sugerida Holdridge, adaptada por Espinal y Montenegro (1963) para la Sierra Nevada de Santa Marta. Las convenciones usadas corresponden a la utilizada por el IDEAM.

## RESULTADOS

### MAPA DE CLIMA

El mapa de clima resulta de una adaptación y mejor aproximación de los datos de temperatura y precipitación; además se ajusta a la franja cafetera (presencia del cultivo de café, como indicador bio-climático) en la cuenca del río Gaira, donde se reduce el rango del clima templado de 1000-2000 msnm a 800-1700 msnm y el clima cálido a < 800 msnm. Los climas encontrados fueron cálido árido, cálido seco, cálido húmedo, templado muy húmedo y frío muy húmedo (Figura 1), de los cuales el clima que ocupa una mayor extensión dentro de la cuenca es cálido húmedo con cerca de 5941 ha, seguido por templado muy húmedo con 2371 ha, mientras el de menor área fue frío muy húmedo con 851 ha.

## MAPA DE ÍNDICE HÍDRICO

Este mapa refleja la disponibilidad hídrica anual en la cuenca del río Gaira, a través de un indicador, que resume en un sólo valor las características climáticas de la zona. Se interpreta de acuerdo con los tipos climáticos propuestos por Thornthwaite y Mather (1955) (Tabla 3) que permite planear el uso agrícola de una región (Figura 2, Tabla 4) Como producto del estudio del índice se reportan los estados climáticos semiárido, seco, subhúmedo seco, ligeramente húmedo, moderadamente húmedo, muy húmedo y super húmedo, de los cuales el de menor extensión fue muy húmedo con 229 ha y el estado climático de mayor área fue semiárido con 3081 ha seguido por moderadamente húmedo con 2233 ha.

### MAPA DE FORMACIONES VEGETALES

En la cuenca del río Gaira se encuentran seis formaciones vegetales (Figura 3, Tabla 5) las cuales se localizan desde la costa hasta la parte más elevada de la cuenca a los 2850 msnm. En la zona de estudio se reportan las formaciones vegetales monte espinoso tropical, bosque muy seco tropical, bosque seco tropical, bosque húmedo subtropical, bosque muy húmedo subtropical, bosque muy húmedo montano bajo y bosque premontano; siendo este último la de menor extensión con 345 ha,

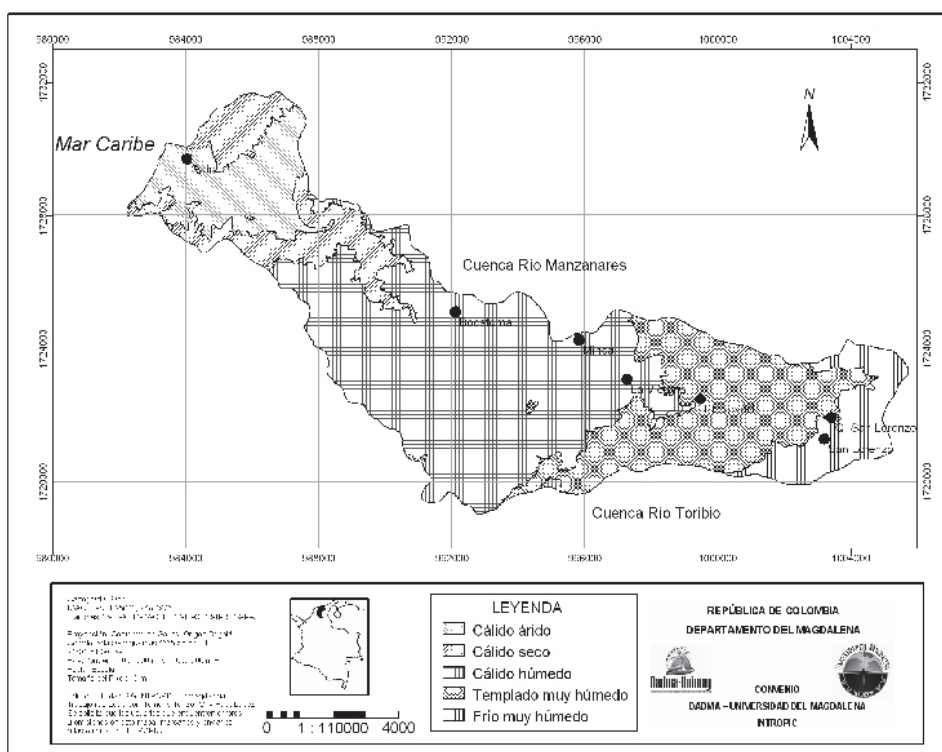


Figura 1. Mapa de clima de la cuenca del río Gaira.

Tabla 3. Clasificación del índice hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (1955) (adaptado)

Estación	Altura (m)	Años	Latitud	Longitud	IH	Clasificación
Aeropuerto	4	1980-2004	11-08	74-14	-51	Árido
Planta Gaira	150	1964-1971	11-11	74-10	-64	Árido
Mínca	640	1980-2004	11-08	74-02	-6	Semiárido
Las Delicias	900	1964-1972	11-07	74-08	69	Moderadamente húmedo
Alto de Mira	1080	1987-2004	11-05	73-56	73	Moderadamente húmedo
Vista Nieves	2000	1982-2002	11-05	74-09	387	Superhúmedo
San Lorenzo	2200	1982-2003	11-07	74-03	295	Superhúmedo

mientras que bosque muy seco tropical tuvo mayor extensión con 2493 ha, seguido por bosque húmedo subtropical (2386 ha) y bosque muy húmedo subtropical respectivamente (2064 ha).

## DISCUSIÓN

Se realizó una adaptación a los criterios de clasificación del clima en la cuenca del río Gaira teniendo en cuenta los pisos térmicos convencionales, ajustando la franja cafetera, que caracteriza el clima templado, la cual para la cuenca del río Gaira se extiende aproximadamente

desde los 800 hasta los 1700 msnm, debido a la latitud en que se encuentra ubicada la cuenca (Tabla 2).

Los valores obtenidos de los balances hídricos multianuales y el índice hídrico calculado, en la parte media y baja de la cuenca del río Gaira, son negativos, indicando que estos sectores de la cuenca se encuentran subsidiados hídricamente por la parte alta (mayor a 1000 m) y cubren una extensión de 3837 ha y 4494 ha, respectivamente; la cuenca alta, con una extensión de 2133 ha, genera excesos hídricos durante casi todo el año, condiciones que la hacen relevante desde el punto



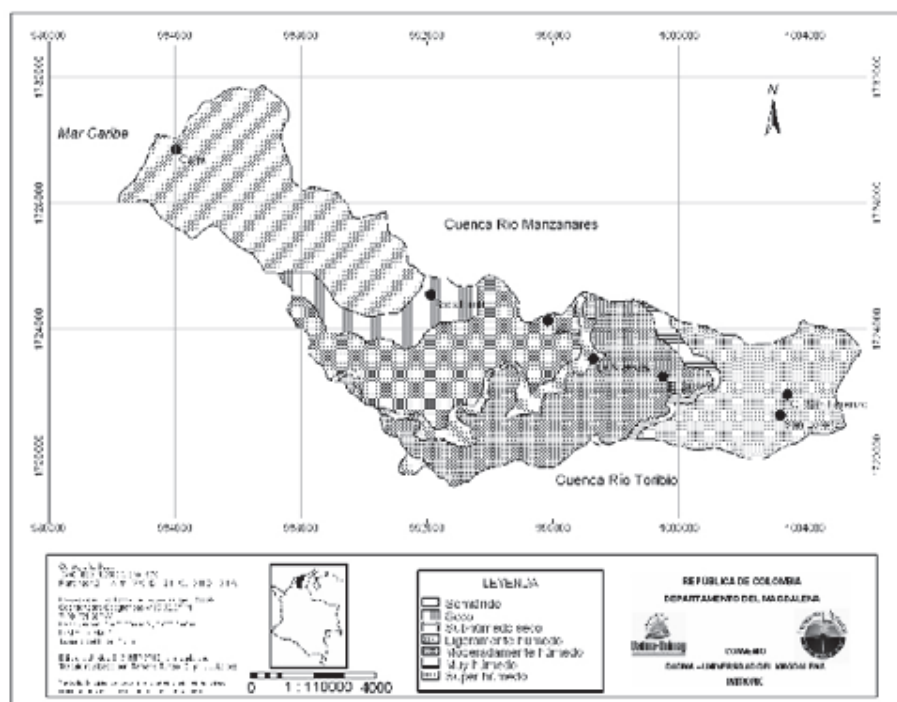


Figura 2. Mapa de índice hídrico de la cuenca del río Gaira.

Tabla 4. Clasificación del índice hídrico (adaptado de SIAC, 2002)

Rango del Índice Hídrico	Clasificación
$I > 140$	Superhúmedo
$100 < I < 140$	Muy húmedo
$60 < I < 100$	Moderadamente húmedo
$40 < I < 60$	Ligeramente húmedo
$20 < I < 40$	Subhúmedo seco*
$-20 < I < 20$	Seco
$-40 < I < -20$	Semiárido
$I < -40$	Árido

\* Adaptación del nombre de la clasificación.

de vista hídrico, por lo cual es urgente la conservación de esta zona para asegurar el suministro hidrológico natural en los asentamientos humanos, fauna y flora del resto de la cuenca.

Aunque la cantidad de agua producto de las precipitaciones ocurridas en la parte media de la cuenca del río Gaira son importantes, variables como el inadecuado uso del suelo, monocultivos, quemas y la potrerización (PRO-SIERRA, 1998) han conllevado a que

el suelo pierda la capacidad de retener agua, disminuya la capa viva, aumente la erosión de las riberas, la descarga de sólidos suspendidos afectando la calidad físico-química de las aguas (Zúñiga 2004), afectando la calidad de vida de los habitantes de la cuenca baja del río (Frayter *et al.*, 2000).

En el mapa de formaciones vegetales adaptado para la cuenca del río Gaira, se detectó la formación Bosque Premontano, desde los 2350 msnm hasta la cota superior

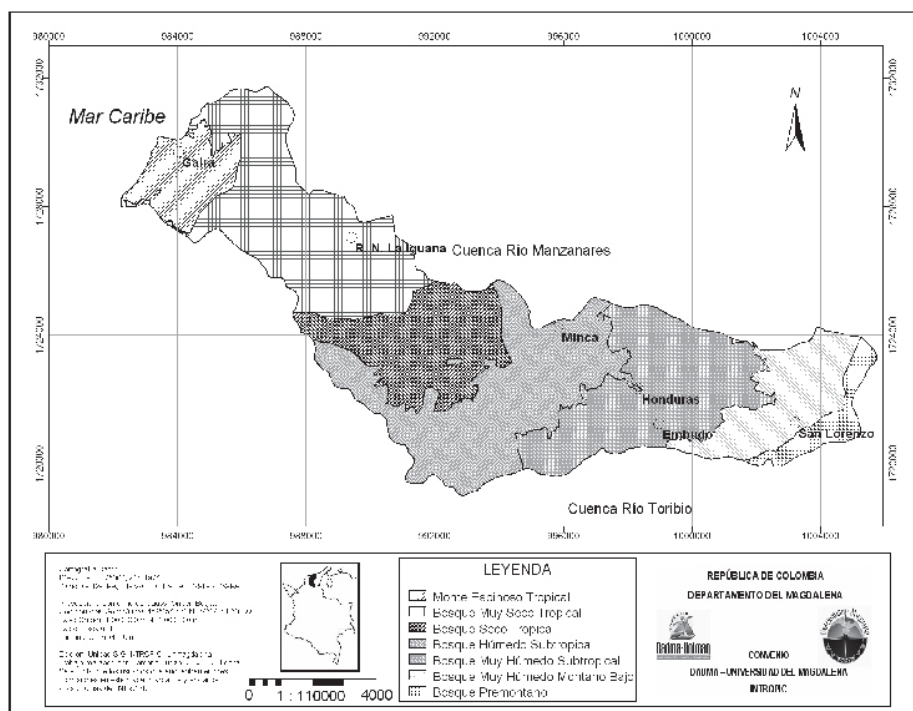


Figura 3. Mapa de formaciones vegetales de la cuenca del río Gaira.

Tabla 5. Formaciones vegetales presentes en la cuenca del río Gaira (Tomado de Espinal y Montenegro 1963)

Formación Vegetal	Nomenclatura	Rango Altitudinal (msnm)
Monte espinoso tropical	me-T	0 - 100
Bosque muy seco tropical	bms-T	100 - 200
Bosque seco tropical	bs-T	200 - 700
Bosque húmedo subtropical	bh-ST	700 - 900
Bosque muy húmedo subtropical	bmh-ST	900 - 1700
Bosque muy húmedo montano bajo	bmh-MB	1700 - 2350

que tiene la cuenca (2850 msnm), a diferencia del mapa propuesto por Frayter *et al.* (2000), quienes no incluyen la formación vegetal en mención. La amplia variedad de formaciones vegetales reportadas en este estudio se debe principalmente a la geomorfología de la Sierra Nevada de Santa Marta, lo cual es consistente con la diversidad de climas encontrada.

Un adecuado manejo de la información climática combinado con otros factores como la aptitud de uso del suelo, balances hídricos edáficos y atmosféricos, riesgos y amenazas por deslizamiento y erosión

y estudios de la estructura y composición de la vegetación permiten crear un sistema de planificación para el adecuado aprovechamiento en áreas de óptima producción, brindando mayor rendimiento económico a los productores de la zona y garantizando en parte el aseguramiento sostenible de los moradores de la cuenca.

Los Sistemas de Información Geográfica demuestran una vez más, la agilidad y oportunidad de su uso para el tratamiento de datos geo-espaciales, independiente de su naturaleza, generando nueva información acorde



con un medio cambiante, mas aún cuando el hombre lo interviene; es así como a través de esta herramienta se pudo espaciar información que permite la planificación de las zonas productivas acorde a su aptitud y/o vocación.

## AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación en Cuencas y Humedales Tropicales –GICHT- por el apoyo financiero del trabajo. A Glauco Rolim (Instituto Agronómico de Campinas Centro de Ecofisiología e Biofísica del Brazil), por la donación del programa de balances hídricos.

## BIBLIOGRAFÍA

Baldion, J. 1987 (Ed). Conceptos básicos y métodos de cálculo del balance hídrico. HIMAT. 86 p.

Centro Interamericano de Fotointerpretación –CIAF-. 1986. Estudios básicos para un plan de ocupación del espacio de la cuenca del río Sinú. CVS. 240 p.

Espinal, L.S. y E. Montenegro. 1963. Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa del mapa ecológico. IGAC, 201 p.

Frayter, V., E. Jiménez, R. Pabón y O. Valero. 2000. Plan de manejo integral de la cuenca hidrográfica del río Gaira. Tesis de pregrado. Universidad del Magdalena. 286 p.

Fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta. 1998. Evaluación Ecológica Rápida de la Sierra Nevada de Santa Marta. Definición de Áreas Críticas para la Conservación de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ministerio del Medio Ambiente, UAESPNN The Nature Conservancy –USAID- Embajada de Japón. 20 p.

Guhl, E. 1974. Las lluvias en el clima de los andes ecuatoriales húmedo de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigaciones para el desarrollo CID, 82 p.

Instituto Geográfico «Agustín Codazzi» –IGAC. 1995. Estudio general de suelos de la Sierra Nevada de Santa Marta. Subdirección de Agrología, Santafé de Bogotá, D.C., 376 p.

Mozo-Morrón, T. M. Buchinger, J. Dubois, H. Garzón, G. Godoy, C. Guayara, E. Gutiérrez, C. Lecanpertier, C. Lehman, J. Lozano, A. Olivares, R. Ester, J. Padilla, R. Ray y S. Stanesco. 1999. Ecología y conservación de los recursos naturales renovables. Ecoe Ed. Colombia 164 p.

Sistema de Información Ambiental de Colombia –SIAC-. 2002. Primera generación de indicadores de la línea base de la información ambiental de Colombia. Tomo 2. IDEAM, SINCHI, IAvH, IIAP, INVEMAR, 941 p.

Stanesco, S. y G. Godoy. 1999. Influencia de la vegetación forestal en el régimen de las corrientes. En: Mozo- Morrón, T., M. Buchinger, J. Dubois, H. Garzon, G. Godoy, C. Ecología y conservación de los recursos naturales renovables. Ecoe Ed. Colombia: 115-125.

Thornthwaite, C.W. y J.R. Mather. 1955. The water balance. Publications in climatology. Laboratory of Climatology, New Jersey, v.8, 104 p.

Zúñiga, M. del C. 2004. Biodiversidad, distribución y ecología del orden Plecoptera (Insecta) en Colombia: Potencial en bioindicación en calidad de agua. Págs. 17-21. En: VI seminario Colombiano de Limnología y I Reunión Internacional sobre Embalses Neotropicales. Montería, Colombia.

Fecha de recepción: 31/01/06

Fecha de aceptación: 29/08/06