

La historia de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, se remonta a la primera mitad del siglo XIX, cuando el General Francisco de Paula Santander creó la *Academia Nacional de Colombia* en 1826. La historia de la Academia fue muy bien documentada y descrita por el Académico Santiago Díaz Piedrahita en el libro *La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en los albores del Siglo XXI*, publicado en 2012. La Academia fue declarada cuerpo consultivo del gobierno a través de la ley 34 de 1933 (18 de noviembre), condición que fue ratificada en el decreto 1218 de 1936. Este último documento legal oficializó, en efecto, la creación de la Academia.

Esa información histórica muestra que la Academia ha estado presente en la vida nacional por muchos años y, ciertamente en forma ininterrumpida, durante los últimos 80 años. Sus contribuciones al desarrollo de la ciencia y de la educación en ciencias, bien sea en forma directa o a través de sus miembros, han sido innumerables.

La nueva Junta Directiva, elegida en julio y posesionada en agosto de 2013, tiene como una de sus metas más importantes construir sobre lo que ya existe, reconociendo y desarrollando las fortalezas de la corporación y buscando nuevas oportunidades que le permitan tener participación y relevancia cada vez mayores en la vida científica y cultural tanto nacional como internacionalmente.

Esta filosofía se traduce, como es natural, en redoblados esfuerzos para fortalecer y modernizar el programa de publicaciones, respondiendo a las exigencias del mundo académico y científico actual.

Sin lugar a dudas, uno de los principales aportes de la Academia al país ha sido la existencia, desde 1936, de un robusto programa de publicaciones, cuya máxima expresión es la *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, ampliamente reconocida en el ámbito científico nacional e internacional. La Academia, como es bien sabido, también ha creado varias colecciones, que son series de publicaciones orientadas a responder a propósitos específicos tales como historia de la ciencia (Colección Enrique Pérez Arbeláez), tratados sobre diferentes temas (Colección Jorge Álvarez Lleras), textos universitarios (Colección Julio Carrizosa Valenzuela), divulgación de la ciencia (Colección Luis Duque Gómez), memorias de eventos y ediciones especiales, así como publicaciones electrónicas.

La *Revista de la Academia* ha llegado ya al volumen 37 y el número que hoy se entrega es el 144. El número 1 apareció en diciembre de 1936, año de creación oficial de la Academia, bajo la dirección del Dr. Jorge Álvarez Lleras. Por la dirección editorial de la revista han pasado académicos de la talla de Fabio González Zuleta, Enrique Pérez Arbeláez, Luis María Murillo Quinche, Luis Duque Gómez, Gustavo Perry Zubieta, Luis Eduardo Mora Osejo, Julio Carrizosa Umaña, Santiago Díaz Piedrahita, Pedro Prieto Pulido y, en los últimos tres años (2010-2013), Margarita Perea Dallos. A todos ellos la Academia les reconoce con inmenso agradecimiento el haber asegurado la existencia de la revista aún en épocas difíciles, con una periodicidad que en la actualidad es trimestral.

La Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales publica artículos científicos sobre biología, botánica, bioquímica, ciencias de la tierra, ecología, física, historia y filosofía de las ciencias, matemáticas, química, zoología y otras áreas. Normalmente, las conferencias de posesión de los Académicos están consignadas en las páginas de la revista.

La Revista es reseñada en varios índices nacionales e internacionales tales como Actualidad Iberoamericana, Agris, CIRS (*International Center for Scientific Research*), Current Mathematical Publications, EBS-CO, Dialnet, Historia Mathematica, Index Kewensis, Latindex, Mathematical Reviews, MathSciNet (on line data base), PERIODICA, Scielo, Online Computer Library Center – OCLC, Zentralblatt für Mathematik, Zoological Record, RLG. Nacionalmente se encuentra en la base de datos Publindex de Colciencias, en la categoría A2.

El Académico de Número John D. Lynch, Director de publicaciones, ha conformado un comité editorial de excelente nivel científico y académico, con trayectoria demostrada en el área de publicaciones y con un altísimo grado de compromiso con la Academia. El Dr. Lynch ha contado con el apoyo decidido y constante de las Académicas Carmenza Duque, Vicepresidente de la Junta Directiva, y Elizabeth Castañeda, Vocal de la misma Junta. La Sra. Bibiana Dimaté, asistente de publicaciones, ha sido de fundamental importancia en este proceso.

En mi condición de Presidente de la Academia me siento muy satisfecho con la forma como los miembros del comité están enfrentando los retos que tienen por delante. Tengo absoluta certeza de su eficiencia y estoy seguro de que alcanzarán las metas que se han trazado.

**Enrique Forero**  
Presidente

# THICK DISKS WITH NEWTONIAN MULTIPOLAR MOMENTS

Framsol López-Suspés<sup>1,2</sup>, Guillermo A. González<sup>2</sup>

## RESUMEN

**López-Suspés F., G. A. González:** Thick Disks with newtonian multipolar moments. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **37** (144): 299-???, 2013. ISSN 0370-3908.

Se presenta una nueva familia de discos gruesos newtonianos estables a partir del método de desplazamiento, corte, llenado y reflexión construidos en (González & Letelier, 2004; Vogt & Letelier, 2005). Soluciones de la ecuación de Laplace en coordenadas cilíndricas son consideradas, éstas representarán el campo gravitacional de objetos con momentos multipolares externos solamente. Se definen y calculan las cantidades físicas en el plano del disco, tales como, la frecuencia epicíclica,  $\kappa$ , la frecuencia vertical,  $\nu$ , y la velocidad circular,  $v_c$  de las partículas. Además, se determina la densidad superficial de masa,  $\sigma$ , la densidad del disco grueso,  $\rho$ , y el criterio de estabilidad de los discos gruesos a través del momentum angular o el criterio de Rayleigh (Rayleigh, 1917; Landau, 1987). Finalmente, se representan las propiedades físicas para algunos parámetros considerando sólo hasta el término cuadrupolar en la expansión multipolar del potencial gravitacional.

**Palabras clave:** Disco grueso, Rayleigh, frecuencia epicíclica, multipolos.

---

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia, E-mail: framsol@gmail.com

<sup>2</sup>Escuela de Física, Grupo de Investigación en Relatividad y Gravitación, Universidad Industrial de Santander, A. A. 678, Bucaramanga, Santander, Colombia, E-mail: guillego@uis.edu.co

## Abstract

We present a new family of stable thick discs from known *displace, cut, fill and reflect* method (González & Letelier, 2004; Vogt & Letelier, 2005) is presented. Solutions of the Laplace equation in cylindrical coordinates are considered, these one represent the gravitational field of objects with only external multipole moments. Are defined and calculated the physical quantities in the plane of the disk, such as, the epicyclic frequency,  $\kappa$ , the vertical frequency,  $\nu$ , and the circular velocity,  $v_c$  of particles. Also, it was calculated the surface density,  $\sigma$ , density of thick disk,  $\rho$ , and stability of thick disks through of specific angular momentum or Rayleigh criterion (Rayleigh, 1917), and (Landau, 1987). Finally, the physical properties are shown for only some parameters considering only until quadrupolar term in the expansion gravitational potential multipolar

**Key words:** Thick disk, Rayleigh, epicyclic frequency, and multipole.

## 1 Introduction

The obtention and interpretation of solutions of Laplace and Poisson equations constitute an arduous and interesting problem. During many years, it has been obtained by various methods, a large number of solutions of these equations. In particular, over the past four decades the collection and physical analysis of axially symmetric exact solutions of Laplace equations that represent discoidal configurations has raised a variety of works.

The Newtonian gravitational potential of a thick disk can be obtained by a simple procedure such as, the *displace, cut, fill and reflect* method, presented by (González & Letelier, 2004), and then expanded by (Vogt & Letelier, 2005), both cases they were based on known of *displace, cut, reflect* method, considered of (Kuzmin, 1956). Said method mathematically is based on making the transformation  $z \rightarrow h(z) + b$ , wherein  $b$  is a constant and  $h(z)$  an even function of  $z$ .

In the other hand, as is suggested by a wide variety of observational evidences, many astrophysical objects can be modeled as axially symmetric bodies with prolate or oblate deformation (Cooray, 2000; Davies & Birkinshaw, 1986; Fassano & Vio, 1991; Merritt, 1996; & Mosenkov et al, 2010). For example, some galaxies with a large disc component can be assumed as axisymmetric oblate bodies with a large quadrupolar moment and, in some cases, with a significant octupolar deformation due to the remaining components like the halo (Helmi, 2004).

In agreement with the above considerations, this paper we shall focus on the introduced by González and Letelier method (González & Letelier, 2004). The

paper is organized as follows. First, in section 2, we present a summary of the main aspects of the generalized thick disk. Then, in the section 3, we find the physical quantities in the plane the disk such as circular velocity  $v_c$  of particles, the epicyclic frequency,  $\kappa$ , the vertical frequency,  $\nu$ , surface density  $\sigma$ , and specific angular momentum,  $\ell$ . In next section, section 4, we present the differential equations of motion. Later in section 5, we review a new family of thick disks that meet the physical quantities and thus we construct a stable model. Finally, in section 6, we summarize the main results

## 2 Thick Disk Model

The gravitational potential  $\Phi(R, z)$ , in the case of Newtonian gravity in the vacuum, is a solution of the Laplace Equation, this is

$$\nabla^2 \Phi = \Phi_{,RR} + \frac{\Phi_{,R}}{R} + \Phi_{,zz} = 0, \quad (1)$$

where  $(R, \varphi, z)$  are the usual cylindrical coordinates. After we make the transformation  $z \rightarrow h(z) + b$ , the above equation becomes (González & Letelier, 2004)

$$\nabla^2 \Phi = h'' \Phi_{,h} + [(h')^2 - 1] \Phi_{,hh} = 4\pi G \rho, \quad (2)$$

where premiums indicate differentiation with respect to  $z$ ,  $G$  is the Gravitational constant and  $\rho = \rho(R, z)$  is the mass density. To ensure that the disc is located in  $|z| \geq a$ , the function  $h(z)$  outside the disk must be a linear function of  $z$  such that  $h'(z) = 1$ .

For the case of thick disks the function  $h(z)$  must be selected in such a way that  $\Phi$  and its first derivatives be continuous across the plane  $z = 0$ . Let us take a

function  $h(z)$  defined as (González & Letelier, 2004)

$$h(z) = \begin{cases} z - a/2 & , \quad z \geq a, \\ z^2/2a & , \quad -a \leq z \leq a, \\ -z - a/2 & , \quad z \leq -a. \end{cases} \quad (3)$$

Hence, by taking the function  $h(z)$  above defined we can generate disks of thickness  $2a$  located in the region  $-a \leq z \leq a$ .

### 3 Physical Quantities

The physical quantities of interest are evaluated in the plane the disk, these are the circular velocity,  $v_c$ , the epicyclic frequency,  $\kappa$ , and the vertical frequency,  $\nu$ , of small oscillations about the equilibrium circular orbit. They are found with the equations (Binney & Tremaine, 2008)

$$v_c^2 = R\Phi_{,R}, \quad (4)$$

$$\kappa^2 = \Phi_{,RR} + \frac{3}{R}\Phi_{,R}, \quad (5)$$

$$\nu^2 = \Phi_{,zz}, \quad (6)$$

$$\ell^2 = R^2 v_c^2, \quad (7)$$

where all quantities are evaluated in the plane  $z = 0$ . The stability conditions are set by  $\kappa^2 \geq 0$ ,  $\nu^2 \geq 0$ , and  $\ell^2 \geq 0$ , wherein  $\ell$  is the specific angular momentum known as Rayleigh criterion (Rayleigh, 1917; Landau, 1987).

In the case of thin disk the expression for the surface density,  $\sigma$ , can be obtained taking the function  $h(z) = |z|$ , and using the well-known relation of Gauss's theorem, one can write

$$\sigma = \frac{1}{2\pi G}\Phi_{,z}, \quad (8)$$

evaluated at  $z \rightarrow 0^+$ .

When  $|z| \geq a$  the function  $h(z)$  is a linear function of  $z$  such that  $h'(z) = 1$ . Hence, its second derivative is zero. Then the mass density vanish outside the disk. Since the first derivative is continuous at  $|z| = a$  and the second derivative piecewise constant we have that the mass density,  $\rho$ , will be well defined inside the disk, (González & Letelier, 2004)

$$\rho(R, z) = \frac{1}{4\pi G} \{h''\Phi_{,h} + [(h')^2 - 1]\Phi_{,hh}\}. \quad (9)$$

In this expression  $|z| \leq a$  and  $\rho = 0$  for  $|z| > a$ .

## 4 Equations of Motion

The motion of a test particle in a gravitational field described by (14), obeys the relations (Ramos-Caro, González & López-Suspès, 2008)

$$\dot{R} = V_R, \quad \dot{z} = V_z, \quad (10)$$

$$\dot{V}_R = -\frac{\partial}{\partial R}\Phi_{eff}, \quad \dot{V}_z = -\frac{\partial}{\partial z}\Phi_{eff}, \quad (11)$$

where  $\Phi_{eff}$  is the effective potential, given by

$$\Phi_{eff}(R, z) = \Phi(R, z) + \frac{\ell^2}{2R^2}. \quad (12)$$

Here,  $\ell = R^2\dot{\varphi}$  is the axial specific angular momentum that is conserved as a consequence of the axial symmetry. The second integral of motion is the total specific energy

$$E = \frac{1}{2}(V_R^2 + V_z^2) + \Phi_{eff}(R, z). \quad (13)$$

According to eqs. (10)-(13), the motion is restricted to a three dimensional phase space  $(R, z, V_R)$ . This fact enable us to introduce the Poincaré surfaces of section method, in order to investigate the trajectories of test particles. Note that the orbit of particle is confined to the plane defined by the effective potential, this plane is known as meridional plane.

## 5 One New Family of Thick Disk

We consider the axially symmetric gravitational field generated by a stellar body multipolar moments. In spherical coordinates  $(\mathcal{R}, \theta)$ , its potential has the form

$$\Phi_m(\mathcal{R}, \theta) = -\sum_{n=0}^m \frac{C_n P_n(\cos \theta)}{\mathcal{R}^{(n+1)}}, \quad (14)$$

where  $m \in \mathbb{Z}^+$  and  $C_n$  are constants related with the multipolar moments ( $2^n$  poles), we are interested in the future in test particle motion in the exterior of source, thus we regard only external multipolar moments. The relation with cylindrical coordinates are

$$\mathcal{R}^2 = R^2 + z^2, \quad \cos \theta = z/R. \quad (15)$$

with  $\mathcal{R} \geq 0$ ,  $R \in [0, \infty)$ ,  $z \in (-\infty, \infty)$  and  $0 \leq \theta \leq \pi$ .

As an example, if we chose the monopolar, dipolar, and quadrupolar terms, ie  $m = 2$ , thus we obtained the quantities

$$\nu^2 = \frac{2bC_0 (b^2 + R^2)^2 + 3bC_2 (2b^2 - 3R^2) + 2C_1 (2b^4 + b^2R^2 - R^4)}{2a (b^2 + R^2)^{7/2}}, \quad (16)$$

$$\kappa^2 = \frac{3(C_1 (8b^5 + 6b^3R^2 - 2bR^4) + C_2 (16b^4 - 18b^2R^2 + R^4))}{2(b^2 + R^2)^{9/2}} + \frac{2C_0 (4b^2 + R^2) (b^2 + R^2)^2}{2(b^2 + R^2)^{9/2}}, \quad (17)$$

$$\ell^2 = \frac{R^4 (2C_0 (b^2 + R^2)^2 + 6bC_1 (b^2 + R^2) + 3C_2 (4b^2 - R^2))}{2(b^2 + R^2)^{7/2}}, \quad (18)$$

$$v_c^2 = \frac{R^2 (2C_0 (b^2 + R^2)^2 + 6bC_1 (b^2 + R^2) + 3C_2 (4b^2 - R^2))}{2(b^2 + R^2)^{7/2}}, \quad (19)$$

$$\sigma = \frac{2bC_0 (b^2 + R^2)^2 + 3bC_2 (2b^2 - 3R^2) + 2C_1 (2b^4 + b^2R^2 - R^4)}{4\pi G (b^2 + R^2)^{7/2}}. \quad (20)$$

Here  $C_0, C_1, C_2$  are monopolar, dipolar, and quadrupolar terms, respectively. According to these equations we find the range

$$b > 0, \quad \text{and} \quad C_2 > \frac{1}{6}(-b^2C_0 - 3b) \quad (21)$$

wherein  $C_1 \in \mathbb{R}$  and  $C_0 > 0$ , so that the specific angular momentum and circular velocity are positives. Whereas the frecuencias epicyclic and vertical we find the intervals

$$C_2 \leq \frac{b^2C_0}{3}, \quad \text{and} \quad C_1 > \frac{-b^2C_0 - 6C_2}{3b}, \quad (22)$$

$$C_2 > \frac{1}{3}b^2C_0, \quad \text{and} \quad C_1 > \frac{-b^2C_0 - 3C_2}{2b} \quad (23)$$

respectively. Finally, for surface density we obtained

$$b > 0, \quad \text{and} \quad C_2 > \frac{1}{3}(-b^2C_0 - 2bC_1) \quad (24)$$

For example, we choose the following values for parameters  $C_0 = 5$ ,  $C_1 = 2$ ,  $C_2 = 3$  (prolate deformed objects),  $a = 10$ ,  $b = 3$  and  $G = 1$ , which satisfaced all quantities physicals and the model is stable. In the Fig.1, we show (a) Circular velocity. (b) Epicyclic frequency. (c) Vertical frequency. (d) Specific angular momentum. In Fig.2 we presented (a) Surface density. (b) Density of thick disk, for our stable model. The disk is stable in the plane to radial and vertical perturbations of its radius, Fig. 1(b) o Fig.1(d) and Fig.1(c), respectively. The circular velocity, and densities also have a behaviour appropriate Fig.1(a), Fig.2(a) and Fig.2(b).

## 6 Conclusiones

We present the mass density  $\rho$ , of a new family of thick disk considered *displace, cut, fill and reflect* method (González & Letelier, 2004; Vogt & Letelier, 2005). Also calculated of the physical quantities in plane the disk as circular velocity  $v_c$  of particles, the epicyclic frequency,  $\kappa$ , the vertical frequency,  $\nu$ , surface density  $\sigma$ , and specific angular momentum,  $\ell$ , the latter is used to determine the stability of the model (Rayleigh criterion).

We consider only the first three terms of multipolar expansion potential, ie the mass monopole, and terms dipolar and cuadrupolar. Thus, we can find an interval for which it meets all the physical quantities of the model, section 5. Then we chose some particular parameters for graphics of physical quantities of a specific model (Fig.1 and Fig.2). Additionally, we presented the equations of evolution of motion (section 4), work that we think developed in a later article to complete the models.

## Referencias

- Cooray, A. R.**, 2000. Galaxy clusters: oblate or prolate? MNRAS **313**, 783-788.
- Davies, R. L., Birkinshaw, M.**, 1986. NGC 4261 - A prolate elliptical galaxy. Ap. J. **303**, L45-L49.
- Fasano, G., Vio, R.**, 1991. Apparent and true flattening distribution of elliptical galaxies. MNRAS **249**, 629-633.
- González, G. A. & Letelier, P. S.**, 2004. Exact general relativistic thick disks, Phys. Rev. D, **69**, 044013.
- Vogt, D. & Letelier, P. S.**, 2005. New models of general relativistic static thick disks, Phys. Rev. D, **71**, 084030.
- Lord Rayleigh**, 1916. Proc. R. Soc. London A93, 148 (1916).

- Helmi, A.**, 2004. Is the dark halo of our Galaxy spherical? *MNRAS* **351**, 643-648.
- L.D. Landau and E.M. Lifshitz**, 1987, *Fluid Mechanics*, 2nd ed. (Pergamon Press, Oxford), Sec. 27.
- Kuzmin, G. G.**, 1956. Model of the steady Galaxy allowing of the triaxial distribution of velocities, *Astron. Zh.* **33**, 27.
- Merritt, D.**, 1996. Chaos and the Shapes of Elliptical Galaxies. *Science* **271**, 337-340.
- Mosenkov, A. V., Sotnikova, N. Ya., Reshetnikov, V. P.**, 2010. 2MASS photometry of edge-on spiral galaxies - I. Sample and general results. *MNRAS* **401**, 559-576.
- Binney, J. & Tremaine, S.**, 2008. *Galactic Dynamics*. 2nd ed. Princeton University Press.
- L.D. Landau, L. D. & Lifshitz, E.M.**, 1987. *Fluid Mechanics*, 2nd ed. Pergamon Press, Oxford, Sec. 27.
- Ramos, J. F. , González, G. A. & F.L. Suspes**, 2008. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **371**, 1873.
- L. Rayleigh.**, 1917. On the Dynamics of Revolving Fluids. *Proc. S. Soc. Lond. Ser. A*, **93**:148.

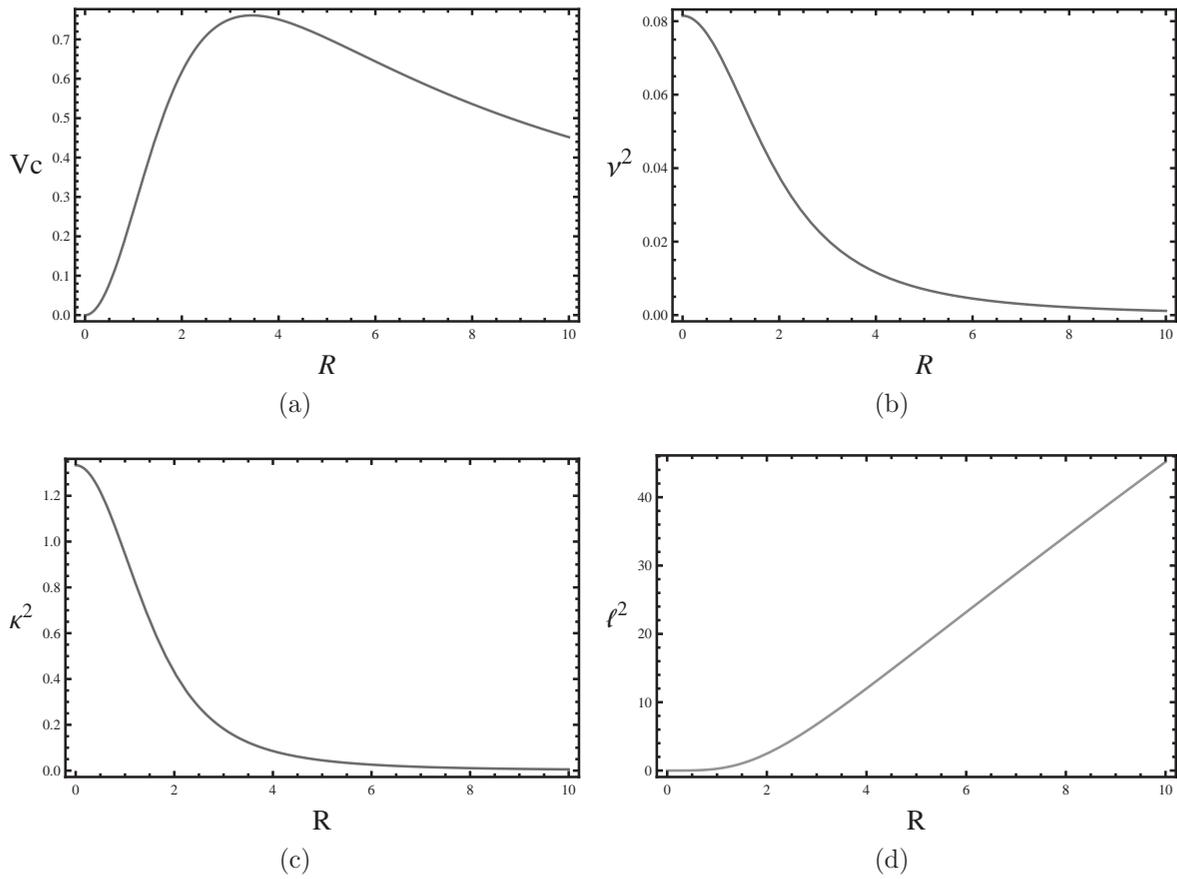


Figure 1: (a) Circular velocity. (b) Epicyclic frequency. (c) Vertical frequency. (d) Specific angular momentum. The parameters utilized are  $C_0 = 5$ ,  $C_1 = 2$ ,  $C_2 = 3$ ,  $a = 10$ ,  $b = 3$ .

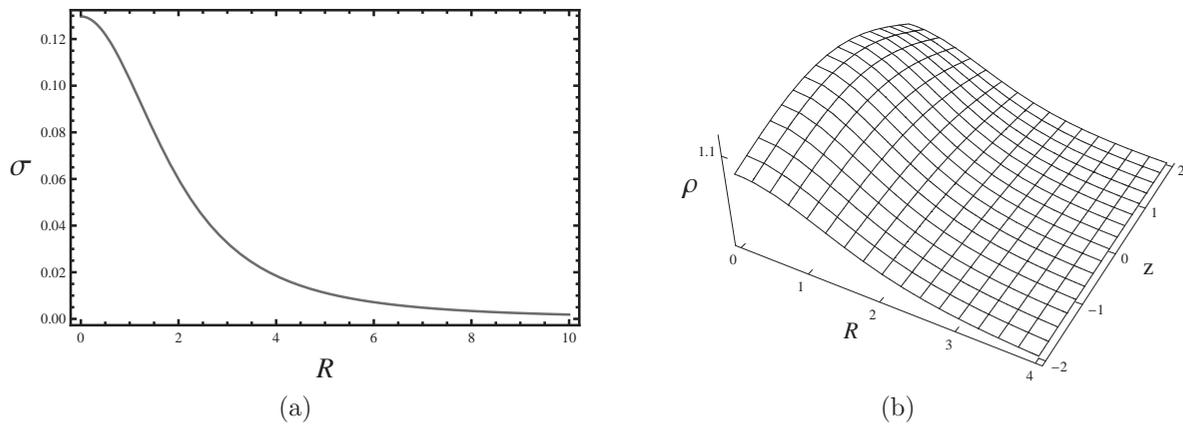


Figure 2: (a) Surface density. (b) Density of thick disk. The parameters used are  $C_0 = 5$ ,  $C_1 = 2$ ,  $C_2 = 3$ ,  $a = 10$ ,  $b = 3$ .

***COLUMNNEA CORRALESII*, A NEW SPECIES OF GESNERIACEAE  
FROM COLOMBIA**

***COLUMNNEA CORRALESII*, UNA NUEVA ESPECIE DE GESNERIACEAE  
DE COLOMBIA**

Marisol Amaya-Márquez\*, James Foley Smith\*\*

**ABSTRACT**

**Amaya-Márquez M., J. Foley Smith:** *Columnnea corralesii*, a new species of gesneriaceae from Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 37 (144): 305-???, 2013. ISSN 0370-3908.

A new species of *Columnnea* belonging to section *Ortholoma* (Gesneriaceae) from Antioquia Department in Colombia (Cordillera Occidental) is described and illustrated. This species is the second one known in *Columnnea* to have a corolla with 4 external appendages; the first one described with this trait was *C. paraguensis*. This trait adds to the knowledge on the diversity of corolla architecture in *Columnnea*, and points out an effect of pollinators on the diversification process in this plant lineage.

**Key words:** *Ortholoma*, *Columnnea*, Gesneriaceae, Colombia, Antioquia, Plant Taxonomy, Flora of Colombia.

**RESUMEN**

Se describe e ilustra una nueva especie de *Columnnea* perteneciente a la sección *Ortholoma* (Gesneriaceae) para el departamento de Antioquia en Colombia (Cordillera Occidental). Esta especie es la segunda conocida dentro de *Columnnea* por tener una corola con 4 apéndices externos; la primera descrita con esta característica fue *C. paraguensis*. Esta característica aumenta el conocimiento sobre la diversidad en la arquitectura de la corola en *Columnnea*, e indica un efecto de los polinizadores en el proceso de diversificación de este linaje de plantas.

**Palabras clave:** *Ortholoma*, *Columnnea*, Gesneriaceae, Colombia, Antioquia, Taxonomía de Plantas, Flora de Colombia.

**Introduction**

Studies on the taxonomy of *Columnnea* have shown several changes during the past few years. The phylogenetic classification resulting from molecular data indicates changes at

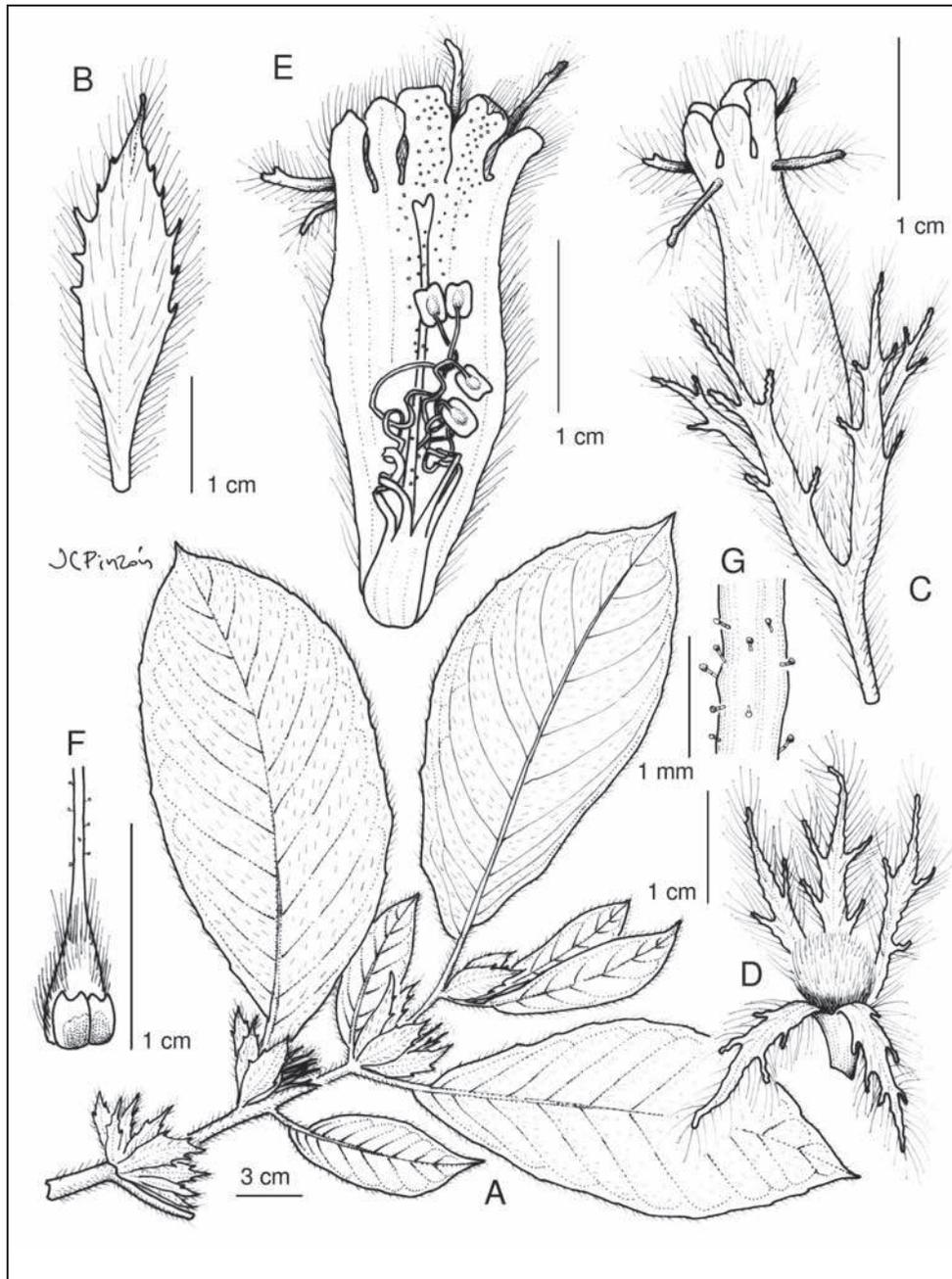
sectional classification (Smith *et al.* 2013a.). In addition, several new species of *Columnnea* have been discovered either as the result of new expeditions to South America to collect Gesneriaceae (Clark & Smith 2011, Amaya-Márquez & Clark 2011; Amaya-Márquez & Smith 2012; Amaya-Már-

\* Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá, Colombia. mamayam@unal.edu.co

\*\* Department of Biological Science, Boise State University 1910 University Drive, Boise ID 83725, U.S.A. jfsmith@boisestate.edu

quez & Marín-Gómez 2012; Smith *et al.* 2013b) or as the result of revising thousands of herbarium specimens during the last seven years by J. F. Smith for the treatment of section *Ortholoma* and M. Amaya-Márquez, L. E. Skog, and L. P. Kvist for the treatment of section *Collandra* (Amaya-

Márquez 2010a, 2010b). *Columnnea corralesii*, the new species reported in this paper, was discovered as a specimen in herbaria that did not match any previously described species. This species belongs to the group of species within section *Ortholoma* that have external appendages on the corolla; we



**Figure 1.** *Columnnea corralesii* M. Amaya & J. F. Smith **A.** Vegetative and reproductive shoots showing the anisophylly in the pair of leaves per node, and the conspicuous inflorescences with several bracts of different size. **B.** Bract. **C.** Flower. **D.** Calyx. **E.** Corolla dissected to show interior glabrous surface, except on the dorsal lobes where it is densely glandular; androecium curled toward the corolla base indicating the flower was in the female stage. **F.** Nectary, two connate glands dorsal to the ovary. **G.** Detail of glandular indumentum on the style.

assign this species to section *Ortholoma* until a new name for this group of species is available.

***Columnnea corralesii*** M. Amaya & J. F. Smith, sp. nov. Figure 1.

TYPE: COLOMBIA. **Antioquia:** municipio de Frontino, corregimiento de Nutibara, cuenca alta del Río Cuevas, 2070 m alt., 17 Nov. 1986, *Sánchez, D. et al.* 477 (holotype: COL, isotype: MEDEL).

*Columnnea corralesii* differs from *C. paraguensis* by having larger petioles, 11-12 veins on the larger leaf of each node, 8-12 bracts per inflorescence, and a red corolla with a subactinomorphic limb. The smaller leaf in each node is five times larger than in *C. paraguensis*.

**Suffrutescent** 2 m high; stem subterete, 0.5-0.9 cm diam., indument reddish pilose (15-18 celled trichomes); internodes 2.5-5 cm long. **Leaves** opposite, anisophyllous in a pair, papyraceous; larger leaf petiolate, petioles 3-3.5 cm long, pilose (10-12 celled trichomes); blade asymmetrical, oblong, 19-21 X 8-10 cm, base oblique, shorter side acute, longer side rounded, apex acute, margin dentate, adaxially green, densely reddish pubescent (4-7 celled trichomes), veins obscure; abaxially green, sparsely reddish villous (7-11 celled trichomes), 11-12 veins on the larger side of the blade; smaller leaf petiolate, petioles 1-1.8 cm; pilose (10-12 celled trichomes), blade asymmetrical, oblong to narrow oblong, 6.6-7 X 2.2-3 cm, base oblique, apex acuminate, margin dentate, adaxially green, reddish pubescent (4-7 celled trichomes), veins obscure; abaxially reddish villous (10 celled trichomes), 6-8

veins on the larger side of the blade. **Inflorescence** fasciculate of 4 flowers in the axil of each leaf; bracts 8-12, lanceolate, 1-3.3 X 0.2-1.1 cm, abaxially reddish villous (7-12 celled trichomes), adaxially densely reddish villous (7-12 celled trichomes), margin dentate, teeth 5 per side, subulate, ciliate. **Flower** shortly pedicellate, pedicel 0.1-0.5 cm long, pilose (10-15 celled trichomes). **Calyx** asymmetrical, sepals free, unequal, lanceolate, 1.6-2 X 0.2-0.3 cm, adaxially golden villous (10-15 celled trichomes), abaxially golden villous (10-15 celled trichomes), margin lacinate (2 segments per side). **Corolla** red, tube sigmoid, subventricose, slightly constricted at corolla base and throat, curved down at the limb; with four external appendages between the lobes, each lobe 4 mm long; corolla tube 3-3.5 cm long, 0.5-0.7 in the middle, 0.4 cm wide at the throat, constricted at the base 0.4 cm, base dorsally gibbous, gibba 0.4-0.5 X 0.4-0.5 cm, limb subactinomorphic, lobes erect, subequal, oblong, 0.4-0.5 X 0.3-0.4 cm; outside densely lanate (12-15 celled trichomes), inside glabrous, except on the two dorsal lobes where it is densely glandular. **Androecium** of 4 stamens, filament 2.8 cm long, glabrous, basally connate by 0.4 cm of their length forming a staminal blade; anther sagittate, 0.3 X 0.2 cm. **Gynoecium** with a conical ovary, densely sericeous, 0.4 X 0.5 cm, style 3 cm long, glandular along its length; stigma bilobed. **Nectary** of two bidentate glands 2 X 2 mm each, basally dark colored. **Fruit** not seen when mature. **Seeds** not seen.

**Etymology.** The species is named after the philosopher José Enrique Corrales Enciso to acknowledge his contribution to build up the Faculty of the National University of Colombia. As the founder of the professor's Cooperative he put his vi-

**Table 1.** Comparison of *C. corralesii* M. Amaya & J. F. Smith with *C. paraguensis* M. Amaya & J. F. Smith

Character	<i>C. CORRALESII</i> M. Amaya & J. F. Smith	<i>C. paraguensis</i> M. Amaya & J. F. Smith
Petiole of larger leaf	3-3.5 cm	0.4-1 cm
Number of veins on the larger leaf	11-12	9-10
Petiole of shorter leaf	1-1.8 cm	Sessile
Shorter leaf's size	6.6-7 X 2-3	1.3-2 X 0.2-0.3 cm
Number of bracts	8-12	2
Bracts' size	1-3.3 X 0.2-1 cm	1.8-2.4 X 0.2-0.3 cm
Sepal	Adaxially golden villous	Adaxially glandular
Corolla orientation respect to the calyx	Slightly oblique	Erect
Corolla color	Red	Yellow
Corolla limb symmetry	Subactinomorphic	Bilabiate
Corolla length	3-3.5 cm	2.4 cm
Filament indument	glabrous	Pilose (unicellular trichomes)
Style length	3 cm	1.8 cm

sionary ideas and leadership to the service of the community, and with that he has helped to make economic and spiritual dreams true.

**Phenology:** Flowers recorded only in November with immature fruits at this time.

**Distribution.** *Columnnea corralesii* is only known from the Andean forests in Colombia. The species was recorded on the West Cordillera at the municipality of Frontino, Department of Antioquia, at 2070 m of elevation, and at the moment is only known for the type specimen.

**Distinctive features.** *Columnnea* *corralesii* similar to *C. paraguensis* by having the larger leaf of each node closer in size (19-21 X 8-10 in *C. corralesii*; 15-16 X 5.-5.5 cm in *C. paraguensis*) and both with oblique bases; both species have pedicels between 0.1-0.6 cm long, sepals that are free, lanceolate and with laciniate margins, and corollas that are sigmoid with 4 external appendages at the limb. However, despite these common traits, the two species can be easily separated by a set of characteristics presented in Table 1.

### Acknowledgments

To the National University of Colombia for the opportunity to do research. To Diego Giraldo-Cañas for revising the manuscript and making valuable suggestions. To Juan Carlos Pinzón for the drawings.

### References

- Amaya-Márquez, M. 2010 a. Una nueva especie de *Columnnea* (Gesneriaceae) de la cordillera Oriental en los Andes Colombianos. *Caldasia* 32(1): 113-116.
- Amaya-Márquez, M. 2010 b. Novedades Taxonómicas en el género *Columnnea* (Gesneriaceae). *Rev. Acad. Colomb. Ci. Ex. Fis. Nat.* 34 (132): 301-307.
- Amaya-Márquez, M. & J. L. Clark. 2011. *Columnnea bivalvis* (Gesneriaceae), a new species from the Eastern slopes of the Ecuadorian Andes. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 5(1):75-79.
- Amaya-Márquez, M. & O. H. Marín-Gómez. 2012. *Columnnea rangelii* (Gesneriaceae), a new species from the Serranía de los Paraguas in the Colombian Andes. *Caldasia* 34(1): 69-74.
- Amaya-Márquez, M. & J. F. Smith. 2012. A rare new species of *Columnnea* (Gesneriaceae) from "Cordillera Occidental" in the Colombian Andes. *Rev. Acad. Colomb. Ci. Ex. Fis. Nat.* 23(139): 13-16.
- Clark, J. L. & J. F. Smith. 2011. *Columnnea pygmaea* (Gesneriaceae), a new species from Northwestern Ecuador. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 5(1): 87-95.
- Smith, J. F., M. T.-Y. Ooi, L. Schulte, M. Amaya-Márquez, R. Pritchard, & J. L. Clark. 2013 a. Searching for monophyly in the subgeneric classification systems of *Columnnea* (Gesneriaceae). *Selbyana* 31: 126-142.
- Smith, J. F., M. Amaya-Márquez, O. H. Marín-Gómez, & J. L. Clark. 2013 b. Four new species of *Columnnea* (Gesneriaceae) with primary distributions in Colombia. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 7: 667-679.

# TÉCNICAS Y PROCESAMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y MONTAJE DE MARIPOSAS EN ESTUDIOS DE BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN. (LEPIDOPTERA: HESPEROIDEA – PAPILIONOIDEA)

M. Gonzalo Andrade-C.\*, Efraín Reinel Henao Bañol\*\*, Paola Triviño \*\*\*

## RESUMEN

**Andrade-C., M.G., E.R. Henao Bañol, P. Triviño.** Técnicas y procesamiento para la recolección, preservación y montaje de Mariposas en estudios de biodiversidad y conservación. (Lepidoptera: Hesperoidea – Papilionoidea) Rev. Acad. Colomb. Cienc. 37 (144): 305-???, 2013. ISSN 0370-3908.

Se presenta las técnicas que existen actualmente para los estudios de biodiversidad y conservación de mariposas, se explica como se deben recolectar y preservar, qué tipo de trampas se pueden utilizar, metodologías de muestreo, cómo se pueden observar, qué técnica se utiliza para el estudio de los órganos genitales y la venación de las alas; así mismo cómo es el procedimiento para el extendido de sus alas. Se indican los tipos de muebles y cajas en que se deben guardar las mariposas en una colección biológica, las etiquetas que deben llevar una vez son incluidas en una colección, así como el color de las etiquetas que identifican los tipos y se finaliza indicando el método y la forma de hacer fotografías de ejemplares debidamente preservados.

**Palabras clave:** Colombia, Mariposas, Biodiversidad, Conservación, Recolección Preservación, Montaje.

## ABSTRACT

We present the techniques currently exist for biodiversity studies and conservation of butterflies, explains how you should collect and preserve, which kind of traps can be used, sampling methodologies, as you can see, that technique is used to study of genital organs and wing venation, likewise as the procedure for their wings extended, in what types of furniture and boxes should be stored in a collection of butterflies biological, labels must wear once are included in a collection, and the color of the labels that identify the types and ends indicating the method and how to take pictures properly preserved specimens.

**Key words:** Colombia, Butterflies, Biodiversity, Conservation, Recollection, Preservation, Assembly.

---

\* Profesor Asociado, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Email: mgandradec@unal.edu.co Twitter: @gonzaloandradec

\*\* M.Sc., candidato a Doctor en Ciencias – Biología, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Email: erhenaob@unal.edu.co

\*\*\* Bióloga, estudiante M.Sc. en ciencias – Biología, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Email: paola.trivino.cruz@gmail.com

## Introducción

Una colección biológica es útil por que sirve para sustentar la biodiversidad del país, nos permite documentar la distribución de las especies y son la base fundamental para la clasificación, sistemática y biogeografía, disciplinas que son esenciales para la conservación. Así mismo las colecciones nos ayudan a identificar especies amenazadas, áreas de endemismos o de alta biodiversidad y establecer prioridades de conservación, en otras palabras son una biblioteca biológica.

Los organismos que están depositados en una colección biológica siempre permitirán consultas posteriores a futuras generaciones y a expertos en los grupos para confirmar, corregir o precisar las identificaciones. Estas funcionan en la medida que se estudien sus ejemplares y sus resultados sean publicados; las colecciones permiten comparaciones de ejemplares recolectados por diferentes personas, en diferentes lugares y en distintos tiempos.

Por lo mismo, la conservación de las colecciones biológicas es de vital importancia para mantener, en el mejor estado posible, los ejemplares que se encuentran depositados en ellas. Se requieren de técnicas y procedimientos de mantenimiento acorde con los organismos que se encuentren depositados y según las necesidades; sin embargo, toda colección biológica, está expuesta a múltiples agentes de deterioro biológico que pueden causar daños, algunas veces irreparables (Llorente 1990, Llorente y Castro 2002).

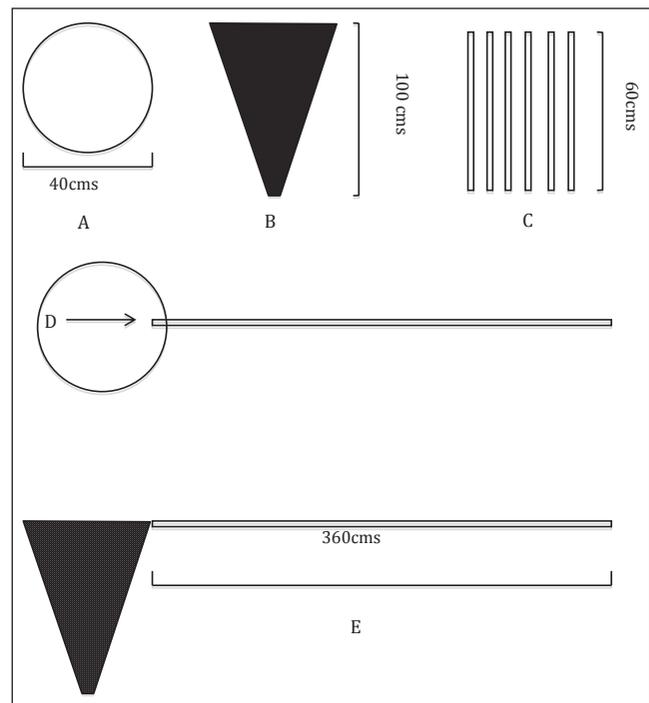
El propósito de este artículo es indicar las diversas técnicas para la recolección, preservación y montaje de mariposas en estudios de biodiversidad y conservación, que permita que los investigadores interesados en el estudio de las mariposas tengan criterios para decidir cuáles son las mejores técnicas; hay procedimientos que consideramos no son adecuados como lo mencionado por Villareal et al. 2006, en donde recomiendan utilizar la inyección de etanol o acetato de etilo en el tórax del ejemplar para su sacrificio.

## 1. Técnicas de recolección

Para el trabajo con mariposas en el medio silvestre hay dos técnicas básicas de recolección:

### 1.1 Red Entomológica

También llamada red lepidopterológica o jama. Ésta consiste en un aro de 40 cm de diámetro (Figura 1A), tiene un cono en tela de tul muy suave, el largo del cono es de 100 cm y la punta de este cono debe terminar de manera redondeada, para evitar daño alar al ingresar en la red (Figura 1B); el mango de la red, está conformado de varias secciones, máxi-



**Figura 1.** Red entomológica: **A.** Diámetro de aro de la red, **B.** Malla en tela suave (Nylon), la punta de la red no es aguda, **C.** Secciones de la red, **D.** Tornillo que sujeta el aro con la malla, **E.** Red terminada en vista horizontal.

mo 6, de 60 cm cada una, que se unen entre sí (Figura 1C); el aro con la red se sujeta a la primera sección con un tornillo (Figura 1D), una vez unido este aro a las secciones se tendrá una red de 4 m de largo. Ésta red se utiliza para la captura de ejemplares en cualquier tipo de ecosistema (Figura 1E).

### 1.2 Trampa van Someren-Rydon

Esta trampa consiste en un cono de tela tul suave, generalmente de color negro o verde, el cual tiene tapado la parte superior (Figura 2A), hacia la mitad del cono debe tener un sistema de apertura y cierre rápido (Velcrom) para poder sacar los ejemplares, la parte inferior del cono no debe estar cerrada, en este debe haber una base con un plato en donde se coloca el cebo, la distancia entre la parte inferior de la trampa y la base no debe superar 2.5 cm. (Figura 2B).

## 2. Técnica de sacrificio de las mariposas

### 2.1 Técnica de presión digital en el tórax

Un ejemplar debe ser sacrificado únicamente cuando se tienen objetivos o fines de investigación científica. Utilizando



**Figura 2.** Trampa Van Someren-Rydon. **A.** Vista completa de la trampa, **B.** Detalle del Plato con cebo.

los dedos pulgar e índice se hace presión, según el tamaño del ejemplar, en el tórax de la mariposa, exactamente entre el meso y meta tórax, debe tener cuidado de no presionar o tocar las alas por que podrían quedar marcas de las huellas digitales y el ejemplar se estropearía. (Figura 3).



**Figura 3.** Técnica de presión digital en el tórax.

Esta técnica es la más utilizada por los que trabajan con mariposas, ya que además de permitir preservar el ejemplar en perfecto estado, no daña sus tejidos. Nunca utilice una jeringa para inyectar algún líquido (alcohol, acetato de etilo, acetona, etc, ) con el fin de sacrificarla, ya que esto hace que el ejemplar sufra daños posteriores, especialmente por la humedad que termina degradando el ADN y no permite análisis moleculares posteriores.

Según Márquez (2005) las mariposas pueden ser sacrificadas utilizando una cámara letal que puede contener cianuro

de potasio, acetato de etilo, éter o cloroformo, sustancias tóxicas que provocan la asfixia en los insectos. Sin embargo, tampoco es recomendable esta técnica ya que produce deterioro de las alas en el momento de su muerte, daños en los tejidos e impide hacer un análisis molecular.

De manera general podemos recomendar el sacrificio mediante choque térmico, es decir, empleando las bajas temperaturas para evitar daños en los ejemplares y así poder garantizar el empleo de sus moléculas constituyentes en futuros análisis de ADN.

### 3. Técnicas de Preservación

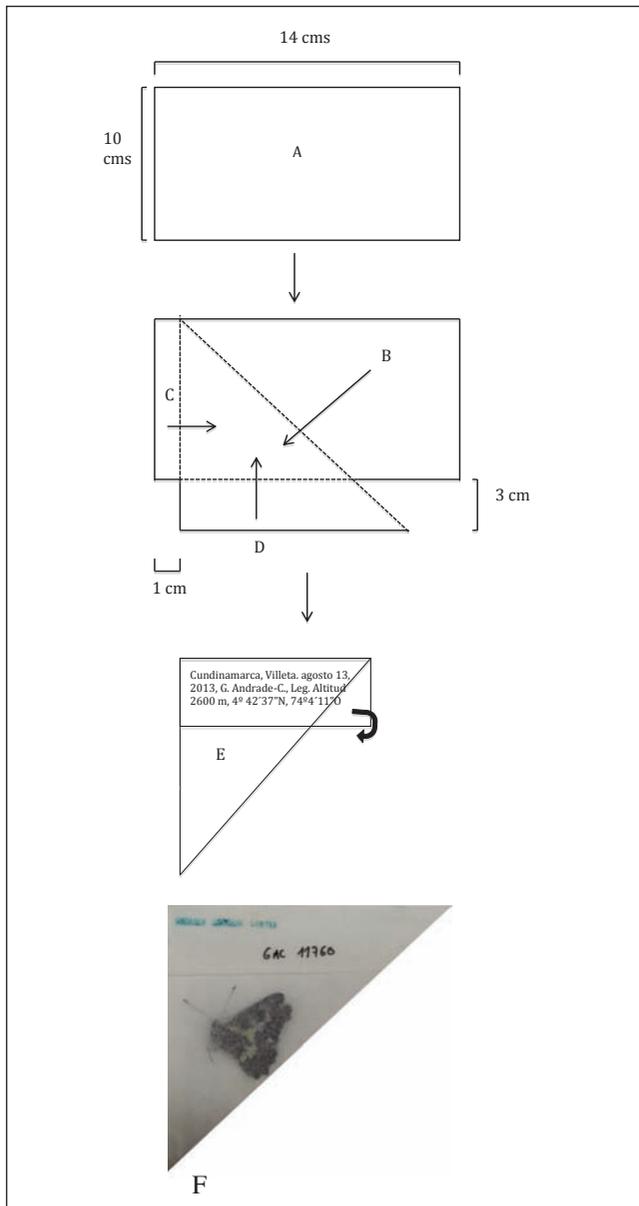
#### 3.1 Preservación en seco

##### 3.1.1 Triángulo de papel milano o glassine

El triángulo de papel se utiliza como sobre para depositar el ejemplar que se recolecta, este sobre se puede hacer manualmente, utilizando papel milano blanco (casi transparente), para esto se debe recortar un rectángulo de 10 x 14 centímetros (Figura 4A), se debe doblar un extremo sobre uno de sus lados teniendo cuidado de dejar dos de sus lados libres, uno de 1 cm y el otro de 3 cm (Figura 4B); a continuación en el lado libre de 1 cm frote un poco de pegante en barra sobre la superficie y pegue haciendo un segundo dobles (Figura 4C); en el lado libre de 3 cm haga un tercer dobles, sin colocar pegante ya que este será utilizado como tapa del sobre (Figura 4D).

Una vez recolectado el ejemplar colóquelo entre el sobre (Figura 4E), en la tapa se debe colocar los datos de la localidad

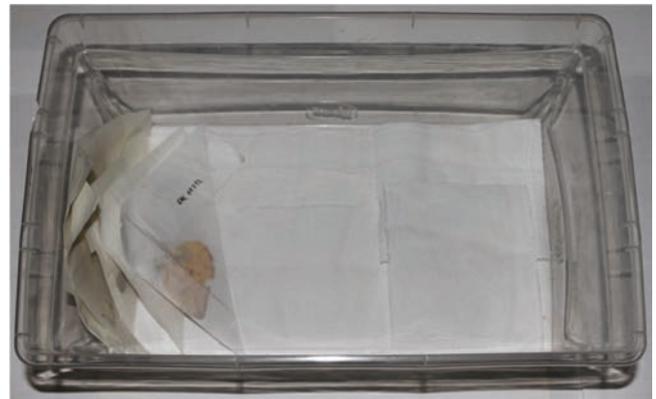
de recolecta en siguiente orden Departamento, municipio, vereda o inspección de policía, lugar, fecha de recolecta, nombre del recolector, altitud, y coordenadas geográficas tomadas con un GPS directamente en campo y numero de campo del recolector; también puede colocar en la tapa del sobre el nombre del recolector y su numero de campo y en la libreta de campo los respectivos datos de la localidad de recolecta (Figura 4F).



**Figura 4.** Triángulo de papel milano o glasine. **A.** rectángulo de papel milano, **B.** primer dobles, **C.** Segundo dobles y pegar con pegante de papel, **D.** Tercer dobles para hacer la tapa del sobre, **E.** Sobre con los datos de la localidad de recolecta del espécimen. **F.** Sobre marcado con número de campo del recolector.

### 3.1.2 Técnica de relajación o ablandamiento de ejemplares secos

Después de recolectar los ejemplares, se recomienda realizar los montajes en el menor tiempo posible, pero si han pasado más de 3 días, es necesario ablandar los ejemplares, para poder realizar el montaje. Los ejemplares deben ser rehidratados en cámaras húmedas. (Figura 5). A continuación se enumerarán los pasos recomendados para realizar el ablandamiento.



**Figura 5.** Técnica de humedecimiento de ejemplares secos.

- Tome los sobres de los ejemplares recolectados y cerciórese que cada sobre posea los datos de procedencia o tengan el respectivo código del recolector.
- Seleccione un recipiente hermético adecuado según la cantidad y tamaño de los ejemplares que van a ser hidratados.
- Introduzca en el recipiente un papel o paño absorbente y humedezca con agua de grifo suficientemente pero sin exceso, es decir que no se haga una laguna en el recipiente y agregue cerca de 1 cc de alcohol al 70% para evitar que se produzcan hongos y el material se pueda dañar.
- Se recomienda colocar en la base del recipiente una malla para evitar el contacto directo del papel o paño con el sobre de papel que contiene la mariposa.
- Deje durante 24 a 48 horas máximo el ejemplar para que se hidrate, hasta que adquiera la soltura suficiente, como si estuviese recién recolectado.

### 3.1.3 Técnica de montaje

Antes de iniciar el montaje se recomienda realizar un masaje en los músculos alares previamente a la extensión alar, este

masaje se realiza ejerciendo una presión digital suavemente en el tórax del ejemplar y con ayuda de pinzas entomológicas presionando el borde costal de las alas anteriores con movimientos suaves tanto de apertura como de extensión alar.

- Después de tener el ejemplar relajado, proceda a su montaje en una base de madera de balso o de poliestireno expandido (Figura 6), de la siguiente manera: Abra las alas con ayuda de pinza entomológica de punta plana y sin estrías (Figura 22E), inserte el alfiler entomológico N° 1 o 2 en el centro del mesotórax, (según desee extender el ejemplar, es decir ventral o dorsalmente).
- Mediante ayuda de una tira de papel milano o plástico delgado sujete las alas del ejemplar a la superficie de la tabla de extensión. (Figura 6).
- Con ayuda de pinzas de punta plana o alfileres entomológicos suba o baje según sea el caso, las alas anteriores,

posicionando el borde inferior en ángulo de  $90^{\circ}$  respecto al cuerpo del ejemplar, ancle con alfileres la tira de papel bordeando la superficie del ala (no rompa el ala) y termine de posicionar las alas posteriores con un ángulo de abertura de  $15^{\circ}$  o  $20^{\circ}$ . De igual manera realice este procedimiento con ayuda de alfileres para sujetar el ala, pero no rompa la membrana alar, tenga cuidado de solo utilizar la inserción de los alfileres alrededor de los bordes alares para presionar. (Figura 6).

- Se recomienda realizar montaje tanto dorsal como ventral especialmente en grupos de coloración oscura o transparente o de difícil determinación como Nymphalidae (Satyrini – Ithomiini); Hesperidae, Riodinidae y Lycaenidae.
- En el caso del montaje de mariposas de la subfamilia Dismorphinae, hay que dejar visible la mancha androconial ya que esta es un buen carácter de identificación a nivel de especie (Figura 7A) y para la subfamilia He-

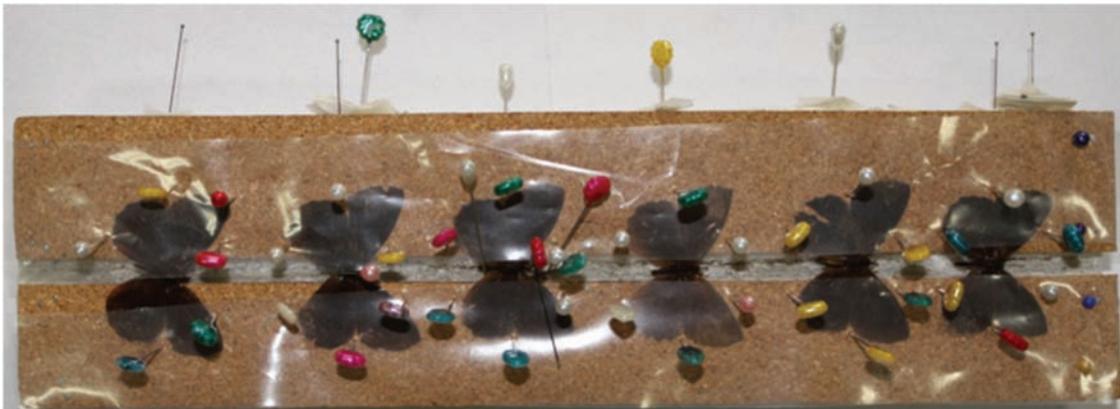


Figura 6. Técnica de montaje. Extendedor de Poliestireno expandido.



Figura 7. A. Montaje de Dismorphinae. B. Montaje de Heliconiinae.

liconiinae, debe quedar visible la mancha que esta en el margen costal del ala posterior, (Figura 7B).

- f. Los ejemplares deben quedar en lugares frescos y con poca luz durante mínimo cuatro o cinco días y según las condiciones ambientales, es decir si los días son muy lluviosos es preferible dejarlos mas tiempo.

### 3.1.4 Cajas entomológicas en una colección de mariposas

#### 3.1.4.1 Caja tipo Cornell

La caja en donde se deposita el ejemplar en una colección tiene una medida estándar (48.3 x 42 x 7.7 cm) elaborada en madera con tapa de vidrio para ver el interior. En su interior se coloca una lámina de espuma elaborada con base en un polímero termoplástico conformado por etileno vinil acetato de color blanco con un espesor de 1 cm. (Figura 8).



**Figura 8.** Caja tipo Cornell para mariposas.



**Figura 9.** Cajas tipo Cornell con sus rótulos.

La caja en su exterior debe llevar varios rótulos o etiquetas que contengan información sobre el orden, familia, subfamilia, tribu, género, especie y subespecie, dependiendo del caso. Se recomienda que la caja sea elaborada en una madera no demasiado delgada o extra gruesa, y debe estar barnizada con laca transparente. (Figura 9).

Estas cajas, con los ejemplares de mariposas se encuentran en muebles compactos con cierre hermético, este tipo de muebles sirven para ahorrar espacio ya que mientras no está en uso la colección se mantienen cerrados sus módulos (Figura 10).



**Figura 10.** Armario compacto con cajas de colección de mariposas en el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia.

#### 3.1.4.2 Caja tipo Schmidt

Esta caja tiene una dimensión de 22.9 x 33 x 6.4 cm, sirve para depositar mariposas extendidas pero también pueden ser usadas para mantener duplicados de ejemplares en triángulos de papel milano. (Figura 11).



**Figura 11.** Caja tipo Schmidt.

### 3.2 Preservación en líquido

Para preservar los órganos genitales después de su extracción, se deben guardar en micro vial de polietileno o de vidrio, de 4 mm de diámetro (2.5 mm x 10 mm) en su interior se deposita glicerina, este micro vial debe tener un número de disección del órgano genital, el cual debe corresponder con una copia de esta etiqueta que debe tener el ejemplar del cual se extrae.

Se pueden archivar de dos formas: adjuntar el micro vial al ejemplar o almacenar varios en un frasco de mayor tamaño, el cual es saturado con alcohol al 70% (Figura 12), este recipiente debe ser rotulado para una mejor ubicación de las muestras. Es necesario que se revisen periódicamente los frascos, con el fin de reponer el alcohol evaporado o cambiarlo, según sea necesario. Se recomienda destinar un lugar fresco, oscuro y seco para la ubicación de las muestras y así, evitar su deterioro (Márquez 2005).



**Figura 12.** Frasco con órganos genitales de mariposas para su estudio.

### 3.3 Preservación en preparaciones

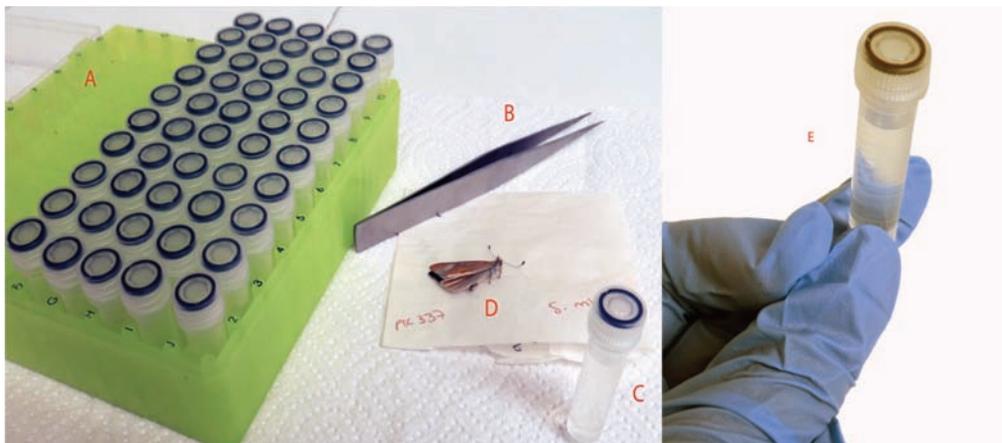
Es común, en algunos casos, que se necesiten realizar preservaciones de ejemplares o de sus partes en laminas portaobjetos, se recomienda emplear materiales de larga durabilidad y naturaleza neutra para garantizar su preservación a futuro. Antiguamente era muy común el montaje de escleritos, partes u órganos genitales en láminas portaobjeto y aún en algunas colecciones se continúa con esta tradición, sin embargo, no recomendamos esta técnica debido a que las estructuras quedan fijadas y no permiten ver la dimensionalidad completa de la estructura.

### 3.4 Colección de tejidos

#### 3.4.1 Procedimientos toma de muestras de ADN en fresco

Lo ideal es tomar el tejido inmediatamente después del sacrificio de la mariposa. Es necesario que en el campo se tengan los reactivos e implementos necesarios, pinzas, tijeras finas de disección (Figura 22D), tubos para PCR también llamados tubos *Eppendorf* (Figura 13C) y según sea el caso, el reactivo elegido para su almacenamiento, alcohol analítico, nitrógeno líquido o DMSO/EDTA (Figura 13E). (Márquez 2005, Shokralla *et al.* 2010, Salazar *et al.* 2010, Gemeinholzer *et al.* 2010). Si no se cuenta en campo con todos los implementos necesarios para la adecuada preservación de las muestras, se recomienda que el procedimiento se realice antes de llevar a cabo el proceso de ablandamiento en el laboratorio, antes de su montaje. Lo anterior debido a que la humedad que requiere este proceso, es un factor que degrada el ADN.

Cualquier parte del cuerpo de un ejemplar podría ser usada para análisis molecular, sin embargo, se recomienda tomar como muestra dos patas. Esto se hace porque es importante



**Figura 13.** Implementos para obtener tejidos en campo. **A.** Gradilla para tubos PCR o tubos *Eppendorf*, **B.** Pinzas de punta fina, **C.** Tubo *Eppendorf*, **D.** Ejemplar fresco, **E.** Reactivo para el almacenamiento de la muestra, en este caso, Etanol de grado analítico (96%).

mantener un *voucher*, o registro, que conserve el valor taxonómico del ejemplar y que pueda ser usado en estudios de tipo morfológico. Como recomendación, se pueden desprender las dos patas del ejemplar para ser guardadas en seco en un vial estéril.

Para tomar el tejido se usan unas pinzas de punta fina (Figura 13B) y tijeras esterilizadas (Figura 22F), estos implementos en cada ejemplar deben ser esterilizados. Posteriormente, se deposita la muestra en un tubo para PCR estéril (Figura 13C), debidamente etiquetado y que contenga el reactivo elegido para el almacenamiento de la muestra (Figura 13E), (Gemeinholzer et al. 2010).

#### 3.4.2 Procedimiento para preservación en colección de tejidos

Una colección de tejidos se realiza con el fin de preservar las muestras de especímenes y busca garantizar su integridad para que puedan ser usadas en análisis moleculares. Es necesario destinar un espacio acondicionado para su mantenimiento y establecer protocolos para su manejo. Existen varias alternativas en la obtención, manejo y transporte de muestras, para el trabajo con mariposas se resaltan dos, el congelado en seco y en líquido.

Una vez obtenido el tejido, se debe procurar que no esté expuesto a factores como, cambios de pH (Mesa 2006) y temperaturas altas, ya que las enzimas y reacciones químicas que degradan el ADN tienen un óptimo de funcionamiento alrededor de los 37-40 °C. Se recomienda congelar las muestras, en refrigeradores que las mantengan a -20°C; refrigeradores Ultra (-80°C) o, idealmente, usando Nitrógeno líquido que las puede mantener a -180°C (Doorenweerd & Beentjes 2012). Si es necesario transportar las muestras, se recomienda el uso de neveras con hielo seco para mantener la temperatura óptima.

## 4. Etiquetas

Las etiquetas que llevan las mariposas una vez son ingresadas a una colección, obligatoriamente son dos, la primera es localidad de recolecta o de procedencia y la segunda número de catálogo de la colección donde se deposita el ejemplar, no obstante después de las dos anteriores pueden existir más etiquetas como por ejemplo, una con el número de campo del recolector otra con el número consecutivo de la disección de los órganos genitales, cuando al ejemplar se le quitado su abdomen para su extracción y análisis.

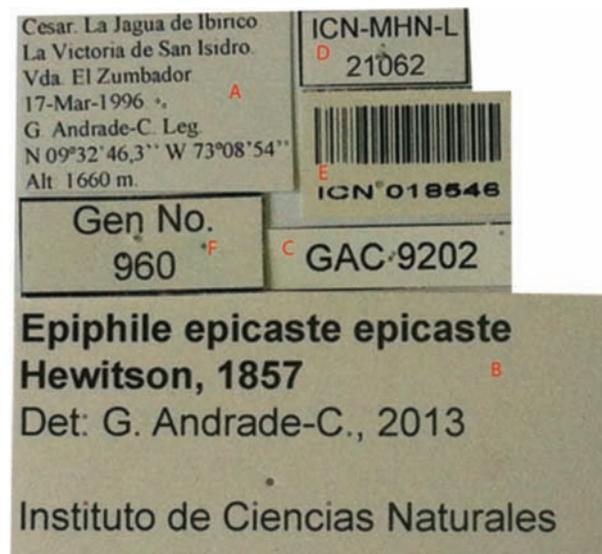
El tipo de papel usado para hacer las etiquetas debe ser totalmente libre de ácido y de hongos y con un pH de 7.5, de color blanco.

### 4.1 Etiqueta localidad de recolecta o de procedencia.

Esta etiqueta debe contener los datos básicos de recolecta en el siguiente orden Departamento, municipio, inspección de policía, vereda, localidad exacta, fecha (día, mes, año, siempre debe escribir en palabras el respectivo nombre del mes, por ejemplo mayo, julio, en el caso de meses como septiembre, noviembre o diciembre que su escritura es larga se recomienda abreviar como Sep. Nov. Dic.; nunca haga referencia al mes utilizando la numeración romana ya que esto puede llevar a confusiones posteriores), coordenadas geográficas exactas del lugar de recolecta tomadas con un GPS. Nombre del recolector y altitud dada en metros. (Figura 14A).

### 4.2 Etiqueta identificación

Se recomienda que cuando se identifique el nombre de la especie o subespecie al cual pertenece el ejemplar se escriba el responsable de hacer dicha identificación y el año.



**Figura 14.** Rótulos de una mariposa depositada en una colección biológica. **A.** Rótulo de localidad de recolecta. **B.** Rótulo de identificación. **C.** Rótulo con numero de campo del recolector.

**D.** Rótulo catálogo de la colección donde esta depositado el ejemplar. **E.** Rótulo de catálogo de la colección con código de barras.

**F.** Rótulo órgano genital

Cuando escriba el nombre de la categoría taxonómica utilizada debe tener en cuenta lo que indica el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica en el sentido que todo nombre de una especie está compuesto de dos palabras (género y epíteto específico) y el nombre de una especie esta compuesto de tres palabras (género, epíteto específico y epíteto

subespecífico) en cualquiera de estas dos categorías siempre debe escribir el autor y año de dicha categoría, (Figura 14B).

#### 4.3 Etiqueta número de campo del recolector

Esta etiqueta, aunque no es muy utilizada por los entomólogos, hace referencia a un número consecutivo que lleva la persona que hace la recolección de la mariposa, el cual esta relacionado en su libreta de campo. (Figura 14C)

#### 4.4 Etiqueta catálogo de la colección donde se deposita ejemplar

Cada colección debe tener un número consecutivo de catálogo el cual identifica al ejemplar que se deposita, antecedido de un acrónimo de la colección donde está depositado el ejemplar, este número de catálogo debe ser único para este ejemplar, (Figura 14D), también se utiliza como código de barras, (Figura 14E).

#### 4.5 Etiqueta órganos genitales

Se utiliza para identificar el órgano genital que se le disecciona al ejemplar con fines de identificación, es un número consecutivo que lleva tanto el ejemplar como la estructura retirada. (Figura 14F).

#### 4.6 Etiqueta ejemplar Tipo

Se utiliza para identificar un ejemplar designado como tipo nomenclatural, para tal fin internacionalmente se acostumbra

diferentes colores para cada tipo, así, holotipo y/o alotipo, color rojo (Figura 15A), paratipo color azul o amarillo (Figura 15B).

### 5. Metodologías de muestreo

Para el muestreo de mariposas en estudios de biodiversidad existen muchas técnicas, la elección de alguna de ellas debe ser acorde con los objetivos de la investigación que quiera realizar.

#### 5.1 Binoculares

Se ha vuelto costumbre entre los que estudian mariposas, la utilización de binoculares para la identificación de especies y hasta de subespecies y se ha llegado hasta la idea de recomendar esto como una técnica de identificación (Villareal et al. 2004). No es un método recomendable, porque no es posible identificar una mariposa a nivel de especie o subespecie por intermedio de binoculares, ya que es necesario observar pequeñas estructuras, tamaños de manchas o tonos del color en sus alas, tanto en vista dorsal como ventral, y a veces es necesario analizar sus órganos genitales.

Por lo anterior no se recomienda la utilización de esta técnica con fines de identificación, sin embargo, puede ser utilizada para observación de ejemplares importantes de recolectar o la simple observación de las mariposas en su medio natural, ya que para observarlas no es necesaria su recolección.



Figura 15. Rótulo ejemplar tipo. A. Holotipo. B. Paratipo

## 5.2 Muestreo con Trampas van Someren Rydon

El muestreo con Trampas van Someren Rydon es fundamental en el estudio de las mariposas diurnas, se usa desde la década de 1960 para incrementar la eficiencia de los muestreos (Brown & Freitas 2000) y constituye una técnica complementaria a la captura directa con red entomológica o para cuando se quiere estudiar gremios alimenticios.

Se utilizan diversos tipos de cebos, estos se eligen de acuerdo al estudio que se pretenda realizar, así como las condiciones ambientales que presenta el área de interés. En el neotrópico, los cebos más usados actualmente son banano fermentado, pescado en descomposición y excremento (Raguso & Llorente-Bousquets 1990, Brown & Freitas 2000, Grøtan *et al.* 2012). En diversos estudios se ha determinado que estas trampas tienen un rango de acción de hasta 50 m (DeVries 1987), por lo que no es recomendable usar trampas con cebos distintos en una distancia menor.

Para estudios de índole ecológico, como los de monitoreo de poblaciones y comunidades de mariposas, se recomienda usar un mínimo de cinco trampas por transecto, con el fin de facilitar el posterior análisis y comparación con otros estudios de este tipo. (Daily & Ehrlich 1995, Uehara-Prado *et al.* 2007, Uehara-Prado *et al.* 2009a, Uehara-Prado *et al.* 2009b, Tufto *et al.* 2012). Además, se recomienda que el diseño del muestreo incluya al menos, una réplica de cada transecto, procurando que los sitios en que se instalen las trampas, presenten condiciones ambientales, bióticas y abióticas, similares (Tufto *et al.* 2012) (Figura 2A).

Las trampas, cebadas con el mismo atrayente, pueden ponerse entre 20 y 50 metros entre sí (Uehara-Prado *et al.* 2007). La distancia entre trampas de 50 m, recomendada en otros trabajos (Villareal *et al.* 2004) puede limitar el diseño del muestreo, en el sentido de que en el paisaje neotropical, sobretodo en el andino, los relictos de algunas coberturas vegetales presentan áreas bastante disminuidas y su medi-

da lineal no es suficiente para completar los transectos con trampas (Figura 16).

Se recomienda colgar las trampas entre 1 y 3 metros por encima del suelo, dependiendo de la estructura de la vegetación y altura del dosel (Daily & Ehrlich 1995). Para mejorar la acción de los cebos, es recomendable que las trampas duren, por lo menos, 48 horas en su lugar de instalación y la revisión debe hacerse periódicamente (DeVries 1987).

Cuando instale estas trampas busque que el lugar donde se ubica no este en un área en donde se tenga mucho viento ya que este hace que la trampa se mueva mucho y este movimiento termina por asustar a las mariposas que ingresan a la TVSR. (Figura 2B).

## 5.3 Búsqueda de mariposas en transectos definidos

Hay que tener un recorrido con un tamaño definido, según sea el objetivo del muestreo, a lo largo de coberturas vegetales específicas, estos se recorren con red entomológica, en un horario establecido, procurando siempre que el esfuerzo de muestreo para todos los transectos sea similar. Los transectos deben ser independientes entre sí y cada uno de ellos constituye una unidad muestral, este es un método sistemático que permite determinar patrones de comportamiento de las mariposas. Uno de sus mayores limitantes es que el registro de especies raras es reducido (Pozo *et al.* 2005).

## 5.4 Búsqueda libre de mariposas

Se realizan recorridos con la red entomológica, en horarios definidos, el horario más usado es entre las 9:00 y 18:30 o a veces 19 horas, para completar el registro de especies que presentan hábito crepuscular como son ejemplares de la tribu Morphini (*Antirreha*, *Caerois*) y Brassolini (*Caligo*, *Brasolis*, *Catoblepia*, *Dynastor*, *Eryphanis*, *Opsiphanes*, etc). Según sea el objetivo del muestreo, se debe tener en cuenta recorrer los distintos tipos de vegetación que encuentre en su

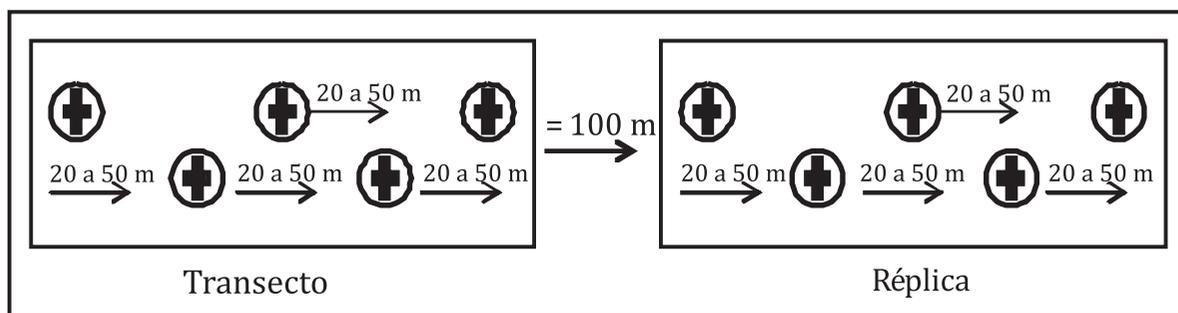


Figura 16. Propuesta de ubicación de trampas, para un estudio de tipo ecológico.

área de estudio, registrar el tiempo que se permanece en cada una de ellas y la hora en que se recorre. Esta técnica se enfoca en puntos o sitios óptimos para la presencia de mariposas, por lo que se requiere experiencia y conocimiento, tanto del área de muestreo, como de las mariposas presentes. Presenta una limitante, en cuanto al registro de especies comunes, que suelen ser poco registradas con este método (Pozo *et al.* 2005).

### 5.5 Método de captura-marcaje-recaptura

Esta técnica ha sido usada para lograr una estimación de la abundancia, dinámica poblacional, actividad de vuelo, longevidad, tasas de dispersión y de supervivencia de las mariposas (Turner 1971, Kingsolver 1999, Matter *et al.* 2004), así como para estudios de calidad de hábitat y conectividad (Haddad & Tewksbury 2005).

Lo primero que se debe hacer es seleccionar el área determinada para el muestreo (Scott 1975), dependiendo de los objetivos del trabajo, la(s) especie(s) de interés, sus hábitos y hábitat. Dentro del área elegida, se programan jornadas de captura de individuos, procurando que en cada jornada el esfuerzo de muestreo sea similar.

Durante cada jornada de captura se procede a realizar búsqueda de las mariposas de interés y su captura mediante red entomológica. Se debe ser muy cuidadoso con las mariposas capturadas, procurando no hacerles ningún daño, por lo que es recomendable manipularlas con pinzas (Figura 22E). (Sheppard & Bishop 1973).



Figura 17. Método de captura – marcaje – recaptura de mariposas.

Se marcan los individuos en la región media del ala posterior izquierda, lado ventral, en donde se encuentra la celda discal, (Figura 17), con un marcador indeleble de punta extrafina. La marca consiste en un número o código único para cada mariposa (Kingsolver 1999, Rivera *et al.* 2005). En su libreta de campo debe registrar el código, sexo, hora y sitio de captura, nombre de la especie, así como el estado de los individuos y datos de su comportamiento (Turner 1971, Mallet *et al.* 1987, Baguette 2003).

Después de tomar los datos necesarios, los individuos capturados se liberan. De acuerdo con los objetivos de la investigación, se definen las unidades de tiempo en que se realizan las jornadas de recaptura, así como la duración y frecuencia de estas.

## 6. Procedimientos para identificación taxonómica de mariposas

### 6.1 Técnica de preparación de órganos genitales

En los procesos de identificación taxonómica de muchas especies y subespecies de mariposas, es necesario realizar la disección de los órganos genitales con el fin de corroborar o tener certeza en la identificación, esta disección se realiza retirando el abdomen del ejemplar con ayuda de unas tijeras de punta fina (Figura 22F) y sumergiéndolo en una solución de KOH al 10%, se deja actuar esta solución por cerca de 24 horas, o también se puede colocar el abdomen en un vial de vidrio (Figura 22 I) con KOH al 10% y dejarlo al baño de María por 15 minutos con el agua en ebullición.

Una vez realizado cualquiera de los pasos anteriores se puede dar inicio a la respectiva disección bajo un estereoscopio de investigación (Figura 18), coloque el abdomen en una caja de Petri con alcohol al 70% y con la ayuda de un pincel



Figura 18. Estereoscopio de investigación.

de punta fina (Figura 22A), limpie las escamas que están en el abdomen, hasta que quede completamente limpio, en seguida cambie el alcohol y con dos agujas finas de disección (Figura 22H) inicie a romper el abdomen por un lado hasta que encuentre el órgano genital, hay que tener mucho cuidado, debido a que las estructuras pueden estar aun muy adheridas a las membranas o las estructuras están aun muy duras y esclerosadas y por ende son muy delicadas. Una vez extraídas totalmente, es necesario neutralizar con ácido acético y enjuagar con agua destilada para evitar la transparentación total y pérdida de estas estructuras en el futuro.

### 6.3 Transparentación alar o Aclareo de alas

La transparentación alar o aclareo de alas es otro proceso importante en la búsqueda de caracteres taxonómicos y requiere de un procedimiento sencillo pero delicado. (Figura 19).



**Figura 19.** Transparentación alar o Aclareo de alas

La técnica consiste en los siguientes pasos:

- Desprenda las alas del tórax de los ejemplares
- Sumérgalas suavemente en Hipoclorito de sodio por cerca de 30 min
- Enjuague con agua destilada suavemente.
- Con ayuda de pincel suave remueva las escamas de la superficie alar.
- Seque al aire libre por media hora en una superficie lisa
- Transfiera mediante pinzas las alas transparentadas a una lámina portaobjetos.

### 6.4 Identificación de especies y subespecies

Los procesos de identificación de especies o subespecies pueden ser una tarea de paciencia y mucho trabajo, especialmente en especies raras o poco abundantes, o de grupos taxonómicos poco conocidos donde el trabajo taxonómico es aún incipiente y faltan especialistas junto con literatura asociada.

Los caracteres taxonómicos más empleados para la identificación de especies o subespecies son los patrones de coloración, la forma alar, las bandas y algunas estructuras especiales como palpos, patas y órganos genitales. En algunos casos es necesario realizar comparaciones con descripciones originales que pueden muy dispendiosas y tomar mucho tiempo.

Actualmente cada grupo taxonómico presenta literatura especializada, listas de chequeo y especialistas, por lo cual, es recomendado después de realizar el proceso de identificación, determinar los ejemplares con dudas taxonómicas y ponerse en contacto con personal especializado. Actualmente se cuenta con la lista de chequeo para las mariposas neotropicales de **Lamas, 2004** y la lista ilustrada de mariposas de las Américas de **Warren et al., 2013**, ayudas invaluable en los procesos de identificación y corroboración taxonómica de las especies.

### 6.5 Clasificación

El orden Lepidoptera está dividido en tres subordenes Zeugloptera, Aglossata y Heterobathmiina, este último tiene dos divisiones Monotrysia y Ditrysia, esta última tiene dos secciones Tineina y Cossina, esta última tiene dos subsecciones Cossina y Bombycina y en esta última están las polillas y mariposas.

Colombia cuenta con 3274 especies de mariposas de las cuales 350 son endémicas y 10 están amenazadas, **Andrade-C. et al. 2012**. Están incluidas en seis 6 familias y 23 subfamilias y 56 tribus, (Warren, 2013) así:

Familia	Subfamilia	Tribu
Hesperiidae	Pyrginae	Pyrrhopygini
		Celaenorrhinini
		Carcharodini
		Erynnini
		Achlyodidini
		Pyrgini
	Heteropterinae	
	Hesperiinae	Incertae-sedis
		Megathymini

		Thymelicini
		Calpodini
		Anthoptini
		Moncini
Papilionidae	Papilioninae	Leptocircini
		Troidini
		Papilionini
Pieridae	Dismorphiinae	
	Coliadinae	
	Pierinae	Anthocharidini
		Pierini
Nymphalidae		
	Libytheinae	
	Danainae	Danaini
		Ithomiini
	Heliconiinae	Acraeini
		Heliconiini
		Argynnini
	Limenitidinae	Limenitidini
	Apaturinae	
	Biblidinae	Biblidini
		Catonephelini
		Ageroniini
		Epiphelini
		Eubagini
		Callicorini
	Cyrestinae	Cyrestini
	Nymphalinae	Coeini
		Nymphalini
		Victorinini
		Junoniini
		Melitaeini
	Charaxinae	Anaeini
		Preponini
	Satyrinae	Morphini
		Brassolini
		Haeterini
		Melanitini
		Satyrini
Lycaenidae		
	Miletinae	Miletini

	Lycaeninae	Lycaenini
	Theclinae	Theclini
		Eumaeini
	Polyommatae	
Riodinidae	Euselasiinae	Euselasiini
		Stygini
		Corrachiini
	Riodininae	Mesosemiini
		Eurybiini
		Riodinini
		Symmachiini
		Helicopini
		Nymphidiini
		Stalactini

## 7. Fotografía

Para la toma de fotografías de ejemplares de mariposas se utiliza un trípode con una cámara digital tipo réflex de cualquier marca, que contenga 18 Mp, lente de zoom de 17 – 40 mm. (Figura 20), y una caja de Luz blanca.



Figura 20. Trípode con cámara fotográfica y caja de Luz.

Coloque la mariposa al interior de la caja y ubique sus etiquetas a la misma altura de la mariposa, coloque una reglilla con escala entre 0 y 5 centímetros y proceda a tomar la fotografía. (Figura 21).



**Figura 21.** Interior de la caja de luz con la mariposa, sus respectivas etiquetas y escala.



**Figura 22.** Equipo de laboratorio para trabajo con mariposas. A. Pincel. B. Gotero. C. Jeringa. D. Pinza de punta fina. E. Pinzas para extendido de mariposas. F. Tijeras de punta fina. G. Micro vial para órganos genitales. H. Agujas de disección. I. Frasco de vidrio para baño de maría. J. Vial de plástico.

## Referencias

- Andrade-C. M. G., J. Betancur, E. Forero, J. Lynch, F.G. Stiles, A. Prieto-C.** 2012. In. Suárez-Mayorga, A.M. y J.C. Bello, (compiladores). Marco técnico y operativo para la construcción de la Estrategia del INB. Esquema conceptual y operativo para el desarrollo de la Enibio. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, D.C., Colombia. 72 pp.
- Baguette, M.** 2003. Long distance dispersal and landscape occupancy in a metapopulation of the cranberry fritillary butterfly. *Ecography* 26(2): 153-160.
- Brown, K.S. & A.V.L. Freitas.** 2000. Atlantic Forest butterflies: indicators for landscape conservation. *Biotropica* 32: 934-956.
- Daily, G.C., & P.R. Ehrlich.** 1995. Preservation of biodiversity in small rain forest patches: rapid evaluations using butterfly trapping. *Biodiversity and Conservation* 4:35-55.
- DeVries, Ph.J.** 1987. The butterflies of Costa Rica and their natural history. Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae : 327 pp. Princeton University Press, New Jersey.
- Doorenweerd, C. & K. Beentjes.** 2012. Extensive guidelines for preserving specimen or tissue for later DNA work. <http://science.naturalis.nl/>.
- Gemeinholzer, B., I. Rey, K. Weising, M. Grundmann, A.N. Muellner, H. Zetzsche, G. Droege, O. Seberg, G. Petersen, D.M. Rawson, L.A. Weigt.** 2010. Organizing specimen and tissue preservation in the field for subsequent molecular analyses. IN: ABC-Taxa, Volume 8 - Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories, Chapter 7, 129-157.
- Grøtan, V., R. Lande, S. Engen, B.-E. Saether, Ph.J. DeVries.** 2012. Seasonal cycles of species diversity and similarity in a tropical butterfly community. *Journal of Animal Ecology*. 81: 714-723.
- Haddad, N.M. & J.J. Tewksbury.** 2005. Low quality habitat corridors as movement conduits for two butterfly species. *Ecological Applications* 15: 250-257.
- Kingsolver, J.G.** 1999. Experimental analyses of wing size, flight, and survival in the western white butterfly. *Evolution* 53(5): 1479-1490.
- Lamas, G.** 2004. (Ed.). Atlas of Neotropical Lepidoptera, Checklist: part 4A Hesperioidea – Papilionoidea. Scientific Publisher/Association of Tropical Lepidoptera. Gainesville, U.S.A.
- Llorente, J.** 1990. La búsqueda del método natural. Fondo de Cultura Económica, México, D.F., 157 p.
- Llorente, J. & D. Castro.** 2002. Colecciones entomológicas en instituciones taxonómicas de Iberoamérica: ¿Hacia estrategias para el inventario de la biodiversidad?, pp. 307-318. En: C. Costa, S. A. Vanin, J. M. Lobo & A. Melic (Eds.). Proyecto de Red Iberoamericana de biogeografía y entomología sistemática, PRIBES 2002. M3M Monografías Tercer Milenio, vol. 2. Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA) & CYTED, Zaragoza.
- Mallet, J., J.T. Longino, D. Murawski, A. Murawski & A. Simpson de Gamboa.** 1987. Handling effects in *Heliconius*: where do all the butterflies go? *Journal of Animal Ecology* 56(2): 377-386.
- Márquez, L.J.** 2005. Técnicas de colecta y preservación de insectos. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa. 37: 385-408.
- Matter, S.F., J. Roland, A. Moilanen, and I. Hanski.** 2004. Migration and survival of *Parnassius smintheus*: detecting effects of habitat for individual butterflies. *Ecological Applications* 14(5): 1526-1534.
- Mesa, D.P.** 2006. Protocolos para la preservación y manejo de colecciones biológicas. Boletín Científico – Centro de Museos - Museo de Historia Natural. 10: 117-148.

- Pozo, C., J. Llorente-Bousquets, A. Luis, I. Vargas y N. Salas.** 2005. Reflexiones acerca de los métodos de muestreo para mariposas en las comparaciones biogeográficas, pp. 203-215. En: Llorente, J. & J.J. Morrone. (Eds.). Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines: Primeras Jornadas Biogeográficas RIBES Las Prensas Ciencias, Fac. Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Raguso, R.A. & J.E. Llorente-Bousquets.** 1990. The butterflies (Lepidoptera) of the Tuxtlas Mts., Veracruz, Mexico, revisited: Species-richness and habitat disturbance. *J. Res. Lep.*, 29: 105-133.
- Salazar, C., S.W. Baxter, C. Pardo-Díaz, Wu. G. Surridge A., M. Linares, E. Bermingham, C.D. Jiggins.** 2010. Genetic Evidence for Hybrid Trait Speciation in *Heliconius* Butterflies. *PLoS Genet* 6(4): e1000930. doi:10.1371/journal.pgen.1000930 .
- Scott, J.A.** 1975. Flight patterns among eleven species of diurnal Lepidoptera. *Ecology* 56 (6): 1367-1377.
- Sheppard, P.M., & J.A. Bishop.** 1973. The study of populations of Lepidoptera by capture-recapture methods. *Journal of Research on the Lepidoptera* 12(8) :135-144.
- Shokralla, S., G. Singer, M. Hajibabaei.** 2010. Direct PCR amplification and sequencing of specimens' DNA from preservative ethanol. *Bio-Techniques* 48(3): 233-234.
- Rivera, J.M., C.E. Prieto Sierra, & C. Takegami.** 2005. Estructura poblacional de *Morpho sulkowskyi* Kollar, 1850 (Lepidoptera: Nymphalidae) en un sector de la cordillera occidental, departamento del Cauca (Colombia). *Entomotrópica* 20(1): 15-22.
- Tufto, J., R. Lande, T.H. Ringsby, S. Engen, S. Saether, B.E. Walla, T.R. and Ph.J. DeVries.** 2012. Estimating Brownian motion dispersal rate, longevity and population density from spatially explicit mark-recapture data on tropical butterflies. *Journal of Animal Ecology* 81: 756-769.
- Turner, J.R.G.** 1971. Experiments on the Demography of Tropical Butterflies. 11. Longevity and Home-range Behaviour in *Heliconius erato*. *Biotropica* 3(1): 21-31.
- Uehara-Prado, M., & A.V.L. Freitas.** 2009a. The effect of rainforest fragmentation on species diversity and mimicry ring composition of Ithomiinae butterflies.– *Insect Conserv. Diver.*, 2: 23-28.
- Uehara-Prado, M., J. de Oliveira Fernandes, A. de Moura Bello, G. Machado, A.J. Santos, F.Z. Vaz-De-Mello, A.V.L. Freitas.** 2009b. Selecting terrestrial arthropods as indicators of small-scale disturbance: A first approach in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, Volume 142, Issue 6., 1220-1228.
- Uehara-Prado, M., K.S. Brown, and A.V.L. Freitas.** 2007. Species richness, composition and abundance of fruit-feeding butterflies in the Brazilian Atlantic Forest: comparison between a fragmented and a continuous landscape. *Global Ecology and Biogeography*, 16: 43-54.
- Villareal, H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina, & A.M. Umaña.** 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 pp.
- Warren, A.D., K.J. Davis, E.M. Stangeland, J.P. Pelham & N.V. Grishin.** 2013. Illustrated Lists of American Butterflies.[20-VII-2013].

# LA REGIÓN HÍDRICA DE BOGOTÁ

## THE BOGOTA HYDRIC REGION

Ernesto Guhl Nannetti\*

### RESUMEN

**Guhl Nannetti E.:** La región hídrica de Bogotá. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 37 (144): 305-???, 2013. ISSN 0370-3908.

El artículo presenta la crisis ambiental global y las tendencias hacia la insostenibilidad. Analiza la evolución de las formas de gestión del agua de lo lineal a lo complejo y explora las relaciones entre el agua y la sostenibilidad territorial. En seguida se refiere a la riqueza hídrica de Colombia y sus causas y propone los criterios para delimitar la Región Hídrica de Cundinamarca-Bogotá, para relacionar la gestión integrada del agua con un territorio específico y presenta el mapa y las características de la región. Por último propone los cambios requeridos para lograr utilizar la gestión integrada del agua como una poderosa herramienta para la sostenibilidad regional.

**Palabras clave:** Agua, gestión integral, sostenibilidad, complejidad, territorio, delimitación.

### ABSTRACT

The article presents the global environmental crisis and the tendencies towards unsustainability. Describes the water management evolution from linear to complex forms, and explores the relations between water and regional sustainability. Then presents the Colombian water abundance and its causes, and proposes a set of criteria for defining the limits of the Cundinamarca- Bogotá Hydric Region, in order to link integrated water management and regional sustainability, and presents the resulting map for the region and its characteristics. The article ends by proposing the necessary changes for using water management as a tool for regional sustainability.

**Key words:** Water, integrated management, sustainability, governance, land use, limits.

### Marco conceptual

Hoy en día es un lugar común hablar de la Crisis Ambiental Global y el deterioro del medio ambiente causado por las ac-

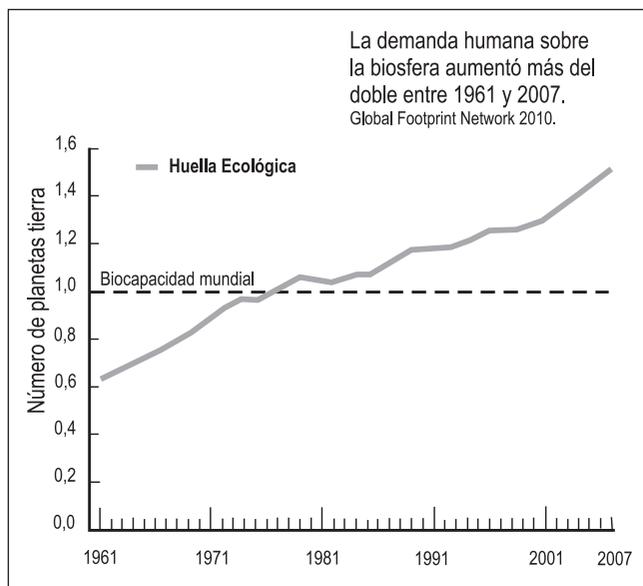
tividades humanas. Las excesivas presiones sobre los ecosistemas y su capacidad para generar los bienes y servicios de los cuales dependemos para vivir y desarrollar nuestras actividades originadas en el aumento poblacional y el desarrollo

---

\* eguhl@quinaxi.org

basado en el consumo, han conducido a que superemos la capacidad del planeta para albergarnos sosteniblemente. En este sentido es justo afirmar que estamos matando la gallina de los huevos de oro.

Como puede apreciarse en el gráfico que se presenta a continuación, la demanda humana sobre la biósfera expresada en términos de la Huella Ecológica ha excedido la capacidad de generación de bienes y servicios de los ecosistemas del planeta, al punto de que ya en 2007 se requería para satisfacerla una *biocapacidad* equivalente a 1.6 planetas Tierra. El efecto sobre la biodiversidad ha implicado el decrecimiento de la población de especies de vertebrados, el cual registra una disminución del orden del 30% en los últimos 37 años, originada en diversas razones atribuibles principalmente a la actividad humana (WWF. **Índice Planeta Vivo SZL 2010**).



**Gráfico 1.** Crecimiento de la demanda por biocapacidad  
**Fuente:** Global Footprint Network 2010.

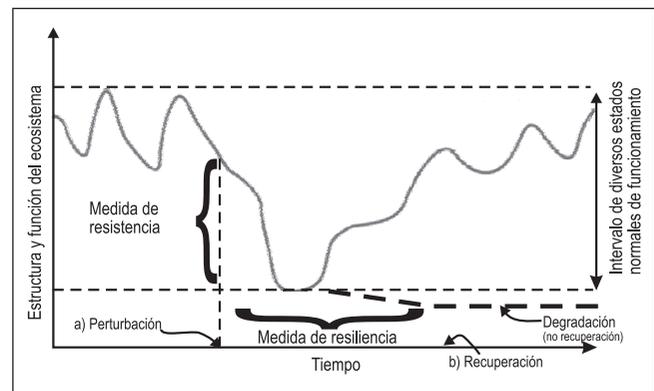
En síntesis, puede afirmarse que la especie humana en su exitoso avance, ha aprovechado el medio ambiente en forma tan extensa y tan intensa, en especial a partir de la Revolución Industrial, que está consumiendo el capital natural a una tasa mayor que su capacidad de crecimiento y regeneración y que se ha convertido en una fuerza determinante de la dinámica de transformación del planeta, por lo cual el tiempo en que vivimos se ha denominado el período *Antropoceno*.

## La sostenibilidad

Para ilustrar la situación descrita es conveniente considerar el efecto que puede tener una intervención de origen natural

o antrópico sobre la estructura y función de un ecosistema, como lo muestra el Gráfico 2. Las líneas punteadas indican los límites dentro de los cuales las variaciones de su estructura y función pueden oscilar como resultado de la perturbación, sin que se altere su capacidad de producir bienes y servicios. La resiliencia del ecosistema se representa como el período transcurrido entre la perturbación y la recuperación y su resistencia como la capacidad que posee de absorber o disipar las perturbaciones.

Cuando la perturbación del ecosistema es tan fuerte o prolongada que su estructura y función salen de los umbrales que le permiten regresar a su estado “normal”, el ecosistema entra en un proceso de degradación irreversible que lo empobrece reduciendo o eliminando su capacidad de generar bienes y servicios, afectando la calidad de vida y las posibilidades de desarrollo de la población que depende de él.



**Gráfico 2.** Esquema de respuesta de un ecosistema a una perturbación.

**Fuente:** Adaptado de Vogt et al, 1997

Sin embargo y a pesar de la creciente gravedad de la situación, que es la mayor amenaza que ha tenido la especie humana a lo largo de su historia, estamos haciendo muy poco para frenar y revertir las tendencias señaladas y reducir sus riesgos, modificando nuestra relación con el mundo natural y nuestro comportamiento como especie depredadora.

Desde la perspectiva científica y tecnológica la comunidad internacional ha intentado buscar nuevos caminos para resolver este dilema, como resultado de lo cual se han generado nuevos paradigmas para la planificación y la gestión del medio ambiente, como la sostenibilidad y los enfoques sistémicos e integradores. También se ha hecho un esfuerzo por materializar estos conceptos mediante el énfasis en nuevas tecnologías ecoamigables y estrategias como la producción más limpia y la Economía Verde, aunque con alcances insuficientes para amortiguar los riesgos de la crisis ambiental, que sigue consolidándose.

Se comprende entonces la necesidad de que la planificación, el manejo y la solución de los problemas y las situaciones ambientales se realicen de acuerdo con su carácter sistémico y multivariado. Para lograrlo es necesario consolidar y adoptar formas de pensamiento y de acción adecuadas a la complejidad de lo ambiental y a la conciencia sobre los límites de la naturaleza. Para lo cual es necesario realizar una transformación cultural exigente y profunda que de espacio a las visiones y métodos complejos e integradores, liberando la imaginación y la creatividad, mirando a largo plazo y actuando con flexibilidad y gradualidad.

**Evolucion de la gestión del agua. De lo lineal a lo complejo.**

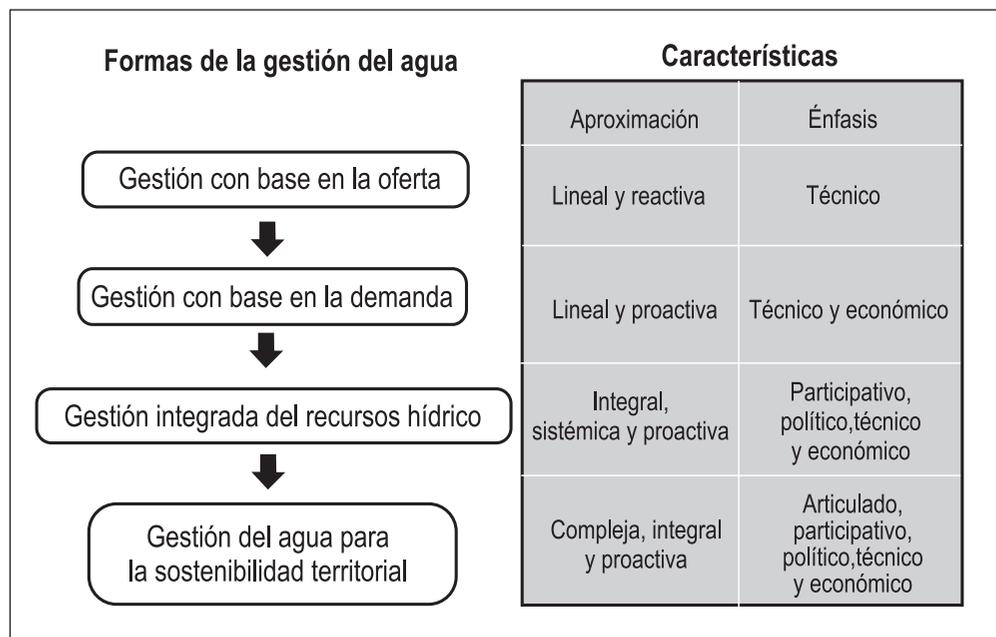
El carácter vital del agua, su función como elemento articulador del funcionamiento de los ecosistemas y su papel como insumo esencial para las actividades socioeconómicas, ha hecho su manejo sea un tema del mayor interés sociopolítico, en especial en las culturas asentadas en territorios con limitaciones de disponibilidad.

Con el transcurso del tiempo y el aumento de la demanda por el agua sus formas de gestión han ido evolucionando, avanzando de la linealidad hacia la complejidad. Si bien es cierto que no existen períodos claramente definidos para pasar de una forma de gestión a otra y que todas ellas siguen coexistiendo, es claro que las sociedades han buscado racionalizar el consumo de agua en la medida en que el crecimiento de la

demanda se aproxima a los límites de la disponibilidad natural. El Gráfico 3. presenta este proceso de evolución.

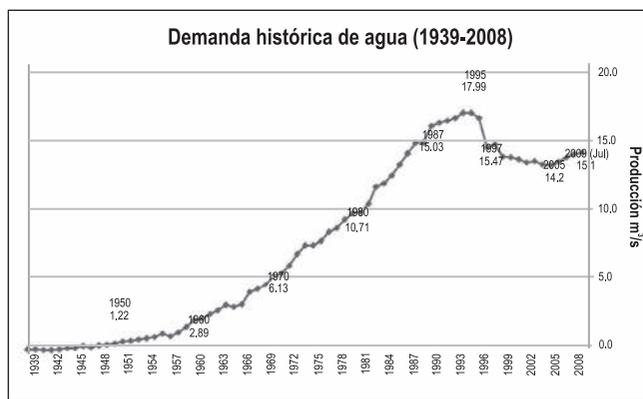
La primera forma, denominada gestión por la vía de la oferta, se limita a satisfacer las necesidades de los usuarios. Se trata de suministrar agua para la vida y los diversos usos, trayéndola desde distancias cada vez mayores en la medida en que las necesidades aumentaban con el crecimiento de la población y el desarrollo económico, utilizando tecnologías y obras de infraestructura cada vez más depuradas y costosas. Con esta aproximación la gestión y la regulación del agua se entendieron esencialmente como un asunto tecnológico. Hoy en día subsisten ejemplos magníficos de estas obras, algunas de ellas monumentales, como los acueductos romanos, o los sistemas de irrigación de las culturas precolombinas.

Con el aumento de la demanda y de los costos de conducir el agua desde distancias cada vez mayores, surgió una nueva forma de gestión, la gestión por la vía de la demanda, que busca racionalizar el consumo mediante instrumentos para orientarlo y limitarlo. Con ella se busca racionalizar el consumo considerando los costos de satisfacer unas necesidades que crecen aceleradamente. Esta forma de gestión integró los enfoques y realizaciones técnicas con el empleo de instrumentos económicos para regular la cantidad de agua, apelando a la racionalidad económica de los usuarios. Es decir, le otorgó a la gestión del agua un carácter interdisciplinario, técnico- económico, aumentando su complejidad.



**Gráfico 3. Evolución de la Gestión del agua.**  
 Fuente: La Región Hídrica Cundinamarca-Bogotá, Quinaxi. 2013.

En nuestro entorno el mejor ejemplo de este tipo de enfoque lo constituye la disminución del consumo per cápita que se logró en Bogotá cuando se presentó la emergencia del posible colapso de los túneles que conducen el agua desde *Chingaza*, la cual fue resultado de una política de castigos y estímulos económicos a los usuarios para orientar su comportamiento y lograr una disminución en el consumo total, frente a un grave riesgo (Ver Gráfico 4). Este importante logro permitió además, aplazar las inversiones para desarrollar nuevas fuentes, que hubiera sido necesario acometer si se hubiera seguido realizando una gestión por la vía de la oferta exclusivamente.



**Gráfico 4.** Disminución del consumo del agua en Bogotá.  
Fuente: Dirección Red Matriz Acueducto, Cubillos, 2009.

Sin embargo, lo logrado con la gestión por la vía de la demanda no fue suficiente. La disponibilidad de agua de buena calidad siguió reduciéndose, en la medida en que el aumento de la población y sus necesidades y su acumulación en grandes conglomerados urbanos, aumentó y concentró la demanda para los diversos usos y la producción de aguas residuales, que hacen cada vez más difícil su utilización aguas abajo.

La comunidad internacional abordó este creciente y peligroso problema con un nuevo concepto: la Gestión Integrada del Agua, GIRH, que se define como “Un proceso que promueve el desarrollo y el manejo coordinado del agua, el suelo y los recursos relacionados, para maximizar los resultados económicos y el bienestar social de una forma equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (CAN, 2008).

La GIRH entiende el agua como un “bien público” vital y a su vez como un “bien económico”, lo que implica que su gestión debe realizarse de manera participativa y coordinada entre los múltiples usuarios con el fin de llegar a acuerdos para compartir un bien cada vez más escaso. En este contex-

to se definieron prioridades de uso, otorgando la prelación al consumo humano y el ecosistémico, luego el destinado a las actividades agropecuarias y luego las industriales. Además el acceso al agua se ha ido consolidando como un derecho fundamental, con lo cual esta nueva aproximación integral y participativa, ha hecho que la gestión del agua adquiera un carácter social y político aumentando su complejidad.

La aplicación de la GIRH produjo importantes mejoras en el manejo del agua en diversos contextos geográficos y sociales. Su concepción integral y sistémica permite precisar las interrelaciones entre las diversas variables y dimensiones del agua y generar nuevos conocimientos, reconociendo su carácter vital y su papel como eje articulador del funcionamiento de los ecosistemas y de la economía. Sin embargo la aplicación de la GIRH no ha sido fácil pues implica la adopción de formas de pensamiento y de acción novedosas, que chocan con las tradicionales.

En la medida en que la crisis ambiental planetaria hace evidente la insostenibilidad de la generación de bienes y servicios ecosistémicos que son la base para el progreso y la equidad intra y trans generacional, la necesidad de articular la GIRH con la sostenibilidad territorial se ha vuelto esencial. Además de sus características ya mencionadas, el agua tiene el potencial de cambiar la geografía y modificar el paisaje y su disponibilidad produce poder económico y por ende poder político, con lo cual su carácter complejo se reafirma, ligándola esta vez con el territorio, al entenderla como uno de sus elementos articuladores y esenciales.

Esta nueva etapa de la evolución de las formas de gestión del agua, la convierte en una herramienta fundamental para el ordenamiento del territorio, la definición de los usos del suelo y en último término en un determinante de la sostenibilidad territorial. Con esta nueva mirada la gestión del agua refuerza su carácter sistémico y complejo y la ubica en el más alto nivel político al relacionarla con la supervivencia social.

La Tabla 1 presenta las características de las aproximaciones holística e integrada y sus fortalezas y debilidades, para utilizar la más adecuada dependiendo del propósito y el momento del ciclo de gestión que se busque abordar con ellas.

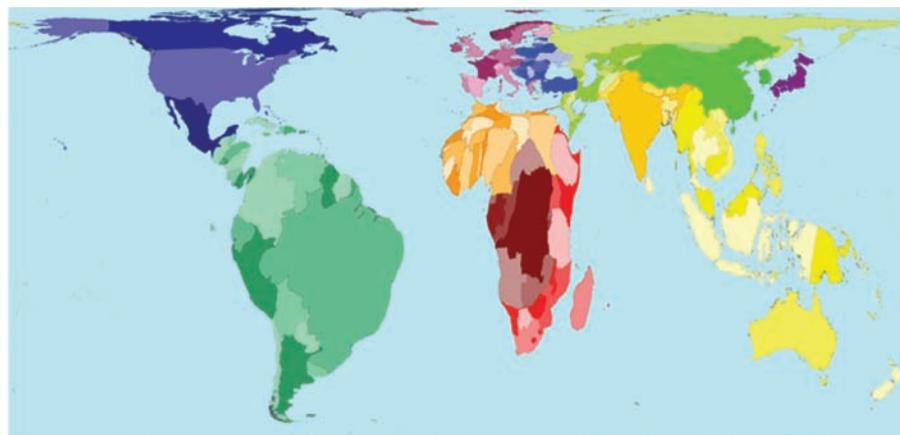
### La riqueza hídrica colombiana y sus causas.

Los gráficos siguientes presentan la distribución de la precipitación y de la cantidad total de los recursos hídricos globales por continentes y países. Como puede observarse, Colombia, forma parte del afortunado grupo de países que cuentan con una dotación natural de agua que por su magnitud la aparta de la perspectiva global de escasez.

**Tabla 1.** Características de los enfoques sistémicos.

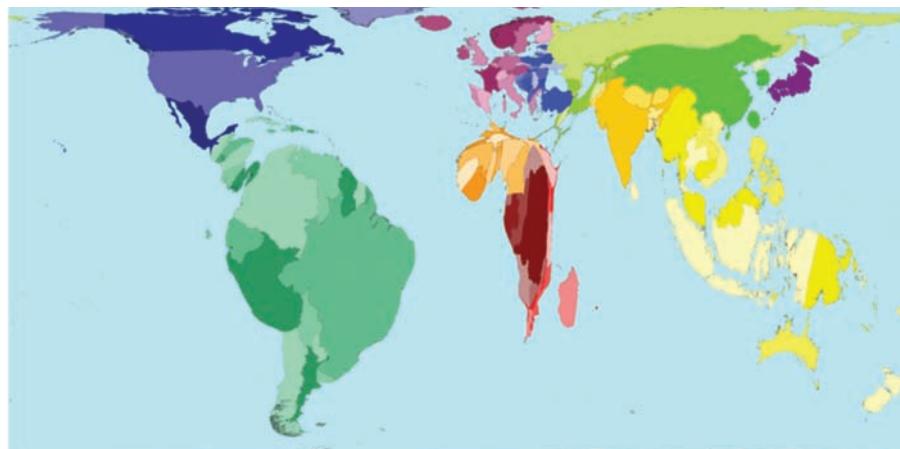
Aproximación	Holística	Integrada
Fortalezas	Considera todo el sistema, sus partes e interrelaciones.	Mantiene una perspectiva sistémica, es más selectiva y focalizada.
	Un amplio espectro que evita ignorar las variables significativas.	Mayor probabilidad de completar el análisis en un tiempo oportuno.
	Su mayor valor está en las etapas normativas y los niveles estratégicos de la planeación.	Su mayor valor está en las etapas operacionales y tácticas de la planeación.
	Enfatiza en el conocimiento científico de los ecosistemas.	Fomenta el uso tanto del conocimiento científico como del tradicional y el local.
Debilidades	Pretende la comprensión de sistemas complejos y la oportunidad de controlarlos. Las dos son improbables.	Puede ignorar una o más variables críticas, lo que implicaría una comprensión limitada de los ecosistemas, y la confiabilidad del plan.
	Su gran amplitud implica tanto tiempo en la planeación que las condiciones pueden cambiar invalidando los resultados.	

Fuente: Adaptado y traducido de Mitchell (2005)



**Gráfico 5.** Porcentaje del total de la precipitación global.

Fuente: © Copyright 2006 SASI Group (University of Sheffield) and Mark Newman (University of Michigan).



**Gráfico 6.** Porcentaje del total de los recursos hídricos globales.

Fuente: ©Copyright 2006 SASI Group (University of Sheffield) and Mark Newman (University of Michigan).

Ahora bien, esta excepcional condición proviene de la interacción de una serie de factores como la posición planetaria de nuestro territorio en la Zona Ecuatorial, su posición con costas sobre los océanos, Pacífico y Atlántico, la presencia dominante de la Cordillera de los Andes y los relieves no andinos y la pertenencia de casi la mitad de su extensión continental a la Cuenca Amazónica.

La Zona de Convergencia Intertropical, ITCZ, es un cinturón estacional de posición variable a lo largo del año, que abraza la Tierra en la Zona Ecuatorial. Recibe la mayor cantidad de radiación solar en el año y hacia ella convergen los vientos alisios del norte y del sur. La elevada radiación solar calienta el mar y el aire, permitiendo así una abundante evaporación y evapotranspiración y la formación de nubes y lluvias intensas (NASA, 2000). La localización de esta banda durante el año, define los períodos de mayor y menor lluviosidad.

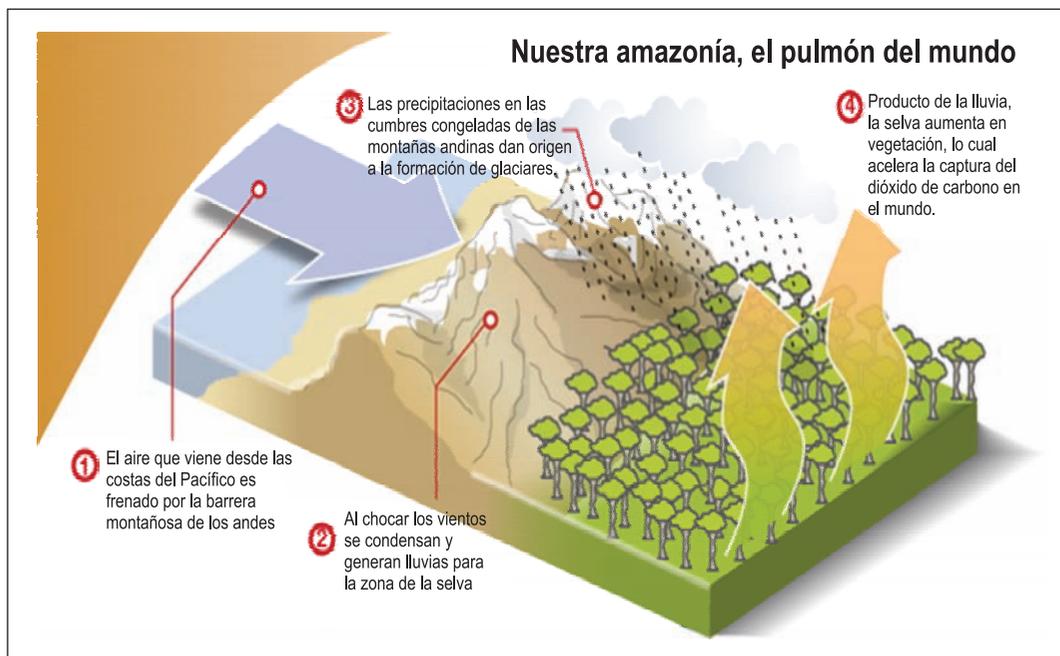
La Cordillera de los Andes por su gran extensión y altitud influye de forma determinante en la lluviosidad de los países andinos y de Colombia en particular. En su vertiente oriental, la humedad generada por la evapotranspiración de la selva amazónica al chocar con las montañas, da origen a altas precipitaciones en forma de nieve y lluvia, las cuales alimentan los ríos de la cuenca amazónica. La evapotranspiración de la selva es un componente fundamental del ciclo hidrológico, al ser responsable del 50% del reciclaje de la precipitación de su cuenca (Bunyard y Herrera, 2012).

En la vertiente occidental, la precipitación depende de las condiciones de humedad generadas en el Pacífico. La corriente fría de Humboldt, que sigue la costa suramericana, influye considerablemente en la escasa humedad de la región costera del norte de Chile y del Perú. A medida que se acerca al Ecuador, la temperatura del mar aumenta y crea mejores condiciones para la precipitación en el norte de los Andes, que culminan en los ecosistemas alto-andinos húmedos y en sus costas, donde se asientan las selvas húmedas del Chocó biogeográfico donde se alcanzan precipitaciones entre las más altas del mundo (Guhl y Montes, 2008).

En lo que respecta al Cambio Climático, el retroceso de los glaciares y de los páramos, que son reservorios de agua para los periodos de baja lluviosidad, puede traer consecuencias muy graves en la región ya que aproximadamente 50 millones de personas incluyendo las ciudades principales, la Paz, Lima, Quito y Bogotá, dependen de los Andes para su abastecimiento (SGCA, 2010) (Ver Gráfico 7). De la misma manera la exacerbación de los fenómenos Niño/ Niña, se convierte en otra fuente de riesgo e incertidumbre.

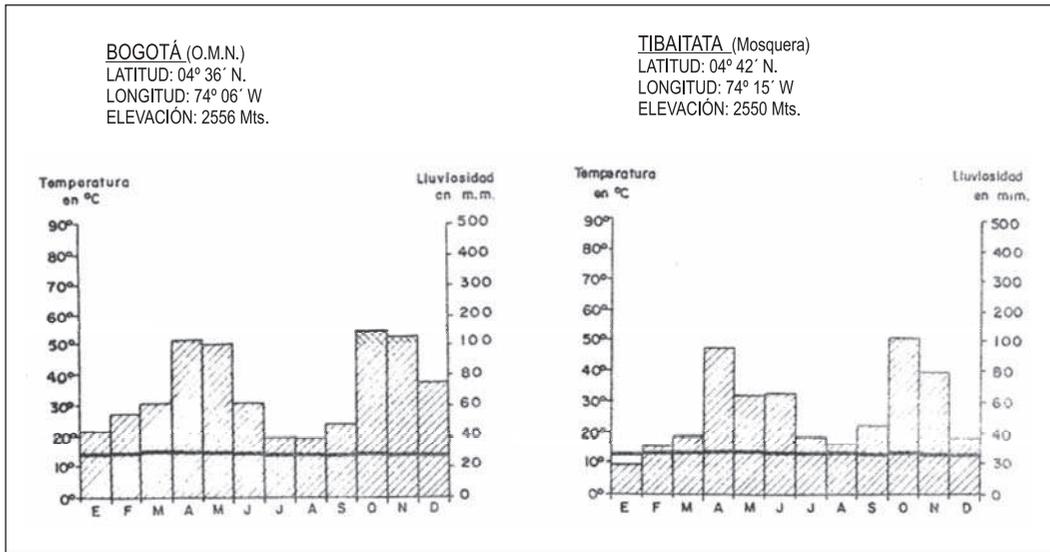
### La Sabana de Bogotá y el agua.

La Sabana de Bogotá posee un clima típico de montaña tropical húmeda, con una temperatura media mensual prácticamente constante durante el año cercana a los 13.5 grados centígrados, que presenta fuertes oscilaciones diarias que



**Gráfico 7.** Ciclo hidrológico de la vertiente oriental de los Andes.

**Fuente:** SGCAN, 2008



**Gráfico 8.** Climadiagramas del altiplano de la Cordillera Oriental.

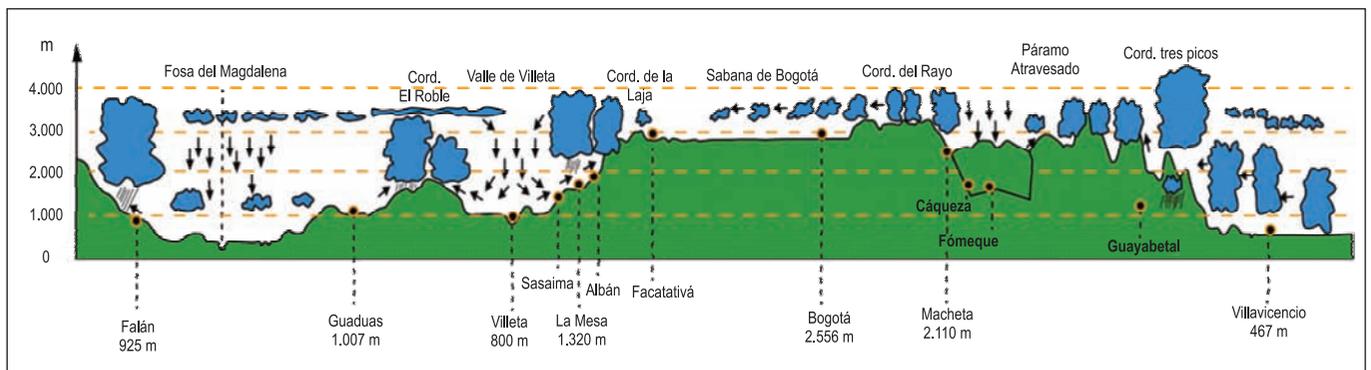
**Fuente:** Guhl, E. 1974. Las lluvias en el clima de los andes ecuatoriales húmedos de Colombia.

pueden llegar hasta los 28 grados centígrados durante el verano. La lluviosidad promedio anual en la Sabana esta alrededor de los 900 mm en la parte plana y su distribución anual sigue un patrón bimodal con máximos en abril- mayo y octubre-noviembre, que coinciden con los períodos de culminación del sol sobre el territorio colombiano. Los climadiagramas que se presentan a continuación ilustran esta situación.

La distribución espacial de la lluvia en la Sabana de Bogotá y las montañas que la circundan presenta un patrón influenciado por las formas del terreno. Como puede apreciarse, en el perfil de la Cordillera Oriental (Gráfico 9), las montañas que encierran la Sabana presentan precipitaciones mayores que en la parte plana. Esta ofrece una amplia superficie de

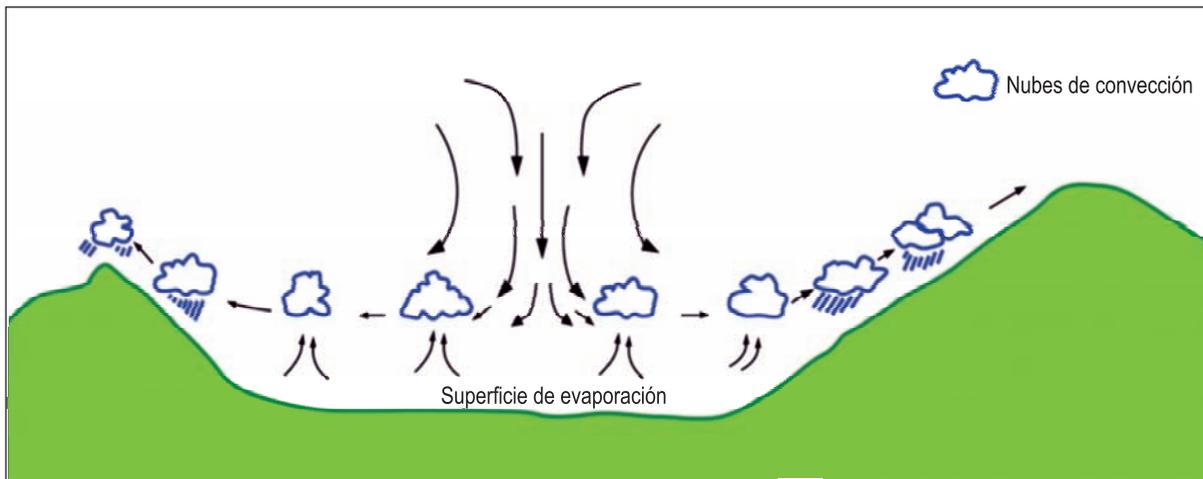
evaporación que permite la formación de nubes y corrientes de convección que al chocar con las vertientes de las montañas se descargan como lluvias orográficas. La Sabana actúa como un espacio de calentamiento que reabastece la atmósfera con humedad mediante el fenómeno conocido como “efecto sartén”. Este mecanismo se fortalece por la presencia de los vientos ascendentes y periféricos de la Sabana que traen humedad desde el valle del Magdalena y de los Llanos Orientales y la Amazonia (Guhl, 1974, p. 75).

Estudios realizados en la década de 1940 señalaron con claridad que la oferta de agua que disponía la Sabana como cuenca, era insuficiente para sostener el crecimiento que se preveía. Se calculó que para una población de 3.600.000 habitantes las necesidades de agua “para fines de uso huma-



**Gráfico 9.** Perfil sinóptico a través de la cordillera Oriental

**Fuente:** Modificado de Weischet, 1965, tomado de Guhl, 1974



**Gráfico 10.** Circulación atmosférica diurna en un amplio valle (“efecto sartén”).

**Fuente:** Guhl, E. 1974. Las lluvias en el clima de los andes ecuatoriales húmedos de Colombia, p. 47.

no e industrial, corresponde a una cantidad de 559.000.000 m<sup>3</sup> por año” y que si a este caudal se agregaba el requerido para riego, que se estimó en 1.518 millones de m<sup>3</sup> al año, “serían un total de 2.077.000.000 de demanda contra los 860.000.000 de que dispone la Sabana en años normales de lluvia” (Wiesner, citado en EAAB, 2003). Lo anterior nos lleva a concluir que: “Es evidente, pues, que, el factor natural más importante para el desarrollo del hombre en la Sabana de Bogotá es el agua” (Guhl, 1975). Los anteriores estudios sobre las perspectivas de la demanda por agua en la Sabana, dejaron en claro la necesidad de buscar otras fuentes de agua confiables y con mayores caudales por fuera de su cuenca, lo que dio origen al desarrollo de los proyectos de Chingaza y a la identificación de los de Sumapaz para cubrir las necesidades futuras.

La disponibilidad de agua está limitada por su calidad además que por su cantidad. La contaminación debida a la falta de tratamiento de las aguas residuales y al uso inadecuado del suelo, es una de las mayores amenazas para asegurar la disponibilidad del recurso a nivel global. Como se verá, la pérdida de calidad del agua constituye el principal problema para el manejo sostenible del agua en la región de Bogotá.

### Características de la gestión del agua en Colombia

En un trabajo realizado para la Comunidad Andina de Naciones, CAN\* por el autor, se establecieron las características de la gestión del agua y el grado de implantación de la GIRH. Posteriormente, en 2012, se analizaron los resultados

de esta evaluación para el caso colombiano, encontrando que se mantenían sin variaciones en lo fundamental, con excepción de la formulación de la Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico que se expidió en 2010. A continuación se presentan los resultados que se consideran relevantes:

- El país no ha entendido que su riqueza hídrica debe dejar de considerarse como una fuente de problemas y desastres, para convertirse en un factor de equidad y de desarrollo sostenible.
- El agua se entiende como un bien de todos y de nadie. De todos para satisfacer las necesidades y ejercer los derechos y de nadie en cuanto a la responsabilidad de contribuir a la sostenibilidad de una oferta hídrica suficiente y de buena calidad.
- En cuanto al ordenamiento territorial no se ha logrado superar la visión municipalista del territorio y del agua, para entenderla como un tema de largo plazo y alcance regional, que debe condicionar los planes de ordenamiento territorial y los usos del suelo.
- El tratamiento de las aguas residuales sigue siendo el componente más descuidado del ciclo de uso del agua. Esta carencia es una grave falla que atenta contra la salud pública y la de los ecosistemas.
- En cuanto a los usos del suelo y las licencias de construcción, la disponibilidad de agua sigue siendo considerada como una respuesta a los proyectos que la requieren, en lugar de utilizarse como una herramienta para dirigir la construcción de territorios sostenibles.

\* Hacia una Gestión Integrada del Agua en la Región Andina Guhl E 2008- 1, 161.

- Los espacios y mecanismos para realizar una gestión que integre los intereses y necesidades de los diversos actores están muy poco desarrollados.
- La coordinación y la articulación interinstitucional para actuar conjuntamente en relación con el agua, son muy escasas y poco efectivas.
- Los espacios para la participación pública en la gestión del agua son poco conocidos y su eficiencia es muy reducida.
- La ineficacia de las autoridades ambientales ha conducido a la judicialización de la gestión del agua con resultados bastante cuestionables.
- La importancia de los instrumentos económicos y financieros para la gestión sostenible del agua como orientadores del comportamiento de los usuarios ha disminuido.

La conclusión central del análisis es que si se continúan aplicando las prácticas y formas de gestión tradicional, perderemos nuestra riqueza hídrica y que por tanto para un manejo sostenible del agua, se requieren nuevas ideas y actitudes y la adopción de formas complejas de gestión, lo que implica un cambio cultural.

El gran interrogante que surge del análisis anterior es porque si el país cuenta, por lo menos teóricamente, con todos los elementos necesarios para hacer una gestión integrada y sostenible del agua, esto no ha sido posible. Esta carencia se origina en razones socioculturales y económicas, como el característico individualismo de nuestra sociedad y la inexistencia de proyectos colectivos de largo plazo, que impiden la creación de capital social mediante una gestión colaborativa y coordinada entre las instituciones y los actores del agua con el bien público como meta. Al igual que en la mayoría de los países, el principal problema del agua es la falta de gobernanza adecuada.

### **La RHCB. Criterios de delimitación y propuesta espacial.**

La aplicación exitosa de las nuevas formas para la gestión sostenible del agua como instrumento para la conformación de territorios sostenibles, implica la delimitación del territorio en el que se utilizarán. En el caso en estudio, se trata de definir lo que hemos denominado la Región Hídrica Cundinamarca- Bogotá, RHCB.

Si bien es cierto que se habla de la Región Central, del Área Metropolitana de Bogotá o de la Región Cundinamarca- Bogotá, entre otros intentos de adoptar límites para la coordina-

ción de la gestión del territorio con una visión supramunicipal, la verdad es que estas denominaciones son vagas, ya que no están definidas espacialmente con claridad. Además, es muy importante aclarar que no existe una división territorial que sea la única o la mejor para todos los propósitos, ya que una determinada delimitación es función de sus propios objetivos. Así, una delimitación puede ser muy adecuada para unos fines, puede ser inadecuada para otros. Por ejemplo una regionalización que busque estimular la competitividad es diferente de una que persiga la gestión sostenible del agua.

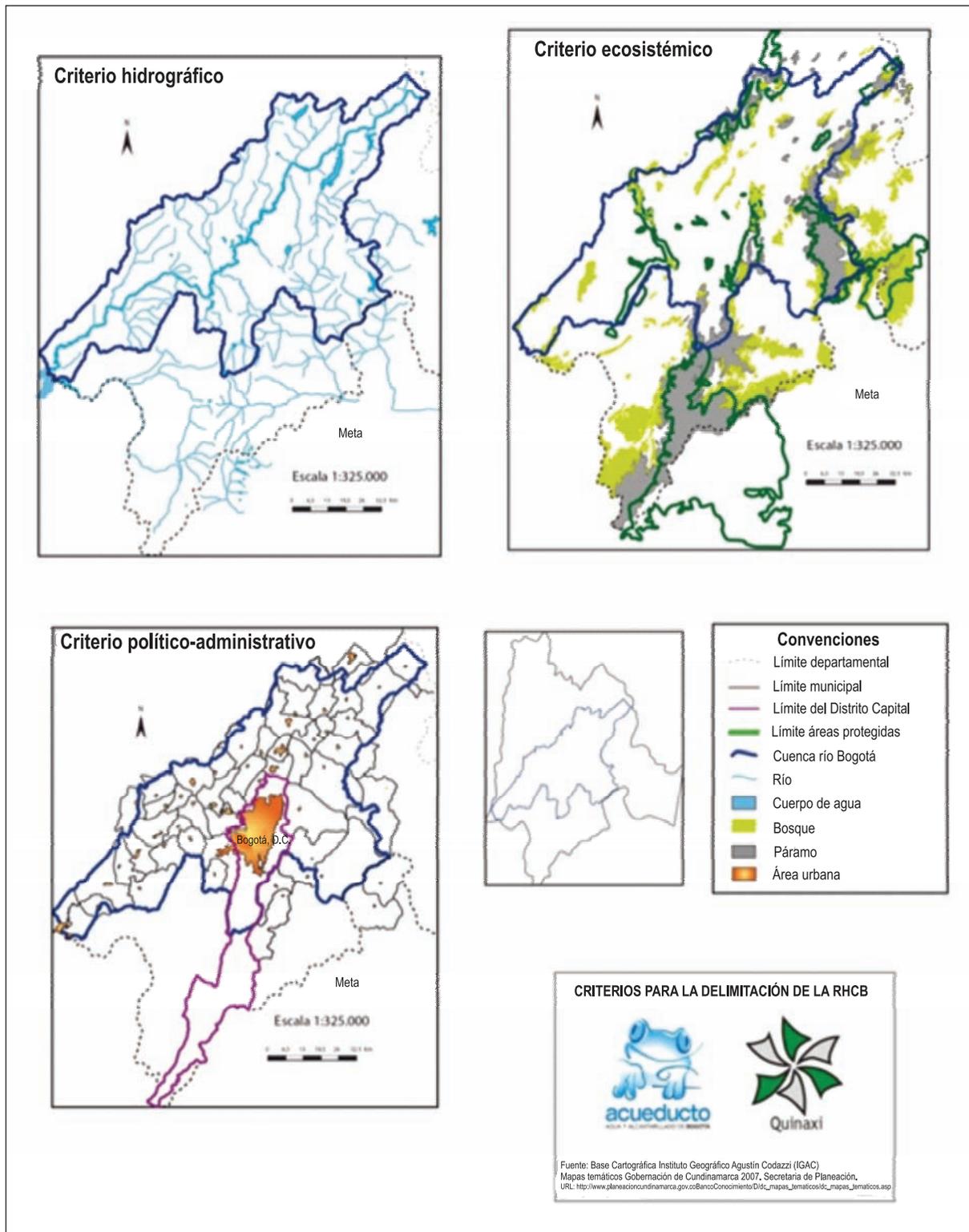
Desde esta última perspectiva, se ha considerado conveniente proponer la delimitación de la RHCB, mediante la consideración articulada de tres criterios. El hidrográfico, como criterio estructurante, complementado y articulado con el político administrativo y con el ecosistémico. Además la delimitación debe favorecer la satisfacción simultánea de los ciclos hidrológicos y de uso del agua.

Esta integración permite aplicar una visión supramunicipal para la gestión del agua reconociendo el carácter regional de la red hídrica y de las cuencas como el territorio de planificación donde se pueden considerar las relaciones entre el uso del agua y el ciclo hidrológico (GWP e INBO, 2009) y considerar simultáneamente los límites de los entes territoriales que pertenecen a esta región e incluso sobrepasarla, como responsables de servicios relacionados con el agua, como los de acueducto y alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales urbanas y de la planificación territorial y de los usos del suelo.

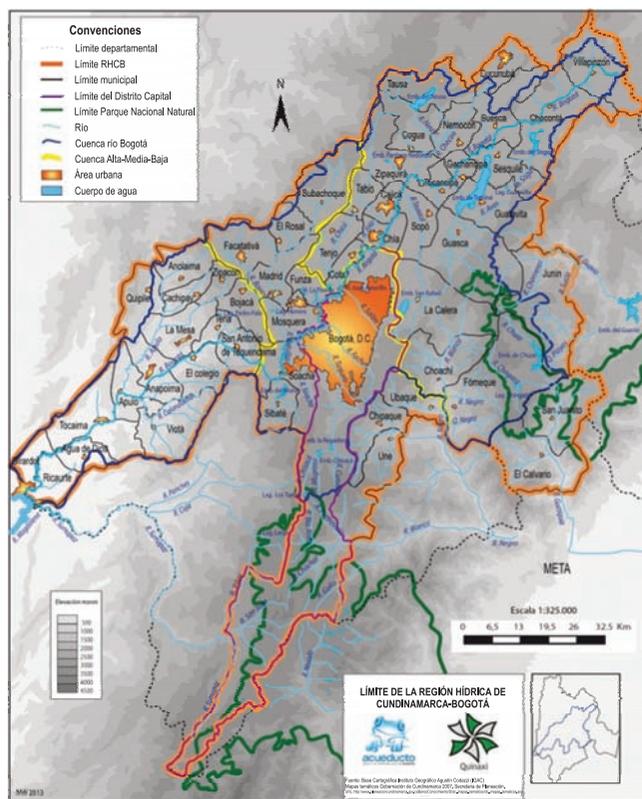
Además, pensando en la conservación de la oferta hídrica y en la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con el agua, como la generación, regulación y conservación, se incluyeron para la delimitación de la RHCB las áreas protegidas, las zonas de páramos y otras como los humedales, nacederos y rondas, que conforman la Estructura Ecológica Principal de la región.

En el gráfico 11, se presentan las delimitaciones territoriales resultantes de la aplicación de cada uno de los criterios mencionados en forma aislada.

El mapa que aparece en el Gráfico 12, presenta la propuesta espacial para constituir la RHCB integrando los criterios adoptados. Sin embargo esta región dista mucho de ser homogénea tanto desde el punto de vista natural, como desde el punto de vista socioeconómico. Por ello, la RHCB se ha dividido en tres subregiones la Cuenca Alta, la Cuenca Media y la Cuenca Baja, que poseen una mayor homogeneidad considerando las funciones que prestan al agua en la región y la problemática que presentan.



**Gráfico 11.** Criterios para la delimitación de la RHCB.  
**Fuente:** La Región Hídrica Cundinamarca-Bogotá, Quinaxi. 2013.



**Gráfico 12.** Propuesta de delimitación territorial de la RHC B.  
**Fuente:** La Región Hídrica Cundinamarca-Bogotá, Quinixi. 2013.

**La RHC B. Subregiones funcionales y características socioeconómicas.**

La región delimitada para la gestión sostenible del agua, comprende un área total de 9.582 Km<sup>2</sup> que incluye tanto la cuenca del río Bogotá como también la jurisdicción de los 52 municipios de la cuenca y la totalidad del área del Distrito Capital, incorporando partes de los parques de Chingaza y Sumapaz y otras cuencas aportantes menores. La Tabla 2 presenta las funciones y problemáticas principales del agua en cada una de las subregiones propuestas desde el punto de vista de la gestión del agua, el número de municipios con que cuentan y su participación en la extensión total de la RHC B.

La población de la región llega a 9'522.102 habitantes en el 2013, es decir el 20% del total nacional. La Cuenca Media concentra el 90% del total debido a la presencia de Bogotá, que representa el 89% de la población con 7'674.366 habitantes. La mayor tasa de crecimiento en el periodo de 2005-2013 correspondió a la Cuenca Alta (2%) y la menor tasa a la Cuenca Baja (0,7%). Con respecto a la actividad económica, el PIB de la RHC B correspondió al 29% del PIB nacional y de este la Cuenca Media concentró en el 2005, el 95% del

**Tabla 2.** División de la RHC B desde el punto de vista de la gestión del agua.

Cuenca	Función y/o problemáticas del agua	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)	Municipios
Alta	Protección, producción, regulación y contaminación del agua.	4.732	49,4	25
Media	Consumo urbano, altas cargas contaminantes.	3.136	32,7	11+D.C.
Baja	Generación de energía, consumo turístico, receptora de alta contaminación.	1.714	17,9	16
<b>Total</b>		<b>9.582</b>	<b>100</b>	<b>52</b>

PIB regional. Otra característica importante derivada de la ubicación de Bogotá es que el 94% de la población de la región es urbana, lo que significa una fuerte concentración de demanda de bienes y servicios sociales, económicos y ecosistémicos y una gran concentración de los vertimientos de aguas residuales urbanas (Ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Población y PIB de la RHC B.

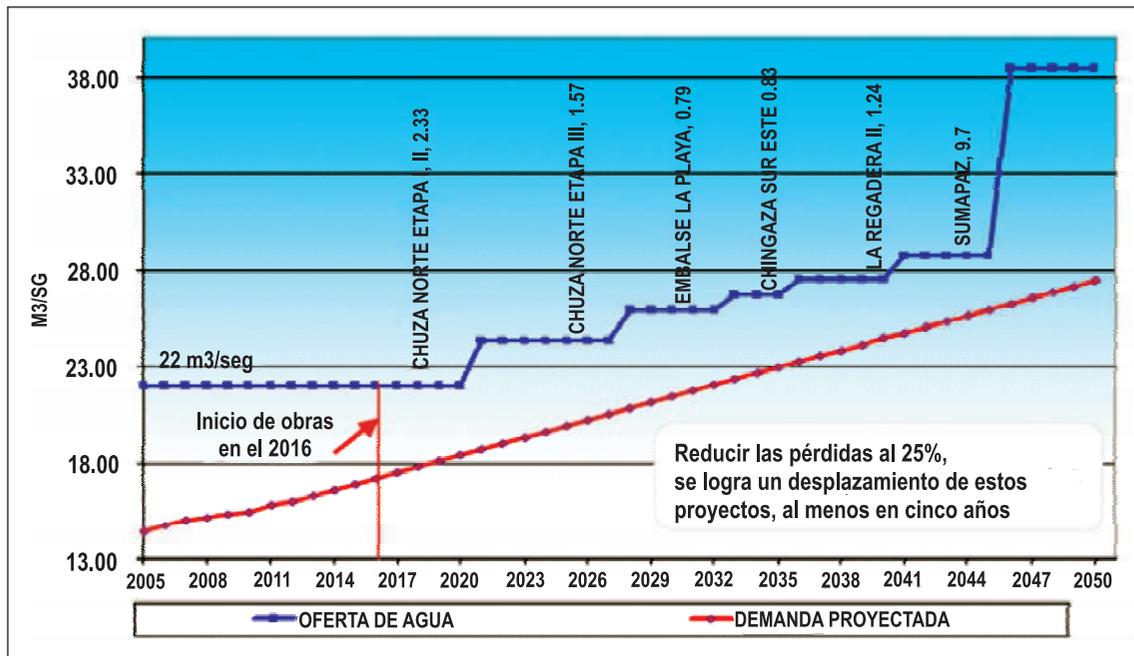
Cuenca	Población 2013	% Población	Tasa de crecimiento 2005-2013	% Urbana	% Rural	PIB 2005*	% PIB 2005
Alta	639.635	6,7	2	59	41	3.871	3,9
Media	8.611.094	90,2	1,5	98,9	1,1	94.406	94,6
Baja	297.053	3,1	0,7	61,32	38,68	1.689	1,7
<b>Total</b>	<b>9.545.769</b>	<b>100</b>	<b>1,5</b>	<b>93,8</b>	<b>4,9</b>	<b>99.837</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Dane\*PIB a precios constantes del 2005 (miles de millones de pesos). No incluye El Calvario y San Juanito en el Meta.

**El futuro del agua. Cantidad, incertidumbre y calidad.**

Los estudios realizados para garantizar la satisfacción de las necesidades de agua potable para Bogotá y otros municipios de la región, han identificado una serie de proyectos para ampliar las fuentes ya existentes y utilizar nuevas y han establecido una secuencia para su desarrollo en el tiempo de manera que se cuente con un margen de seguridad. Estos estudios estimaron el crecimiento de la demanda teniendo en cuenta la disminución del consumo a la que ya se hizo referencia.

Los resultados, (Ver Grafico 13), indican que es posible contar con la cantidad suficiente de agua para satisfacer la



**Gráfico 13.** Escenario de proyección de oferta y demanda.

Fuente: Estudio de costos y tarifas, EAAB, 2006.

demanda en el año 2050 y con un importante margen de seguridad hacia el futuro más lejano desarrollando las fuentes de Chingaza y Sumapaz.

Sin embargo, este escenario de certeza y confiabilidad en el suministro de agua, está afectado por la incertidumbre generada por riesgos con consecuencias impredecibles que pueden afectarlo, como los efectos del Cambio Climático y la contaminación.

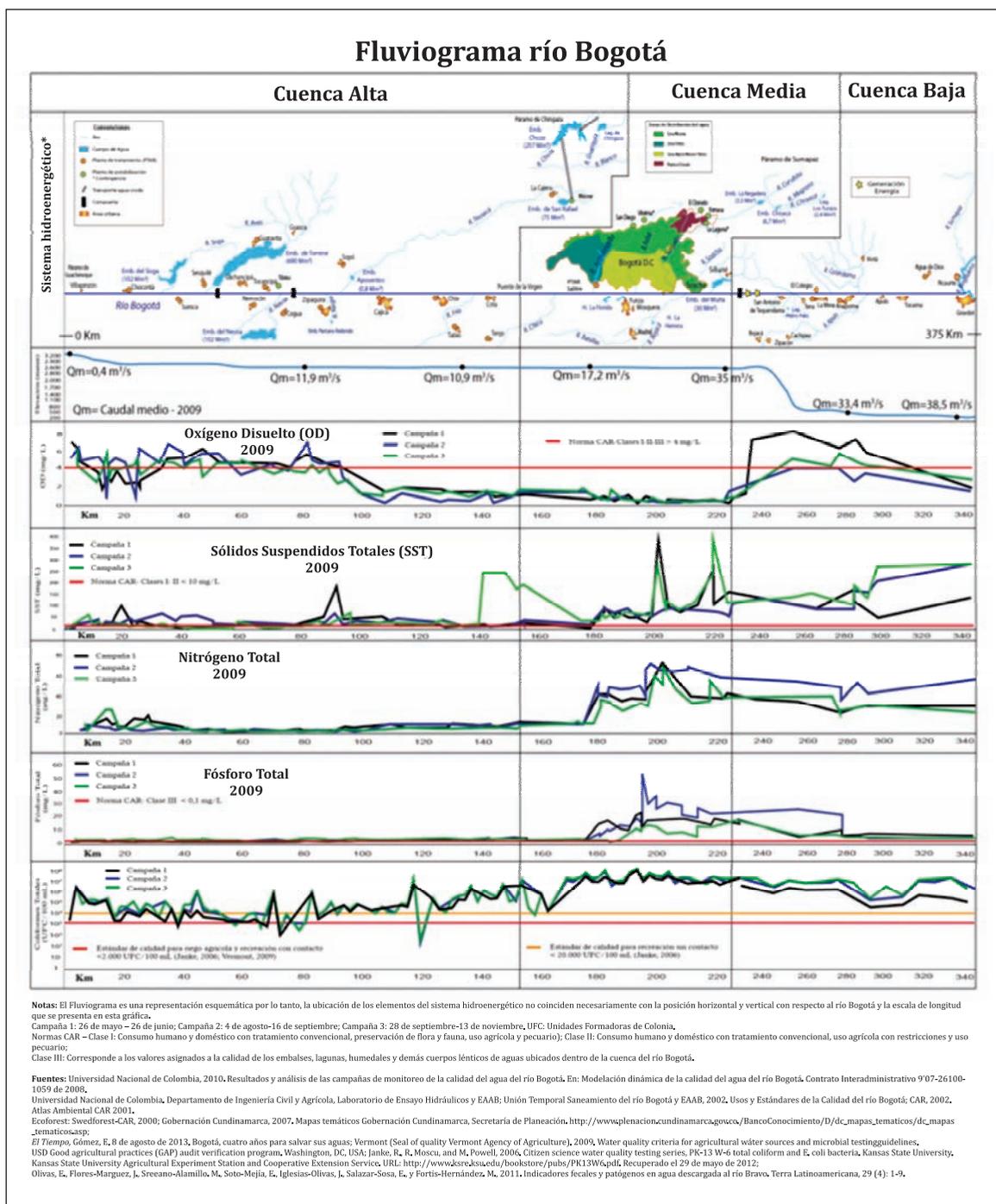
En cuanto a los primeros, el efecto del aumento de temperatura sobre los ecosistemas de páramo que son y serán las fuentes principales de agua, puede significar la disminución de su tamaño, e incluso su virtual desaparición, con la consecuente disminución de los servicios esenciales de generación, regulación y conservación del agua que prestan. Además el Cambio Climático implicará, como lo indican los escenarios construidos para analizar sus efectos, alteraciones en las cantidades y patrones de precipitación haciéndolos más extremos, lo que puede afectar la oferta de agua y la forma de gestionarla.

Por otra parte, la pérdida de calidad del agua, originada en la falta de tratamiento de aguas residuales, de los usos inadecuados del suelo, como la urbanización de la Sabana y el desarrollo de actividades industriales y agropecuarias insostenibles y de la ausencia de autoridad ambiental, hacen que la pérdida de calidad del agua en la región y en particular la

del río Bogotá, hagan imposible utilizarla cumpliendo con las normas de salud pública y calidad establecidas.

Para ilustrar esta grave situación, se ha desarrollado un perfil del río con sus características físicas y de calidad, que permiten ver los impactos que recibe de los diversos usos del suelo y actividades a lo largo de su curso por medio de algunos parámetros representativos. Esta forma de presentación constituye una innovación que se ha denominado como “fluviograma” (Ver Gráfico 14). Como puede apreciarse, la pérdida de calidad del río va acentuándose en la medida que su curso se desarrolla, llegando al máximo deterioro en la Cuenca Media. También se observa la aparición de picos que varían de una campaña a otra. Esta variabilidad es producto de gran cantidad de factores que pueden alterar la calidad del río al momento de tomar las muestras como la liberación de vertimientos puntuales, la variación en el régimen de lluvias y el control del caudal de los embalses.

El pequeño caudal del río Bogotá recibe las cuantiosas descargas de aguas residuales domésticas, pluviales, industriales y agropecuarias de Bogotá y de la región que es la más poblada e intervenida del país. Su calidad está afectada no solamente por los vertimientos legales, sino también por los que se hacen sin autorización de la autoridad ambiental, que ejercen una presión creciente como consecuencia del surgimiento de urbanizaciones y viviendas ilegales en sus



**Gráfico 14.** Fluviograma del río Bogotá.\*\*

**Fuente:** La Región Hídrica Cundinamarca-Bogotá, Quinaxi. 2013.

\*\* Los indicadores de calidad corresponden a los resultados de la última campaña de muestreo de calidad del río de la Universidad Nacional realizada en 2009, tomando muestras en tres momentos diferentes entre el 26 de mayo y el 13 de noviembre. Se analizaron varios parámetros como el oxígeno disuelto (OD), los sólidos suspendidos totales (SST), nitratos, fósforo y coliformes fecales y algunos metales y se compararon con las concentraciones encontradas con las campañas realizadas por Unión Temporal Saneamiento del río Bogotá y EAAB del 2002.

cercanías, el mal uso del suelo, la disposición de basuras y escombros en sus riberas, la deforestación por el crecimiento de la ciudad, lo que le resta al río espacios propios para su funcionamiento hidráulico, que reclama en épocas de invierno al inundar zonas que forman parte de su sistema de espacios para almacenamiento de excesos de agua. Todo lo anterior pone de presente la urgente necesidad de realizar el tratamiento de las aguas residuales que recibe, avanzar en su recuperación física y controlar los usos del suelo en la región, para completar el ciclo del uso sostenible del agua y corregir la inequidad existente en la distribución de los beneficios, impactos y costos que va produciendo aguas abajo el manejo insostenible del territorio.

Para terminar este documento, es muy importante reiterar algunos de los principios que deben aplicarse para llegar a la sostenibilidad territorial utilizando la gestión del agua como una herramienta para lograrla.

- Es necesario cambiar la forma de gestión del agua. Si seguimos haciendo más de lo mismo no podemos esperar resultados diferentes a los que hemos logrado.
- Este cambio se basa en nuevas actitudes y formas de trabajo y de articulación de capacidades que implican pensar y actuar dentro del dominio de la complejidad.
- Es claro que la incertidumbre y el riesgo tendrán un papel cada vez más importante en la planificación y la gestión del agua, lo cual implica una nueva actitud proactiva y anticipatoria.
- La definición de una región claramente delimitada en función de la gestión integrada del agua es esencial para la sostenibilidad territorial.
- El conocimiento y la difusión de la información son motores básicos del cambio y base de una participación positiva y fundamentada.
- La generación y adaptación de nuevas tecnologías y procedimientos ecoamigables son importantes para la sostenibilidad.
- La formulación de políticas y de instrumentos de planificación debe partir de un claro marco ético en el que se apliquen los principios de que “el que contamina paga” y de que “el agua financia al agua” y la aplicación efectiva del acceso al agua de buena calidad como un derecho fundamental.

## Bibliografía

- Anderson, C., Meyer, J., Podolsky, L. y Stoner, P., 2008. Water Resources and Land Use Planning Watershed Strategies for Amador y Calaveras. Local Government Commission.
- Andrade, P., 2006. Análisis comparado de los estudios de caso. En: *La aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión de los recursos hídricos: Un análisis de estudios de caso en América Latina*. Iniciativa del Agua y la Naturaleza de la IUCN y PNUMA.
- CAR, 2002. *Atlas Ambiental CAR 2001*. Ecoforest-Swedforest-CAR, 2000.
- Chambers, N., Simmons, C., y Wackernagel, M., 2000. *Sharing Nature's Interest. Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability*. Earthscan.
- Contraloría de Bogotá, D.C. 2002. *La huella ecológica de Bogotá D.C.: Cálculo y evaluación de su utilidad*. -Estado de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente. Informe Anual. Bogotá, D.C. Imprenta Nacional.
- Dayson, M. Bergkamp, G. Scanlon, J., (eds.), 2003. *Caudal: Elementos esenciales de caudales ambientales*. Tr José María Blanch. San José, CR.: UICN-ORMA. xvi, 125 pp.
- DNP, 2003. Visión regional del plan de Ordenamiento Territorial. En: *Territorio y sociedad: El caso del plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Bogotá*. Ardila, Gerardo (Compilador). Ministerio de Medio Ambiente & Universidad Nacional de Colombia. pp. 235-261. Bogotá, D.C.
- Dourojeanni, A., 2012. Roles de una organización de gestión del recurso hídrico por cuencas, Lima. Perú. Gerencia de Agua y Medio Ambiente, Fundación Chile.
- Guhl, E., 1974. Las lluvias en el clima de los andes ecuatoriales húmedos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigaciones para el desarrollo CID. Cuadernos geográficos No 1.
- Guhl-Nannetti, E., y Montes, P., 2008. *Hacia una Gestión Integrada del Agua en la Región Andina*. Instituto Quinaxi y CAN. Bogotá.
- Guhl-Nannetti, E. 2011-2012. *Lecturas Ambientales Número 2 y 3*. Documentos Inéditos.
- GWP e INBO, 2009. *Manual para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico en cuencas*. Scriptoria.
- Haff, P.K., 2001. Neogeomorphology, Prediction, and the Anthropogenic Landscape.
- Hardin, G., 1968. The tragedy of the commons. *Science* 162 (3859):1243-1248.
- Hoekstra, A. Y. y Chapagain, A. K., 2006. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management*, Springer.
- Hooke, R. L., 1994. On the efficacy of humans as geomorphic agents. *GSA Today* 4 (9): 217-225.
- IDEAM, 2010. *Estudio nacional del agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, D.C.
- JICA, 2009. Estudio de abastecimiento sostenible de agua para la ciudad de Bogotá y áreas circundantes basado en el manejo integrados de recursos hídricos en la República de Colombia. Yachiyo Engineering Ltda. yEAAB.
- Mausser, W., 2007. *Water Resources: Efficient, Sustainable and Equitable Use*. Haus Publishing, London.
- Mitchell, B. 2005. Integrated Water Resource Management, institutional arrangements, and land-use planning. *Environment and Planning* 37:1335-1352.

- PRICC, 2013. ¿Qué es el PRICC? Recuperado el 4 de marzo de 2013. URL: <http://www.priccregioncapital.org/index.php/el-pricc/el-pricc>
- Secretaria Distrital de Planeación (SDP), 2011. Bogotá Ciudad de Estadísticas: Población y Desarrollo Urbano: Boletín 23.
- Shiklomanov, I. A. y Balonishnikova, J. A.**, 2003. World water use and water availability: trends, scenarios, consequences. *Water Resources Systems Hydrological Risk, Management and Development*. Proceedings of symposium HS02b held during IUGG 2003 at Sapporo, July 2003. IAHS No. 281
- Unión Temporal Saneamiento Río Bogotá y EAAB, 2002. Usos y estándares de la calidad del río Bogotá.
- Universidad de los Andes y Secretaría Distrital del Ambiente, 2010. Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2009-2010).
- Universidad Nacional de Colombia, 2010. Resultados y análisis de las campañas de monitoreo de la calidad del agua del río Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Laboratorio de Ensayos Hidráulicos y EAAB.
- Vogt, K., Gordon, J. C., Wargo, J. P., Vogt, D. J., Asbjornsen, H., Palmiotto, P. A., Clark, H. J. O'Hara, J., Keeton, W. S., Patel-Weynand, T. y Witten, E.**, 1997. *Ecosystems: Balancing Science with Management*. Springer, New York.
- Wackernagel, M. y W. Rees**, 1996. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*.

## XYLARIACEAE EN UN BOSQUE DE NIEBLA DEL VALLE DEL CAUCA (COLOMBIA)

## XYLARIACEAE IN A CLOUD FOREST OF VALLE DEL CAUCA (COLOMBIA)

Edier Soto Medina\*, Ana Cristina Bolaños Rojas\*

### RESUMEN

**Soto Medina E., A.C. Bolaños Rojas:** Xylariaceae en un Bosque de Niebla del Valle del Cauca (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 37 (144): 305-???, 2013. ISSN 0370-3908.

El objetivo de este trabajo fue mostrar nuevos registros de Xylariaceae para el Valle del Cauca con descripciones de las especies encontradas en un bosque de niebla de la Reserva Forestal Protectora de Bitaco (Vereda Chicoral, La Cumbre). Se hallaron 14 especies de Xylariaceae, siendo el género *Xylaria* el mejor representado con 12 especies y *Kretzschmaria* con dos. Las especies *Xylaria corniculata*, *X. curta*, *X. kretzschmarioidea* y *X. palmicola* son nuevos registros para el país.

**Palabras clave:** Xylariaceae, *Xylaria*, *Kretzschmaria*, Bosque de Niebla, Chicoral, Valle del Cauca.

### ABSTRACT

The aim of this work was to show new records Xylariaceae for Valle del Cauca with descriptions of the species found in the cloud forest of Protective Forest Reserve Bitaco (Vereda Chicoral, La Cumbre). We found 14 species of Xylariaceae, *Xylaria* gender being the best represented with 12 species and *Kretzschmaria* with two. *Xylaria corniculata*, *X. curta*, *X. kretzschmarioidea* and *X. palmicola* are new records for the country.

**Key words:** Xylariaceae, *Xylaria*, *Kretzschmaria*, cloud forest, Chicoral, Valle del Cauca.

### Introducción

*Xylaria* Hill ex Schrank es un género del cual se han descrito aproximadamente 90 especies, con máxima diversidad en las zonas tropicales (Hladki & Romero, 2005). Las especies de este género crecen frecuentemente sobre hábitats específicos y frecuentemente presentan una amplia variación morfológica, por lo cual el género es taxonómicamente muy complejo.

Los caracteres específicos más confiables de *Xylaria* son las ascosporas y la superficie del estroma. Todas las especies presentan ascosporas no septadas, uniseriadas, más o menos aplanadas y son siempre marrón oscuro a casi negras en la madurez. La superficie puede estar cubierta por una delgada capa fibrosa, la cual se separa en una manera característica para exponer los ostiolas, o sino no está presente, el color de la corteza, la manera como se rompe en la madurez, el grado

\* Grupo de Biología Vegetal Aplicada, Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Biología, Cali, Colombia, Calle 13 N.º 100-00. e-mail: ediersot@gmail.com

de protuberancia de los peritecios y especialmente la forma de las papilas ostiolares son caracteres importantes para la distinción de especies (Hladki & Romero, 2005).

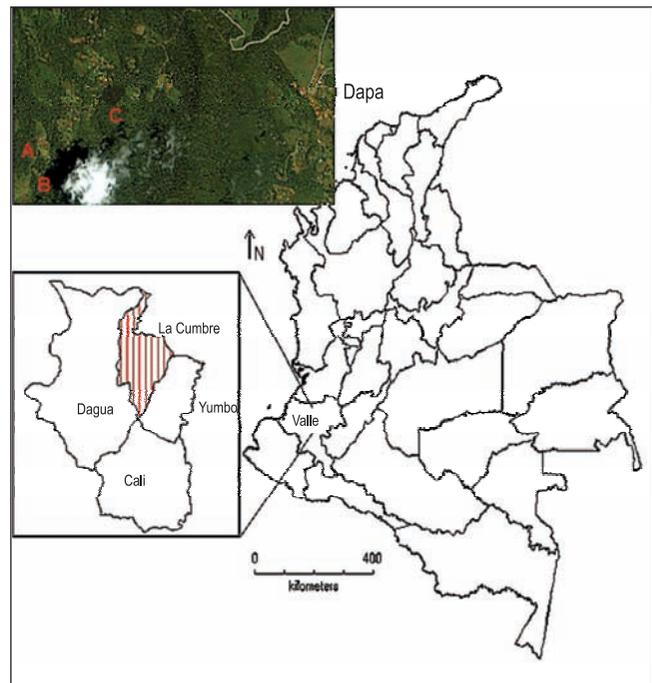
En Colombia, se ha estudiado muy poco el género y sólo existen reportes de la Expedición Anglo-Colombiana del Cacao por P. Henn, de Lindig en La Mesa-San Antonio, Goudot en el Tolima (Dennis, 1956) y por Franco-Molano et al. (2005) en el Caquetá y Colombia en general. Sin embargo, para el Valle del Cauca sólo hay reportes de *Xylaria polymorpha* (Bolaños & Cadavid, 2010), lo que muestra el desconocimiento del género en esta región. El objetivo de este trabajo es dar a conocer nuevos registros de Xylariaceae para el Valle del Cauca con descripciones de las especies encontradas.

## Materiales y métodos

**Zona de muestreo:** El estudio se llevó a cabo en la Reserva Forestal Protectora de Bitaco ubicada en la Vereda Chicoral, Municipio de La Cumbre, departamento del Valle del Cauca, sobre el flanco medio de la Cordillera Occidental ( $4^{\circ} 35' 56''$  de latitud norte y  $77^{\circ} 04' 51''$  de longitud occidental). La Reserva Forestal presenta un área aproximada de 195 hectáreas (Arana, 2006) que van desde los 1700 hasta los 2200 msnm, con una temperatura que oscilan entre  $14^{\circ}$  y  $18^{\circ}$  C y precipitaciones mayores a 2000 mm/año. La Reserva Forestal se caracteriza por presentar una gran riqueza de especies de flora, así como por el alto nivel de epifitismo. Entre las especies vegetales que sobresalen en esta zona se encuentran el roble negro (*Colombobalanus excelsum*) y el comino (*Aniba perutilis*). En cuanto a dominio de acuerdo al hábito, el mayor porcentaje lo representan los árboles con 26% del total, arbustos 26%, hierbas 26%, palmas 24% y helechos 15% (Arana, 2006).

**Recolecta e identificación:** Se montaron de forma aleatoria una parcela permanente de 100 x 100 m en tres coberturas vegetales diferentes: bosque ripario con menor nivel de perturbación, bosque secundario perturbado y potrero (Ferris et al., 2000; Mueller et al. 2004). El bosque ripario presenta elementos como *Otoba lehmani*, *Geonoma* sp. Lauraceae, *Psychotria* sp. y vegetación asociada a bosques primarios, con un sotobosque abierto. Por otro lado, el bosque perturbado estaba dominado por Melastomataceae, *Palicourea* spp. y plantas pioneras, con un sotobosque denso, dominado por lianas y enredaderas.

Las parcelas se ubicaron al menos a 30 m de cualquier borde (Gómez Hernández & Williams-Linera, 2011). Las excursiones de recolecta fueron mensuales durante seis meses. Todos los especímenes fueron recolectados en bolsas de papel encerado y se anotaron datos como el tipo de sustrato, nivel



**Figura 1.** Mapa de la zona de estudio donde se indican la posición de las parcelas. (A) corresponde al bosque ripario, (B) al potrero y (C) al bosque secundario perturbado.

de deterioro del mismo y especie o tipo de planta (Mueller et al., 2004).

Posteriormente, el material fue llevado al herbario de la Universidad del Valle (CUVC) y secados en un horno a una temperatura de  $50 - 60^{\circ}$ C durante 48 horas. En el laboratorio de observaron los especímenes con un estereoscopio (Cambridge Instruments), para describir la superficie de los estromas y los ostiols de los peritecios. Se empleó un microscopio (Olympus BX40) con una regla micrométrica para observar y medir las ascas y ascosporas. Se tomaron fotografías con una cámara Kodak EasyShare C195. Para la identificación, se siguieron las monografías de Dennis (1956) de *Xylaria* neotropicales, Medel et al. (2010) sobre adiciones al conocimiento de *Xylaria* en México y Laessøe & Lodge (1994) sobre especificidad de forófito en especies de *Xylaria*. Todo el material fue depositado en el herbario CUVC de la Universidad del Valle – Cali.

## Resultados y discusión

Se hallaron 14 especies de Xylariaceae, siendo el género *Xylaria* el mejor representado con 12 especies y *Kretzschmaria* con dos. Las especies *Xylaria corniculata* Sacc., *X. curta* Fr., *X. kretzschmarioidea* J. D. Rogers & Rossman y *X. palmicola* Winter son nuevos registros para el país. Esta

relativa alta diversidad de Xylariales se puede explicar por la zona altitudinal intermedia del bosque de niebla, que son considerados como las zonas de mayor diversidad de este grupo de hongos (Lodge et al. 2008). La mayor riqueza de especies se observó en el bosque ripario mejor conservado (11 especies), seguido del bosque secundario perturbado y el potrero (cuatro especies) (Tabla 1). Esto sugiere que la riqueza de especies de *Xylaria* está relacionada con el nivel de perturbación de un ecosistema. Este resultado coincide con los observado por Gómez Hernández & Williams-Linera (2011), en donde la riqueza de macromicetos estuvo relacionada negativamente con la estructura y riqueza de la vegetación de sotobosque; es decir, que la riqueza de hongos es más alta en ecosistemas con un sotobosque menos denso, lo cual ocurre cuando el bosque no está altamente perturbado.

Trece especies crecieron sobre madera y una sólo se observó sobre semillas *Otoba lehmannii* (*X. palmicola*), que es una especie amenazada (UICN). *Xylaria melanura* presentó un amplio rango de sustratos, desarrollándose sobre madera, peciolos de *Schefflera* sp. y semillas de *Otoba lehmannii*. De esta forma, se podría evaluar si estas especies son patógenas de estas semillas.

Este es uno de los primeros trabajos sobre *Xylaria* del país y es el que reporta el mayor número de especies para una zona específica (en la Expedición Anglo-Colombiana del cacao se reportaron 9 especies) (Dennis 1956). Esto evidencia la gran riqueza de los bosques andinos del Valle del Cauca y el escaso conocimiento existente de la diversidad que estos albergan.

**Tabla 1.** Presencia de la especies de Xylariaceae en las parcelas muestreadas.

Especie	Bosque ripario	Bosque secundario	Potrero
<i>X. apiculata</i>	x	x	x
<i>X. axifera</i>	x		
<i>Xylaria corniculata</i>	x		
<i>X. curta</i>	x		
<i>X. hypoxylon</i>		x	
<i>X. kretzschmarioidea</i>	x		
<i>X. meliacearum</i>	x		
<i>X. pallida</i>	x		
<i>X. palmicola</i>	x		
<i>X. polymorpha</i>	x		x
<i>X. scruposa</i>		x	x
<i>X. telfairii</i>			
<i>Kretzschmaria clavus</i>	x	x	x
<i>K. deusta</i>	x		

A continuación se describen las especies de Xylariaceae encontradas con notas sobre su distribución en Suramérica. Se siguió la monografía de Dennis (1953) para las descripciones y se presentan fotografías de los especímenes.

***Xylaria corniculata* Sacc.:** Estroma solitarios a gregarios, clavado cilíndricos, 4 cm largo y 0.8 cm ancho, región fértil 2.2 cm largo; superficie plegada-arrugada; papilas ostiolares lenticulares, 0.1 mm diámetro; ascosporas marrones, curvadas, 24.3x8.03 (29-21x9.5-6) µm; sobre madera en alto grado de descomposición (Fig. 2A).

**Distribución:** Ecuador y México. Nuevo Registro Colombia.

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque ripario, Edier Soto-Medina, Felipe Vejarano y Ana Lemos Delgado 1008.

***Xylaria curta* Fr.:** Estroma clavado, solitario, curvado, 6 cm largo y 0.6 cm ancho; presencia de escamas blancas filamentosas sobre el estroma de color casi negro; papilas ostiolares lenticulares y ostiolo 0.1 mm diámetro; ascosporas 8-12 x4-5 µm; sobre madera en descomposición (Fig. 2C-D).

**Distribución:** Belice, Ecuador, Guianas, México, Puerto Rico y Venezuela. Nuevo Registro Colombia.

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque ripario, Edier Soto-Medina & Felipe Vejarano 947. No hay registros en el país.

***Xylaria cf. hypoxylon* (L.) Grev.** Estroma gregarios, 3.4 cm largo y 0.4 cm ancho, clavado cilíndrico, cerca de la mitad superior es blanca y la inferior negra; la superficie esta cubierta de discos negros con bordes blancos, 0.1 mm diámetro; ascosporas no vistas; sobre madera en descomposición (Fig. 2E-F).

**Distribución:** Belice, Colombia, Ecuador, Guianas, México, Puerto Rico y Venezuela.

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque secundario muy perturbado, Edier Soto-Medina, Felipe Vejarano & Ana Lemos 1052.

#### ***Xylaria kretzschmarioidea* J. D. Rogers & Rossman**

Estroma cerebriforme, superficie verrugosa debido a que los peritecios sobresalen en la superficie; estroma 2.5 cm ancho y 2.3 cm alto, estípite 3 cm largo; el tejido interno blanco amarillento, compacto; peritecios globosos, 0.4-1.2 x 0.3-1.2 mm;



**Figura 2.** Fotografías de los estromas y ascosporas de las Xylariaceae encontradas. (A) estroma de *Xylaria corniculata*, (B) ascospora de *X. corniculata*, (C)-(D) estroma de *X. curta*, (E) estromas de *X. hypoxylon*, (G) estroma cerebriforme de *X. kretschmarioidea* y (H) ascospora de *X. kretschmarioidea*.

ostiolo hemisférico, negro; ascosporas negras, con surco germinativo oblicuo. 25 x 9 µm; sobre madera en descomposición (Fig. 2G-H).

**Distribución:** Argentina y Venezuela. Nuevo registro Colombia.

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque ripario, Edier Soto-Medina, Felipe Vejarano & Ana Lemos s.n.

***Xylaria melanura* (Liv.) Sacc.:** estromas gregarios; filamentos 2.5-3 cm largo y 0.2 cm ancho, ápices (1.5 cm largo) amarillo azufre con dos peritecios subglobosos, superficie filamentosa; peritecios 1.2x1.5 cm; ostiolo cónico, 0.1 mm alto, negro; ascosporas negras, paredes gruesas, subelipsoides y curvadas, 30.1x9.8 µm, anamorfo en forma de dedos sobre estromas jóvenes sin peritecios, amarillo azufrado, 0.5 mm largo; conidias no vistas; sobre peciolos de *Schefflera*. Esta especie sólo se observó en bosque ripario como anamorfos o teleomorfos (Fig. 3A-D).

**Distribución:** Colombia, México y Venezuela.

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque ripario, Edier Soto-Medina, Felipe Vejarano & Ana Lemos 982, 948.

***Xylaria meliacearum* Laessøe:** estromas postrados, 2 cm largo, con peritecios libres agregados a lo largo de un eje; peritecios cubiertos de ectostroma amarillo azufrado, 0.2 cm diámetro, ostiolos papilados; ascas con ocho esporas; ascosporas hialinas a oliva negruzcas, subelipsoides con dos gúttulas; 18.3x5.3 µm. Sobre madera en alto nivel de descomposición (Fig. 3E-G).

**Distribución:** Belice, Ecuador, Guianas, y Puerto Rico. Nuevo Registro Colombia.

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque ripario, Edier Soto-Medina, Felipe Vejarano & Ana Lemos 1048.

***Xylaria multiplex* (Kze.) Fr.** Estromas densamente cespitosos, negro con ectostroma pardo grisáceo fresco y pardo seco, forma clavada cilíndrica con ápices agudos, superficie rugosa debido a las papilas ostiolares negras, 2-2.8 cm largo y 0.2-0.25 cm ancho; ascosporas, con una o dos gúttulas de 7µm, 12.5x4.2µm, marrones. Sobre madera en alto grado de descomposición y sobre *Geonoma* sp. (Fig. 3H y 4A).

**Distribución:** Belice, Brasil, Colombia, Ecuador, Guianas, México, Puerto Rico y Venezuela.

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque ripario y potrero, Edier Soto-Medina & Felipe Vejarano 873, 953.

***Xylaria cf. pallida* Berk.:** Estroma gregarios, clavados, crema en el ápice y negro en la base, 1.5-3 cm largo y 0.35 cm ancho, se retorcidos cuando secos, superficie lisa cubierta por capa bisoide crema cuando seco; ascosporas gris claro, ocho por asca, 19x8µm (Fig. 4B-C).

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque en bosque ripario, Edier Soto-Medina & Felipe Vejarano 953B.

***Xylaria palmicola* Winter.** Estroma simple, alargado, cilíndrico y con ápices agudos, 8 cm largo y 0.35 mm ancho, zona fértil 1.7 cm largo, verrugoso debido a los peritecios prominentes, superficie parda y lisa, con fisuras longitudinales negras; estípite 6.3 cm largo y 0.20 cm ancho, retorcido y arrugado cuando seco, hueco; peritecios esféricos a ovoides, 0.8-1x0.6-0.8 cm; ostiolos 0.1 mm; ascas 80-90x7 µm; ascosporas marrones, ocho por asca, biseriadas, línea germinal longitudinal, 14-17x6-6.5 µm (Fig. 4D-F).

**Distribución:** Brasil, Ecuador y Puerto Rico. Nuevo registro Colombia

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque ripario, Edier Soto-Medina, Felipe Vejarano & Ana Lemos 1024.

***Xylaria scruposa* (Fr.) Berk.** Estroma clavado cilíndrico a aplanado, cespitoso, pardo cubierto por un ectostroma reticulado de color negro brillante y húmedo, 4 cm largo y 1.5 cm ancho en la parte más ancha; ascosporas marrones, 16-20x6-7 µm; sobre madera *Geonoma* sp. y asociado a briófitos (Fig. 5A-C).

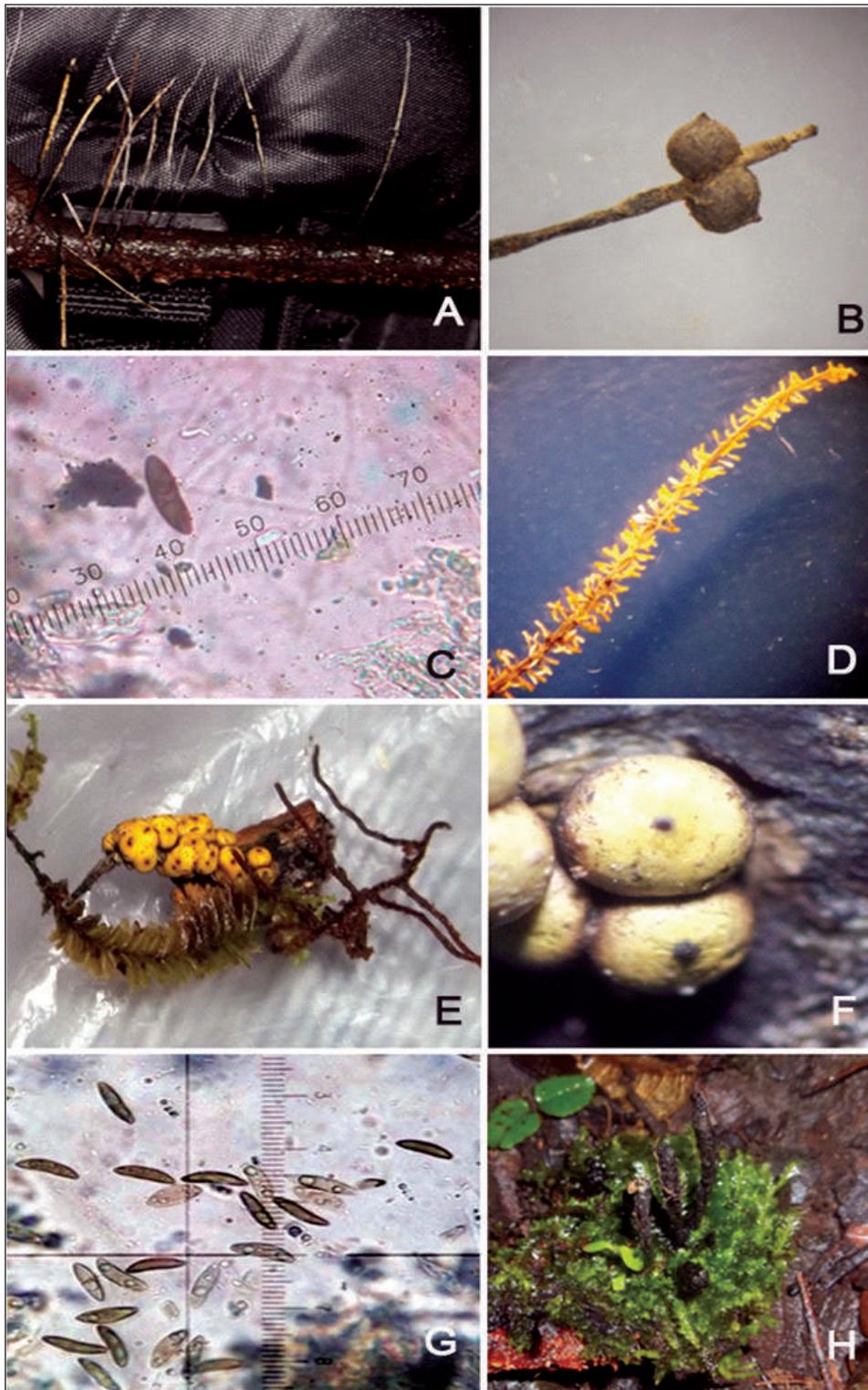
**Distribución:** Brasil, Colombia, Ecuador, México, Puerto Rico y Venezuela.

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque secundario perturbado y potrero, Edier Soto-Medina, Felipe Vejarano & Ana Lemos 52, 65, 198.

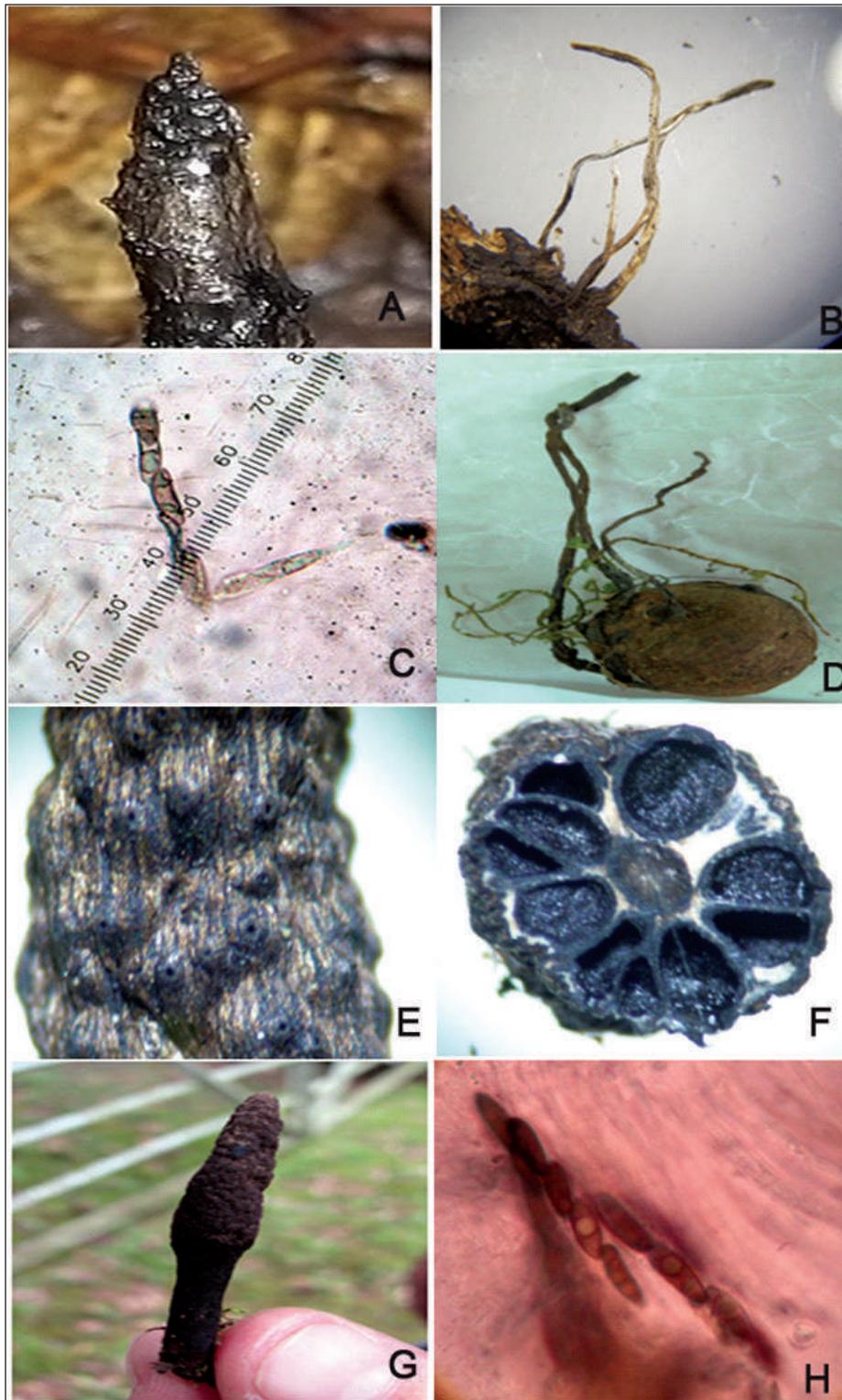
***Xylaria schweinitzii* Berk. & M.A. Curtis.** Estroma solitario o gregario, muy variable en forma, desde clavada a cilíndrica, 2.5 cm largo y 0.6 cm ancho; región infértil de 1.1 cm largo y 0.3 cm ancho, pardo negruzco, superficie rugosa; peritecios convexos, negros, 0.1 mm diámetro; ascas hialinas, 120x7.5 µm; ascosporas gris oscuro, paredes gruesas, 20x7 µm, fusiformes (Fig. 4G-H).

**Distribución:** Tropical.

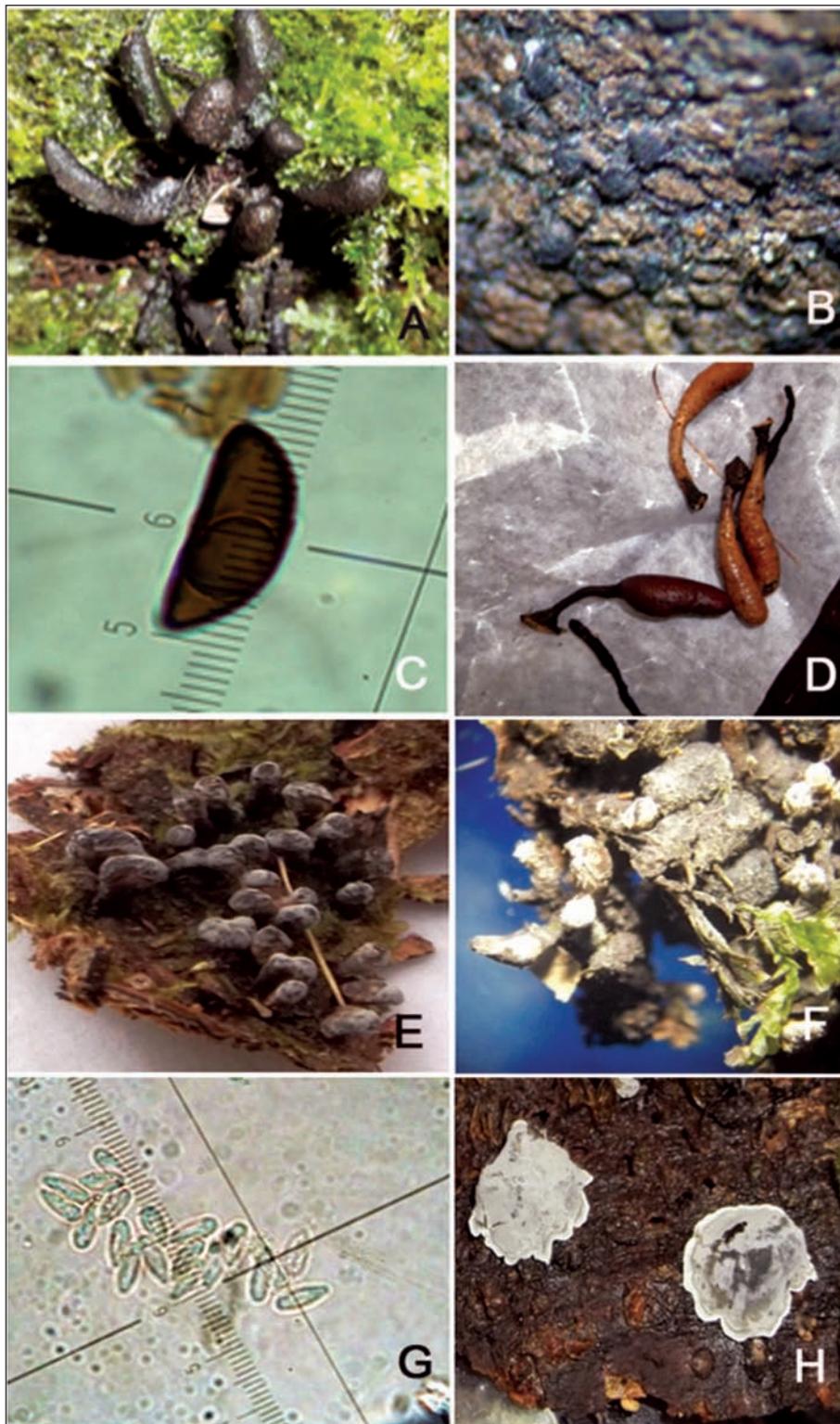
**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en potrero, Edier Soto-Medina 806, 953C.



**Figura 3.** Fotografías de los estromas y ascosporas de las Xylariaceae encontradas. (A) estroma de *Xylaria melanura*, (B) peritecios de *X. melanura*, (C) ascosporas de *X. melanura*, (D) anamorfo de *X. melanura*, (E) estroma de *X. meliacearum*, (F) peritecios de *X. meliacearum*, (G) ascosporas de *X. meliacearum* y (H) habito de *X. multiplex*



**Figura 4.** Fotografías de los estromas y ascosporas de las Xylariaceae encontradas. (A) estroma de *Xylaria multiplex*, (B) estroma de *X. pallida*, (C) ascosporas de *X. pallida*, (D) habito de *X. palmicola*, (E) peritecios de *X. palmicola* y (F) corte transversal de estroma de *X. palmicola*, (G) estroma *X. polymorpha* y (H) ascosporas de *X. schweinitzii*.



**Figura 5.** Fotografías de los estromas y ascosporas de las Xylariaceae encontradas. (A) estroma de *Xylaria scruposa*, (B) peritecios de *X. scruposa*, (C) ascosporas de *X. scruposa*, (D) estroma de *X. telfairii*, (E)-(F) anamorfo de *Kretzschmaria clavus*, (G) ascosporas de *K. clavus* y (H) anamorfo de *K. deusta*.

*Xylaria telfairii* (Berk.) Sacc.: Estromas solitarios, clavados, 4-5 cm largo y 0.8-1 cm ancho, pardo naranja, liso; espípite concoloro; peritecios negros incrustados en el estroma y sólo se puede ver un pequeño ostiolo en la superficie; ascosporas 16-22x 6-8 µm. Sobre madera en descomposición (Fig. 5D).

**Distribución:** Belize, Brasil, Colombia, Ecuador, Guianas, México, Puerto Rico y Venezuela.

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque secundario muy perturbado, Edier Soto-Medina 846.

*Kretzschmaria clavus* (Fr.: Fr.) Sacc.: estroma turbinado gregario, la masa de estromas llegaba hasta 20 cm diámetro; gris negruzco, liso, 3-5 mm alto y 2 mm ancho, algunos eran bífidios, zona fértil 2 mm alto y 2 mm diámetro; conidiosporas del anamorfo hialinas, elipsoides con ápices redondos, 8x3 µm (Fig. 5E-G).

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque bosque secundario perturbado, ripario y en potrero, Edier Soto-Medina & Felipe Vejarano, 999.

*Kretzschmaria deusta* (Hoffm.: Fr.) P. Martin: cuerpos fructíferos resupinados (ustulinoides), gris pulverulento en el centro y margen blanco, 2 cm diámetro y 0.3 cm grueso. Sobre madera en descomposición y las conidiosporas se liberan fácilmente por vibración o viento (Fig. 5H).

**Colombia:** Valle del Cauca, Municipio de la Cumbre, Vereda Chicoral, Reserva Forestal Bitaco; en bosque en bosque ripario, Edier Soto-Medina, Felipe Vejarano & Ana Lemos s.n.

## Conclusiones

Se encontraron 14 especies de Xylariales, de las cuales *Xylaria corniculata* Sacc., *X. curta* Fr., *X. kretzschmarioidea* J. D. Rogers & Rossman y *X. palmicola* Winter son nuevos registros para el país. Este es el registro más alto de especies de Xylariales para Colombia, lo cual evidencia el poco conocimiento que se tiene del grupo en el país. Estos resultados sugieren que la riqueza de especies de Xylariales puede ser afectada negativamente por la perturbación antrópica.

## Agradecimientos

A la Dra. Deborah Lodge (Biological and Environmental Influences on Forest Health and Productivity, USDA) por las observaciones y las correcciones en las identificaciones de los especímenes. A Viviana Motato por la idea del proyecto. Al programa de Jóvenes investigadores e innovadores de Colciencias 2010 por la financiación de la investigación.

## Referencias

- Arana, A. E. 2006. Plan de Manejo Participativo Reserva Forestal de Bitaco. Valle del Cauca. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC Dirección Técnica Ambiental Grupo de Biodiversidad. 205p.
- Dennis, R. W. G. 1956. Some Xylarias of Tropical America. Kew Bull. 3: 401-444.
- Bolaños, A.C. & Cadavid, L. 2010. Riqueza y abundancia de hongos macromicetes en la Reserva Natural San Cipriano - Colombia. (Enviado para publicación Cespedesia).
- Franco, A. E., Aldana R. & Halling R. E. 2000. Setas de Colombia (Agaricales, Boletales y otros hongos). Colciencias, Universidad de Antioquia, Medellín, 156 pp.
- Gomez-Hernandez, M. & Williams-Linera, G. 201. Diversity of macro-mycetes determined by tree species, vegetation structure, and micro-environment in tropical cloud forests in Veracruz, Mexico. Botany 89: 203-216.
- Ferris, R., Peace A. J. & Newton A. C. 2000. Macrofungal communities of lowland Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten.) plantations in England: relationships with site factors and stand structure. For. Ecol. Manage. 131(1-3): 255-267.
- Hladki, A. I. & Romero A. I. 200. Primeras citas del género *Xylaria* (Ascomycota, Xylariaceae) para la República Argentina. Darwiniana 45: 28-44.
- Laessøe, T. & Lodge D. J. 1994. Three Host-Specific *Xylaria* Species. Mycologia 86 (3): 436-446.
- Lodge, D. J., Laessøe T., Aime M. C. & Henkel T. W. 2008. Montane and cloud forest specialists among neotropical *Xylaria* species. North Am. Fungi 3: 193-213.
- Medel, R., Guzmán G. & Castillo R. 2010. Adiciones al conocimiento de *Xylaria* (Ascomycota, Xylariales) en México. Rev. Mex. Mic. 31: 9-18.
- Medel, R., R. Castillo & Guzmán G. 200. Las especies de *Xylaria* (Ascomycota, Xylariaceae) conocidas de Veracruz, México y discusión de nuevos registros. Rev. Mex. Mic. 28: 101-118.
- Mueller, G. M., Schmit J. P., Rywarden L., O'Dell T. E., Lodge D. J., Leacock P. R., Mata M., Umaña L., Wu Q. & Czederpiltz D.L. 2004. Recommended protocols for sampling macrofungi. Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods. Elsevier Academic Press 169-172.
- Vasco-Palacios A. M., Franco-Molano A. E., López-Quintero C. A. & Boekhout T. 2005. Macromicetes (ascomycota, basidiomycota) de la región del medio Caquetá, departamentos de Caquetá y Amazonas (Colombia). Biota Colombiana 6 (1) 127 - 140.



**ANNOTATED CHECKLIST OF SPONGES (PORIFERA) FROM THE SOUTHERNMOST CARIBBEAN REEFS (NORTH-WEST GULF OF URABÁ), WITH DESCRIPTION OF NEW RECORDS FOR THE COLOMBIAN CARIBBEAN**

**LISTA ANOTADA DE ESPONJAS (PORIFERA) DE LOS ARRECIFES MÁS MERIDIONALES DEL MAR CARIBE (NOROCCIDENTE DEL GOLFO DE URABÁ), CON LA DESCRIPCIÓN DE NUEVOS REGISTROS PARA EL CARIBE COLOMBIANO**

Diego Valderrama\*, Sven Zea\*\*

**ABSTRACT**

**Valderrama, D., S. Zea.** Annotated checklist of sponges (Porifera) from the southernmost Caribbean reefs (North-West Gulf of Urabá), with description of new records for the Colombian Caribbean. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 37 (144): 305-???, 2013. ISSN 0370-3908.

The North-West Gulf of Urabá, Colombia, harbors the southernmost Caribbean reefs, exposed to high turbulence and fluctuating turbidity and salinity. An annotated systematic check-list of sponges from this area is presented. A total of 77 demosponges species (class Demospongiae), 3 homoscleromorph species (class Homoscleromorpha) and 1 calcareous species (class Calcarea) were found to inhabit rocky shores and reefs, above 20 m depth. Some species in Urabá bearsiliceous spicules larger than in other Caribbean areas, probably owing to additional silicon input from heavy river discharge in the gulf. This work provides, additionally, the formal taxonomic description of 15 species, which are new records for the Colombian Caribbean.

**Key words:** Sponges, Porifera, Demospongiae, Calcarea, Caribbean, hipsilicified spicules.

**RESUMEN**

El nor-occidente del Golfo de Urabá, Colombia, abriga los arrecifes más meridionales del Mar Caribe, sometidos a altas turbulencias y condiciones fluctuantes de turbidez y salinidad. Se presenta una lista sistemática anotada de esponjas (Porifera) de esta área. Un total de 77 especies de la clase Demospongiae, 3 especies de la clase Homoscleromorpha y 1 especie de la clase Calcarea fueron encontradas en litorales rocosos y áreas

\* Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, UFBA/UEFS, Salvador, Brasil, diego.valderrama.bio@gmail.com

\*\* Centro de estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR, Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, c/o INVEMAR, Calle 25 2-55, Rodadero Sur - Playa Salguero, Santa Marta, Colombia. sezeas@unal.edu.co

arrecifales por encima de los 20 m de profundidad. Algunas especies en Urabá presentan espículas silíceas con dimensiones superiores a las registradas en otras áreas del Caribe, debido probablemente al aporte adicional de sílice de las grandes descargas de los ríos en el interior del Golfo. Este trabajo incluye, adicionalmente, la descripción taxonómica formal de 15 especies, que representan nuevos registros para el Caribe Colombiano.

**Palabras clave:** esponjas, Porifera, Demospongiae, Calcarea, Caribe, espículas hipsilicificadas.

## Introduction

The continental coast of Colombia in the Caribbean Sea has particular ecological and geological features that differ markedly from other intensively explored areas of the Caribbean (see **Hajdu et al.**, 1995). This is especially true for the Gulf of Urabá, an area near the Colombia-Panama border that represents the southernmost portion of the Caribbean Sea. That area was part of the deep ocean corridor that connected the eastern Pacific to the Caribbean Sea before the rising of the Isthmus of Panama. Currently it is greatly influenced by large amounts of sediments and fresh water discharged by the Atrato River (**Chevillot et al.**, 1993; **Duque-Caro**, 1990). Moreover, at the North-West margin of the Gulf, fringing and patch reefs flourish in conditions of fluctuating high turbulence, turbidity and salinity (**Diaz et al.**, 2000). In spite of these environmental and geological features, the knowledge of the flora and fauna of the Gulf of Urabá is very poor, even compared to other areas of the Colombian Caribbean (**Bula-Meyer & Schnetter**, 1988, **Alvarado**, 1992; **Zea**, 1998).

The systematic study of sponges in Colombia is very recent, covering only the last three decades. In the Gulf of Urabá, surveys have been carried out on rocky shores and reef environments, less than 20 m in depth, along the coastline of Capurgana and Sapzurro towns, located in the North-West margin of the Gulf. The first sponge collections there were made during an expedition by Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR in 1977 (without the participation of the authors). This material was analyzed by **Zea** (1987) within a broader assessment of sponges from several areas of the Colombian Caribbean, describing 23 demosponge species for Urabá. Subsequent sponge sampling and ecological studies were carried out during a second expedition by INVEMAR in 1995, aimed at the description and characterization of the local reef areas (with the participation of S. Zea). As a result, **Valderrama & Zea** (2003) described patterns of sponge composition and abundance at 4 reef zones (1-17 m depth), recording the presence of 65 demosponge species and 1 calcareous species along belt transects (20 m<sup>2</sup>). Those and other species were cited or preliminarily described by **Valderrama** (2001). Although some specimens collected in the Gulf of Urabá have been included in the systematic

revisions of some sponge groups [**Valderrama et al.** 2009 (re-describing 1 calcareous species of the genus *Leucetta*); **Parra-Velandia**, 2011 (re-describing several demosponge species of the genus *Agelas*)], most available material awaits further analysis and formal description.

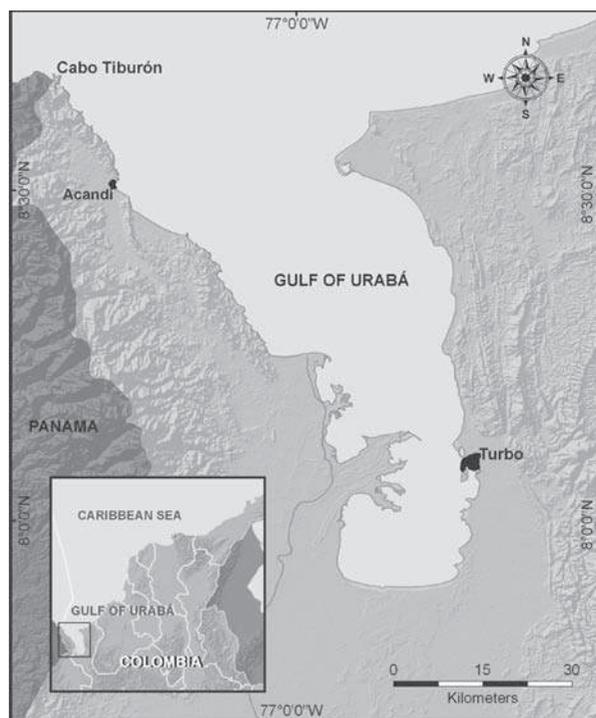
The high diversity and abundance of sponges in the North-West of Gulf of Urabá (**Valderrama & Zea**, 2003) prompted additional sampling in 2004 (carried out by D. Valderrama) for natural products research at the Marine Natural Products Research lab (Universidad de Antioquia), which led to promising results (**Galeano & Martínez**, 2007; **Martínez et al.**, 2007a, 2007b; **Zabala et al.**, 2008). At this point we see the need for a synthesis and inventory of the sponge fauna from the area in order to support ongoing and future studies and to generate awareness in the region about the existence, need for conservation, and possible utilization of marine resources.

The purpose of this study is to compile data on all sponge species known from the North-West Gulf of Urabá in a systematic species checklist, based on unpublished data and literature records (systematics and distribution). This includes relevant taxonomic notes, data on species distribution along local reef zones and the systematic description of 15 species that are new records from the Colombian Caribbean). Thus, this study adds new information for the inventory of the shallow sponge fauna of the Colombian Caribbean, estimated at approximately 280 species (**Zea**, 1998).

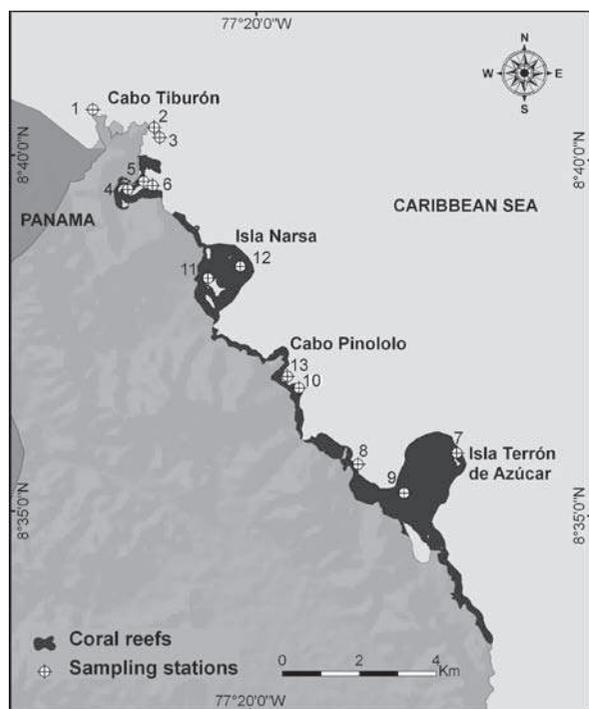
## Study area

The Gulf of Urabá, located in the southernmost portion of the Caribbean Sea, is a N-S embayment, roughly 85 km long and 15-30 km wide. Fringing reefs and some isolated patch reefs are located at the North-West margin of the Gulf, from 8°35' N near the town of Acandí to the border between Colombia and Panamá at Cabo Tiburón, covering 12 miles of coast (Figure 1). That area is bordered by a limestone terrace that is strongly exposed to North-East Trade winds, which together with the discharge of the Atrato River to the south and several minor rivers, produce characteristic seasonal conditions of high turbulence and fluctuating turbidity and salinity in shallow waters. Sponge observations and sampling were ca-

ried out in 6 reef zones dominated by different coral-algal associations described in detail by **Diaz et al.** (2000).



**Figure 1.** Map of Colombia showing the Gulf of Urabá region.



**Figure 2.** North-West Gulf of Urabá and sampling stations

## Materials and methods

Sponge sampling was carried out between September 28<sup>th</sup> and October 2<sup>th</sup> 1995, during an expedition to the Gulf of Urabá by INVEMAR aboard the research vessel Ancón. Thirteen stations were surveyed by SCUBA, each spanning a plot of about 20 x 20 m (400 m<sup>2</sup>) of homogeneous coral cover, in depths between 1 and 17 m (Figure 2, Table 1). Species were visually identified in the field and fragments of those posing identification difficulties were collected for closer examination, on board and in the laboratory. Samples were fixed in 10% formalin in seawater buffered with sodium borate (20g l<sup>-1</sup>) and preserved in 70% ethanol after 1-3

**Table 1.** Sampling stations in reef areas of the North-West Gulf de Urabá. Modified from **Valderrama & Zea** (2003). Abbreviations represent types of coral assemblages (SSI: *Siderastrea siderea*; DST: *Diploria strigosa-crustose algae*; AAG: *Agaricia* spp.; MIX: mixed massive corals) and reef zones (SF: shallow calcareous flat, DF: deep calcareous flat, RD: Reef dome, RS: coralline slope, RB: reef base).

Station	Locality	Coral assemblage	Reef zone	Depth min-max (median) (m)
1	Cabo Tiburón	DST	DF	9.0
2	Sapzurro Cove (north to the entrance)	MIX	RB	15.0-17.0 (16.0)
3	Sapzurro Cove (north to the entrance)	SSI	SF	2.5-3.0 (2.7)
4	Sapzurro Cove (lagoon)	SSI	SF	1.0-2.0 (1.5)
5	Sapzurro Cove (north entrance)	DST	SF	3.0-4.0 (3.5)
6	Sapzurro Cove (south entrance)	MIX	RS	12.5-15.0 (13.7)
7	Isla Terrón de Azúcar (north side)	DST	DF	6.0-7.0 (6.5)
8	Cape in front of Isla Terrón de Azúcar	DST	DF	7.0-8.0 (7.5)
9	Patches between Isla Terrón de Azúcar and the shore	AAG	RD	9.0-10.0 (9.5)
10	Cabo Pinololo (south side)	SSI	SF	2.0-3.0 (2.5)
11	Capurgana Bay (north side)	SSI	SF	2.0-3.0 (2.3)
12	Isla Narsa	MIX	RS	11.0-15.0
13	Cabo Pinololo (south side)	AAG	RS	4.0-9.0

days. Permanent spicule preparations and tissue sectioning were performed following standard procedures (see **Rützler**, 1978; **Zea**, 1987). These preparations were analyzed under a Leitz Wetzlar compound microscope, identifying and measuring different spicule and spongin fiber types. Spicule types and skeletal organizations were drawn using a camera lucida.

All information obtained was compared to previous sponge studies in the area and the latest literature on systematics and taxonomy of marine sponges. All specimens (including slides and vouchers) were deposited in the Porifera collections of the Museo de Historia Natural Marina de Colombia at INVEMAR (INV-POR), in Santa Marta, and the Museo de Historia Natural, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia [ICN-MHN (Po)], in Bogotá, Colombia. Institutional acronyms used in the text to refer to other sponge collections are as follows: Natural History Museum, London (BMNH), Instituto de Zoología de la Academia de Ciencias de Cuba (IdO), Museo e Istituto di Zoologia Sistemática, Università di Torino (MT-Por), Museum of Comparative Zoology, Harvard University, Cambridge, Massachusetts (MCZ), Museum National d'Histoire Naturelle de Paris (MNHN), Museo Civico de Storia Naturale "Giacomo Doria", Genoa (MSNG), Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ-POR), National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington (USNM), Peabody Museum, Yale University (YPM), Zoologisch Museum, Universiteit van Amsterdam (ZMA-POR).

Formal descriptions of new records for the Colombian Caribbean are provided. In general, each description includes: (1)

full synonymy [including holotype catalogue number and type locality (type loc.)] or reference to previously gathered synonymy, and additions; (2) material examined, including sample site and station number (st.n.), substratum, habitat, depth, sampling date and collector (coll.); (3) morphological description, including colors based on the Naturalist's Color Guide of the American Museum of Natural History (NCG, **Smithe**, 1975), spiculation [with measurements of n=25 spicules, unless otherwise noted, providing minimum-mean(standard deviation)-maximum sizes, usually length x width] and/or architecture (min.-max.); (4) distribution; (5) taxonomic remarks. Pictures *in vivo* and camera lucida drawings are also provided when available. Sponge classification follows the Systema Porifera (**Hooper & van Soest**, 2002).

## Results and discussion

### Diversity

A total of 77 demosponge species, 3 homoscleromorph sponge species and 1 calcareous sponge species have been found to date in the North-West Gulf of Urabá (including 1 species complex, 2 ampho-Atlantic species and 4 undescribed species). This represents 46 genera, 31 families, and 11 orders within 3 classes of the Phylum Porifera (Table 2). The species *Calyx podatypa* (de Laubenfels), although previously cited for Urabá (see **Zea**, 1987), was not found during the present study. Six additional morphotypes have also been found in Urabá but their identity is yet undetermined (see **Valderrama**, 2001).

**Table 2.** Annotated checklist of sponges (Porifera) from the North-West of Gulf of Urabá, Colombian Caribbean (\*: described in detail in the text; \*\*: visually identified; \*\*\*: revision that includes material from Urabá).

Taxa	Record for Colombia	Specimens from Urabá	Stations in Urabá
<b>Phylum</b> Porifera			
<b>Class</b> Homoscleromorpha			
<b>Order</b> Homosclerophorida			
<b>Family</b> Plakinidae			
<i>Plakortis angulospiculatus</i> - <i>P. zyggompha</i> complex <sup>1</sup>	<b>Zea</b> , 1987	INV-POR 0564, 0565	1,2
<i>Plakortis halichondrioides</i> (Wilson, 1902) **	<b>Zea</b> , 1987		2
<i>Plakinastrella onkodes</i> Uliczka, 1929 <sup>2</sup>	<b>Zea</b> , 1987	INV-POR 0560	2,9
<b>Class</b> Demospongiae			
<b>Subclass</b> Tetractinomorpha			
<b>Order</b> Spirophorida			
<b>Family</b> Tetillidae			
<i>Cinachyrella kuekenhali</i> (Uliczka, 1929) <sup>3</sup>	<b>Rützler &amp; Smith</b> , 1992	INV-POR 0538, 0581	1,2, 6-8, 12

<b>Order</b> Astrophorida			
<b>Family</b> Ancorinidae			
<i>Ecionemia megastylifera</i> Wintermann-Kilian & Kilian, 1984 <sup>4</sup>	<b>Wintermann-Kilian &amp; Kilian, 1984</b>	INV-POR 0562, 0563	7,9
<b>Order</b> Hadromerida			
<b>Family</b> Clionaidae			
<i>Cliona laticavicola</i> Pang, 1973**	<b>Hofman &amp; Kielman, 1992</b>		5
<i>Cliona varians</i> (Duchassaing & Michelotti, 1864)** <sup>5</sup>	<b>Hofman &amp; Kielman, 1992</b>		1,2,4, 6-8, 12, 13
<i>Cliona aprica</i> Pang, 1973 <sup>6</sup>	<b>Zea &amp; Weil, 2003***</b>	INV-POR 0577	3,13
<i>Cliona tenuis</i> Zea & Weil, 2003 <sup>7</sup>	<b>Zea &amp; Weil, 2003***</b>	INV-POR 0578-0580	1,6-8,12
<b>Family</b> Placospongiidae			
<i>Placospongia</i> sp.1* <sup>8</sup>	<b>van Soest, 2009</b>	INV-POR 0546	4,5,7,8,10,11
<b>Family</b> Polymastiidae			
<i>Polymastia tenax</i> Pulitzer-Finali, 1986**			2
<b>Family</b> Spirastrellidae			
<i>Spirastrella coccinea</i> (Duchassaing & Minchelotti, 1864) *		INV-POR 0574	1,2,7-9
<i>Spirastrella hartmani</i> Boury-Esnault, Klautau, Bézac, Wulff & Solé- Cava, 1999* <sup>9</sup>	<b>Wintermann-Kilian &amp; Kilian, 1984</b>	INV-POR 0576	1
<b>Demospongiae</b> “Lithistids”			
<b>Family</b> Azoricidae			
<i>Leiodermatium</i> aff. <i>pfeifferae</i> (Carter, 1873) *		INV-POR 0570	2,6
<b>Subclase</b> Ceractinomorpha			
<b>Order</b> Poecilosclerida			
<b>Suborder</b> Microcionina			
<b>Family</b> Microcionidae			
<b>Subfamily</b> Microcioninae			
<i>Clathria (Microcionia) echinata</i> (Alcolado, 1984) <sup>10</sup>	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0280, 0568; ICN-MHN (Po) 0111	2
<i>Clathria (Microcionia) spinosa</i> (Wilson, 1902)	<b>Zea, 1987</b>	INV-POR 0557	7
<i>Clathria (Thalysias) virgultosa</i> (Lamarck, 1814)* <sup>11</sup>	<b>Wintermann-Kilian &amp; Kilian, 1984</b>	INV-POR 0553	7
<i>Clathria (Thalysias) minuta</i> (van Soest, 1984)*		INV-POR 0548	4
<i>Clathria (Thalysias) venosa</i> (Alcolado, 1984)**			4
<i>Clathria (Thalysias) schoenus</i> (de Laubenfels, 1936)**			2
<b>Family</b> Raspailiidae			
<b>Subfamily</b> Raspailiinae			
<i>Ectyoplasia ferox</i> (Duchassaing & Michelotti, 1864)	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0335	2,3,5,6,12
<b>Suborder</b> Myxillina			
<b>Family</b> Coelosphaeridae			
<i>Forcepia (Forcepia)</i> sp.		INV-POR 0567	2
<i>Lissodendoryx (Lissodendoryx) strongylata</i> van Soest, 1984*		INV-POR 0541	1,6
<b>Family</b> Crambeidae			
<i>Monanchora arbuscula</i> (Duchassaing & Michelotti, 1864) <sup>12</sup>	<b>Zea, 1987</b>	INV-POR 0536	1,2,6-8
<b>Family</b> Iotrochotidae			

<i>Iotrochota birotulata</i> (Higgin, 1877)	Zea, 1987 ***	INV-POR 0247	1,2,6-10,12,13
<b>Suborder Mycalina</b>			
<b>Family Desmacellidae</b>			
<i>Neofibularia nolitangere</i> (Duchassaing & Minchelotti, 1864)	Zea, 1987	INV-POR 0554	7
<b>Family Mycalidae</b>			
<i>Mycale (Mycale) laevis</i> (Carter, 1881) **	Zea, 1987 ***	INV-POR 0225	1-3,6-9,12,13
<i>Mycale (Aegogropila) citrina</i> Hajdu & Rutzler, 1998 <sup>13</sup>	Zea, 1987	INV-POR 0549	4
<i>Mycale (Aegogropila) escarlatei</i> Hajdu, Zea, Kielman & Pleixinho, 1995	Hajdu <i>et al.</i> , 1995	INV-POR 0561	11
<b>Order Halichondrida</b>			
<b>Family Axinellidae</b>			
<i>Axinella corrugata</i> (George & Wilson, 1919) <sup>14</sup>	Zea, 1987 ***	INV-POR 0325	2
<i>Dragmacidon reticulatus</i> (Ridley & Dendy, 1886) <sup>15</sup>	Zea, 1987 ***	INV-POR 0327	1,7,9
<i>Ptilocaulis walpersi</i> (Duchassaing & Michelotti, 1864)	Zea, 1987	INV-POR 0545	2,6,9
<b>Family Desmoxyidae</b>			
<i>Myrmekioderma gyroderma</i> (Alcolado, 1984) ** <sup>16</sup>			2,6
<i>Myrmekioderma rea</i> (de Laubenfels, 1934) * <sup>16</sup>		INV-POR 0556	7
<b>Family Dictyonellidae</b>			
<i>Dictyonella funicularis</i> (Rutzler, 1981) ** <sup>17</sup>	Zea, 1987		8
<i>Scopalina ruetzleri</i> (Wiedenmayer, 1977) ** <sup>18</sup>	Zea, 1987		1-6,8,10,11,13
<i>Svenzea zeai</i> (Alvarez, van Soest & Rutzler, 1998) ** <sup>19</sup>	Alvarez <i>et al.</i> , 1998		1,2,6,13
<i>Svenzea flava</i> (Lehnert & van Soest, 1999) * <sup>20</sup>		INV-POR 0537	1
<i>Svenzea tubulosa</i> (Alcolado & Gotera, 1986) * <sup>20</sup>		INV-POR 0550	6
<b>Family Halichondriidae</b>			
<i>Hymeniacion caerulea</i> Pulitzer-Finali, 1986 *		INV-POR 0558	8
<i>Topsentia ophiraphidites</i> (de Laubenfels, 1934)	Díaz <i>et al.</i> , 1993	INV-POR 0534	1,6-8,12
<b>Order Agelasida</b>			
<b>Family Agelasidae</b>			
<i>Agelas citrina</i> Gotera & Alcolado, 1987 *		INV-POR 0551	6
<i>Agelas clathrodes</i> (Schmidt, 1870) **	Zea, 1987		2,6
<i>Agelas conifera</i> (Schmidt, 1870)	Zea, 1987 ***	INV-POR 0355	2,6,12
<i>Agelas dispar</i> Duchassaing & Michelotti, 1864 **	Zea, 1987		2,6,8,12
<i>Agelas sceptrum</i> (Lamarck, 1815) **	Zea, 1987		2
<i>Agelas schmidti</i> Wilson, 1902 <sup>21</sup>		INV-POR 0539	1,2,6-8,12
<i>Agelas wiedenmayeri</i> Alcolado, 1984 ** <sup>22</sup>	Zea, 1987		1,6-8,12
<b>Order Haplosclerida</b>			
<b>Suborder Haplosclerina</b>			
<b>Family Callyspongiidae</b>			
<i>Callyspongia (Cladochalina) vaginalis</i> (Lamarck, 1814)	Zea, 1987 ***	INV-POR 0179	1,8,13
<b>Family Chalinidae</b>			
<i>Chalinula molitba</i> (van Soest, 1980) ** <sup>23</sup>	de Weerd, 2000		6

<i>Haliclona (Halichoclona) vansoesti</i> de Weerdt, Kluijver & Gomez, 1999 *		INV-POR 0540	7
<i>Haliclona (Rhizoniera)</i> sp.		INV-POR 0559	8,9
<i>Haliclona (Soestella) caerulea</i> (Hechtel, 1965) <sup>24</sup>	<b>Zea, 1987 de Weerdt, 2000</b>	INV-POR 0575	3,10,11
<b>Family Niphatidae</b>			
<i>Amphimedon compressa</i> Duchassaing & Michelotti, 1864	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0258, 0259; ZMA-POR 5166	1,2,6, 7,12
<i>Cribrochalina vasculum</i> (Lamarck, 1814)	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0169	12
<i>Niphates erecta</i> Duchassaing & Michelotti, 1864	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0116	1-9, 12,13
<i>Niphates digitalis</i> (Lamarck, 1814) <sup>25</sup>	<b>Zea, 1987</b>	INV-POR 0543	1,2,6
<i>Niphates</i> sp.		INV-POR 0566, 0582	2
<b>Suborder Petrosina</b>			
<b>Family Phloeodictyidae</b>			
<i>Calyx podatypa</i> (de Laubenfels, 1934) <sup>26</sup>	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0265	
<i>Oceanapia bartschi</i> (de Laubenfels, 1934)	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0216; ICN-MHN(Po) 0081	6,9
<i>Oceanapia peltata</i> (Schmidt, 1870) <sup>27</sup>	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0217, 0552	6
<b>Family Petrosiidae</b>			
<i>Neopetrosia carbonaria</i> (Lamarck, 1814) <sup>28</sup>	<b>Zea, 1987</b>	INV-POR 0555	7-9,13
<i>Neopetrosia proxima</i> (Duchassaing & Michelotti, 1864) <sup>29</sup>	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0209, 0535; ICN-MHN(Po) 0074	1,7-9
<i>Petrosia (Petrosia) pellasarca</i> (de Laubenfels, 1934)**	<b>Zea, 1987</b>		2,6
<i>Petrosia (Petrosia) weinbergi</i> van Soest, 1980	<b>Zea, 1987</b>	INV-POR 0533	1,12
<i>Xestospongia muta</i> (Schmidt, 1870)	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0200	2,8,12
<b>Order Dictyoceratida</b>			
<b>Family Irciniidae</b>			
<i>Ircinia felix</i> (Duchassaing & Michelotti, 1864) **	<b>Wintermann-Kilian &amp; Kilian, 1983; Zea, 1987</b>		1-3,5-13
<i>Ircinia campana</i> (Lamarck, 1816)	<b>Wintermann-Kilian &amp; Kilian, 1983; Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0024	1,2,13
<i>Ircinia strobilina</i> (Lamarck, 1816)	<b>Wintermann-Kilian &amp; Kilian, 1983; Zea, 1987***</b>	INV-POR 0025	1,2
<b>Family Thorectidae</b>			
<b>Subfamily Thorectinae</b>			
<i>Smenospongia aurea</i> (Hyatt, 1875) **	<b>Zea, 1987</b>		2
<i>Smenospongia conulosa</i> Pulitzer-Finali, 1986 *		INV-POR 0544	2
<b>Family Dysideidae</b>			
<i>Pleraplysilla</i> aff. <i>spinifera</i> Schulze, 1878*		INV-POR 0547	4
<b>Order Verongida</b>			
<b>Family Aplysinidae</b>			
<i>Aplysina archeri</i> (Higgin, 1875)	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0059, 0061	1,2,6-9
<i>Aplysina cauliformis</i> (Carter, 1882)	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0048, 0049	2,6,12
<i>Aplysina fulva</i> (Pallas, 1776) **	<b>Wintermann-Kilian &amp; Kilian, 1983; Zea, 1987</b>		2

<i>Aplysina lacunosa</i> (Pallas, 1776)	<b>Wintermann-Kilian &amp; Kilian, 1983; Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0062	2
<i>Verongula reiswigi</i> Alcolado, 1987 **			2
<i>Verongula rigida</i> (Esper, 1794)	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0065	1,2,6
<i>Aiolochoxia crassa</i> (Hyatt, 1875) <sup>30</sup>	<b>Zea, 1987 ***</b>	INV-POR 0075	2
<b>Family Aplysinellidae</b>			
<i>Suberea(?) flavolivescens</i> (Hofman & Kielman, 1992) <sup>31</sup>	<b>Hofman &amp; Kielman, 1992</b>	INV-POR 0573	6
<b>Clase Calcárea</b>			
<b>Order Clathrinida</b>			
<b>Family Leucettidae</b>			
<i>Leucettafloridana</i> (Haeckel, 1872) <sup>32</sup>	<b>Valderrama et al., 2009***</b>	INV-POR 0542, 0583	1,2,6,9

<sup>1</sup>Treated as *Plakortis angulospiculatus* (Carter, 1879) by **Zea** (1987), and *Plakortis angulospiculatus?* by **Valderrama & Zea** (1993, distribution). Two morphotypes in Urabá: INV-POR 0565: green morph (NCG 146-Leaf Green), diods 99.3-115.9(9.5)-138 x 3.8-4.8(0.5)-6.2 µm, triods, rare: 34.5-56.9 x 3.5-5.8 µm (n=6); INV-POR 0564: dark brown morph (NCG 19-Dusky Brown, cream inside), diods 74.1-99.3(12.8)-121 x 3.8-4.8(0.5)-5.7 µm, triods, rare: 53x4 µm (n=1).

<sup>2</sup>**Zea** (1987) reported shorter and less robust caltrops [33-94.1-152 x 3.8-16.6-26.1 µm vs. 90.3-148.2(24.7)-190 x 23.8-33.7(6.2)-42.8 µm in Urabá (ray length and base width)].

<sup>3</sup>**Rützler & Smith** (1992) reported shorter and less robust diactine oxeas (2500-4100 x 14-40 µm vs. 3225-6618 x 38.7-83.9 µm in Urabá, n = 5).

<sup>4</sup>Treated as *Ancorina* Schmidt, 1862 by **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution).

<sup>5</sup>Treated as *Anthosigmella* Topsent, 1918 by **Hofman & Kielman** (1992).

<sup>6</sup>Treated as *Cliona aprica-langae-caribbaea* (morphotype 1) by **Valderrama** (2001) *fide* **Zea & Weil** (2003).

<sup>7</sup>Treated as *Cliona aprica-langae-caribbaea* (morphotype 2) by **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution) *fide* **Zea & Weil** (2003).

<sup>8</sup>Treated as *Placospongia intermedia* Sollas, 1888 by **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution). Name and short description of material from Islas del Rosario (Cartagena, Colombia) provided by **van Soest** (2009).

<sup>9</sup>Treated as *Spirastrella cunctatrix* Schmidt, 1868 by **Wintermann-Kilian & Kilian** (1984).

<sup>10</sup>Treated as *Clathria (Microciona) simpsoni* van Soest, 1984 by **Zea** (1987).

<sup>11</sup>Treated as *Thalysias juniperina* (Lamarck, 1814) by **Wintermann-Kilian & Kilian** (1984).

<sup>12</sup>Treated as *Monanchora unguifera* (de Laubenfels, 1953) by **Zea** (1987).

<sup>13</sup>Treated as *Mycale (Aegogropila) americana* van Soest, 1984 by **Zea** (1987).

<sup>14</sup>Treated as *Teichaxinella burtoni* (de Laubenfels, 1934) by **Zea** (1987).

<sup>15</sup>Treated as *Pseudaxinella lunaecharta* (Ridley & Dendy, 1886) by **Zea** (1987).

<sup>16</sup>Both names, *Myrmekioderma gyroderma* and *M. rea*, have been used for what in most Caribbean coral reef literature had been known as *M. styx* (de Laubenfels, 1953). According to **Castellanos et al.** (2003, material from Santa Marta, Colombia), *Myrmekioderma gyroderma* is the valid name to the typical *M. styx* of Caribbean authors. It has stout oxea and no styles, in addition to the smaller acanthoxea and rhapides (in trichodragmata). On the other hand, K. Ruetzler (USNM, *in litt.*), revised the holotypes of *M. styx* and *M. rea* and found them to be conspecific. From priority, *M. rea* is thus the valid name. It has a spicule complement of slender styles and oxea, the usual smaller acanthoxea, and two categories of raphides (in trichodragmata).

<sup>17</sup>Treated as *Ulosa* de Laubenfels, 1936 by **Zea** (1987).

<sup>18</sup>Treated as "*Ulosa*" by **Zea** (1987).

<sup>19</sup>Treated as *Pseudaxinella(?)* by **Alvarez et al.** (1998, original description), **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution).

<sup>20</sup>Treated as *Pseudaxinella(?)* by **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution).

<sup>21</sup>Treated as *Agelas sventres* Lehnert & van Soest, 1996 by **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution), *fide* **Parra-Velandia** (2011).

<sup>22</sup>Treated as *Agelas schmidtii* Wilson, 1902 by **Zea** (1987), **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution), *fide* **Parra-Velandia** (2011).

<sup>23</sup>Treated as *Dendroxea carmabi* (van Soest, 1980) by **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution).

<sup>24</sup>Treated as *Sigmatocia* de Laubenfels, 1936 by **Zea** (1987).

<sup>25</sup>Specimen from Urabá bears auxiliary sigmas as reported by **Zea** (1987) in other areas of the Colombian continental shelf.

<sup>26</sup>Treated as *Pachypellina* Burton, 1934 by **Zea** (1987).

<sup>27</sup>Treated as *Foliolina* Schmidt, 1870 by **Zea** (1987).

<sup>28</sup>Treated as *Pellina* Schmidt, 1870 by **Zea** (1987) and as *Xestospongia* de Laubenfels, 1932 by **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003).

<sup>29</sup>Treated as *Xestospongia* de Laubenfels, 1932 by **Zea** (1987), **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution).

<sup>30</sup>Treated as *Pseudoceratina* Carter, 1875 by **Zea** (1987).

<sup>31</sup>Treated as *Axinissa* von Lendenfeld, 1897 (order Halichondrida, family Halichondriidae) by **Hofman & Kielman** (1992). It was tentatively placed in *Suberea* by **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution), because they found that the spicule complement was foreign, and instead its skeleton was made up of scattered dendritic verongid-like sponge fibers.

<sup>32</sup>Treated as *Leucetta* aff. *floridana* by **Valderrama** (2001) and **Valderrama & Zea** (2003, distribution).

### Hypersilicified spicules

This study shows the existence of some demosponge species in which spicule size and/or ornamentation are larger in Urabá than in other Caribbean areas (6 of 21 species for which data are available for comparison). This trend was evident in both length and width of part of the spicules of *Plakinastrella onkodes* (calthrops), *Cinachyrella kuekenhali* (oxeas), *Leiodermatium* aff. *pfeifferae* (oxeas) and *Agelas citrina* (acanthostyles). In fact, **Zea** (1987) detected this trend in at least 37 of 70 species from the Colombian Caribbean, comparing continental and oceanic populations (SW Caribbean), being more evident in populations from the southern coast of Colombia, especially from Urabá. These findings help to support the thesis that the presence of hypersilicified skeletons in the Colombian continental shelf, is likely to be correlated to a high fluvial input of dissolved silica, discharged by the large rivers of the southern Caribbean and Central America (e.g., Atrato, Magdalena and San Juan rivers) (**Zea**, 1985, 1987).

Concomitantly, an increase in the production of ornaments and appearance of accessory siliceous elements was also detected in Urabá. For example, occurrence of a small size of spined tylostyles (recorded smooth elsewhere) in *Clathria minuta* and appearance of accessory sigmata in *Niphates digitalis* [recorded also in other continental areas of Colombia (**Zea**, 1987), but not elsewhere]. Similar findings were found in sponges experimentally exposed to environments with high concentrations of silica (references in **Jones**, 1979, see also **Maldonado et al.**, 1999). Moreover, it has been demonstrated that the influence of silica concentration on spicule growth may influence not only spicule shape and size, but also the phenotypic expression of several spicule types which are available genetically for a certain sponge (**Maldonado et al.**, 1999).

The sponge *Svenzea tubulosa*, however, showed a larger spicule size in width only (styles). Similarly, experimental studies with *Spongilla lacustris* and *Suberites domuncula* demonstrated that an increase in environmental silica is related to an increase in spicule width but not in length (**Jones**, 1979; **Simpson et al.**, 1985). On the other hand, **Weissenfels & Landschoff** (1977) experimentally recorded in the freshwater sponge *Ephydatia fluviatilis* normal values in spicule length, but not in width, in sponge individuals deprived of food, under normal environmental concentrations of silica. Temperature is another factor which may influence spicule growth. Experimental studies of its effect have been conducted with *Microciona prolifera*, being inversely correlated with spicule width, but little correlation with length (**Simpson**, 1978). In Colombia, for example, in some species those populations exposed to cold-water upwelling (in Santa Mar-

ta) show comparative smaller spicules than other continental areas (**Zea**, 1987).

### Systematic descriptions of new records from the Colombian Caribbean

15 species of the Class Demospongiae are here formally recorded and described for the first time for the Colombian Caribbean. Of these, 2 species have names originating in the eastern Atlantic populations (presented as aff.) and 1 is a known but yet-unnamed species (presented as sp.). New species will be published elsewhere.

Phylum Porifera Grant, 1836  
Class Demospongiae Sollas, 1885  
Order Hadromerida Topsent, 1894  
Family Placospongiidae Gray, 1867  
Genus *Placospongia* Gray, 1867

*Placospongia* sp.1. Fig. 3.

Synonymy *vide van Soest*, 2009: 11.

*Placospongia carinata*; **Little**, 1963: 56, fig. 25, 27; **Hechtel**, 1965: 62, pl. 7 (fig. 1); **Alcolado**, 1976: 6; **Coelho & Mello-Leitão**, 1978: 1; **Pulitzer-Finali**, 1986: 100; **van Soest**, 2009: 10 (unpublished specimens from the ZMA collection). **Rua et al.**, 2006: 197; [NONP. *carinata* (Bowerbank, 1858)]; **Muricy et al.**, 2011: 67 (Brazilian records).

*Placospongia intermedia*; **Lehnert & van Soest**, 1998: 80; **Alcolado**, 2002: 60; **Alcolado & Busutil**, 2012: 68. [NONP. *intermedia*; **de Laubenfels**, 1936a: 454 (Caribbean coast) = *Placospongia* sp. 3 of **van Soest**, 2009]. [NONP. *intermedia* **Sollas**, 1888].

### Material

INV-POR 0546: Sapzurro Cove (st.n. 4), on crevices between colonies of *Siderastrea siderea*, coralline flat of *S. siderea*, 3 m, 29 Sep. 1995, coll. S. Zea.

### Description

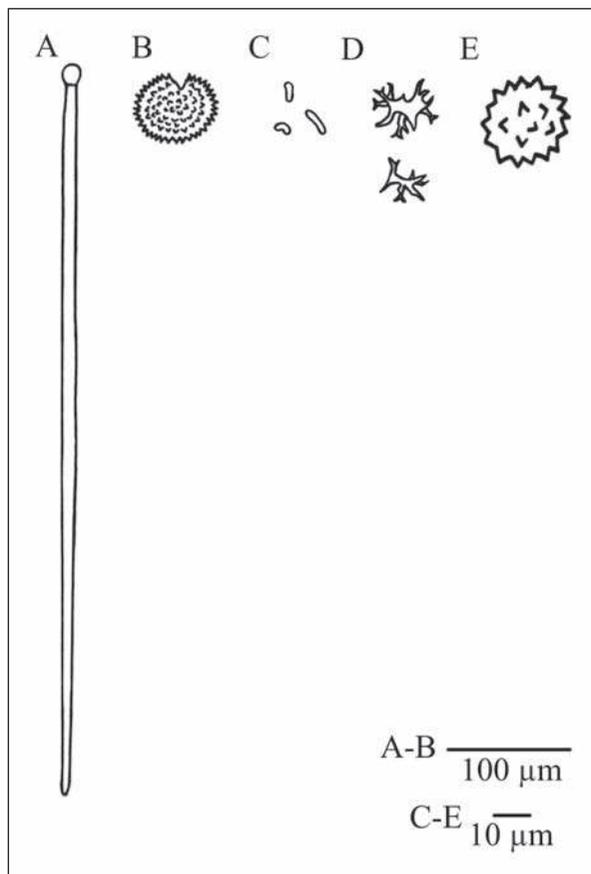
Thinly encrusting, less than 2-3 mm in thickness. Color dark brown externally (NCG 22-Burnt Umber, 23-Raw Umber), orange internally (NCG 17-Spectrum Orange). External color remains after preservation in alcohol (brownish-red). Consistency firm but easy to break. Surface smooth to the touch, made up of polygonal plates, having a "veined" or furrowed appearance. In one of the furrows, it shows an oscule slightly elevated, 1.2 mm in diameter, white in alcohol.

Spicules: tylostyles, selenasters, acanthomicrohabds, spirasters, spherasters.

Tylostyles, prominent tyles, bluntly rounded apices, 258-705.6(179.3)-903 x 7.6-12.4 (2.4)-14.3  $\mu\text{m}$ , tyle diameter, 10.9-16.6(2.9)-19  $\mu\text{m}$ ; selenasters, smaller ones tending to be bean-shaped and larger ones ellipsoidally rounded, 32.2-66.5(19)-85.1 x 19.6-52.6(19.3)-73.6  $\mu\text{m}$ ; acanthomicrohabds, 4-7.1(1.5)-9.5 x 1.5-2.4(0.6)-4  $\mu\text{m}$ ; spirasters, few, tree-like 16.1-19.7(2.3)-23  $\mu\text{m}$  (n=9); spherasters, rare, with short spines, 23.0-32.2  $\mu\text{m}$  (n=3).

### Distribution

According to **van Soest** (2009): Gulf of Mexico (**Little**, 1963), Jamaica (**Pulitzer-Finali**, 1986, **Lehnert & van Soest**, 1998), Brasil (**Hechtel**, 1976; **Coelho & Mello-Leitão**, 1978; **Rua et al.**, 2006; also in **Muricy et al.**, 2011) and Colombia (Cartagena). Additional records: Cuba (**Alcolado**, 1976; 2002), Guadalupe (**Alcolado & Busutil**, 2012). Colombia (Urabá). **Rua et al.** (2006) suggested that this species also occurs in the Pacific coast of Panama.



**Figura 3.** *Placospongia* sp. 1. Spicules. (A) Tylostyle; (B) Selenaster; (C) Acanthomicrohabds; (D) Spirasters; (E) Spheraster.

### Comments

It has become customary to consider *Placospongia* specimens with “spirasters” as members of a cosmopolitan species: *Placospongia carinata* Bowerbank (1858). Nevertheless, **van Soest** (2009) has questioned this assignment for the material of the Caribbean authors [including citation of **Lehnert & van Soest** (1998) as *P. intermedia*], providing a short combined description of ZMA material from Colombia (Cartagena) and Grenada to aid future decisions about the status of the Caribbean populations. The material from Urabá examined here is broadly consistent with this description. However, larger sizes of acanthomicrohabds (up to 15 x 2  $\mu\text{m}$ ) were not found in Urabá, only a smaller and wider type [4-7.1(1.5)-9.5 x 1.5-2.4(0.6)-4  $\mu\text{m}$  vs. 6-8.6-15 x 1-2  $\mu\text{m}$ ]. Moreover, the two ectosomal and choanosomal tylostyle size categories suggested by **van Soest** (2009; also by **Pulitzer-Finali**, 1986) seem to overlap in Urabá, as a close re-examination of spicule slides showed rather continuous sizes between 199.5 x 7.1  $\mu\text{m}$  to 903 x 14.3  $\mu\text{m}$  [199,5-584,2(243,2)-903,0 x 4,8-10,8(3,2)-14,3  $\mu\text{m}$  (n = 36)], being rarer those sizes below 500  $\mu\text{m}$  in length [199,5-285,5(74,2)-432,3 x 4,8-8,3(3,1)-14,3  $\mu\text{m}$  (n = 12) vs. 503,1-733,5(132,5)-903,0 x 6,5-12,0(2,5)-14,3  $\mu\text{m}$  (n = 24)]. As cited by **Hechtel** (1965), some spherasters were also found in Urabá. A segregation of spiraster-like and amphiaser-like spicules could not be discriminated here due to low microscopic resolution.

Family Spirastrellidae Ridley & Dendy, 1886  
Genus *Spirastrella* Schmidt, 1868

*Spirastrella coccinea* (Duchassaing & Minchelotti, 1864)  
PL.1(A), Fig. 4.

Synonymy in **Wiedenmayer**, 1977: 163. In addition:

*Spirastrella coccinea*, **Pulitzer-Finali**, 1986: 90, fig. 21; **Kobluk & van Soest**, 1989:1210; **Mothes & Bastian**, 1993: 20, figs. 17, 18, 40; **Lehnert & van Soest**, 1998: 79; **Lehnert & van Soest**, 1999: 145, **Alcolado**, 1999: 121; **Zea et al.**, 2009; **Alcolado & Busutil**, 2012; **Muricy et al.**, 2011:70 (Brazilian records). [NONS. *coccinea* of the authors cited by **Hechtel**, 1965: 54 = *S. hartmani* Boury-Esnault et al., 1999, a valid species].

### Material

INV-POR 0574: Cabo Tiburón (st.n. 1), dead coral, calcareous terrace after cliff, 9 m, 28 Sep. 1995, coll. S. Zea.

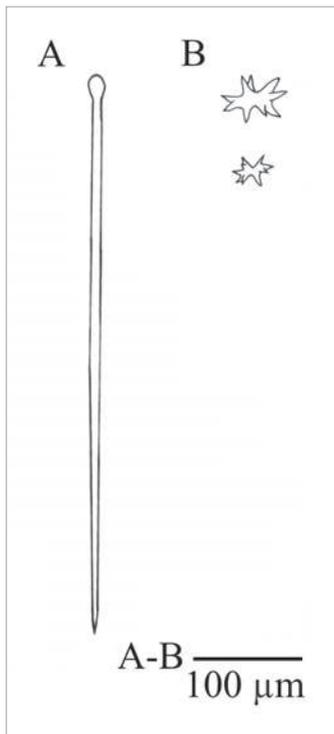
### Description

Thickly encrusting, 1.5-3.0 mm thick. Color red scarlet (NCG 14-Scarlet) *in vivo* and white in alcohol. Underwater it looks

red with whitish scattered oscules. Consistency leathery. Smooth surface. Short, vein-like, whitish exhalant canals converge in oscules.

Spicules: tylostyles, spirasters.

Tylostyles, 426-550.8(83.9)-690 x 9-11.6(1.3)-12.9  $\mu\text{m}$ ; spirasters, 13.8-41.1(12.7)-57.5  $\mu\text{m}$ .



**Figura 4.** *Spirastrella coccinea* (Duchassaing & Minchelotti, 1864). Spicules. (A) Tylostyle; (B) Spirasters.

#### Distribution

St. Thomas (**Duchassaing & Michelotti**, 1864), Bahamas (**de Laubenfels**, 1949; **Wiedenmayer**, 1977; **Pulitzer-Finali**, 1986; **Zea et al.**, 2009), North Carolina (**Wells et al.**, 1960), Gulf of Mexico (Apalachee Bay, **Little**, 1963), Puerto Rico (**Wiedenmayer**, 1977), Dominican Republic (**Pulitzer-Finali**, 1986), Guadalupe (**Alcolado & Busutil**, 2012), Bonaire (**Kobluk & van Soest**, 1989), Brazil (Fernando de Noronha Archipelago, **Mothes & Bastian**, 1993; Alagoas state, **Muricy et al.**, 2011), Jamaica (**Lehnert & van Soest**, 1998, 1999), Cuba (**Alcolado**, 1999), Colombia (Urabá).

#### Comments

The material examined from Urabá fits with recent descriptions of *Spirastrella coccinea* (Duchassaing & Minchelotti, 1864) (see **Wiedenmayer**, 1977). This species occurs sym-

patrically with an orange morphotype, which is assigned here to *S. hartmani* Boury-Esnault *et al.*, 1999 described below, as it bears smaller tylostyles (297-477 x 6.5-12.9  $\mu\text{m}$ ) and spirasters that reach smaller sizes (down to 5.8  $\mu\text{m}$ ) than *S. coccinea* (red morphotype).

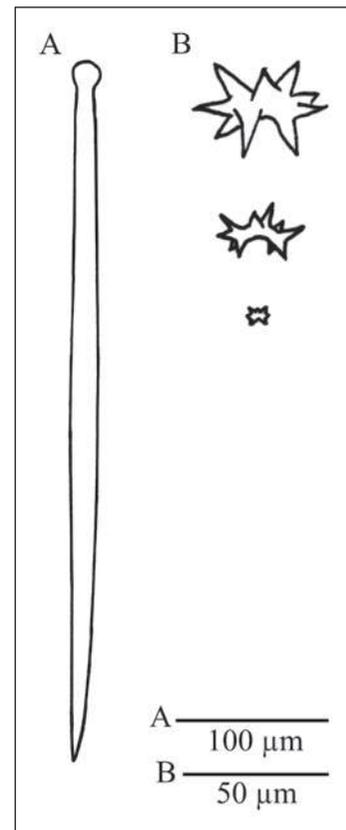
***Spirastrella hartmani*** Boury-Esnault, Klautau, Bézac, Wulff & Solé-Cava, 1999

PL. 1(B), Fig. 5.

Synonymy in **Wiedenmayer**, 1977: 162 (as *Spirastrella cunctatrix*). In addition:

*Spirastrella hartmani* **Boury-Esnault et al.**, 1999: 46 (holotype: MNHN-NBE-D.1469; YPM 21026 and 21027; type loc.: San Blas Island, Panamá); **Muricy et al.**, 2008: 60; **Zea et al.**, 2009; **Muricy et al.**, 2011: 70 (Brazilian records); **Hajdu et al.**, 2011: 98; **Moraes**, 2011.

*Spirastrella coccinea*; of the authors cited by **Hechtel**, 1965: 54 [NONS. *coccinea* (Duch. & Mich., 1964), a valid species; NONS. *coccinea*; **Dickinson**, 1945 = *S. sabogae* Boury-Esnault *et al.*, 1999].



**Figura 5.** *Spirastrella hartmani* Boury-Esnault *et al.*, 1999. Spicules. (A) Tylostyle; (B) Spirasters.

*Spirastrella cunctatrix*; **Wintermann-Kilian & Kilian**, 1984: 130; **Pulitzer-Finali**, 1986: 90, fig. 21; **Alcolado**, 1999: 121 [NONS. *cunctatrix* Schmidt, 1968 and other authors from the Mediterranean, a valid species].

### Material

INV-POR 0576: Cabo Tiburón (st.n. 1), dead coral, calcareous terrace after cliff, 9 m, 28 Sep. 1995, coll. S. Zea.

### Description

Thickly encrusting, 1.5-3.0 mm thick. Color orange (NCG 132c-Orange Rufous) *in vivo* and light brown (NCG 39-Cinnamon) in alcohol. Consistency leathery. Surface smooth to the touch, showing branching surface canals converging toward scattered oscula, elevated in a vein-like pattern.

Spicules: tylostyles, spirasters.

Tylostyles, straight, thicker at the middle and thinner below the tyle, 297-477 x 6.5-12.9  $\mu\text{m}$  (n=7); spirasters, 5.8-62.1  $\mu\text{m}$  (n=6).

### Distribution

According to **Wiedenmayer** (1977): Dry Tortugas and West coast of Florida, Gulf of Mexico (South-West of the Apalachee Bay), Jamaica, Bahamas (also in **Pulitzer-Finali**, 1986; **Zea et al.**, 2009), Bermuda, North Carolina. In addition: St. Thomas (**Boury-Esnault et al.**, 1999), Colombia (Santa Marta, **Wintermann-Kilian & Kilian**, 1984; Urabá), Cuba (**Alcolado**, 1999), Brazil (**Muricy et al.**, 2008; **Muricy et al.**, 2011; **Hajdu et al.**, 2011; **Moraes**, 2011).

### Comments

*Spirastrella hartmani* Boury-Esnault et al., 1999, was cited from Santa Marta, Colombia but not described in detail by **Wintermann-Kilian & Kilian** (1984, as *Spirastrella cunctatrix*). The material examined from Urabá broadly fits with recent descriptions of *S. hartmani* [see **Wiedenmayer**, 1977 (as *S. cunctatrix*), **Boury-Esnault et al.**, 1999]. Further comments in *S. coccinea* above.

Demospongiae "Lithistids"

Family Azoricidae Sollas, 1888

Genus *Leiodermatium* Schmidt, 1870

*Leiodermatium* aff. *pfeifferae* (Carter, 1873)

Pl. 2, Fig. 6.

Synonymy in **Sollas**, 1888: 319 (as *Azorica pfeifferae*). In addition:

*Leiodermatium pfeifferae*; **Rützler**, 1986: 126, fig. 34; **Alcolado**, 2002: 59; **Muricy et al.**, 2011: 142 (Brazilian records); (?) **Kelly-Borges & Valentine**, 1995 (Oceania).

### Material

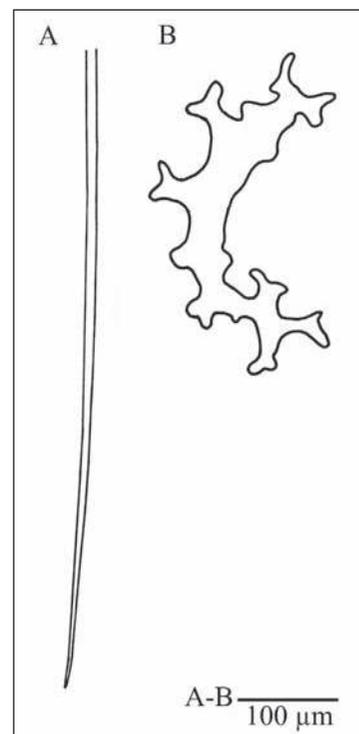
INV-POR 0570: Sapzurro Cove (st.n. 2), under a pagoda-like coral overhang, reef base, 18 m, 28 Sep. 1995, coll. J.A. Sánchez.

### Description

Massive, flabellate, forming a shallow horizontal plate, about 1.5 cm high, 4 cm wide, with walls 3 mm thick, with undulated margins. It presents a small area of attachment to the substratum. Color cream-white alive. Consistency stony hard. Microhispid surface at exposed areas. Inconspicuous openings. The skeleton consists of a regular reticulation of rhizoclone desma spicules. The ectosome is formed by perpendicular tufts of oxeamore than 1 mm high.

Spicules: rhizoclone desmas, diactine oxeas.

Rhizoclone desmas, non tuberculated, some with bifid zygomes, 166-485 x 19-28.5  $\mu\text{m}$  (n=5); smooth desmas as developmental stages; very long (broken in slide) diactine oxeas, fragments up to 1406 x 12.9  $\mu\text{m}$ .



**Figure 6.** *Leiodermatium* aff. *pfeifferae* (Carter, 1873). Spicules. (A) Detail of diactine oxea; (B) Rhizoclone desma.

## Distribution

Eastern Atlantic: according to **Carter** (1876) and **Sollas** (1888), from Madeira to the coast of Portugal and the Cape Verde Islands. Western Atlantic: according to **Sollas** (1888): Amboina, Bermuda (also in **Rützler**, 1986), Brazil (Bahia; also in **Muricy et al.**, 2011), Cape St. Vincent. Additionally: Cuba (**Alcolado**, 2002), Colombia (Urabá). Indo-Pacific: Oceania (**Kelly-Borges & Valentine**, 1995).

## Comments

The habit of the specimen from Urabá is very similar to that drawn by **van Soest & Stentoft** (1988) as *Leiodermatium lynceus* Schmidt, 1870. However, those authors report smaller oxea (190-230 x 1 µm vs. broken fragments up to 1406 x 12.9 µm in Urabá) and a smooth surface (hispid in Urabá). The habit of *L. pfeifferae* (Carter, 1873) is also very similar but the type was described as a large sponge (dimensions: 29 x 23 cm), covered externally by tubercles (*vide Sollas*, 1888) that are absent in the specimen from Urabá (dimensions: 4 x 1.5 cm). In spite of these differences, they are thought to be conspecific as both wall thickness (about 3 mm) and oxea dimensions (*cf. Carter*, 1876 and **Sollas**, 1888, 750-1814 x 8.5 µm in *L. pfeifferae*) are very similar. Moreover, **Sollas** (1888) reported inconspicuous openings and hispidation of 500 µm, similar to the one reported here (approx. 1 mm in height). In addition, the appearance of the rhizoclone desmas is very similar, especially, in regard to the occurrence of bifid zygomes. Although recent authors on the Caribbean (see **Rützler**, 1986) use the name *L. pfeifferae* for their material, this assignment is tentative until its conspecificity with eastern Atlantic populations, the area in which the species was originally described, is confirmed.

Order Poecilosclerida Topsent, 1928  
 Suborder Microcionina Hajdu, van Soest & Hooper, 1994  
 Family Microcionidae Carter, 1875  
 Subfamily Microcioninae Carter, 1875  
 Genus *Clathria* Schmidt, 1862  
 Subgenus *Thalysias* Duchassaing & Michelotti, 1864

*Clathria (Thalysias) virgultosa* (Lamarck, 1814)

PL 1(C), Fig. 7.

Synonymy in **Hooper**, 1996: 411. In addition:

*Microciona juniperina*; **Alcolado**, 1976: 5.  
*Thalysias juniperina*; **Rathe Peralta**, 1981: 17.  
*Clathria (Thalysias) virgultosa*; **Lehnert & van Soest**, 1998: 87, fig. 16.  
*Clathria virgultosa*; **Alcolado**, 1999: 122; 2002: 64; **Zea et al.**, 2009.

*Clathria clathrata*; **Alcolado**, 1976: 5 (*vide Alcolado*, 2002: 64)

## Material

INV-POR 0553: Isla Terrón de Azúcar (st.n. 7), calcareous algae, dead sides of coral, calcareous terrace, 6-7 m, 30 oct. 1995, coll. S. Zea.

## Description

Thickly encrusting. Red in color (NCG 12-Geranium) with dark purple tones (NCG 8-Carmine). Consistency rubbery and elastic. Surface uneven, with low tubercles surrounded by vein-like branching surface canals, white in color, converging towards the scattered oscules. Ectosome contracts out of the water. The specimen is covered in part by the sponge *Monanchora arbuscula* (Duchassaing & Michelotti). A massive individual was also seen in the field, approx. 10 cm thick.

Spicules: styles, tylostyles, acanthostyles, toxas, rhabdiform toxas, palmate isochelae.



**Figura 7.** *Clathria (Thalysias) virgultosa* (Lamarck, 1814). Spicules. (A) Style; (B) Tylostyle; (C) Acanthostyle; (D) Toxas; (E) Rhabdiform toxas; (F) Palmate isochelae.

Styles, thick, curved, smooth heads, 278-344.4(34.7)-399 x 9.5-17.6(3.3)-23.8  $\mu\text{m}$ ; tylostyles, straight, fusiform, wide range of sizes, tylos conspicuous in smaller sizes, but less conspicuous in larger ones, 124-298.8(70.8)-375 x 2.4-5.7(1.9)-9.5  $\mu\text{m}$ ; acanthostyles, spines highly dispersed or absent on neck, 54.1-66.2(5.8)-77.1 x 9.2-13.3(3.1)-20.7  $\mu\text{m}$ ; toxas, 28.8-69.2 (15.1)-89.7  $\mu\text{m}$ ; raphidiform toxas, 181-281.2(96.9)-551  $\mu\text{m}$  (n=12); palmate isochelae, 11.2-17.8(1.4)-20.1  $\mu\text{m}$  (n=19).

### Distribution

According to **van Soest** (1984): St. Thomas, Florida, Guadalupe, Puerto Rico, Cuba (also in **Alcolado**, 1976; 1999), Yucatán. In addition: Bahamas (**Zea et al.**, 2009), Dominican Republic (**Rathe Peralta**, 1981), Colombia (Santa Marta, **Wintermann-Kilian & Kilian**, 1984; Urabá), Jamaica (**Lehnert & van Soest**, 1998).

### Comments

*Clathria (Thalysias) virgultosa* (Lamarck, 1814) was cited from Santa Marta, Colombia but not described in detail by **Wintermann-Kilian & Kilian** [1984, as *Thalysias juniperina* (Lamarck, 1814)]. The material examined from Urabá is broadly consistent with the description of **van Soest** [1984, as *Rhaphidophlus juniperinus* (Lamarck, 1814)]. Nonetheless, toxas are not as small (8-42.5-76 in St. Thomas and Florida vs. 28.8-69.2-89.7  $\mu\text{m}$  in Urabá).

*Clathria (Thalysias) minuta* (van Soest, 1984). Fig. 8.

Synonymy in **Hooper**, 1996: 410 and **Muricy et al.**, 2011: 147. In addition:

*Clathria minutus*; **Alcolado**, 1999: 122.

*Clathria (Thalysias)?minuta*; **Zea et al.**, 2009.

### Material

INV-POR 0548: Sapzurro Cove (st.n. 4), crevices between colonies of *Siderastrea siderea*, reef flat of *S. siderea*, 2-3 m, 29 Sep. 1995, coll. S. Zea.

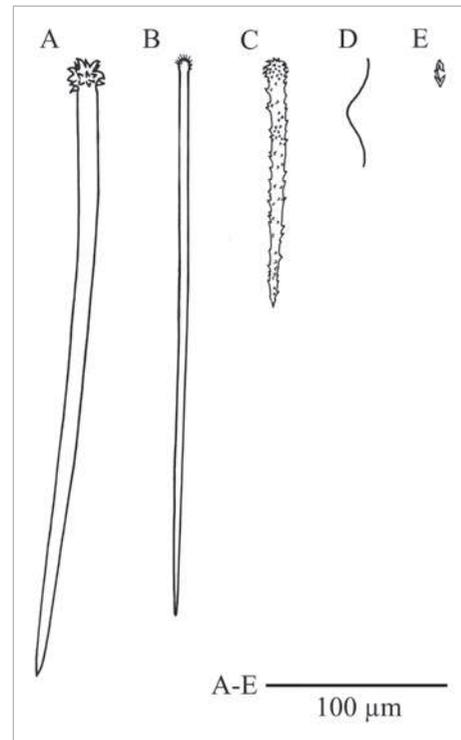
### Description

Thinly encrusting, 1 mm thick, 2-3 cm in diameter. Color scarlet red (NCG 14-Scarlet). Consistency soft, fragile. Oscules are not apparent. The specimen consists of tiny fragments.

Spicules: styles, tylostyles, acanthostyles, toxas, palmate isochelae.

Styles, slightly curved with densely spined heads, 309-430.8(69.4)-603 x 5.7-10(1.4)-11.9  $\mu\text{m}$ ; tylostyles, straight

with microspined heads, 143-309.2(66.5)-387 x 2.4-4.3(0.5)-5.7  $\mu\text{m}$ ; acanthostyles, entirely spined, 80.8-121.6(34.7)-183 x 4.8-10.5(1.9)-14.3  $\mu\text{m}$ ; toxas, not abundant, 43.7-79.4(14.5)-97.8  $\mu\text{m}$  (n=20); palmate isochelae, 16.7-18.3(0.6)-19.6  $\mu\text{m}$ .



**Figura 8.** *Clathria (Thalysias) minuta* (van Soest, 1984). Spicules.

(A) Styles; (B) Tylostyles; (C) Acanthostyles; (D) Toxa; (E) Palmate isochelae.

### Distribution

Bahamas (**Zea et al.**, 2009), Curaçao (**van Soest**, 1984), Northeast (Fernando de Noronha Archipelago) to Southeastern Brazil (Arraial do Cabo, **Hooper**, 1996; **Muricy et al.**, 2011), Cuba (**Alcolado**, 1999), Colombia (Urabá). Also reported from Tropical West Africa (**van Soest**, 1993).

### Comments

Unlike the original description of *Clathria (Thalysias) minuta* (**van Soest**, 1984, as *Rhaphidophlus minutus*), the specimen from Urabá does not bear a small category of smooth tylostyles (147-191.5-258 x 1.5-2.1-2.5  $\mu\text{m}$ ). Moreover, its microspined acanthostyles show a wider size range (142.5-309.2-387.1 x 2.4-4.3-5.7  $\mu\text{m}$ ), reaching much smaller sizes than the original (294-322.6-361  $\mu\text{m}$ ). These discrepancies may correspond to a geographical variation in spicule size and shape, as the assumedly greater concentration of dissol-

ved silicain the Gulf of Urabá, produced by the Atrato River discharge, may increase the production of spicule ornaments, as well as, the appearance of accessory siliceous elements.

Suborder **Myxillina** Hajdu, van Soest & Hooper, 1994  
Family **Coelosphaeridae** Dendy, 1922

Genus **Lissodendoryx** Topsent, 1892  
Subgenus **Lissodendoryx** Topsent, 1892

**Lissodendoryx (Lissodendoryx) strongylata** van Soest, 1984  
Fig. 9.

Synonymy:

*Lissodendoryx strongylata* van Soest, 1984: 58, pl. V 4-5, fig. 21 (holotype: ZMAPOR. 3508; paratype: ZMA POR.3509; type loc.: Piscadera Baai, Curaçao).

### Material

INV-POR 0541: Cabo Tiburón (st.n. 1), growing within beds of the algae *Amphiroa* spp., calcareous terrace after cliff, 9 m, 28 Sep. 1995, coll. S. Zea.

### Description

Exhalant fistules, approx.4.0-5.5 mm wide, with walls 0.5 mm thick. Color lilac *in vivo*, white-transparent when preserved in alcohol. Fistules are papyraceous, fragile, easy to tear. They were observed emerging within beds of algae (*Amphiroa* spp.). It is not clear if they arose from an encrusting or massive base.

Spicules: tylotes, strongyles, sigmas, arcuate isochelae.

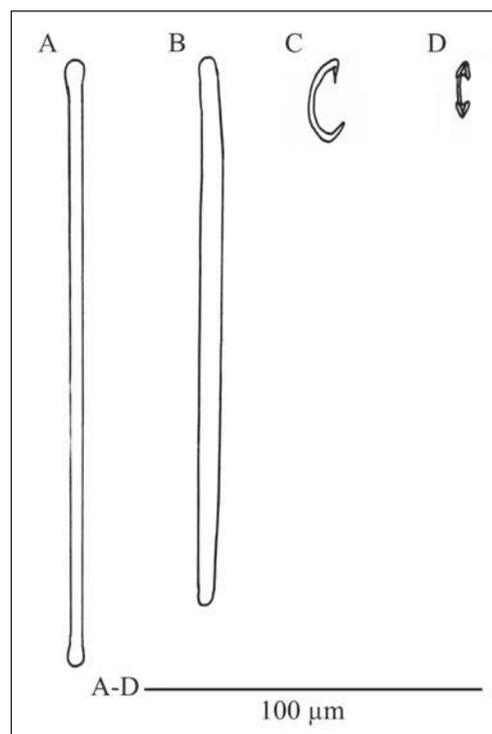
Tylotes, elongated heads, barely perceptible, similar in shape to strongyles but thinner, 171-177.7(9)-200 x 2.4-4.3(0.5)-4.3 µm; strongyles, 152-165.8(8.1)-181 x 4.3-5.2(0.5)-5.7 µm; sigmas, 23-26.3(2)-29.9 µm; arcuate isochelae, 16.1-19.2(3.2)-27.6 µm.

### Distribution

Curaçao (van Soest, 1984), Colombia (Urabá).

### Comments

The material examined here differs from the original description of *Lissodendoryx strongylata* van Soest, 1984, in terms of habit (fistulose vs. thick masses of amorphous shape in the holotype) and color (lilac vs. brick-red in the holotype), characteristics which, together with spiculation (especially the possession of strongyles instead of straight styles), distinguish *Lissodendoryx strongylata* from other congeneric species (cf. van Soest, 1984; Zea & van Soest, 1986). Nevertheless, the close relationship between this spe-



**Figura 9.** *Lissodendoryx strongylata* van Soest, 1984. Spicules. (A) Tylotes; (B) Strongyles; (C) Sigmas; (D) Arcuate isochelae.

cies and the material of Urabá is evident by the possession of the same spiculation. It is possible then that the holotype was an amorphous mass of dark skin that had lost its transparent fistules, such as those of the specimen of Urabá. Unfortunately, the nature of the sponge base that supports the fistules of the Urabá specimen (massive or encrusting) is unknown.

*Lissodendoryx strongylata* is here assigned to the subgenus *Lissodendoryx* Carter, 1882, despite of the strongylote nature of its choanosomic spicules [contrary to the styloids typical for the subgenus (cf. van Soest, 2002)]. The remaining spicule complement, including ectosomal tylotes, sigmas and arcuate isochelae as microscleres, and lack of a smaller category of echinating acanthostyles, are characteristic of this subgenus. The combination of ectosomal tylotes and choanosomal strongyles in *L. strongylata* is a feature that seems not to occur in any of the five subgenera proposed by van Soest (2002) for the genus *Lissodendoryx*.

Order Halichondrida Gray, 1867  
Family Desmoxiidae Hallmam, 1917  
Genus **Myrmekioderma** Ehlers, 1870

**Myrmekioderma rea** (de Laubenfels, 1934).  
Pl. 1(D), Fig. 10

Synonymy in **Muricy et al.**, 2011:67. In addition:

*Viles(?) strongyloxea* **Alcolado & Gotera**, 1986: 5, figs. 5b, 6 (synonymy suggested by **Díaz et al.**, 1993).

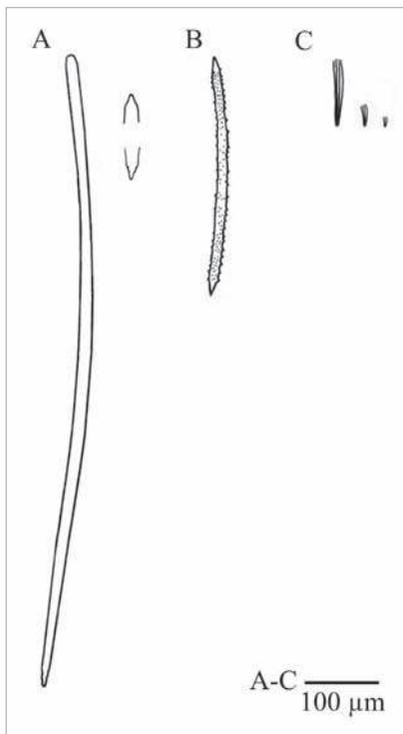
*Myrmekioderma rea*; **Zea et al.**, 2009.

*Myrmekioderma styx* **de Laubenfels**, 1953: 523, fig. 3; de Rosa-Barbosa, 1995: 120, figs. 1-11; Alcolado, 2002: 63.

[NON *Myrmekioderma styx*; **Díaz et al.**, 1993: 303 (and many other authors, see also list in **Muricy et al.**, 2011: 96) = *Myrmekioderma gyroderma* (Alcolado, 1984)] (see table 2 and below)].

## Material

INV-POR 0556: Isla Terrón de Azúcar (st.n. 7), pavement, calcareous terrace after coastal cliff, 6-7 m, 30 Sep. 1995, coll. S. Zea.



**Figura 10.** *Myrmekioderma rea* (de Laubenfels, 1934). Spicules.

(A) Typical style and detail of apices from an oxeote form; (B) Acanthoxea, (C) three sizes of trichodragmata.

## Description

Massive, approx. 5 cm in diameter. Color orange *in vivo* (NCG 17-Spectrum Orange), cream in alcohol (NCG 54-Cream color). Consistency firm, somewhat compressible but friable

with force. Irregular surface with very low mounds and areas with tiny folds, elongated as protuberances, forming valleys difficult to discern. At the top, there are three oscula, poorly differentiated (possibly damaged by preservation), 1.5 to 3 mm in diameter. Observed filling crevices and densely fouled, with some free areas.

Spicules: styles, acanthoxea, raphides in trichodragmata

Styles, curved, slender, often as oxea or strongyloxea with blunt tips, 735-913(86.4)-1130 x 7.7-12.9(2.6)-19.4 μm; acanthoxea, with fewer spines toward the center, 299-333.5(25.7)-380 x 8.6-11.4(2.4)-14.3 μm; raphides in trichodragmata, straight, some sinuous, 38.0-87.9(31.8)-133 x 5.7-9.0(1.9)-11.9 μm, in three size ranges: 92.6-133 x 5.7-11.9 μm (n = 8) vs. 38.0-61.8 x 9.5-11.9 μm (n = 5) vs. 19-28.5 x 4.8-9.5 μm (n = 5).

## Distribution

Puerto Rico (**de Laubenfels**, 1934), Mexico (**de Laubenfels**, 1953), Venezuela, Bahamas (**Díaz et al.**, 1993; **Zea et al.**, 2009), Barbados (**van Soest & Stentoft**, 1988, **Díaz et al.**, 1993), Cuba (**Alcolado & Gotera**, 1986; **Alcolado**, 1999; 2002), Brazil (**de Rosa-Barbosa**, 1995; **Muricy et al.**, 2011), Jamaica (**Lehnert & van Soest**, 1998), Colombia (Urabá).

## Comments

Even though the material studied from Urabá bears longer styles/oxea/strongyloxea than other Caribbean areas [735-913-1130 x 7.7-12.9-19.4 μm in Urabá vs. 260-600-800 x 5-11-20 μm in several areas (**Díaz et al.** 1993)], they are as thin as characteristic for the species. A related species, *M. gyroderma*, bears characteristic stouter oxeas [570-1125 x 8-45 μm in **Díaz et al.** (1993) as *M. stix*, and 180-1000 x 1-31 μm in **Alcolado** (1984)]. In a similar way, the 2-3 sizes of trichodragmata reported here (2 in **van Soest & Stentoft**, 1988, but 1 in **Díaz et al.** 1993) are as thin as characteristic for the species (4.8-11.9 μm in Urabá vs. 3-10 μm in other Caribbean areas, see **Díaz et al.** 1993). In contrast, they are wider in *M. gyroderma* (8-32 μm, **Díaz et al.** 1993 as *M. stix*).

After revision of holotypes, *Myrmekioderma rea* (de Laubenfels, 1934) and *M. styx* de Laubenfels, 1953, were found to be conspecific (K. Ruetzler, USNM, *in litt.*). On the basis of the descriptions, **Alcolado** (2002) had previously concluded that they were different. On the other hand, other Caribbean authors used *M. styx* erroneously for the other species commonly found in Caribbean reefs known now as *M. gyroderma* (Alcolado, 1984) (**Castellanos et al.**, 2003). Those species can be differentiated by growth form (filling crevices or buried in sand and rubble in *M. rea* vs. massive and exposed

in *M. gyroderma*), non-fouled surface areas (showing circular grooves that form characteristic warts when contracted in *M. rea* vs. elongated meandering grooves in *M. gyroderma*), and principal spicules (thinner, slender styles/oxeae/strongyloxeae in *M. rea* vs. wider, stout oxea in *M. gyroderma*) (**Zea et al.**, 1999).

Family Dictyonellidae van Soest, Díaz & Pomponi, 1990  
Genus *Svenzea* (Alvarez, Erpenbeck & Alvarez, 2002)

*Svenzea flava* (Lehnert & van Soest, 1999)

PL. 1(E), Fig. 11.

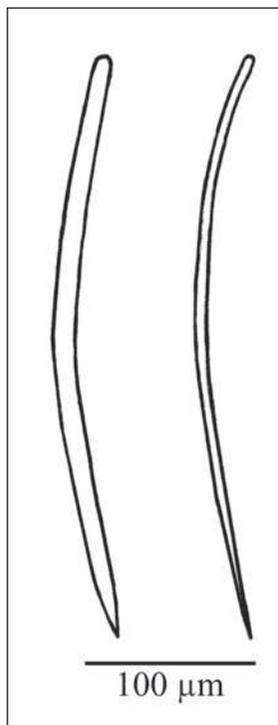
Synonymy:

*Pseudaxinella(?) flava* **Lehnert & van Soest**, 1999: 151, figs. 25-30 (holotype: ZMA POR 13563, type loc.: Discovery Bay, Dairy Bull, Jamaica).

*Svenzea flava*; **Zea et al.**, 2009.

#### Material

INV-POR 0537: Cabo Tiburón (st.n. 1), dead coral, calcareous terrace after cliff, 9 m, 28 Sep. 1995, coll. S. Zea.



**Figura 11.** *Svenzea flava* (Lehnert & van Soest, 1999). Style spicules.

#### Description

Massive, cavernous sponge. Color olive yellowish-green externally (NCG 50-Yellowish Olive Green, 49-Greenish Olive), darker on the sides and underneath the green (NCG 31-Marron, possibly due to pigments produced by associated cyanobacteria), cream internally (NCG 54 -Cream Color). Whole specimen turned cream when preserved in alcohol. Consistency soft. Smooth surface, pierced by fields of pores, 0.5-3 mm in diameter, some of them covered by a thin organic veneer.

Spicules: styles

Styles, evenly curved, thick and thin (the latter tend to thin towards the head), some stepped tips, 290-354.4(31.8)-409 x 4.8-10.9(3.3) -14.3  $\mu$ m; a few styles attain 428  $\mu$ m in length.

#### Distribution

Jamaica (**Lehnert & van Soest**, 1999), Bahamas (**Zea et al.**, 2009), Colombia (Urabá),

#### Comments

The material examined from Urabá agrees broadly with the original description of *Pseudaxinella(?) flava* Lehnert & van Soest, 1999. A related species is *Svenzea tubulosa* (Alcolado & Gotera, 1986). Both species share a similar skeletal organization (iso- or anisotropic reticulation, with multispicular ascending tracts) and the same spicules (styles only), but are easily distinguished by habit (massive in *S. flava* vs. tubular in *S. tubulosa*), and in spicule shape and robustness (width: 2-14.3  $\mu$ m in *S. flava* vs. 12-21.4  $\mu$ m in *S. tubulosa*) (see **Alcolado & Gotera**, 1986, **Lehnert & van Soest**, 1999).

*Pseudaxinella(?) flava* is here tentatively assigned to the genus *Svenzea* Alvarez et al., 2002, especially because of its overall resemblance to *S. zeai* (Alvarez et al., 1998), with which it shares a similar shape and consistency, a reticulation of styles, and lack of ectosomal specialization. Nevertheless, as stated by **Alvarez et al.** (2002), a definitive assignment of *Pseudaxinella(?) flava* to *Svenzea* is not possible due to its skeletal organization (different to the typical uni- paucispicular reticulation of *Svenzea*) and apparent absence of granular cells and large embryos/larvae.

*Svenzea tubulosa* (Alcolado y Gotera, 1986)

PL. 1(F), Fig. 12.

Synonymy:

*Scopalina(?) tubulosa* **Alcolado & Gotera**, 1986: 6, figs. 5c, 7 (holotype: IdO 353; type loc.: Playa Baracoa, north-west of Habana province, and Habana city, Cuba).

*Pseudaxinella tubulosa*; **Alcolado**, 1999: 121; **Alcolado**, 2002: 63.

*Svenzea tubulosa*; **Zea et al.**, 2009.

### Material

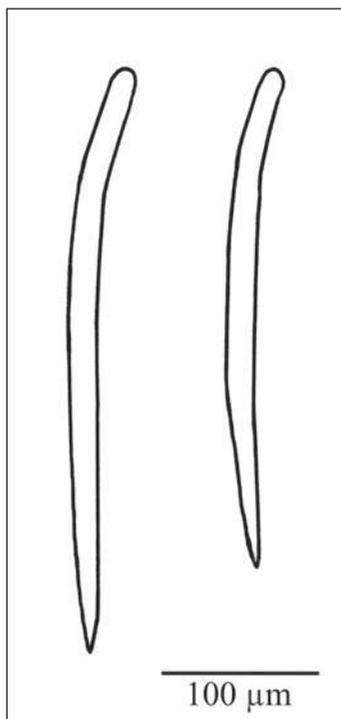
INV-POR 0550: Sapzurro Cove (st.n. 6), dead coral, slope of reef buttress, 16 m, 29 Sep. 1995, coll. S. Zea.

### Description

Tubes arising from cracks and crevices, 10 cm high, 13-15 mm wide, with 2-5 mm-thick walls. Tubes are wider at the apex, having an elongated, bean-shaped apical oscule, up to 17 mm in diameter, sometimes divided. Color brown externally (NCG 31-Maroon), faded to cream at sides, base and internally (NCG 54-Cream Color). Turns cream when preserved in alcohol. Consistency firm, somewhat compressible, easy to tear. Micro-verrucose surface, rough to touch, with scattered smaller openings, 1.3 mm in diameter; only one attained 3.6 mm in diameter and was covered by a skinny organic pinacoderm.

Spicules: styles

Styles, straight, with a basal bend (similar to a rhabdostyle but less pronounced), 323-382.4(29.5)-413 x 13.3-18.1(2.4)-21.4  $\mu$ m.



**Figura 12.** *Svenzea tubulosa* (Alcolado & Gotera, 1986). Style spicules.

### Distribution

Cuba (**Alcolado & Gotera**, 1986; **Alcolado**, 1999; 2002), Bahamas (**Zea et al.**, 2009), Colombia (Urabá).

### Comments

Spicules from the material of Urabá are wider than those from the original description (12-15  $\mu$ m in Cuba vs. 13.3-21.4  $\mu$ m in Urabá) (see **Alcolado & Gotera**, 1986). Those authors did not describe the surface of their material, which is micro-verrucose in Urabá. As stated above, *S. flava* and *S. tubulosa* are similar species with dubious generic assignment, being herein tentatively assigned to *Svenzea* Alvarez *et al.*, 2002. See more comments above under *Svenzea flava*.

Family Halichondriidae Gray, 1867

Genus *Hymeniacion* Bowerbank, 1859

*Hymeniacion caerulea* Pulitzer-Finali, 1986

PL. 3(A), Fig. 13.

Synonymy:

*Laxosuberites caerulea*; **de Laubenfels**, 1936b: 148 [NON *Terpios caerulea* Carter, 1882 = *Terpios fugax* Duchassaing & Micheloti, 1864 *vide* **Rützler & Smith**, 1993].

*Hymeniacion caerulea* **Pulitzer-Finali**, 1986: 117, fig. 118 (holotype: MSNG 47693; type loc.: La Parguera, Puerto Rico); **Díaz et al.**, 1993: 297, figs. 25, 31; **Alcolado**, 2002: 63.

### Material

INV-POR 0558: Isla Terrón de Azúcar (st.n. 8), under coral and pavement, calcareous terrace, 6-8 m, 30 Sep. 1995, coll. S. Zea.

### Description

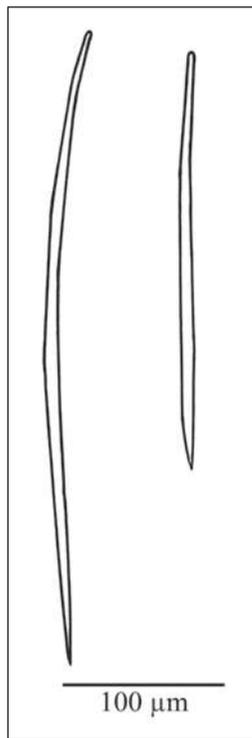
Massive, growing on coralline algae and rubble. Cavernous interior. Color dark blue (NCG 90-Blue Black, 73-Indigo) *in vivo*, green-bluish when preserved in alcohol (NCG 63-Paris Green). Consistency fragile, easy to tear. Smooth to the touch. Rare oscula, up to 4 mm in diameter, and smaller pores, up to 1.5 mm in diameter.

Spicules: styles

Styles, slightly but evenly curved that tend to thin towards the head, 232-429.6(122.6)-613 x 4.8-9(3.8)-16.6  $\mu$ m.

### Distribution

Florida (Dry Tortugas, **de Laubenfels**, 1936b), Puerto Rico (**Pulitzer-Finali**, 1986), Cuba (**Alcolado**, 1999; 2002), Colombia (Urabá).



**Figura 13.** *Hymeniacidon caerulea* Pulitzer-Finali, 1986. Style spicules.

### Comments

In agreement with **Diaz et al.** (1993) this material is assigned to *Hymeniacidon caerulea* Pulitzer-Finali, 1986, due to its blue color, which distinguishes it from other congeneric species. However, the massive habit of the specimen from Urabá is an innovation for the species, which usually fills cracks and crevices under rocks. Also different is the thinning at the basal end of the styles recorded here (see **Pulitzer-Finali**, 1986; **Diaz et al.**, 1993).

Order Agelasida Hartman, 1980

Family Agelasidae Verrill, 1907

Genus *Agelas* Duchassaing & Michelotti, 1864

*Agelas citrina* Gotera & Alcolado, 1987

PL. 3(B), Fig. 14.

Synonymy:

*Agelas citrina* **Gotera & Alcolado**, 1987: 1, figs. 1-2 (holotype: IdO 645, type loc.: west margin of the Gulf of Babatabanó, Cuba); **Alcolado**, 2002: 61 (checklist); **Zea et al.**, 2009; **Alcolado & Busutil**, 2012: 69.

### Material

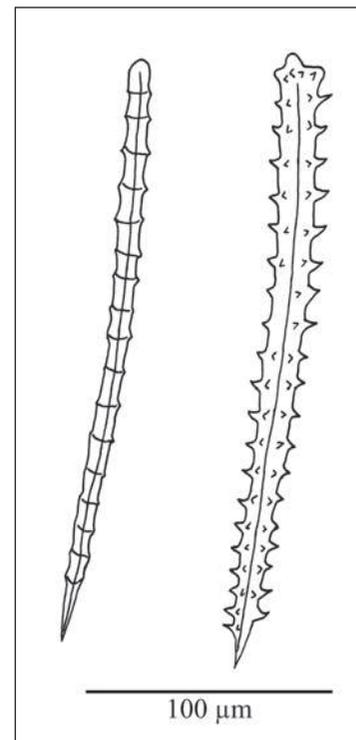
INV-POR 0551: Sapzurro Cove (st.n. 6), under laminar coral, slope of reef buttress, 16 m, 29 Sep. 1995, coll. S. Zea.

### Description

Massive, approx. 20 cm in diameter. Orange color (NCG 16-Chrome Orange) *in vivo*, lighter at the base (NCG 17-Spectrum Orange). Color brown when preserved in alcohol (Raw Umber 23-NCG). Consistency rubbery and compressible, difficult to tear. Conulose surface, each conule up to 5 mm high, 3-6 mm apart, covered by a thick, transparent, skinny organic veneer, which looks glossy over valleys between conules. Solitary oscula or in clusters inside depressions. The specimen gives off a sulfur smell.

Spicules: acanthostyles

Acanthostyles, verticillated, 162-263.2(58.4)-363 x 7.1-13.8 (3.3)-19  $\mu$ m, having 13-21.8 (4.2)-26 regular whorls per spicule, and 4-5 spines per whorl; spine development varies between spicules, from well-developed to tiny nubs that are hardly noticeable.



**Figura 14.** *Agelas citrina* Gotera & Alcolado, 1986. Acanthostyle spicules.

### Distribution

Cuba (**Gotera & Alcolado**, 1987; **Alcolado**, 2002), Guadalupe (**Alcolado & Busutil**, 2012), Bahamas (**Zea et al.**, 2009), Colombia (Urabá).

### Comments

This material is consistent with the original description of *Agelas citrina* from Cuba (**Gotera & Alcolado**, 1987), except for the height of the conules (4-5 mm in Urabá vs. 2-3 mm in Cuba). Further differences in spicule size (102-218 x 10-13 µm in Cuba vs. 162-364 x 7.1-19 µm in Urabá), being much larger in Urabá than in Cuba, in correspondence with the conditions in Urabá that promote hypersilicification. At any rate, it is possible to assign the material examined here to *Agelas citrina* from features such as a conulose surface, a rotten smell, and the presence of long spicules, all of which distinguish it from other *Agelas* species.

Order Haplosclerida Topsent, 1928  
Suborder Haplosclerina Topsent, 1928  
Family Chalinidae Gray, 1867  
Genus *Haliclona* Grant, 1835

Subgenus *Halichoconade* Laubenfels, 1932

*Haliclona (Halichoconade) vansoesti* de Weerd, Kluijver & Gomez, 1999

PL. 3(C), Fig. 15.

Synonymy:

*Haliclona (Halichoconade) vansoesti* de Weerd et al., 1999: 47, figs. 1-3 (holotype: ZMAPOR 13391, type loc.: Piscadera Baai, Curaçao).

### Material

INV-POR 0540: Cabo Tiburón (st.n. 1), dead coral, calcareous terrace after cliff, 9 m, 28 Sep. 1995, coll. S. Zea.

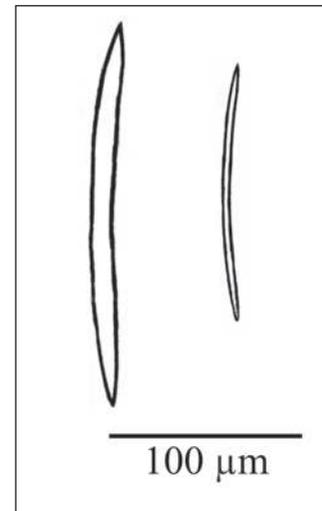
### Description

Lobated, massively encrusting. Color light blue *in vivo*, almost white (NCG 74-Cyanine Blue) to cream-transparent when preserved in alcohol. Consistency firm, but brittle. Slightly raised oscula, approx. 5 mm in diameter, scattered over the surface.

Spicules: Oxea  
Oxea, hastate, 166-200(12.8)-214 x 4.8-9(1.4)-11.9 µm.

### Distribution

Curaçao, Jamaica, St. Vincent, Martinica (**de Weerd et al.**, 1999), Colombia (Urabá).



**Figura 15.** *Haliclona (Halichoconade) vansoesti* Weerd, Kluijver & Gomez, 1999. Oxea spicules.

### Comments

The material studied here is consistent with the original description of *Haliclona (Halichoconade) vansoesti* de Weerd et al., 1999. This species was originally described as having the choanosome light purple and the ectosome white semi-transparent. Although in Urabá the specimen had a bluish tone, its color was very similar to that originally reported [see Pl. 3(C)]. For a better understanding of the species refer to the original description.

Order Dictyoceratida Minchin, 1900  
Family Thorectidae Bergquist, 1978  
Subfamily Thorectinae Bergquist, 1978  
Genus *Smenospongia* Wiedenmayer, 1977

*Smenospongia conulosa* Pulitzer-Finali, 1986

PL. 3(D), Fig. 16.

Synonymy:

*Smenospongia conulosa* Pulitzer-Finali, 1986: 179, fig. 86 (holotype: MSNG 47711, type loc.: La Parguera, Puerto Rico); **Lehnert & van Soest**, 1998: 94, **Alcolado**, 1999: 123; 2002: 70; **Zea et al.**, 2009.

### Material

INV-POR 0544: Sapzurro Cove (est.n. 2), dead coral, reef base, 16-18 m, 28 Sep. 1995, coll. S. Zea.

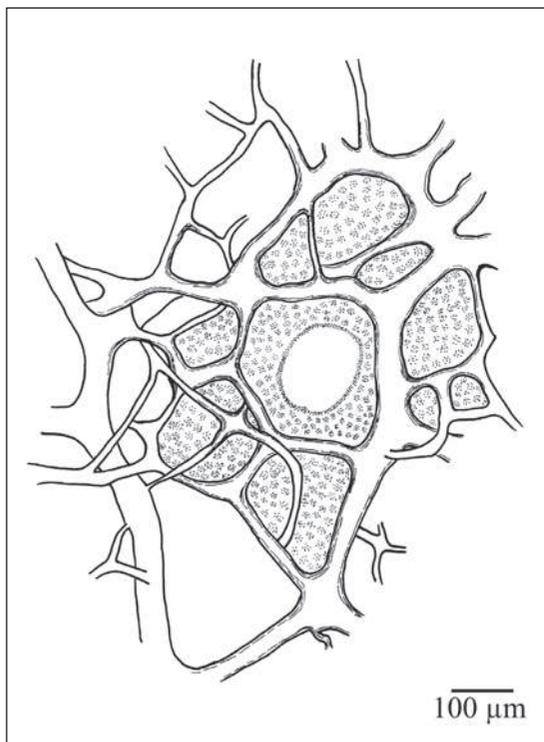
### Description

Massive, flabellate. The color of the specimen collected was bright light green *in vivo* (NCG 161-Pistachio), with lighter

shades of brown internally (NCG 22-Burnt Umber) becoming dark brown, almost black, when preserved in alcohol (NCG 19-Dusky Brown). Other individuals seen and photographed [PI 3(D)] were dark, brownish green. Consistency compressible, elastic, easy to tear. Oscules are slightly elevated and aligned along ridges, approx. 13 mm in diameter, surrounded by a smooth membranous rim. Several exhalant canals converge inside atria. The surface is abundantly covered by blunt conules, up to 3 mm in height, spaced approx. 2.5 mm, not connected by ridges. Between conules there are openings flush with the surface, 1-2 and 4-7 mm in diameter. The specimen gives off a sulfur smell and releases mucus.

#### Skeleton:

Regular reticulation of spongin fibers, orange in color, which lack apith or any foreign material inside. Although thick and thin fibers are distinguishable, they are interconnected, being not differentiated as primary or secondary. Fibers 12.9-64.5  $\mu\text{m}$  in diameter. Reticulation with meshes 86-518  $\mu\text{m}$  in diameter, which are obscured by pigment granules(?). Some meshes are partially obscured, forming circular shapes with the appearance of ascending fascicles, 60-250  $\mu\text{m}$  in diameter.



**Figura 16.** *Smenospongia conulosa* Pulitzer-Finali, 1986. Skeleton. Spongin fiber network.

#### Distribution

Puerto Rico and Dominican Republic (**Pulitzer-Finali**, 1986), Jamaica (**Lehnert & van Soest**, 1998), Cuba (**Alcolado**, 1999: 2002), Bahamas (**Zea et al.**, 2009), Colombia (Urabá),

#### Comments

The description of this material is broadly consistent with the original description of *Smenospongia conulosa* Pulitzer-Finali, 1986. However, the bright light green color of some specimen from Urabá contrasts with the darker tones of brown and olive green seen for the species here and in other Caribbean areas (cf. **Pulitzer-Finali**, 1986, **Lehnert & van Soest**, 1998). Whether these color morphotypes are different species remains to be determined. **Zea et al.** (2009) have tentatively separated the two color morphotypes as *S. conulosa* (dark green) and *Smenospongia* sp.-parrot green (light green).

Family Dysideidae Gray, 1867

Genus *Pleraplysilla* Topsent, 1905

*Pleraplysilla* aff. *spinifera* Schulze, 1878  
Fig. 17.

Synonymy in **Cook & Bergquist**, 2002: 1063 (as *Pleraplysilla spinifera*).

#### Material

INV-POR 0547: Sapzurro Cove (st.n. 4), dead coral, reef flat of *Siderastrea siderea*, 2-3 m, 29 Sep. 1995, coll. S. Zea.

#### Description

Thinly encrusting. Color black *in vivo*, dark brown when preserved in alcohol (NCG 28-Olive Brown). Consistency soft, easy to tear. Conulose surface.

#### Skeleton:

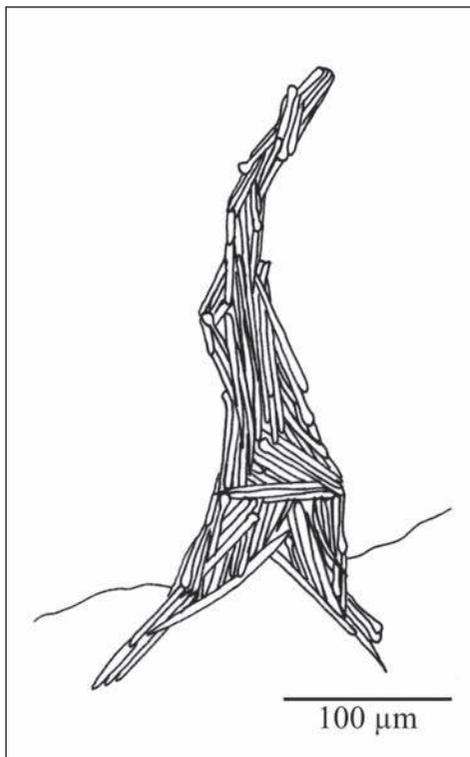
Organic, notably pigmented. Erect fibers 52-100  $\mu\text{m}$  in diameter, completely filled with spicule fragments (foreign material), as no free sponging was evident around them. Some ramifications were observed, but not anastomosing.

#### Distribution

According to **Cook & Bergquist** (2002): English Channel, Portugal, Western Mediterranean and Adriatic (Lesina, the type locality). In Addition: Colombia (Urabá).

#### Comments

According to **George & Wilson** (1919) and **van Soest** (1978), *Pleraplysilla minchini* Topsent, 1905, was originally



**Figura 17.** *Pleraplysilla* aff. *spinifera* Schulze, 1878. Skeleton. Skeletal fiber filled with foreign material.

described as a 2 mm-thick encrustation, chocolate color, conulose surface, conules 2 mm apart, dendritic skeleton, fibers 100-110  $\mu\text{m}$  in diameter, and few ramifications. This description is consistent with the specimen studied from Urabá, although it bears thinner fibers (52-100  $\mu\text{m}$ ).

*Pleraplysilla stocki* van Soest, 1978, the only other *Pleraplysilla* species described so far from the Caribbean (Puerto Rico), is clearly distinguished by habit (massive vs. thin encrusting in Urabá), color (alive reddish violet vs. black in Urabá), oscules (conspicuous vs. inconspicuous in Urabá) and fiber diameter (80-300  $\mu\text{m}$  vs. 52-100  $\mu\text{m}$  in Urabá) (see van Soest, 1978).

It is possible, however, that a further record of *Pleraplysilla stocki*, also from Puerto Rico, by Pulitzer-Finali (1986, irregularly massive 7x5x4 cm, black *in vivo*, shades of brown in spirit, conulose surface, dendritic fibers 40-120  $\mu\text{m}$  in diameter, abundantly cored by foreign material and protruding conspicuously from the conules, branching and anastomosing rather frequently, forming few meshes) corresponds to the variation found in Urabá. Interestingly, Pulitzer-Finali (1986) notes that the pale yellow color of his specimen's fibers, is the same color which is observed in the fibers of

*Pleraplysilla minchini* and *P. spinifera*, but different to that recorded originally for *P. stocki* (dark purple).

As *Pleraplysilla minchini* Topsent, 1905 is currently recognized as a junior synonym of *P. spinifera* Schulze, 1879 (Cook and Bergquist, 2002), the material examined here is tentatively assigned to *P. spinifera*, until its conspecificity with eastern Atlantic populations, the area in which the species was originally described, is proven. If the specimens are not conspecific, then *P. minchini* could be the valid name.

### Acknowledgments

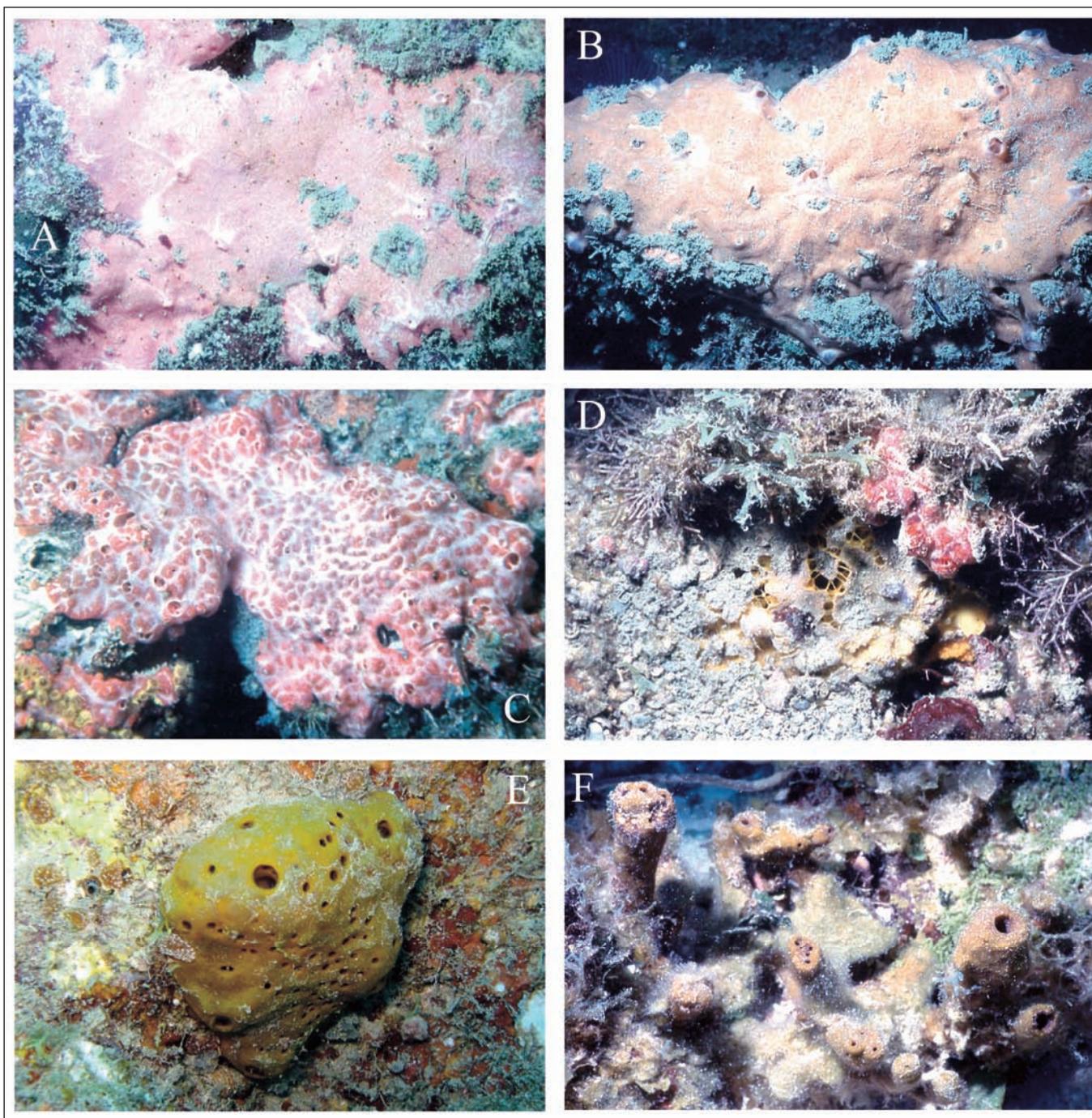
The authors wish to thank especially the Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR for its help through the project Bioecologic and Environmental Assessment of Colombian Caribbean Reef Areas, Phase I (Sponsored by COLCIENCIAS, grant CO-2105-09-023-93) and the Inventories Line of the Marine Biodiversity and Ecosystems Program-BEM. The maps (Figures 1-2) were made by Venus Rocha at INVEMAR's Information Systems Lab (LabSIS), 2012. This paper is a partial result of the graduating research work of Diego Valderrama to obtain the degree of Marine Biologist (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano), under the guidance of Sven Zea and the advice of Arturo Acero (Universidad Nacional de Colombia). This is contribution 1135 of INVEMAR and 386 of Centro de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR, Universidad Nacional de Colombia, Caribbean campus.

### References

- Alcolado, P.M. 1976. Lista de nuevos registros de poríferos para Cuba. *Série Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba*, **36**: 1-11.
- Alcolado, P. M. 1999. Comunidades de esponjas de los arrecifes del archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Bol. Invest. Mar Cost.*, **28**: 95-124.
- Alcolado, P. M. 2002. Catálogo de esponjas de Cuba. *Avicennia*, **15**: 53-72.
- Alcolado, P. M. & L. Busutil. 2012. Inventaire des spongiaires néritiques du Parc National de la Guadeloupe. *Serie Oceanológica*, **10**: 62-76.
- Alcolado, P. M. & G. G. Gotera. 1986. Nuevas adiciones a la fauna de Poríferos de Cuba. *Poeyana*, **331**: 1-19.
- Alvarado, E. M. (Ed.). 1992. Sistemas arrecifales en Colombia: investigación y manejo. *Bol. Ecológica. Suppl.* 1: 1-85
- Alvarez, B., Soest, R. W. M. Van & K. Rützler. 2002. *Svenzea*, a new genus of Dictyonellidae (Porifera: Demospongiae) from tropical reef environments, with description of two new species. *Contrib. Zool.*, **71**(4): 171-176.
- Alvarez, B., Soest, R. W. M. Van & K. Rützler. 1998. A revision of Axinellidae (Porifera: Demospongiae) of the central West Atlantic region. *Smithsonian Contr. Zool.*, **598**: 1-47.
- Boury-Esnault, N., Klautau, M., Béza C, C., Wulff, J. & A. M. Solé-Cava. 1999. Comparative study of putative conspecific sponge populations from both sides of the Isthmus of Panama. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **79**: 39-50.

- Bula-Meyer, G. & R. Schmetter**, 1988. Las macroalgas recolectadas durante la expedición Urabá II, costa Caribe del noroeste choocoano, Colombia. *Bol. Ecológica*, **18**: 19-32.
- Castellanos, L., Zea, S., Osorno O. & C. Duque**. 2003. Phylogenetic analysis of the order Halichondrida (Porifera, Demospongiae), using 3 $\beta$ -hydroxysterols as chemical characters. *Biochem. Syst. Ecol.* **31**: 1163-1183.
- Carter, H. J.** 1876. Description and figures of deep-sea sponges and their spicules, from the Atlantic Ocean, dredged up on board H. M. S. "Porcupine", chiefly in 1869. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, (4) **18**(105): 226-240; (106): 307-324; (107): 388-410; (108): 458-479.
- Chevillat, P., Molina, A., Giraldo, L. & C. Molina**. 1993. Estudio geológico e hidrológico del Golfo de Urabá. *Bol. Cient. CIOH*. (14): 79-89.
- Coelho, E. P. & A. de Mello-Leitão**. 1978. *Placospongia carinata* e sua ocorrência em costas brasileiras. Departamento de Zoologia, Universidade Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, *Avulso* **29**: 1-5.
- Cook S de C. & P. R. Bergquist**. 2002. Family Dysideidae Gray, 1867 In: HOOPER, J. N. & R. W. M. VAN SOEST (Ed.). 2002. *Systema Porifera: a guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York: 835-851.
- Díaz, J. M., Díaz-Pulido, G. & J. A. Sánchez**. 2000. Distribution and structure of the southernmost Caribbean coral reefs: Golfo de Urabá, Colombia. *Sci. Mar.* **64** (3): 327-336.
- Díaz, M. C., Pomponi, S. A. & R. W. N. Van Soest**. 1993. A systematic revision of the central West Atlantic Halichondrida (Demospongiae, Porifera). Part III: description of valid species. *Sci. Mar.*, **57** (4): 283-306.
- Dickinson, M. G.** 1945. Sponge of the Gulf of California. *Allan Hancock Pacific Expeditions*, **11**: 1-251.
- Duchassaing de Fombressin, P. & G. Michelotti**. 1864. Spongiaires de la mer Caraïbe. *Natkd. Verh. holl. Maatsch. Wetensch. Haarlem.* (2) **21**(3): 1-124.
- Duque-Caro, H.** 1990. Neogene stratigraphy, paleoceanography, and paleobiology in northwest South America and the evolution of the Panama Seaway. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, **77**: 203-234.
- Galeano, E. & A. Martínez**. 2007. Antimicrobial Activity of Marine Sponges from Urabá Gulf, Colombian Caribbean region. *J. Mycol. Med.*, **17**(1): 21-24.
- George, W. C. & H. V. Wilson**, 1919. Sponges of Beaufort (N. C.) Harbor and vicinity. *Bull. U. S. Bur. Fish.*, **36** (876): 130-179.
- Gotera, G. G. & P. M. Alcolado**. 1987. Nueva especie del genero *Agelas* (Porifera) colectada en Cuba. *Poeyana*. (342): 1-4.
- Hajdu, E., Peixinho, S., Fernandez, J.C.C.** 2011. Esponjas marinhas da Bahia. Guia de campo e laboratório. Museu Nacional, Serie livros, Rio de Janeiro: 1-276.
- Hajdu, E., Zea, S., Kielman, M. & S. Peixinho**. 1995. *Mycale escarlatae* n.sp and *Mycale unguifera* n.sp. (Mycalidae, Poecilosclerida, Demospongiae) from the tropical western Atlantic. *Beaufortia*, **45**: 1-16.
- Hechtel, G. J.** 1965. A systematic study of the Demospongiae of Port Royal, Jamaica. *Bull. Peabody Mus. Nat. Hist.* **20**: 1-103.
- Hofman C.C. & M. Kielman**. 1992. The excavating sponges of the Santa Marta area, Colombia, with description of a new species. *Bijdr. Dierkd.*, **61** (4): 205-217.
- Hooper, J. N.** 1996. Revision of microcionidae (Porifera: Poecilosclerida: Demospongiae), with description of Australian species. *Mem. Queensl. Mus.*, **40**: 1-626.
- Hooper, J. N. & R. W. M. Van Soest** (Ed.). 2002. *Systema Porifera: a guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York: 1-1101, 1103-1706 (2 volumes).
- Jones, W. C.** 1979. The microstructure and genesis of sponge biominerals In: Lévi, C. & N. Boury-Esnault (eds.). *Biologie des Spongiaires. Colloques Internationaux du C. N. R. S.*, **291**: 425-447.
- Kelly-Borges, M. & C. Valentine**. 1995. The sponges of the tropical island region of Oceania: a taxonomic status review. In: J. E. Maragos, M. N. A. Peterson, L. G. Eldredge, J. E. Bardach & H. F. Takeuchi (eds.). *Marine and coastal biodiversity in the tropical island pacific region. Volumen 1. Species systematics and information management priorities. Hawaii*: 83-120.
- Kobluk D.R. & R.W.M. Van Soest**. 1989. Cavity-dwelling sponges in a southern caribbean coral reef and their paleontological implications. *Bull. Mar. Sci.*, **44** (3): 1207-1235.
- Laubenfels, M. W. DE**. 1934. New sponges from the Puerto Rican deep. *Smithson. misc. Collect.* **91** (17): 1-28.
- Laubenfels, M. W. DE**. 1936a. A comparison of the shallow-water sponges near the pacific end of the Panama canal with those at the Caribbean end. *Poc. U. S. Nat. Mus.*, **83** (2993): 441-466.
- Laubenfels, M. W. DE**. 1936b. A discussion of the sponge fauna of the Dry Tortugas in particular, and the West Indies in general, with material for a revision of the families and orders of the Porifera. *Papers Tortugas Lab.*, **30**: 1-225.
- Laubenfels, M. W. DE**, 1949. Sponges of the western Bahamas. *Amer. Mus. Novitates*, **1431**: 1-25.
- Laubenfels, M. W. DE**, 1953. Sponges from the Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci. Gulf Caribbean*, **2** (3): 511-557.
- Lehnert, H. & R. W. M. Van Soest**. 1998. Shallow water sponges of Jamaica. *Beaufortia*, **48** (5): 71-103.
- Lehnert H. & R. W. M. Van Soest**. 1999. More north Jamaican deep fore-reef sponges. *Beaufortia*, **49** (12): 141-169.
- Little, F. J.** 1963. The sponge fauna of the St. George's Sound, Apalachee Bay, and Panama City regions of the Florida Gulf coast. *Tulanne Stud. Zool. Bot.*, **11** (2): 31-71.
- Maldonado, M., Carmen-Carmona, M., Uriz M. J. & A. Cruzado**. 1999. Decline in Mesozoic reef-building sponges explained by silicon limitation. *Nature*, **401** (21): 785-788.
- Martínez, A., Galeano E., Cadavid, J., Miranda Y., Llano J. & K. Montalvo**. 2007a. Acción insecticida de extractos etanólicos de esponjas del Golfo de Urabá sobre larvas de *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus*. *Vitae*, **14**(2): 90-94.
- Martínez, A., Galeano, E. & D. Valderrama**. 2007b. Antimicrobial activity of Caribbean Reef sponges (north-west Gulf of Urabá, Colombia). In: Custódio MR, Lôbo-Hajdu G, Hajdu E, Muricy G (eds). *Biodiversity, innovation and sustainability: Book of abstracts. VII International Sponge Symposium, Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil*: 27.
- Moraes, F. Coxeiras de**. 2011. Esponjas das ilhas oceánicas brasileiras. Museu Nacional, Rio de Janeiro, 1-252.
- Moths B. & M. C. K. de A. Bastian**. 1993. Esponjas do arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil (Porifera, Demospongiae). *Iheringia, Sér. Zool.*, (75): 15-31.
- Muricy, G., Esteves, E.L., Moraes, F., Santos, J.P., Da Silva, S., Klautau, M. & E. Lanna**. 2008. Biodiversidade marinha da Bacia Potiguar. *Porifera. Museu Nacional, Rio de Janeiro*, 1-156.
- Muricy, G., Lopes, D.A., Hajdu, E., Carvalho, M. De S., Moraes, F.C., Klautau, M., Menegola, C. & U. Pinheiro**. 2011. Catalogue of Brazilian Porifera. Museu Nacional, Rio de Janeiro, 1-299.

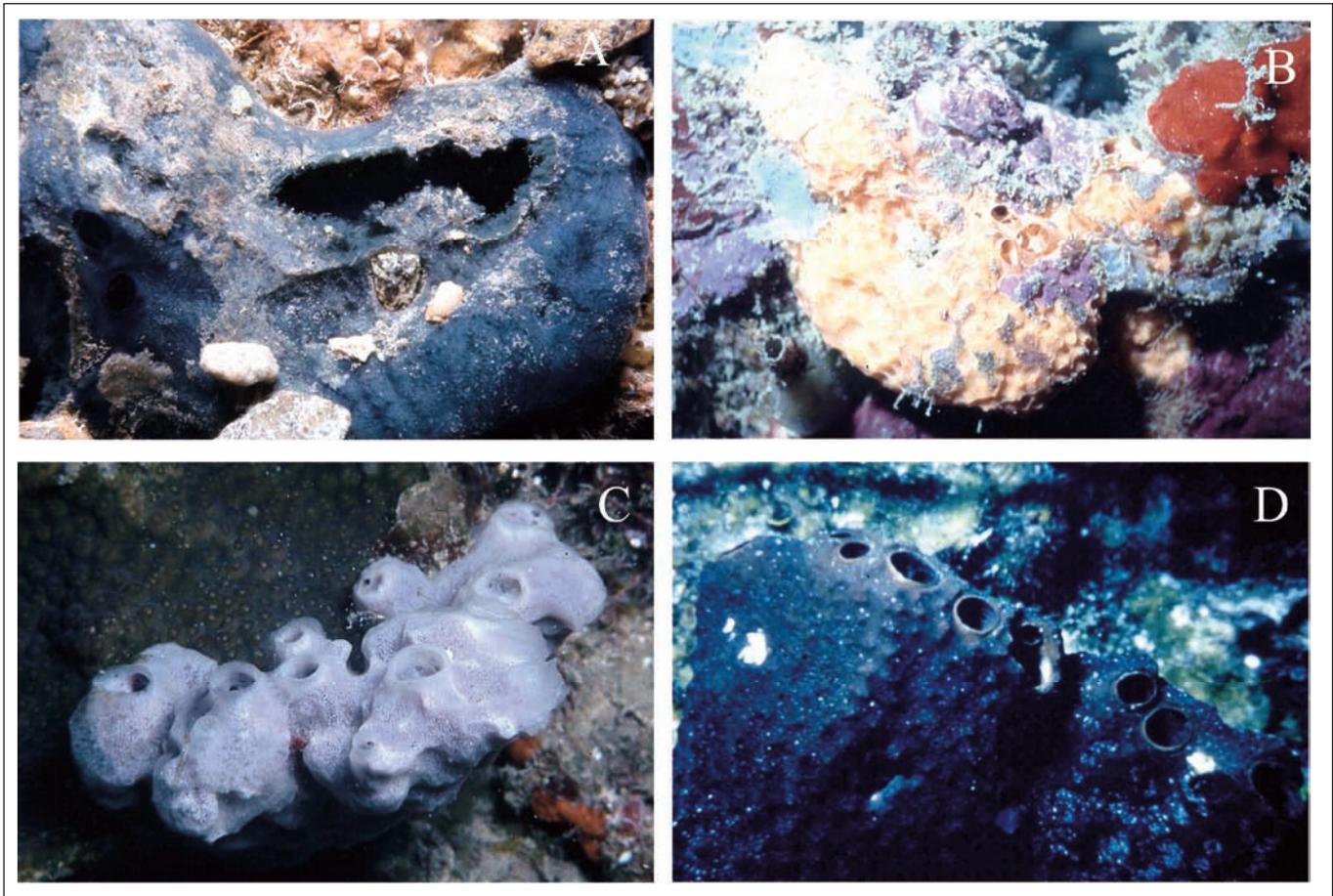
- Pulitzer-Finali, G.** 1986. A Collection of West Indian Demospongiae (Porifera). In appendix a list of Demospongiae hitherto recorded from the West Indies. *Ann. Mus. Civico Storia Nat. Genova*, **86**: 65-216.
- Rathe Peralta, L.** 1981. Estudio sistemático de las esponjas (Porifera) del litoral de República Dominicana. B.Sc. Thesis, Biology. Universidad Autónoma de Santo Domingo, Dominican Republic, Santo Domingo: 1-18.
- Rosa-Barbosa, R. de.** 1995. Primeiro registro de *Myrmekioderma styx* Laubenfels, 1953 (Porifera-Demospongiae) no Atlântico Sudoeste com novos aportes para a caracterização da espécie. *Biociências, Porto Alegre*, **3** (2): 119-128.
- Rua, C. P. J., Mattos, A. & M. Solé-Cava.** 2006. Cryptic speciation and correspondence between spiculation and molecular markers in *Placospongia*. In: Custódio MR, Lôbo-Hajdu G, Hajdu E, Muricy G (eds). Biodiversity, innovation and sustainability: Book of abstracts. VII International Sponge Symposium, Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil: 197.
- Rützler, K.** 1978. Sponges in Coral reefs. In: Stoddard, D.R. y R.E. Johannes (Eds.). Coral Reefs: research methods. Monogr. Oceanogr. Meth. 5, UNESCO, Paris, **21**: 299-313.
- Rützler, K.** 1986. Phylum Porifera (sponges) In: W. Sterrer (Ed.). Marine fauna and flora of Bermuda. A systematic guide to the identification of marine organisms. John Wiley & sons, Inc. New York: 111-128.
- Rützler, K. & K. P. Smith.** 1992. Guide to Western Atlantic species of *Cinachyrella* (Porifera: Tetillidae). *Proc. Biol. Soc. Wash.*, **105** (1): 148-164.
- Rützler, K. & K. P. Smith.** 1993. The genus *Terpios* (Suberitidae) and new species in the "Lobiceps" complex. Pp. 381-393. In: Uriz, M.-J. & Rützler, K. (Eds), Recent Advances in Ecology and Systematics of Sponges. *Sci. Mar.*, **57**(4): 273-432.
- Simpson, T. L.** 1978. The biology of the marine sponge *Microciona prolifera* (Ellis and Solander). III. Spicule secretion and the effect of temperature on spicule size. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **35**: 31-42.
- Simpson, T. L., Gil, M., Connes, R., Díaz, J-P. & J. Paris.** 1985. Effects of germanium (Ge) on the silica spicules of the marine sponge *Suberites domucula*: transformation of spicule type. *J. Morphol.*, **183** (1): 117-128.
- Smithe, F. B.** 1975. Naturalist's Color Guide. The American Museum of Natural History, New York. Part I. Color Guide, 86 + 96 colores, Part II (1974). Color Guide Supplement: 1-299.
- Soest, R. W. M. Van.** 1978. Marine sponges from Curaçao and other Caribbean localities. Part I. Keratosa. *Stud. Fauna Curaçao Caribb. Isl.*, **56** (179): 1-94.
- Soest, R. W. M. Van.** 1984. Marine sponges from Curaçao and other Caribbean localities. Part III. Poecilosclerida. *Stud. Fauna Curaçao Caribb. Isl.*, **66** (199): 1-177.
- Soest, R. W. M. Van.** 1993. Affinities of the marine Demospongiae fauna of the Cape Verde Islands and Tropical West Africa. *Cour. Forsch. Inst. Senck.*, **159**: 205-219.
- Soest, R. W. M. Van.** 2002. Family Coelosphaeridae Dendy, 1922 In: HOOPER, J. N. & R. W. M. VAN SOEST (Ed.). 2002. *Systema Porifera: a guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York: 528-546.
- Soest, R. W. Van.** 2009. New sciophilous sponges from the Caribbean (Porifera: Demospongiae). *Zootaxa* 2107: 1-40.
- Soest, R. W. M. Van & N. Stentoft.** 1988. Barbados deep-water sponges. *Stud. fauna Curaçao Caribb. Isl.*, **70** (215): 1-175.
- Sollas, W. J.** 1888. Report on the Tetractinellida collected by H. M. S. Challenger, during the years 1873-1876. In: Report on the scientific results of the voyage of H. M. S. Challenger during the years 1873-1876, *Zoology* **25** (63) CLXVI: 1-458.
- Valderrama, D.** 2001. Taxonomía y distribución de esponjas arrecifales (Porifera) del noroccidente del Golfo de Urabá, Caribe colombiano. B.Sc. Thesis, Marine Biology. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia: 1-187.
- Valderrama, D. & S. Zea.** 2003. Esquemas de distribución de esponjas arrecifales (porifera) del noroccidente del Golfo de Urabá, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* **32**: 37-56.
- Valderrama, D., Rossi A. L., Solé-Cava A. M., Rapp H.T. & M. Klautau.** 2009. Revalidation of *Leucetta floridana* (Haeckel, 1872) (Calcarea, Clathrinida, Leucettidae): a wide spread species in the tropical western Atlantic. *Zoological Journal of the Linnean Society*, **157**, 1-16.
- Weerdt, W. H. DE.** 2000. A monograph of the shallow-water Chalinidae (Porifera, Haplosclerida) of the Caribbean. *Beaufortia*, **50** (1): 1-67.
- Weerdt, W. H. De, Kluijver, M. J. DE & R. Gomez.** 1999. *Haliclona (Halichoelona) vansoesti* n. sp., a new chalinid sponge species (Porifera, Demospongiae, Haplosclerida) from the Caribbean. *Beaufortia*, **49** (6): 47-54.
- Weissenfels, N. & Landschoff, H-W.** 1977. Bau und Funktion des Siisswasserschwammes *Ephydatia fluvatilis* L. (Porifera). IV Die Entwicklung der monaxialen SiO<sub>2</sub>-Nadeln in Sandwich-Kulturen. *Zool. Jb. Anat.*, **98**: 355-371.
- Wells, H. W., Wells, M. J. & I. E. Gray.** 1960. Marine sponges of North Carolina. *J. Elisha Mitchel Sci. Soc.* **76**: 200-245.
- Wiedenmayer, F.** 1977. Shallow-water sponges of the western Bahamas. *Exp. Suppl.* 28, Birkhauser Verlag, Basel & Stuttgart: 1-278.
- Wintermann-Kilian, G. & E. F. Kilian.** 1983. Marine sponges of the region of Santa Marta (Colombia) Part I. Dictyoceratida and Verongida. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* **18**: 1-17.
- Wintermann-Kilian, G. & E. F. Kilian.** 1984. Marine sponges of the region of Santa Marta (Colombia) Part II. Homosclerophorida, Choristida, Spirophorida, Hadromerida, Axinellida, Halichondrida, Poecilosclerida. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* **19** (3): 121-135.
- Zabala, D. A., Echavarría, B. & A. Martínez.** 2008. Actividad inhibitoria sobre la enzima dihidrofolato reductasa de extractos de esponjas marinas del Golfo de Urabá. *Vitae*, **15**(2): 285-289.
- Zea, S.** 1985. Demosponges of the Colombian Caribbean: report on geographic variation in spicule size. Third International Conference on the Biology of Sponges, Woods Hole (Poster).
- Zea, S.** 1987. Esponjas del Caribe Colombiano. Dictyoceratida, Dendroceratida, Verongida, Haplosclerida, Poecilosclerida, Halichondrida, Axinellida, Desmophorida y Homosclerophorida. *Catálogo Científico, Bogotá*: 1-286.
- Zea, S.** 1998. Estado actual del conocimiento en sistemática de esponjas marinas (Porifera) del Caribe Colombiano. *Bol. Ecotrópica*, (33): 45-59.
- Zea, S. & R. M. W. Van Soest.** 1986. Three new species of sponges from the Colombian Caribbean. *Bull. Mar. Sci.* **38** (2): 355-365.
- Zea, S. & E. Weil.** 2003. Taxonomy of the Caribbean excavating sponge species complex *Cliona caribbaea* - *C. aprica* - *C. langae* (Porifera, Hadromerida, Clionaidae). *Caribb. J. Sci.*, **39**(3): 348-370.
- Zea, S., Henkel, T. P. & J. R. Pawlik, J.R.** 2009. The Sponge Guide: a picture guide to Caribbean sponges. Available: [www.spongeguide.org](http://www.spongeguide.org). Accessed June 27, 2012.



**Plate 1.** Underwater close-up photographs of the studied sponges from several areas of the Colombian Caribbean. (A) *Spirastrella coccinea* (Duchassaing & Minchelotti, 1864), Santa Marta Bay, El Morro. (B) *Spirastrella hartmani* Boury-Esnault *et al.*, 1999, Santa Marta Bay, Punta de Betín. (C) *Clathria (Thalysias) virgultosa* (Lamarck, 1814), Nenguanje Bay, Santa Marta area. (D) *Myrmekeioderma rea* (de Laubenfels, 1934), Chengue Bay, Santa Marta area. (E) *Svezzea flava* (Lehnert & van Soest, 1999), Cartagena, Islas del Rosario, Bajito del Medio. (F) *Svezzea tubulosa* (Alcolado & Gotera, 1986), Serrana Bank, San Andrés Archipelago. Width of field approx. 16.4 cm.



**Plate 2.** *Leiodermatium* aff. *pfeifferae* (Carter, 1873). (A) Photograph of preserved specimen (INV-POR 0570) from North-West Gulf of Urabá.



**Plate 3.** Underwater close-up photographs of the studied sponges from several areas of the Colombian Caribbean. (A) *Hymeniacidon caerulea* Pulitzer-Finali, 1986, Santa Marta Bay, Punta de Betín. (B) *Agelas citrina* Gotera & Alcolado, 1986, North-West of the Gulf of Urabá. (C) *Haliclona* (*Halichocona*) *vansoestide* Weerd, Kluijver & Gomez, 1999, Cartagena, Islas del Rosario, Tesoro Island. (D) *Smenospongia conulosa* Pulitzer-Finali, 1986, dark specimen, North-West of the Gulf of Urabá. Width of field approx for (A) aprox. 7.2 cm; for the others aprox. 16.4 cm.

## MODELAMIENTO DEL EFECTO DEL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO EN EL CLIMA LOCAL-REGIONAL SOBRE LOS ANDES COLOMBIANOS

### MODELING THE EFFECT OF LAND USE CHANGE IN THE LOCAL-REGIONAL CLIMATE OVER THE COLOMBIAN ANDES

Pabón J.D.\*, Rodríguez N.\*\*, Bernal N.R.\*\*\*, M.A. Castiblanco\*\*\*\*, Y.V. Sánchez\*\*\*\*\*

#### RESUMEN

**Pabón J.D., N. Rodríguez, N.R. Bernal, M.A. Castiblanco, Y.V. Sánchez.** Modelamiento del efecto del cambio en el uso del suelo en el clima local-regional sobre los andes colombianos. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 37 (144): 305-???, 2013. ISSN 0370-3908.

Utilizando el modelo PRECIS se efectuó la simulación del clima de una región localizada en los Andes colombianos, para explorar el impacto del cambio en el uso del suelo en el clima regional. El modelo reproduce satisfactoriamente la distribución espacial y el ciclo anual regional de la precipitación anual y de la temperatura media anual del aire, aunque sobreestima sus valores mensuales. Para los lugares en donde hay disponibles datos de observaciones que permitieron la comparación, PRECIS también reprodujo satisfactoriamente la variabilidad interanual de la temperatura media anual del aire y de la precipitación anual. Las diferencias entre lo observado y lo simulado ajustaron mediante un simple coeficiente obtenido de relación observado/simulado.

Con una intervención al modelo en la que se modifica el uso del suelo utilizado en la primera simulación por el real observado en la región en el año 1985, se realizó una nueva prueba. La comparación permitió establecer que hubo poco cambio sobre los ambientes naturales y un notorio aumento de la precipitación cuando se cambia el uso del suelo de “pastos y árboles” a “bosques tropicales de hoja ancha” y de “pastos y árboles” a “tierras con cultivos arables”.

**Palabras clave: ????**

---

\* Profesor Asociado, Grupo de Investigación “Tiempo, clima y sociedad”, Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia.

\*\* Profesora Cátedra. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia; Investigador, Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt.

\*\*\* Profesor Asistente, Ingeniería Ambiental, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas

\*\*\*\* Auxiliar de Investigación, Grupo de Investigación “Tiempo, clima y sociedad”, Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia

## ABSTRACT

Using PRECIS model, a simulation of the climate for a Colombian Andean region was carried out, as basis for exploring the impact of the land use change in regional climate. This model reproduces satisfactorily the spatial distribution and the annual cycle of annual precipitation and annual mean temperature, but it overestimates the values of these variables. For the places where data of observation were available for comparing, PRECIS also acceptably reproduced the regional inter-annual variability of annual mean air temperature and annual precipitation. Differences between observed and simulated were adjusted using a simple coefficient obtained from the simulated/observed relationship.

With an intervention in the model consisting in the modification of the land cover used by the model in the first simulation by the real observed in the region in 1985, a new experiment was made. The comparison allows establish that this modification produced negligible changes for natural environment and notorious change in precipitation when the alteration of the land use is from "pastures and trees" to "tropical forest with broad leaf" and from "pastures and trees" to "land with arable crops".

### Key words:

## 1. Introducción

En evaluaciones ambientales que se abordan para diversos propósitos frecuentemente surge la necesidad de hacer el análisis del clima local y explicar los cambios que generalmente ocurren en el mismo. Dado que los cambios del clima en la escala local-regional son el resultado de la interacción de procesos globales y regionales-locales, generalmente se cae en el sesgo de atribuir los cambios mencionados a uno de los dos factores, lo que puede inducir errores en las conclusiones y en la toma de decisiones relacionadas con la solución de los problemas ambientales y minimización de sus impactos. Adicionalmente, para efectos del modelamiento del clima o para interpretar los resultados de los modelos para una región o lugar determinados es necesario tener un conocimiento detallado del aporte de los procesos que operan a diferentes escalas en el cambio del clima local-regional. Esto plantea la necesidad de indagar acerca de en qué proporción estarían actuando los factores de diversa escala que inciden en el cambio climático local, tales como el uso del suelo, la orografía, etc. No obstante, aislar las señales local y global del cambio climático es una tarea compleja, la cual algunos investigadores (ver **IPCC-WG1, 2013**) han intentado abordar de diversas maneras.

Las características de la superficie regulan el balance de radiación y los flujos de masa (vapor de agua o  $\text{CO}_2$ ) y energía (calor) entre el suelo y la atmósfera, la intensidad del viento con su rugosidad y la humedad de la capa superficial, con lo cual el uso del suelo, en particular la cobertura vegetal, juegan un papel importante en la regulación del clima y de diferentes fases del ciclo hidrológico (**Defries & Eshleman, 2004, Dale, 1997**). Diversas investigaciones (**Mahfouf et**

**al., 1987; Segal et al., 1988; Pielke et al., 1998; Lowry, 1998; Kalnai & Cai, 2003; Jáuregi, 2004; Malhi et al., 2008**) han establecido que los cambios en el uso del suelo (deforestación, construcción de embalses, la urbanización, cambio de tipo de cultivo y los diferentes sistemas de riego) modifican los patrones meteorológicos (frecuencia de eventos extremos como tormentas, granizadas, heladas, entre otros) y las variables climatológicas como la temperatura y humedad del aire, vientos (circulación atmosférica de mesoescala) y precipitación. Por ello, en los estudios de cambio climático al identificar tendencias de cambio en tales patrones y variables, estos no se deben atribuir únicamente al cambio climático global que está ocurriendo.

En el ámbito colombiano son pocos los trabajos que se han realizado con el fin de identificar el efecto del cambio en el uso del suelo sobre el clima en escalas local y regional, aunque se ha analizado el cambio en el uso del suelo (**Etter et al., 2006; Guhl, 2008; Rodríguez et al., 2012**), el efecto de la urbanización en el clima (**Pabón et al., 1998; Poveda, 2008; Ángel et al., 2010**), el impacto del cambio climático en la cobertura vegetal (**Buitaert et al., 2011**) y simulado el efecto de algunos cambios (**Rodríguez et al., 2010**). En la actualidad hay la necesidad de una mayor comprensión de los procesos para su mejor incorporación en los modelos numéricos y para satisfacer la demanda de información específica en la práctica de la planificación en diferentes ámbitos de la sociedad, situación que empuja a profundizar en el tema del efecto del cambio del uso del suelo en el clima local-regional.

Con el propósito de contribuir en el sentido de dar los elementos para una respuesta al cuestionamiento planteado, se analizó con modelamiento el posible efecto del cambio del

uso del suelo en el clima regional. Este artículo compila los resultados de este intento en el que se utilizó el modelo climático regional PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies), el cual ha sido utilizado para elaborar escenarios de cambio climático (Bashkaran et al., 1996; Arnel et al., 2003; Cao et al., 2007; Alves & Marengo, 2009) en evaluación de impactos del cambio climático en diferentes regiones del mundo. (Una lista de publicaciones sobre el uso de PRECIS en estudios de cambio climático, con pdf de algunas de ellas, está disponible en la página Web [http://precis.metoffice.com/other\\_links.html](http://precis.metoffice.com/other_links.html)).

## 2. Región de estudio, datos y métodos

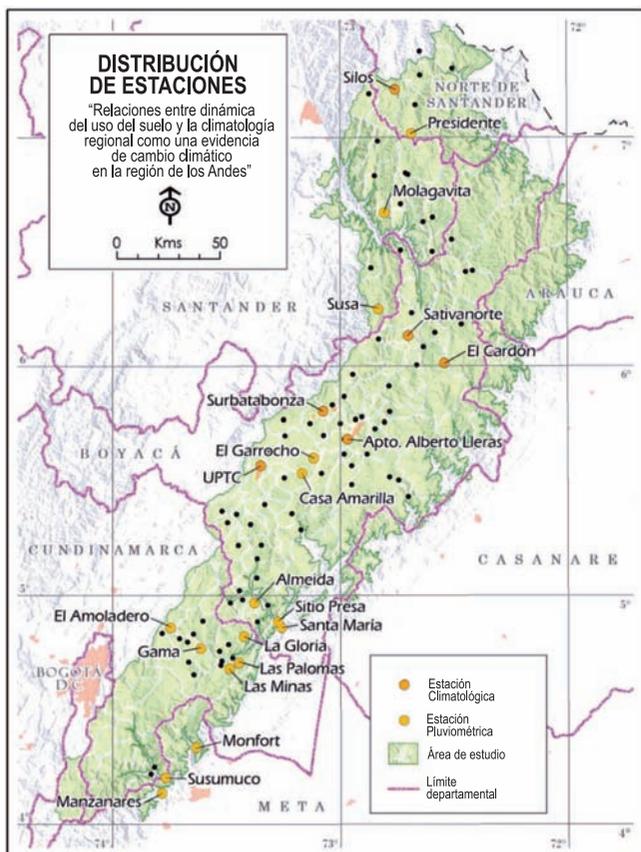
La región analizada (Figura 1) es una franja que se extiende meridionalmente por la vertiente oriental de la Cordillera oriental de los Andes colombianos, desde 4 a 8°N, entre los 72 y 73°W. Esta zona comprende territorio de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander.

Para alcanzar el objetivo planteado, identificar la señal del efecto del cambio del uso de suelo en el clima de la región, el estudio se desarrolló en las siguientes fases:

1. Simulación del clima de regional utilizando el modelo PRECIS con la información de uso del suelo de Wilson & Henderson-Seller (1985) que es la utilizada en la versión original del modelo
2. Validación de las simulaciones del clima regional mediante comparación con datos provenientes de mediciones efectuadas en estaciones climatológicas.
3. Ajuste de los resultados del modelo para reducir las diferencias entre el clima real y el simulado.
4. Simulación con el uso del suelo modificado; se utilizó datos de uso del suelo de la región registrado en 1985.
5. Comparación de los resultados obtenidos en los dos experimentos.

**Tabla 1.** Lista de estaciones climatológicas utilizadas para el estudio

LAT	LONG	ELEV	Nombre	Depto.	Municipio
4,70	-73,43	2003	Palomas las	C/marca	Gachalá
4,68	-73,48	2003	Minas las	C/marca	Gachalá
6,67	-72,80	2150	Molagavita	S/der	Molagavita
6,02	-72,53	3590	Cardon el	Boyacá	Socotá
6,13	-72,70	2594	Sativanorte	Boyacá	Sativanorte
4,95	-73,40	2120	Almeida	Boyacá	Almeida
4,82	-73,43	1845	Gloria la	C/marca	Ubalá
4,90	-73,30	1210	Sitio presa	Boyacá	Santa María
4,87	-73,73	2963	Amoladero el	C/marca	Guatavita
4,77	-73,62	2210	Gama	C/marca	Gama
7,02	-72,68	3320	Presidente	N. S/der	Chitagá
7,20	-72,75	2765	Silos	N. S/der	Silos
5,60	-73,12	3100	Garrocho el	Boyacá	Toca
5,53	-73,17	3200	Casa amarilla	Boyacá	Toca
5,57	-73,37	2690	UPTC	Boyacá	Tunja
5,82	-73,07	2485	Surbata bonza	Boyacá	Duitama
6,25	-72,83	3080	Susa	S/der	Onzaga
4,22	-73,73	1000	Susumuco	C/marca	Guayabeta
4,12	-73,80	1200	Manzanares	Meta	Acacias
4,2	-73,38	1100	Monfort	Meta	El Calvario
4,52	-73,16	850	Santa María	Boyacá	Santa María
5,41	-72,58	2500	Apto. Alberto Lleras	Boyacá	Sogamoso



**Figura 1.** Área del estudio con la localización de las estaciones pluviométricas y climatológicas cuyos datos se utilizaron en el análisis

## 2.1 Los datos de mediciones de estaciones meteorológicas y climatológicas

Para la validación del modelo se utilizaron los datos de temperatura mensual del aire y de precipitación mensual de las estaciones meteorológicas indicadas en la Tabla 1 y distribuidas según se muestra en la Figura 1; las estaciones utilizadas han sido operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), por la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) y por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). Aunque se intentó contar con secuencias de datos para el período 1960-2000, la mayor parte de las series contó con información a partir de 1985.

Los datos se sometieron a control de calidad en cuanto se refiere a datos faltantes, a identificación de homogeneidad, detección de cambios por medio de procedimientos estadísticos y verificación del historial de cada una de las estaciones climatológicas para explicar si los cambios fueron causados por alguna alteración de los procedimientos en las mediciones; esto último se efectuó con consulta directa de las hojas de inspección en los archivos técnicos de las instituciones que operan las estaciones. Los métodos utilizados para identificar los cambios en las series utilizadas en el presente estudio han sido resumidos por **Bernal et al. (2009)**.

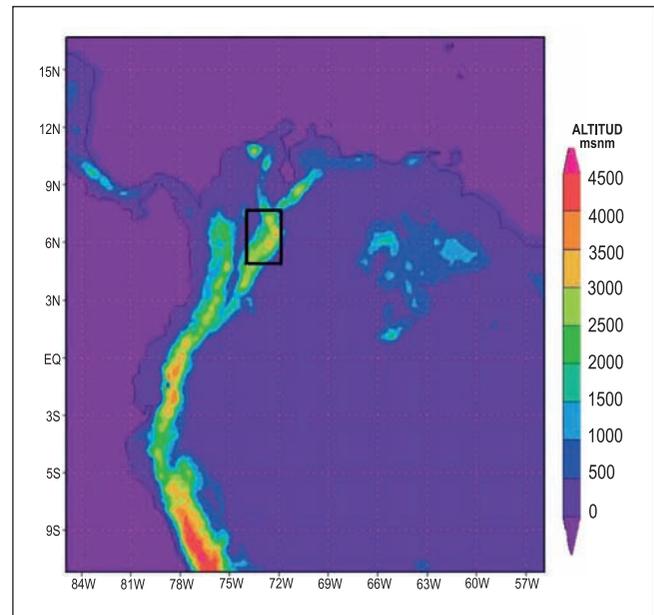
Para la región se contó con 22 estaciones (Tabla 1) con datos de precipitación mensual (las 22 estaciones) y temperatura media mensual (sólo 6 estaciones). Con ésta información se efectuó la validación del modelo para la región.

## 2.2 El modelo PRECIS y la simulación del clima regional

El modelamiento del clima se realizó utilizando el modelo PRECIS, el cual permite regionalizar los productos de los modelos climáticos globales y llevarlos a una resolución espacial relativamente detallada. Las particularidades técnicas del funcionamiento operativo del modelo PRECIS han sido resumidas por **Wilson et al. (2008)** y se pueden obtener del sitio [http://precis.metoffice.com/user\\_support.html](http://precis.metoffice.com/user_support.html).

Aunque una descripción detallada del modelo regional se puede obtener de la publicación de **Jones et al. (2004)**, en síntesis, se puede caracterizar PRECIS como un sistema de modelamiento del clima regional que simula la interacción de la superficie (suelo-cobertura vegetal) y la atmósfera a través de la inclusión de las particularidades regionales de los procesos como el balance de radiación, la dinámica de la circulación atmosférica en la mesoescala, el ciclo de los sulfatos, la formación de nubes y precipitación, así como la transferencia de masa y energía desde la cobertura vegetal y la capa del suelo a la atmósfera.

En cuanto al componente de la superficie, que es un aspecto esencial en el presente estudio, PRECIS contempla una cobertura vegetal que interactúa con el viento, con la radiación solar y la precipitación, provee a la atmósfera flujos de calor y regula la escorrentía; para el efecto considera diferentes tipos de cobertura vegetal, cada uno de los cuales tiene una forma particular de actuar en los procesos mencionados. El suelo del modelo, por su parte, dependiendo de su textura tiene propiedades térmicas e hidrológicas y con su color participa en el balance de radiación con el albedo.



**Figura 2.** Área para la cual se realizaron las simulaciones del clima con PRECIS. Con colores se muestra la orografía incorporada al modelo. (En recuadro negro se indica la localización del área específica del estudio, sobre la cordillera oriental. Nótese que esta última está satisfactoriamente representada en el modelo).

El modelo PRECIS se ejecutó para una región localizada sobre el norte de Suramérica, seleccionada de tal manera que ubica el territorio colombiano en el centro, como lo muestra la Figura 2. Dado que la información disponible en el modelo presentaba deficientemente las cordilleras central y occidental (ver Figura 2), las cuales no se definían claramente, fue necesario intervenir el archivo de datos de orografía y se corrigió el relieve de ese sector. La información de entrada o condiciones de borde del modelo fue la disponible en el re-análisis denominado ERA40\* (**Uppala et al., 2005**). En

\* ERA40 es un juego de datos en cuadrícula tridimensional generado por el European Center of Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF) para el período 1957-2002 con base en el procesamiento con ayuda de modelos de las observaciones efectuadas durante este

cuanto a la cobertura vegetal y el suelo, se dejó el que incluía inicialmente el modelo, es decir el juego de datos WHS (**Wilson & Henderson-Sellers, 1985**).

Con las anteriores características se ejecutó PRECIS para simular el clima regional y se produjo información (datos, horarios, diarios y mensuales) de las variables climatológicas con una cuadrícula de 25 x 25 kilómetros para el período 1960-2000 sobre la superficie de todo el territorio colombiano. Para efectos del presente trabajo se extrajeron los datos mensuales de temperatura y precipitación correspondientes a la región estudiada.

## 2.2 La validación y el ajuste de los resultados de la modelación con PRECIS

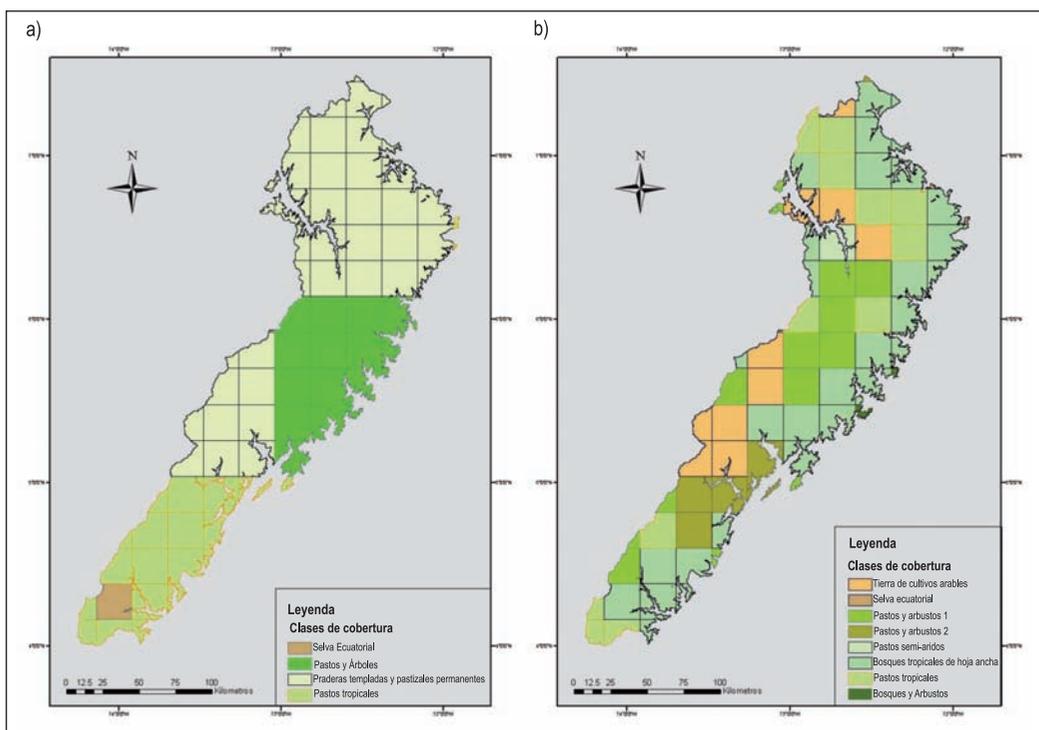
De los datos generados por el modelo se obtuvieron valores multianuales y las series de datos mensuales para el período 1961-1990 para 2 puntos con temperatura del aire y 22 con precipitación. La validación se efectuó a través de la comparación entre lo observado 1961-1990 (OBS) y lo simulado por PRECIS (SIM) para ese período.

Se compararon los valores multianuales, la distribución espacial de las variables (mapas  $[1961-1990]_{OBS}$  y  $[1961-1990]_{SIM}$ ), el ciclo anual y la variabilidad interanual. Igualmente se calcularon los coeficientes de correlación entre las series observadas y las simuladas para establecer en cuales puntos (lugares) se obtiene la mejor aproximación.

Las series simuladas se ajustaron para que se acercaran más en su comportamiento a las simuladas. Este ajuste se efectuó reduciendo la diferencia de los valores medios de las dos series (observada y simulada), mediante la aplicación de un coeficiente obtenido a partir de la simple relación observado/simulado.

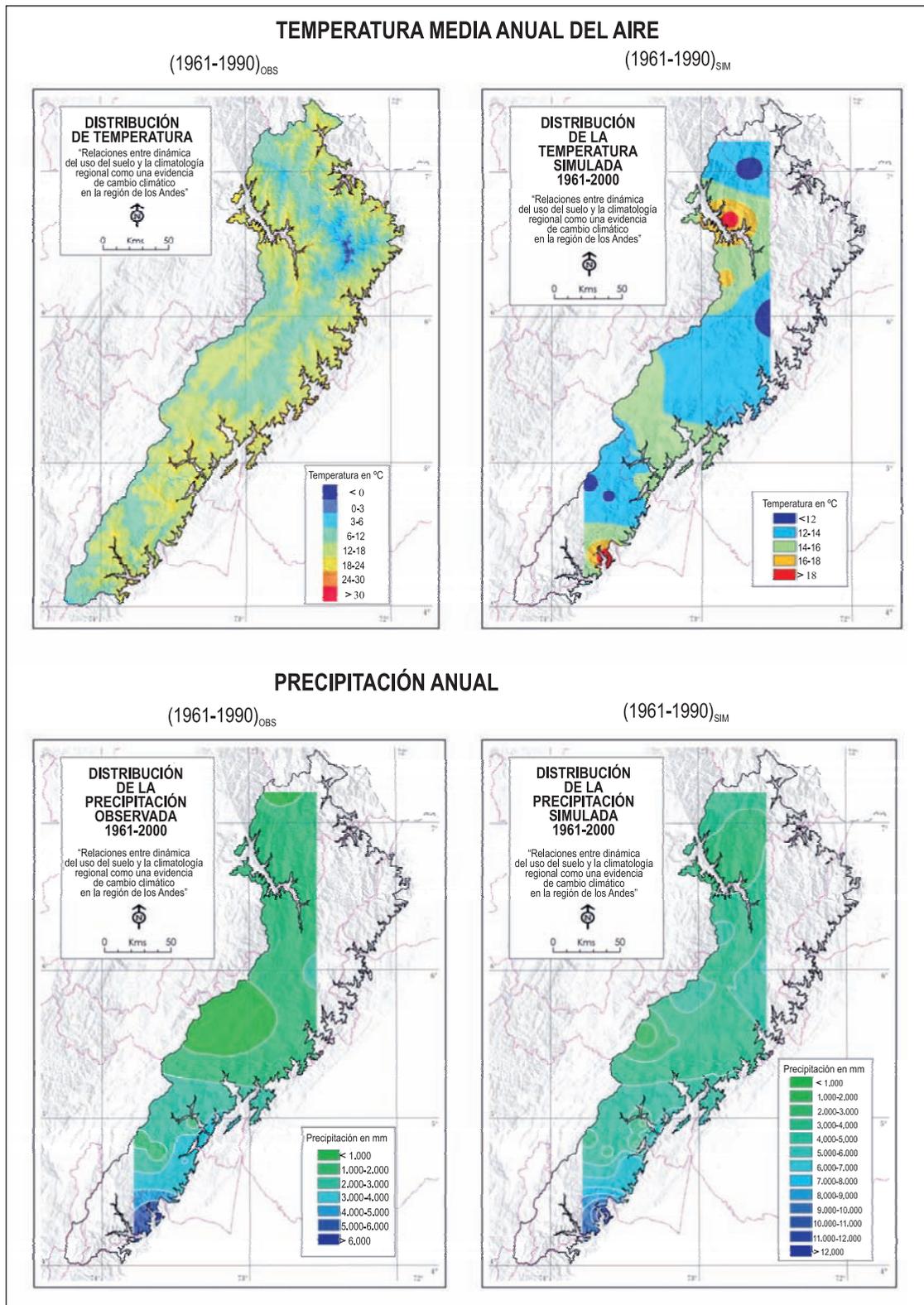
## 2.3 Simulación de efecto del cambio de uso del suelo en el clima regional

Para establecer con el modelo PRECIS el efecto del cambio en el uso del suelo, se simuló inicialmente el clima regional con ese modelo dejando el juego de datos WHS, posteriormente se hizo una nueva simulación cambiando los datos de uso del suelo del modelo por los generados por **Galindo**



**Figura 3.** Visualización de la cobertura de **Wilson & Henderson-Seller, 1985** (a) y la identificada por Galindo et al 2010 para 1985 (b) con las que se realizó el modelamiento del clima con PRECIS en la prueba inicial e intervenida, respectivamente.

período. La resolución horizontal de los datos ERA40 es de  $1,15^\circ \times 1,15^\circ$  (aproximadamente 126 x 126 kms); la resolución temporal es de 6 horas. (vera *Uppala et al., 2005*).



**Figura 4.** Comparación de las distribuciones de temperatura media anual del aire (arriba) y precipitación anual (abajo) observadas en el período 1961-1990 (izquierda) y la simulada para ese período con el modelo PRECIS (derecha).

et al. (2010) a partir de procesamiento de una imagen de satélite Landsat de 1985); la cobertura se cambió solamente para la región de estudio, no para toda el área de simulación.

Una vista comparativa de las dos coberturas usadas para la región de estudio se presenta en la Figura 3. Es posible observar (Figura 3a) que con la cobertura inicial (la que dispone el modelo en su versión inicial u original) la región es cubierta por solo tres categorías: Praderas templadas y pastizales permanentes, pastos y árboles y pastos tropicales; hay un área pequeña de selva ecuatorial. El uso del suelo para el experimento con PRECIS intervenido (Figura 3b) es más variable espacialmente y más variado en cuanto a categorías, con un total de 8. Resalta la introducción de la categoría “tierra de cultivos arables” en el sector centro-occidental y al norte de la región, lo que es una intervención contrastante con lo que había en esas zonas según los datos WHS. Con este cambio en el uso del suelo para la región se realizó una nueva simulación del clima regional y se obtuvieron de nuevo series (intervenidas en 1985).

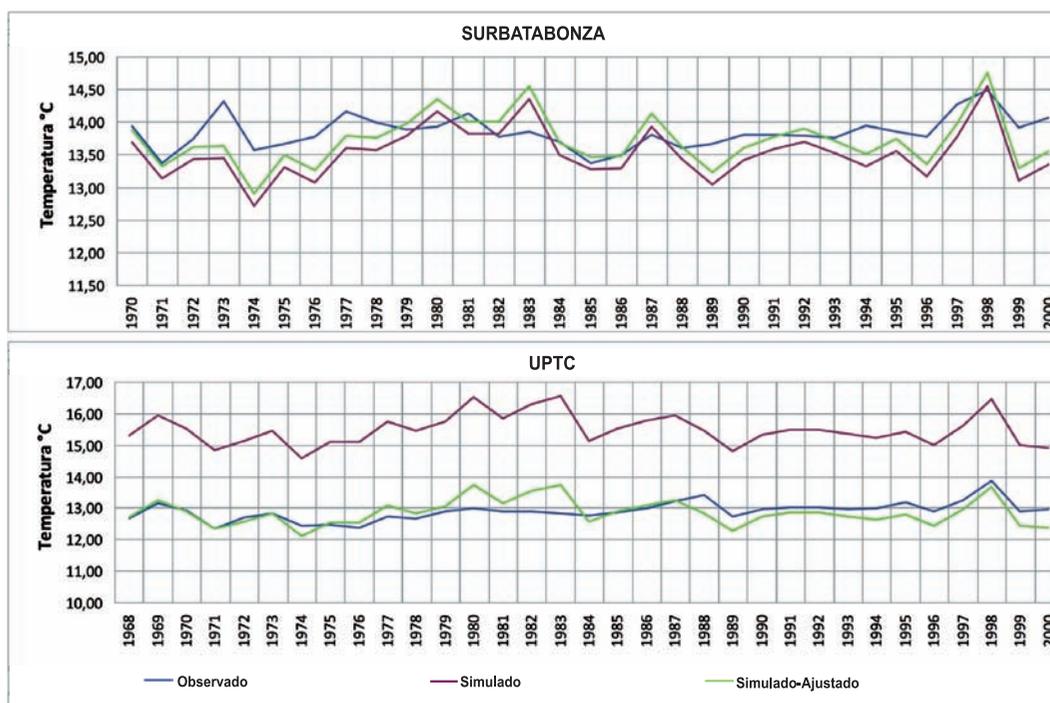
Posteriormente, se compararon las series intervenidas con las obtenidas en la primera simulación y se establecieron las diferencias que podrían ser la señal del efecto del cambio del uso del suelo en el clima local.

### 3. Resultados

En la Figura 4 se presenta la comparación de la distribución espacial de la temperatura media anual del aire y de la precipitación según las observaciones del período 1961-1990 y tal como lo simula PRECIS para ese período.

Como se puede apreciar, para la temperatura del aire (Figura 4 arriba), el mapa simulado no presenta los detalles del mapa observado, lo que se explica por la orografía suavizada en PRECIS (ver Figura 2); en general, la orografía suavizada y más baja del modelo hace que se sobreestime esta variable. No obstante, la distribución espacial es satisfactoriamente definida ya que el modelo localiza en donde corresponde las áreas de altas temperaturas para las zonas bajas y las bajas temperaturas de las mayores altitudes.

En el análisis se pudo precisar que, aunque PRECIS sobreestima la precipitación (Figura 4, abajo), los mapas observado y simulado presentan una distribución espacial similar: las zonas muy lluviosas generadas por el modelo están en las zonas lluviosas observadas, las menos lluviosas sobre las secas. El coeficiente de correlación entre las dos distribuciones (observada y simulada) de la precipitación es 0,84, valor bastante alto que resulta de la similitud de estas dos distribuciones espaciales.



**Figura 5.** Comparación de la variabilidad de la temperatura media anual del aire observada y simulada con PRECIS para el período 1960-2000 y la correspondiente serie ajustada.

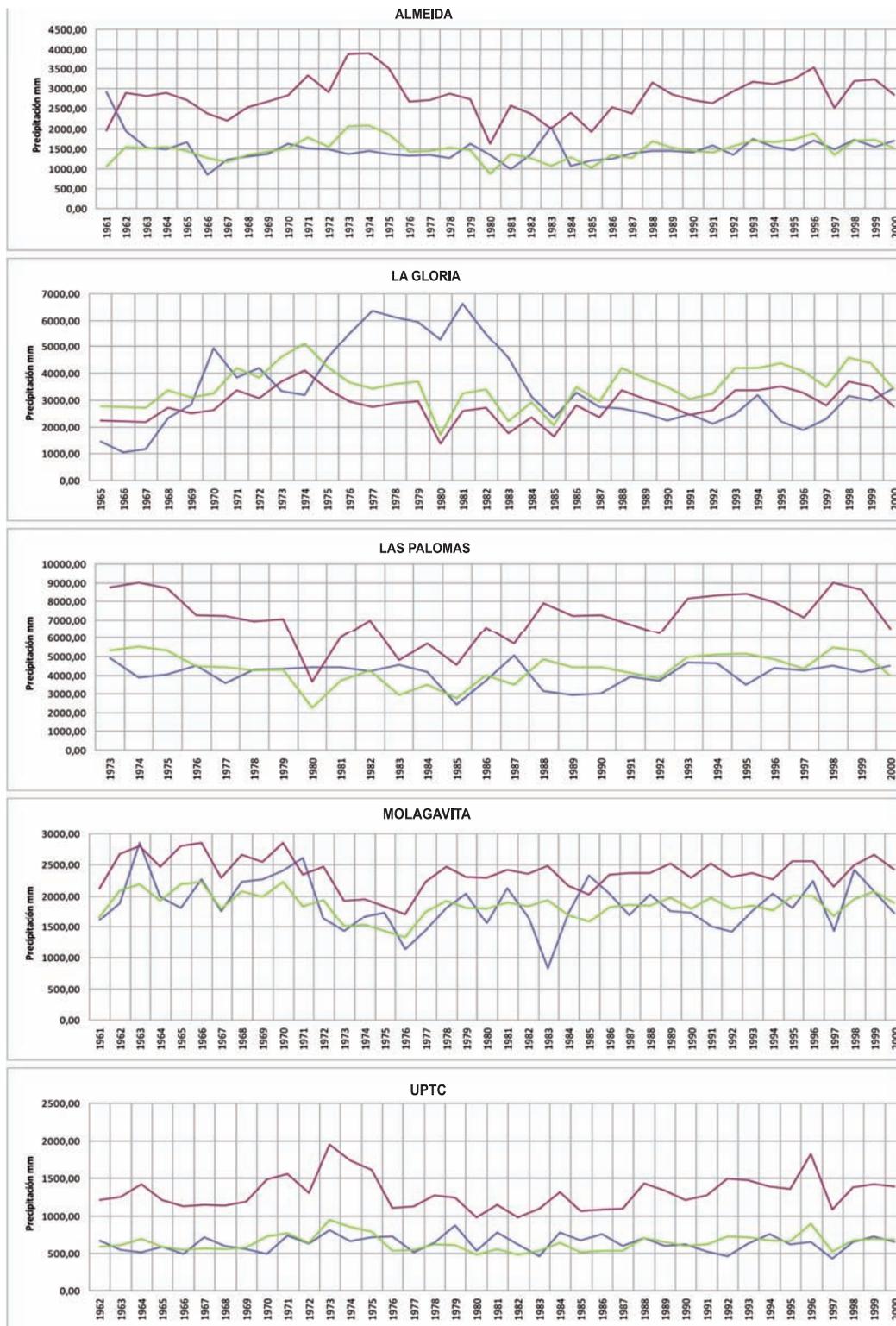


Figura 6. Comparación de la variabilidad de la precipitación anual observada y simulada con PRECIS para el período 1960-2000 y la correspondiente serie ajustada para 5 puntos de la región.

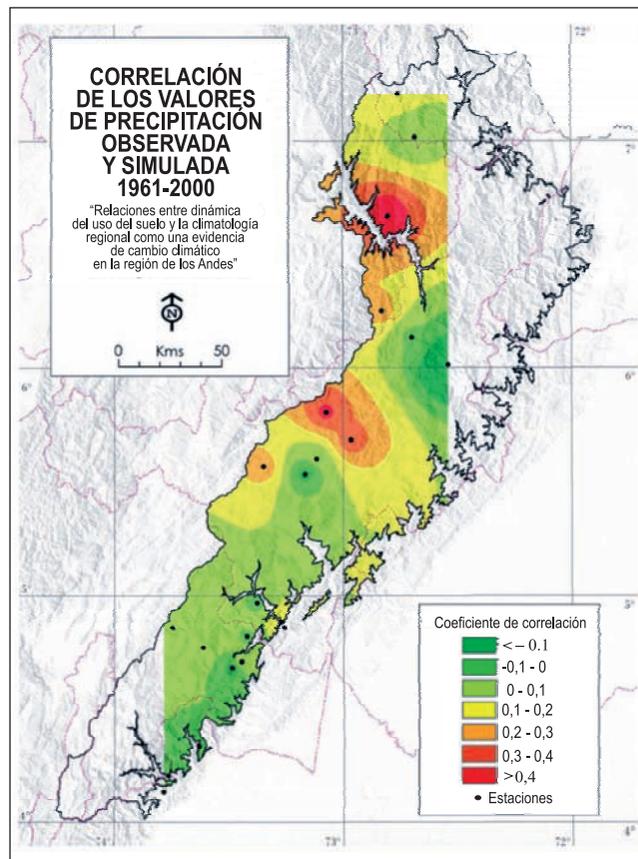
La Figura 5 compara el comportamiento interanual de dos series de temperatura media anual observada y simulada, así como la serie resultante después del ajuste realizado según lo mencionado en metodología. (Lamentablemente para esta variable climatológica solo se contó con dos estaciones con observaciones de temperatura del aire con datos completos). El modelo simula satisfactoriamente el comportamiento interanual para la estación Surbatabonza, mientras que para la segunda estación (UPTC) hay una sobreestimación sistemática; no obstante, en esta última las variaciones también alcanzan a ser señaladas por el modelo. El coeficiente de correlación entre series observada y simulada es de 0,55, que en estas variables es relativamente satisfactorio y muestra cierto grado de cercanía entre la realidad (lo observado) y lo simulado.

Las series precipitación observada y simulada presentan diferencias notables (Figura 6). Es fácil identificar la sobreestimación que ocurre en la mayor parte de puntos, aunque las fases extremas (los picos) de la variabilidad interanual no coinciden, hay puntos en donde se logra una buena coincidencia (ver, por ejemplo, la serie generada para la estación UPTC). En el caso de la estación La Gloria, la comparación pone en evidencia los problemas de la serie de mediciones entre 1975y 1984; ese comportamiento no ocurre en las demás series lo que señala a la mala calidad de la serie de observaciones de esta estación, que pudo haber pasado el control de calidad. (Aquí, vale la pena destacar la utilidad del modelo como una herramienta más de control de calidad de los datos).

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación entre las series observadas y simuladas de las estaciones utilizadas para el análisis de la precipitación.

Estación	Coefficiente de correlación	Estación	Coefficiente de correlación
Almeida	-0,030	Molagavita	0,479
Apto. Alberto Lleras	0,365	Monfort	-0,062
Casa Amarilla	0,124	Presidente	0,023
El Amoladero	0,037	Santa María	0,170
El Cardón	-0,356	Santivanorte	-0,015
El Garrocho	0,009	Silos	0,133
Gama	0,093	Sitio Presa	0,199
La Gloria	-0,013	Surbatabonza	0,426
Las Minas	-0,150	Susa	0,238
Las Polomas	0,090	Susumuco	-0,034
Manzanares	0,107	UPTC	0,255

En la Tabla 2, que presenta el coeficiente de correlación para los pares (observado-simulado) de series de precipitación, es posible ver que solo para 2 estaciones climatológicas los valores alcanzan a sobrepasar un valor de 0,4. Al observar la distribución espacial de la correlación de las series de precipitación (Figura 7), se identifican sectores (resaltados por los colores rojo y anaranjado) en donde el acercamiento de la variabilidad interanual modelada a la observada es satisfactorio.



**Figura 7.** Distribución espacial de los coeficientes de correlación entre las series precipitación observadas y simuladas para las estaciones con disponibilidad de datos.

Los cambios en la temperatura del aire y en la precipitación generados por las transformaciones en el uso del suelo en el modelo se resumen en la Tabla 3. Es posible constatar, que para las dos variables no se sigue un patrón definido unidireccionalmente de los cambios al modificarse una cobertura vegetal por otra, lo que podría deberse a la compleja interacción con lo que ocurre con los sectores cercanos a cada sitio, aunque en general para las dos ocurre un cambio determinado al comienzo y uno mayor, que puede ser contrario,

**Tabla 3.** Cambios de la temperatura media del aire causados por la modificación del uso del suelo según lo simulado en el experimento con intervención de este último en el modelo PRECIS.

Estacion	Uso del suelo antes de 1985	Uso del suelo despues de 1985	Cambio de temperatura	Cambio de precipitación
Almeida	Pastizales y árboles	Bosques tropicales de hoja ancha		Aumento al doble
Apto Alberto Lleras	Pastizales y árboles	Tierra de cultivos arables	Disminución considerable los tres primeros años y aumento brusco el resto del tiempo	Aumento por tres años y de nuevo igual
Casa Amarilla	Tierra de cultivos arables	Pastos y arbustos		Aumento paulatino hasta alcanzar el doble en el sexto año
El Amoladero	Pastizales y árboles	Tierra de cultivos arables		No hay cambio notable
El Cardón	Pastizales y árboles	Pastos y arbustos	Ligero aumento los primeros tres años y más notorio después	Ligera disminución en los cuatro primeros años; brusca disminución después
El Garrocho	Tierra de cultivos arables	Pastos y arbustos		Ligero aumento en el tercer y cuarto año. Disminución muy grande después
Gamma	Pastizales y árboles	Bosques tropicales de hoja ancha		Aumento notorio en los tres primeros años, muy alto en el resto del tiempo
La Gloria	Pastizales y árboles	Bosques y arbustos		Sin cambio notorio hasta el cuarto año. Exagerado después
Las Minas	Pastizales y árboles	Bosques tropicales de hoja ancha		Ligera disminución los primeros cuatro años; y aumento notorio el resto de tiempo
Las Palomas	Pastizales y árboles	Bosques y arbustos		Ligera disminución el tercer y cuarto año. Disminución muy grande después
Manzanares	Pastos tropicales	Tierra de cultivos arables		Ligera disminución los primeros tres años; y aumento brusco el resto de tiempo
Molagavita	Pastos y árboles	Pastos y arbustos		Aumento notorio en los tres primeros años y muy alto en el resto del tiempo
Monfort	Pastizales y árboles	Selva Ecuatorial		Ligera disminución los primeros tres años; Disminución muy brusca después
Presidente	Pastos y árboles	Tierra de cultivos arables		Pequeño aumento en los dos primeros años, después no hay cambio notable
Santa María	Pastizales y árboles	Bosques tropicales de hoja ancha		Ligera disminución el tercer y cuarto año. Disminución muy grande después
Sativa Norte	Pastizales y árboles	Tierra de cultivos arables	Sin cambio aparente los primeros tres años y un considerable descenso el resto del tiempo	Pequeño aumento en los dos primeros años, aumento notorio en el tercer año y disminución brusca después
Silos	Pastos y árboles	Pastos y arbustos	Pequeño aumento los primeros tres años y un considerable descenso el resto del tiempo	Pequeña disminución en el segundo año y aumento notorio después del tercer año
Sito Presa	Pastizales y árboles	Bosques tropicales de hoja ancha		Ligera disminución los primeros tres años y después sin cambios considerables
Surbatabonza	Tierra de cultivos arables	Bosques tropicales de hoja ancha	Pequeño aumento los primeros tres años y un ligero descenso el resto del tiempo	No hay cambio notable
Susa	Pastos y árboles	Pastos tropicales		Disminución los primeros tres años y aumento el resto del tiempo
Susumuco	Pastizales y árboles	Pastos y arbustos		Disminución los primeros cuatro años y aumento el resto del tiempo
UPTC	Tierra de cultivos arables	Tierra de cultivos arables	Sin cambio aparente los primeros tres años y un considerable descenso el resto del tiempo	Pequeño aumento en los primeros tres años y un muy brusco aumento alrededor de cuatro veces

después de 2-3 años, es decir, si ocurren cambios en las variables climatológicas debidas al cambio en el uso del suelo.

En dos estaciones (Aeropuerto Alberto Lleras y Sativa Norte), por ejemplo, ocurre el mismo tipo de modificación de “pastizales y árboles” a “tierras de cultivos arables”, sin embargo el cambio en la temperatura del aire no es el mismo. En los sectores donde se localizan las estaciones El Cardón y Silos la transformación de la cobertura vegetal es la misma, no obstante, la respuesta de la temperatura del aire es diferente. Más aún, en la estación UPTC, para la que no hubo modificación del uso del suelo (en los dos períodos se mantuvo en “tierras de cultivos arables”), se presenta un descenso notable de la temperatura del aire y un considerable aumento de la precipitación después del tercer año, en ambos casos.

Para la precipitación también los cambios no siguen estrictamente un patrón general relacionado con la modificación efectuada en el uso del suelo. Así, en la Tabla 3 también se observa que en el área en donde se ubican las estaciones Aeropuerto Alberto Lleras, El Amoladero, Presidente y Sativa Norte la modificación fue similar de “pastizales y árboles” a “tierras de cultivos arables” y los cambios en la variable difieren de una estación a otra, sin embargo, en términos generales, los cambios tienden a ser aumento de la precipitación. De otra parte, cuando los cambios son de menor a mayor vegetación, de “pastizales y árboles” a “bosques tropicales

de hoja ancha”, ocurre una disminución de la precipitación, excepto para dos estaciones Almeida y Gamma, resultado contrario a lo que generalmente se cree. Finalmente, la transformación de “tierra de cultivos arables” a “pastos y arbustos” dentro del modelo produce aumento de la precipitación.

Al agrupar las modificaciones del medio (cobertura vegetal o uso del suelo) en “natural”, “seminatural” y “transformado” y tomando una estación representativa de dichos cambios es posible ver que en las áreas con ambiente natural, los cambios en la precipitación no son tan grandes, mientras que en el “seminatural” son bastante marcados. En la Figura 8 se resume este comportamiento en tres estaciones (cada una ubicada en uno de estos grupos). Pareciera ser que en las áreas que se mantienen el medio “natural” los cambios son muy pequeños, no obstante es necesario considerar lo expuesto en los dos párrafos anteriores.

Otra forma de visibilizar las particularidades de los cambios que la temperatura del aire y la precipitación presentaron después de la transformación del uso del suelo en el modelo puede ser mediante la comparación de lo ocurrido con las series agrupadas por el tipo de cobertura en la que se encuentran las estaciones antes de la modificación realizada, es decir, en las categorías: “natural”, “seminatural” y “transformada”, lo que fue posible hacer solo para la precipitación que dispone de más número de estaciones por categoría. Así,

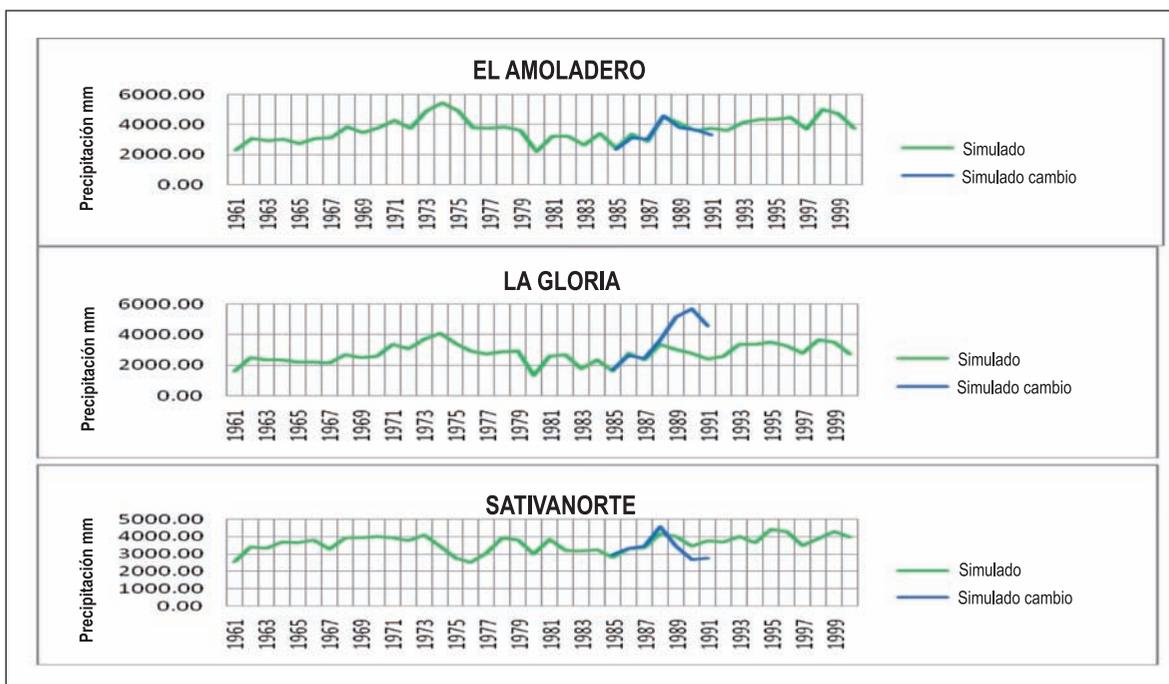
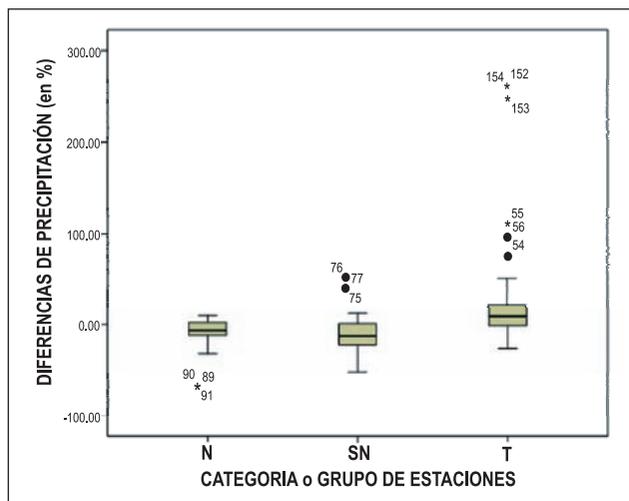


Figura 8. Secuencias comparativas de las series simuladas con el uso del suelo WHS y la serie generada con la intervención, para estaciones en ambiente “natural” (arriba), “seminatural” (en el medio) y “transformado” (abajo)

cada sector correspondiente a una estación climatológica presenta una diferencia entre la precipitación anual anterior a la intervención con la modificación del uso del suelo y después; en cada categoría hay varias estaciones lo que permite conformar tres series de diferencias a las que se les calcula características estadísticas con las que se puede comparar el comportamiento. En la Figura 9 se presentan los box-plot de las series de diferencias (expresadas en porcentaje del acumulado anual de precipitación de la estación correspondiente) que ocurren en cada grupo (categoría) de estaciones. Según se desprende de esta figura, los menores cambios ocurren en las estaciones que se mantienen en ambiente natural y los mayores en transformado; también se observa que en la categoría N, aunque los cambios son menores, hay una tendencia a la disminución de la precipitación, lo que corrobora lo ya mencionado arriba sobre el cambio de menor a mayor vegetación. Los cambios en categorías SN y T condujeron en promedio a aumento de la precipitación.



**Figura 9.** Gráficos de caja (boxplots) de las series de diferencias (expresada en términos de porcentaje) entre la precipitación anual anterior a la intervención con la modificación del uso del suelo y la obtenida después de modificarse el uso del suelo en el modelo PRECIS. Las series fueron compuestas por las estaciones en ambiente natural (N), seminatural (SN) y transformado (T)

## Conclusiones

En el marco del trabajo cuya metodología y resultados se expusieron anteriormente fue posible establecer, con base en modelamiento del clima regional, que modificaciones locales en el uso del suelo generan cambios de las variables climatológicas (temperatura media anual del aire y precipitación anual) en la escala local.

El modelo PRECIS utilizado para el efecto representó satisfactoriamente las condiciones climáticas para gran parte de los sectores en donde se disponía de datos de mediciones que permitieron su validación; aunque se registraron diferencias entre la distribución espacial de la temperatura media anual del aire y de la precipitación simuladas, éstas se pudieron tratar mediante la aplicación de un factor simple de ajuste. Con esto se habilitó el uso del modelo para realizar pruebas sobre el efecto del cambio en el uso del suelo en las variables climatológicas locales. Los resultados del modelamiento del clima regional efectuadas también señalan que, con los cuidados del caso, dicho modelo pueda ser utilizado en otros estudios similares.

Los experimentos efectuados con el modelo en los que se modificó el uso del suelo arrojaron como resultado cambios muy variados aparentemente sin patrón alguno. No obstante, a partir de clasificación de los resultados se pudo establecer que ocurre aumento de la precipitación cuando se modifican los “pastos y árboles” por “bosques tropicales de hoja ancha” y los “pastos y árboles” por “tierras con cultivos arables”. También se obtuvo que cuando las modificaciones se mantienen en la categoría natural (de poca vegetación a mayor vegetación, por ejemplo), los cambios son menores que cuando se da hacia una mayor transformación, en el sentido de reducir la vegetación. De otra parte, las transformaciones en categoría seminatural y transformada propiciaron un aumento de la precipitación, en tanto que los cambios en la categoría natural (en la que se mantiene vegetación), produjeron reducción de la precipitación.

En el caso de la temperatura del aire, si bien presenta cambios en respuesta a la intervención del uso del suelo, no mostró un patrón claramente definido y los cambios aún bajo un mismo tipo de modificación de uso del suelo para diferentes sitios fueron opuestos (aumento o disminución). Tal vez esta diversidad se explique en que la temperatura es más sensible que la precipitación a los cambios de uso del suelo no solo en el sitio sino a los cambios en diferentes sectores vecinos, suposición cual se debería corroborar con una exploración más detallada acerca de este particular.

## Reconocimientos

Este reporte resume los resultados del componente de modelamiento del proyecto “Relaciones entre la dinámica del uso del suelo y la climatología regional como una evidencia de cambio climático en la región de los Andes” que, gracias al apoyo de Colciencias (Proyecto con código 2245-452-21399 de la Convocatoria Nacional para la Financiación de Proyectos año 2008, No. 452-2008), desarrollaron el Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt y

el grupo de investigación “Tiempo, Clima y Sociedad” del Departamento de Geografía de la Universidad Nacional de Colombia.

Loa autores agradecen a Gustavo Galindo quien participo en el desarrollo del componente relacionado con la cobertura y uso del suelo en el área de estudio.

Un reconocimiento y agradecimiento especial al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM, por facilitar la información climatológica y el acceso a las hojas de inspección de la estaciones para reconstruir su historia.

## Bibliografía

- Alves L.M., Marengo J., 2009: Assessment of seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theor. Appl. Climatol.*, DOI 10.1007/s00704-009-0165-2 ([http://precis.metoffice.com/Useful\\_Links/Publications/Alves\\_2009.pdf](http://precis.metoffice.com/Useful_Links/Publications/Alves_2009.pdf))
- Ángel L., Ramírez A., Domínguez E., 2010: Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 34 (131): 173-183
- Arnell N. W., D. A. Hudson D.A., Jones R.G., 2003: Climate change scenarios from a regional climate model: estimating change in runoff in southern Africa. *J. Geophys. Res.*, 108(D16), pp. 4519-4536.
- Bhaskaran B., Jones R.G., Murphy J.M., Noguier M., 1996: Simulations of the Indian summer monsoon using a nested regional climate model: domain size experiments. *Clim. Dyn.*, 12, pp. 573-587.
- Bernal N.R., Martínez J., Rodríguez N., Pabón J.D., Galindo G., 2009: Detección de cambios en el promedio y la varianza de una serie de tiempo meteorológica. Congreso de Estadística, Venezuela.
- Buitaert W., Cuesta-Camacho F., Tobón C., 2011: Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, pp. 19-33.
- Cao L.J., Dong W.J., Xu Y.L., Zhang Y., Sparrow M., 2007: Validating the runoff from the PRECIS model using a large-scale routing model. *Advances in Atmospheric Sciences*, 24 (5), pp.855-862.
- Dale V. H., 1997: The relationship between land use change and climate change. *Ecological Applications*, v. 7, No. 3, pp. 753-769.
- DeFries R., Eshleman K.N., 2004: Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, v. 18, pp.2183-2186.
- Etter A., McAlpine C., Wilson K., Phinn S., Possingham S., 2006: Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, v. 114, pp.369-386.
- Galindo G., Rodríguez N., Bernal N.R., 2010: Dinámica de la cobertura y uso del suelo en el sector nororiental de los Andes colombianos: 1975-2005. Informe final de proyecto “Relaciones entre la dinámica del uso del suelo y la climatología regional como una evidencia de cambio climático en la región de los Andes”. Instituto Alexander von Humboldt – Universidad Nacional de Colombia – Colciencias.
- Guhl, A., 2008: Café y cambio de paisaje en Colombia. Fondo Editorial Universidad EAFIT. 335 p.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Sciences Basis. The Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (WGI AR5). Summary for Policemakers. World Meteorological Organization - United Nations Environmental Program. Geneva, Switzerland, 36 p.
- Jáuregui E., 2004: Impact of land-use changes on the climate of the México City Region. *Investigaciones Geográficas*, 55, pp. 46-60
- Jones, R.G., Noguier, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J. and Mitchell, J.F.B., 2004: *Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS*, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 40pp
- Kalnay E., Cai M., 2003: Impact of urbanization an land use change on climate. *Nature*, 423, pp. 528-531
- Lowry W., 1998: Urban effects on precipitation amounts. *Progress in Physical Geography*, 22, (4), pp477-520.
- Mahfouf J.F., Richard E., Mascart P., 1987: The Influence of Soil and vegetation on the Development of Mesoscale Circulations. *J. Climate Appl. Meteor.*, 26, pp. 1484-1495.
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W., Nobre, C.A., 2008: Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science* 319, 169-172.
- Pabón J.D., Pulido S.I., Jaramillo, O., Chaparro J., 1998: Análisis preliminar de la Isla de Calor en la Sabana de Bogotá. Cuadernos de Geografía. volumen VII, pp: 87-93.
- Poveda E., 2008: Impactos del proceso de urbanización en el clima de Bogotá durante el período 1970-2000. Trabajo de Grado. Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia, 56 p.
- Pielke R.A., Walko R.L., Steyaert L.T., Vidale P.L., Liston G.E., Lyons W.A., Chase T.N., 1998: The influence of anthropogenic landscape changes on weather in South Florida. *Mon. Wea. Rev.*, 127, pp. 1663-1673
- Rodríguez N., Armenteras D., Retana J., 2012: Land use and land cover change in the Colombian Andes: dynamics and future scenarios. *Journal of Land Use Science*, v.7, No 1, pp.1-21.
- Rodríguez N., Pabón J.D., Bernal N., Martínez J., 2010: Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt – Universidad Nacional de Colombia – Colciencias. Bogotá D.C., 80 páginas.
- Segal M., Avissar R., McCumber M.C., Pielke R.A., 1988: Evaluation of vegetation effects on the generation and modification of mesoscale circulation. *J. Atmos. Sci.*, 4, pp. 2268-2292.
- Uppala S.M., Kállberg P.W., Simmons A.J., Andrae U., da Costa Bechtold V., Fiorino M., Gibson J.K., Haseler J., Hernandez A., Kelly G.A., Li X., Onogi K., Saarinen S., Sokka N., Allan R.P., Andersson E., Arpe K., Balmaseda M.A., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Caires S., Chevallier F., Dethof A., Dragosavac M., Fisher M., Fuentes M., Hagemann S., Hólm E., Hoskins B.J., Isaksen L., Janssen P.A.E.M., Jenne R., McNally A.P., Mahfouf J.-F., Morcrette J.-J., Rayner N.A., Saunders R.W., Simon P., Sterl A., Trenberth K.E., Untch A., Vasiljevic D., Viterbo P., Woollen J. 2005: *The ERA-40 re-analysis. Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961-3012.
- Wilson S., Hassell D., Hein D., Jones R., Taylor R., 2008: Installing and using the Hadley Centre regional climate modeling system, PRECIS. Metoffice, 155 p.
- Wilson M.F., Henderson-Sellers A., 1985: A global archive of land cover and soils data for use in general circulation climate models. *Journal of Climatology*, 5, pp119-143



## ESTRATEGIA DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA: INTEGRACIÓN CONCEPTUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y GEOMORFOLOGÍA

### HYDROLOGICAL DISTRIBUTED SIMULATION STRATEGY: A CONCEPTUAL INTEGRATION OF HYDROLOGY, HYDRAULICS AND GEOMORPHOLOGY

Jaime Ignacio Vélez Upegui

#### RESUMEN

**Vélez Upegui, J.I.** Estrategia de simulación hidrológica distribuida: integración conceptual de hidrología, hidráulica y geomorfología. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 37 (144): 305-???, 2013. ISSN 0370-3908.

Se presenta una estrategia de simulación hidrológica distribuida, a la escala de la cuenca y donde se hace una integración conceptual de elementos de la topografía, la hidrología, la hidráulica y la geomorfología. Se describe el modelo conceptual de almacenamientos y flujos y la forma como se integran sus parámetros. El modelo, en su forma más utilizada, se conoce como TETIS. Se hace un recuento de varias aplicaciones de la estrategia de simulación en las distintas versiones del modelo hidrológico, que ha sido utilizado en distintas condiciones geográficas y climáticas con resultados satisfactorios y se ha adaptado para la simulación de otros procesos.

**Palabras clave:** simulación hidrológica, modelos conceptuales, modelos distribuidos, parámetros modelos hidrológicos.

#### ABSTRACT

A strategy for distributed hydrological simulation at watershed scale is presented. It is a conceptual integration of elements of topography, hydrology, hydraulics, and geomorphology. This work describes a conceptual model of storages and flows and the way in which different parameters are integrated. The model, in its most widely used version, is known as TETIS. A recount of several applications of the simulation strategy for different versions of the hydrological model is presented. It has been used in different geographical and climatic conditions with satisfactory results and has been adapted to other process simulation.

**Key words:** hydrological simulation, conceptual models, distributed models, hydrological model parameterization.

## Introducción

La hidrología está tratando de atender la necesidad de conocimiento e información, acerca del agua en la biosfera, sus propiedades y su variabilidad espacio-temporal, para apoyar la toma de decisiones conducentes al aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales y a una ocupación inteligente y sostenible del territorio. El objeto del conocimiento de la hidrología, es un sistema natural complejo donde se involucran procesos físicos, químicos, bióticos, sociales y culturales a distintas escalas espaciales y temporales.

En la hidrología se tienen grandes problemas de observabilidad, por la gran extensión, por la variabilidad espacial y temporal de las distintas variables de interés, por las dificultades de acceso a los sitios de interés para la observación y por la interferencia que puede hacer la instrumentación en lo que se quiere medir. Esto hace que el avance en el conocimiento en la hidrología sea lento e involucre gran incertidumbre.

La simulación se erige como un tercer pilar en la construcción del conocimiento, complementa y muchas veces articula a los otros dos, teoría y experimentación, y juega un papel relevante en el conocimiento de la complejidad (**Wagenberg**, 1985). Para la simulación se construye o configura un modelo conceptual que representa la realidad de lo que se quiere simular, y el modelo en sí mismo constituye una estructura donde se articulan conceptos, a manera de hipótesis.

Dependiendo del asunto que se pretenda abordar, en hidrología se escoge una escala espacial y temporal y se identifican los procesos claves del sistema a estas escalas, se construye un modelo conceptual en el que se relacionan estos procesos incluyendo relaciones cuantitativas entre variables externas, variables de estado, variables dependientes y los parámetros o propiedades de las componentes del sistema. Con la información disponible de observaciones y mediciones de la realidad, se va verificando la coherencia del modelo y de sus resultados, teniendo en cuenta para ello, las limitaciones de la información, la cantidad y calidad de observaciones, la precisión de las mediciones y la incertidumbre que involucra el todo este proceso de observación y medición en un sistema complejo.

Desde lo metodológico se ha fundamentado la evaluación de la modelación hidrológica (**Dooge**, 1986; **Beven**, 1987; **Kuczera et al.**, 1993) en la teoría de refutación de **Popper** (1959). En los modelos hidrológicos hay algunas hipótesis que no son factibles de verificar y sólo es posible, si éste es el caso, refutar. Cuando no se encuentra coherencia entre los resultados del modelo conceptual y lo resultante de la observación o medición se considera que el modelo conceptual no es adecuado y se encuentran elementos para refutar algunas

hipótesis. Se procede entonces a ajustar el modelo sustituyendo las hipótesis que han sido refutadas.

La simulación se presenta así como una estrategia importante para la hidrología, no solo para producir resultados de interés para la toma de decisiones acerca de la ocupación del territorio y del aprovechamiento de sus recursos naturales, sí no también para la generación de conocimiento mediante la construcción de modelos conceptuales coherentes a las escalas de interés.

A lo largo de la historia, y en la medida que la hidrología se ha ido consolidando como ciencia, se ha ido construyendo conocimiento con participación de modelos para la simulación. En hidrología es de gran importancia el manejo de las escalas y es claro que en las distintas escalas espacio-temporales no todos los procesos son igualmente determinantes, ni todas las variables son significativas. Los modelos conceptuales se enfocan a la representación en la escala adecuada de los procesos físicos determinantes de la variable que se quiere analizar. Ellos son estructuras donde se articulan almacenamientos y flujos. En los almacenamientos se hace el balance del agua de acuerdo al principio de conservación de masa y los flujos se representan mediante relaciones empíricas en función de los almacenamientos y/o de otras variables, teniendo parámetros que se pueden relacionar con las características del medio.

Un modelo conceptual adaptado para representar a la escala adecuada los procesos físicos determinantes de la variable de interés, constituye una alternativa robusta para atender problemas de distinta naturaleza y con buen desempeño a distintas escalas espaciales y temporales. Este tipo de modelos está soportando, en gran medida, las necesidades operativas de la hidrología y en muchos casos son una solución suficientemente precisa, económica y fácil de utilizar.

En sus orígenes, los modelos conceptuales consideraban la cuenca como una sola unidad espacial y para su representación, independientemente de su variabilidad espacial, cada una de sus características se agregaba en un único valor para toda la cuenca. Igualmente, se consideraba que en cada intervalo de tiempo la precipitación se distribuía de modo uniforme sobre toda la cuenca. Posteriormente, para considerar la variabilidad espacial de la precipitación, la heterogeneidad de la forma del terreno y la variabilidad espacial de las características del suelo y su cobertura, se han ido desarrollando modelos que articulan espacialmente varios elementos denominados unidades de respuesta hidrológica que representan porciones de la cuenca con características homogéneas.

Los avances en la tecnología de adquisición de información, mediante sensores remotos, han permitido obtener mejor in-

formación acerca de la heterogeneidad espacial en la cuenca y de la variabilidad espaciotemporal de algunas variables hidroclimáticas. Así, cada día se puede disponer de más información, de mejor calidad y de mejor resolución para parametrizar, alimentar y verificar los modelos conceptuales. Estos avances permiten recolectar, almacenar, procesar y asimilar cada día más información de campos espaciotemporales de variables hidroclimáticas, por lo que el incremento en la capacidad de obtener y manejar más información favorece de una manera notable la modelación distribuida.

En este artículo se presenta una estrategia de simulación distribuida apoyada en una estructura conceptual de almacenamientos y flujos, en múltiples niveles de celdas cuadradas articuladas en la forma de la red de drenaje (Vélez, 2001). También se hace un recuento de los campos de aplicación en los que se han realizado aplicaciones con distintos fines, a distintas escalas y a distintas resoluciones, en distintas regiones del mundo: Modelos lluvia caudal para las crecidas en cuencas de montaña, Modelos lluvia caudal para predicción de inundaciones, Modelos lluvia caudal de largo plazo para el recurso hídrico, Modelos lluvia caudal que involucran el estado de los almacenamientos subterráneos, Modelos lluvia nivel freático para análisis de estabilidad de laderas y deslizamientos detonados por lluvias, Modelos de producción transporte y almacenamiento temporal de sedimentos, Modelos para la transporte, dilución y asimilación de cargas contaminantes, Modelos de la dinámica espacio temporal de la vegetación y Modelos para la evaluación del impacto del cambio climático.

En el siguiente numeral se describe el modelo conceptual propuesto. Más adelante se presenta un análisis de los principales parámetros que involucra el modelo conceptual: de las celdas y las laderas, de las propiedades físicas del suelo y de la red de drenaje. Por último, se presentan algunos campos de aplicación de la estrategia de simulación y unas conclusiones.

### El modelo conceptual distribuido

La estrategia de Simulación Hidrológica Abierta con base en la Onda Cinemática Geomorfológica SHIA-OCG, se trata de la implementación de un modelo conceptual distribuido en el que se articulan elementos de la hidrología, la hidráulica y la geomorfología para representar los procesos de almacenamiento temporal del agua y del flujo del agua en la cuenca. El flujo puede darse como retorno a la atmósfera por evapotranspiración o de escorrentía en sus distintas formas (superficial, subsuperficial y subterránea).

Se trata de un modelo espacialmente distribuido, donde el continuo de la cuenca se ha subdividido en elementos rectangulares (celdas cuadradas), con base en un modelo digital

de elevación en formato raster. Para representar la red de drenaje, la estructura de conexión de las celdas se basa en el esquema de direcciones del flujo D8 (O'Callaghan y Mark, 1984). En este esquema, cada celda entrega el flujo solamente a una celda receptora vecina en la dirección de la mayor pendiente. Todas las celdas de la cuenca quedan conectadas para entregar a una de sus vecinas, aguas abajo en la dirección del flujo, y a través de ésta a otra celda y así continúa hasta la salida de la cuenca. Es decir, que a partir de las direcciones de flujo se configura una red de drenaje que conecta todas las celdas de la cuenca con el sitio de salida. Esta red, aunque más densa, debe representar adecuadamente la red de drenaje de la cuenca real.

Las celdas tienen varios niveles o capas y en cada uno de ellos se representa el almacenamiento temporal y la circulación del agua en una de sus trayectorias. En cada nivel hay un conducto para el flujo vertical hacia niveles vecinos de acuerdo a trayectorias preferenciales, predefinidas de acuerdo a la topografía y a los suelos. Las trayectorias preferenciales de flujo definen una red de drenaje virtual a la que están acoplados los almacenamientos.

Por lo general el flujo es preferentemente vertical hasta alcanzar un umbral o una tasa crítica, a partir de la cual, se generan excedentes que se almacenan temporalmente mientras circulan a través de la misma capa en la dirección de la pendiente hacia otra celda siguiendo una trayectoria preferencial que se constituye como un cauce interno. El flujo continúa pasando de celda en celda en la misma capa hasta encontrar una discontinuidad y entonces se incorpora al cauce. La discontinuidad corresponde a una incisión de la red de drenaje en el terreno.

En la primera versión (Vélez, 2001) el modelo consideraba cinco niveles de almacenamiento y el flujo. En la figura 1 se presenta una gráfica en la que los almacenamientos son esquematizados como tanques y los flujos como flechas que se describe a continuación.

En cada intervalo de tiempo, en cada celda llega una cantidad de agua lluvia a la superficie del suelo. En la celda el flujo es preferentemente vertical y en el primer nivel parte de la lluvia es retenida temporalmente por capilaridad como humedad en el suelo (T1) y sale de allí por evapotranspiración.

Los excedentes de la acción capilar del suelo quedan disponibles para seguir su camino al interior del mismo como agua gravitacional y cuando la cantidad de agua disponible es mayor que la capacidad de infiltración, los excedentes circulan sobre la ladera; el almacenamiento del agua mientras fluye por la ladera como escorrentía superficial se ha representado en un segundo nivel de almacenamiento (T2).

El agua que se infiltra va descendiendo por el interior del suelo hasta que encuentra una reducción de la permeabilidad, y cuando la cantidad de agua infiltrada es superior a la capacidad de infiltración hacia niveles inferiores o percolación, se acumula como agua freática mientras va circulando en dirección de la pendiente por el interior de la capa superior del suelo. Este flujo subsuperficial se ha representado en un tercer nivel de almacenamiento (T3).

El agua que ingresa al interior del suelo, por debajo de la capa superior, percola hasta el acuífero donde se almacena temporalmente mientras fluye muy lentamente como agua subterránea, lo que se ha representado en un cuarto nivel de almacenamiento (T4).

En cada uno de los distintos niveles descritos, el agua sigue su trayectoria en la dirección de la ladera hasta que encuentra un cauce que intercepta el respectivo nivel y allí se almacena temporalmente mientras fluye por el cauce. Esto se ha representado en el quinto nivel de almacenamiento (T5).

El modelo permite una configuración flexible con el número de capas o de niveles (zonas de almacenamiento y flujo) que el modelador considere suficientes para representar adecuadamente los procesos determinantes en la cuenca, de acuerdo al objetivo del estudio. El modelo se ha configurado en distintas regiones del mundo en una gran variedad de condiciones climáticas, con todo tipo de condiciones topográficas y con diferentes tipos de suelos y coberturas. En las distintas configuraciones se han incluido otras capas o niveles (almacenamiento temporal y fusión de nieve; almacenamiento y fusión glaciaria; interceptación, almacenamiento en la vegetación y su evaporación; percolación a otros acuíferos, almacenamiento temporal y circulación a través de ellos).

En cada capa, la cantidad de agua almacenada (conceptualizada como en un tanque) es una variable de estado que no puede exceder una capacidad máxima y no puede ser inferior a una capacidad de almacenamiento muerto o inactivo. Los parámetros que definen las capacidades de almacenamien-

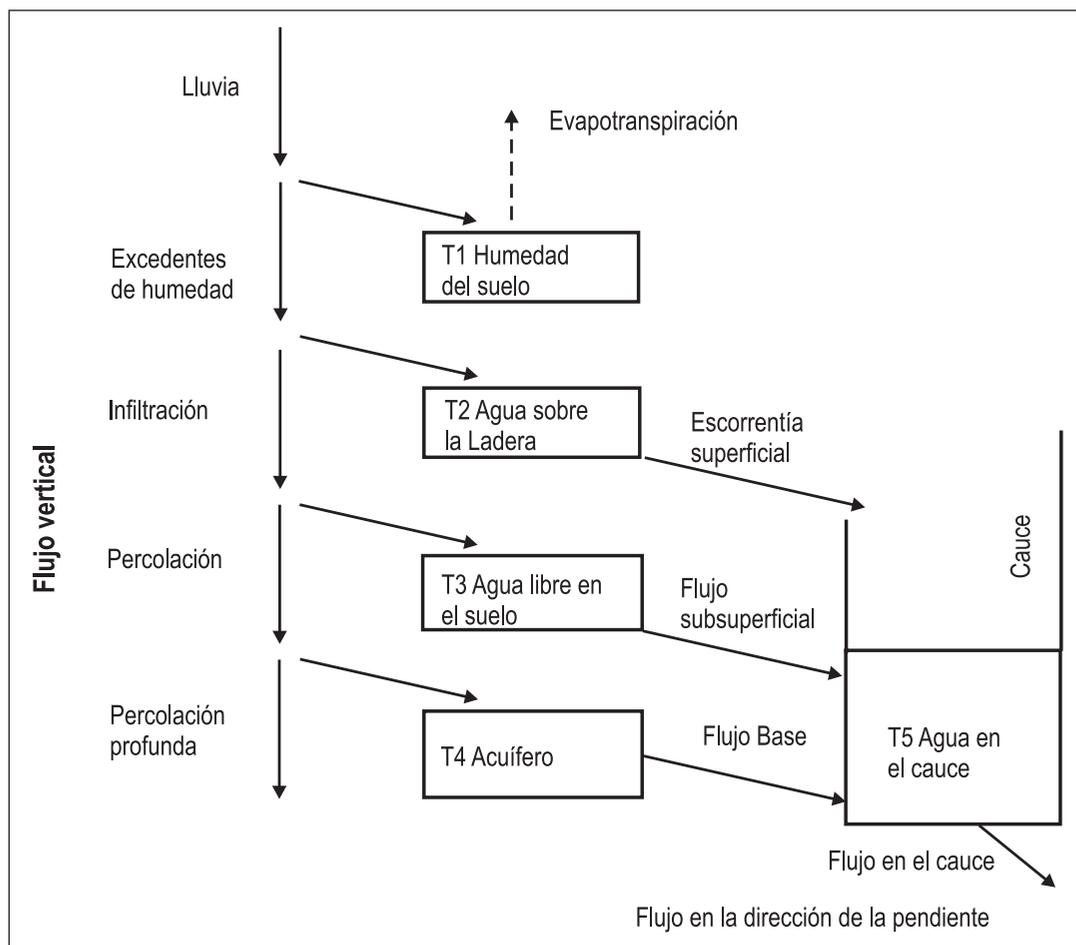


Figura 1. Representación gráfica del modelo conceptual de la primera versión del modelo (Vélez, 2001).

to se relacionan con características físicas del suelo en cada capa o de la cobertura vegetal.

El flujo y almacenamiento temporal en cada uno de los niveles es representado por la ecuación de la onda cinemática, que acopla la ecuación de conservación de masa con una relación empírica para la tasa de flujo a la salida y el almacenamiento temporal; esto garantiza la conservación de masa y la coherencia de los flujos y los almacenamientos en la simulación (Vélez, 2001; Francés et al., 2007). En algunos casos, la ecuación de onda cinemática resultante es no lineal y se requiere de un esquema de solución numérica que no distorsione excesivamente los efectos de la no-linealidad.

Los parámetros de las relaciones empíricas de los flujos de salida en todos los niveles, están relacionadas con las características físicas de la cuenca (cobertura, suelos, morfología). Esto genera un vínculo entre el modelo matemático teórico con la realidad de la cuenca.

### Los parámetros del modelo conceptual

Los parámetros de un modelo conceptual que pretende la representación de la física de los procesos determinantes en la cuenca, deben relacionarse con características físicas del sistema natural. En la configuración de un parámetro adecuado para el modelo distribuido se deben verificar dos condiciones: el parámetro debe ser representativo de la variabilidad espacial en la celda, tanto de las características físicas como de las variables involucradas en el proceso que se quiere representar; y el parámetro debe ser adecuado a la variabilidad temporal de las variables involucradas en el proceso y a la resolución temporal del modelo.

En la estrategia de simulación SHIA-OCG (Vélez, 2001) y en el Modelo TETIS (Francés et al., 2007), se ha configurado una estructura de parámetros en la que se hace distinción entre la variabilidad espacial de las características físicas a escala de cuenca, representadas en mapas de parámetros estimados a priori a partir de la información medioambiental disponible, y los parámetros efectivos que se deben emplear en el modelo a escala de celda para tener en cuenta las posibles fuentes de incertidumbre en su estimación y los efectos de escala espacial y temporal.

Para la obtención de los mapas de parámetros efectivos, a partir de los parámetros estimados a priori, se utiliza una función de transformación o de corrección. En la medida que la estimación a priori de los parámetros sea más acorde a la escala espacial y temporal del modelo, la forma de la función de transformación de los parámetros es más simple y puede

ser tan solo un factor multiplicador que ajuste globalmente a los parámetros estimados a priori. Esta estructura, diferenciada en su forma simplificada, permite enfocar el proceso de calibración al conjunto de factores de ajuste facilitando este proceso, ya sea de calibración manual supervisada o de calibración automática (Vélez, 2003; Vélez y Francés, 2004; Francés et al., 2007; Vélez et al., 2009).

Cada uno de los parámetros efectivos y las diferentes proporciones entre ellos puede tomar valores en un rango en que es consistente con la estructura conceptual del modelo. El rango aceptable para los factores de ajuste depende de los procesos que se están representando y de la resolución espacial y temporal en que se ha implementado la simulación. Para cada factor, este rango es definido por el criterio experto de los analistas sobre el conocimiento de la física de los procesos involucrados y del caso de aplicación y su escala.

En la simulación hidrológica se pueden obtener resultados similares con distintos modelos o incluso con el mismo modelo pero con distintas configuraciones, lo que se ha definido como equifinalidad (Beven y Freer, 2001). En el proceso de calibración de un modelo pueden existir distintas combinaciones de parámetros con los que los resultados simulados se ajusten bien a los valores medidos. Es posible obtener buenos ajustes con valores en los parámetros efectivos que no son consistentes con la estructura conceptual del modelo; en este caso la calidad de la calibración sacrifica la capacidad del modelo para representar la realidad y el modelo se convierte en un modelo de caja negra. Por lo que una vez calibrado el modelo, es prudente realizar un análisis cuidadoso del valor de los parámetros a la luz de la forma en que se están representando los procesos en la simulación. Si el conjunto de parámetros obtenidos del mejor ajuste en la calibración no es coherente con la estructura conceptual del modelo, se deben explorar otras combinaciones de parámetros que presenten un ajuste satisfactorio y sean coherentes con el modelo. Si la información disponible para la calibración es de buena calidad y no es posible obtener un ajuste satisfactorio con valores de los parámetros efectivos adecuados a la estructura conceptual del modelo, se tienen elementos para refutar la validez de alguna de las hipótesis que fundamentan la estructura del modelo conceptual y es conveniente la modificación de estas o la incorporación de nuevas hipótesis para modificar su estructura.

Para la preparación de los mapas a priori se ha trabajado en dos direcciones: una en el análisis de la representatividad de los parámetros en la celda y en la ladera y la segunda orientada a la definición de los parámetros del modelo relacionados con la red de drenaje. Estos se detallan a continuación.

## Los parámetros en la celda y en la ladera

Los parámetros en la celda y en la ladera están relacionados con las características de la cuenca: relieve, geomorfología, suelos, coberturas y usos del suelo que son características físicas medibles en el campo o en el laboratorio (a partir de muestras tomadas en campo).

Algunas características físicas dependen de la escala de medición; es el caso de características topográficas o geométricas como la longitud de un cauce en un tramo, la pendiente de la superficie del terreno en una ladera, etc.

Hay información de características físicas disponible a una resolución espacial que coincide con la escala de medición; es el caso de las imágenes digitales discretas que es información limitada por la discretización espacial.

Otras veces la información, medida con una resolución, ha sido consolidada a otra resolución (menor) utilizando para tal efecto alguna métrica espacial. Hay que tener en cuenta que la variabilidad espacial de una característica física puede tener un efecto sobre el proceso que se quiere simular. Así, una métrica predefinida de los valores medidos, a mayor resolución, no necesariamente corresponde al valor representativo para la celda, en el contexto del modelo hidrológico.

Cuando se cuenta con información con muy alta resolución, se puede hacer un análisis de la variable para distintas resoluciones de discretización, considerando la métrica pertinente, y obtener así la dimensión fractal de la variable. Esto provee una expresión que permite hacer una corrección del efecto de la discretización de la medición de la variable y transformar los mapas de información disponible en los mapas con la información que requiere el modelo.

La información disponible puede también ser el resultado de la interpolación de valores puntuales o del remuestreo de variables discretas a otra resolución, mediante técnicas de interpolación geométricas o geoestadísticas. El resultado obtenido para la descripción de la variable a mayor resolución depende de la técnica utilizada y no necesariamente es representativo de lo que realmente se tiene en la naturaleza. En este caso, no hay que olvidar que los valores puntuales medidos tienen una incertidumbre asociada al proceso de medición y a la variabilidad local y los valores interpolados, además de albergar la incertidumbre de medición y de variabilidad local de los valores que los generan, incluyen la incertidumbre relacionada con la capacidad del modelo o la técnica de interpolación para representar la distribución espacial de la variable. Puede ser prudente representar la característica con al menos dos elementos: una variable que describa un valor modal y una variable que describa la varia-

bilidad local y la incertidumbre (Puricelli, 2003). Para tener una mejor representación se requiere de un modelo conceptual de la variabilidad espacial que ayude a estos procesos de interpolación o de remuestreo, e incluso que ayude a orientar la toma de muestras o las mediciones puntuales en campo.

Una vez se tienen valores representativos de cada una de las características físicas de interés relacionadas con el objeto de la modelación para cada una de las celdas en todo el dominio espacial, se procede a construir mapas con esta información.

## Las propiedades físicas del suelo y su variabilidad espacial

Las propiedades físicas del suelo presentan una gran variabilidad espacial que no solo es un asunto de aleatoriedad; es estructurada y esta estructura tiene importancia en los procesos en la cuenca (Merz y Plate, 1997). Desde el punto de vista de los procesos hidrológicos, esta estructura de la variabilidad espacial tiene, al parecer, una relación con la estructura topográfica – morfológica (Merz y Bârdossy, 1998; Schmidt et al., 1998); en muchos casos se identifica una toposecuenciación en las propiedades hidráulicas del suelo (contenido de agua y conductividad en condiciones de saturación) que se relaciona con su posición en la ladera y la forma de la misma.

Las características topográfico-morfológicas en el sitio y su variabilidad espacial, pueden constituir el soporte para una representación de la variabilidad espacial (Merz y Bârdossy, 1998). Estas características topográfico-morfológicas sobre todo el dominio espacial se pueden obtener como resultado del procesamiento del modelo de elevación digital y de la red de drenaje.

En cada sitio, las características topográfico-morfológicas locales (pendiente, curvatura, área drenada a través del sitio, distancia horizontal y vertical a los cauces de la red de drenaje más cercanos, etc.) son factores determinantes de las condiciones para la presencia del agua en el suelo, su circulación y su variabilidad temporal; así, generan condiciones diferenciadoras para la evolución del suelo (formación o deterioro) y en buena medida determinan las propiedades físicas y químicas del suelo. Algunas de éstas propiedades (espesor de la capa superior, granulometría, textura, estructura, porosidad -micro y macro-, conductividad saturada en la superficie, variación de la conductividad con la profundidad, etc.) son determinantes de los patrones de circulación de agua en el suelo, que es el principal modelador del relieve, y a mediano y largo plazo, de las características topográfico-morfológicas. Esta retroalimentación reafirma la relación entre las características topográfico-morfológicas y algunas propiedades físicas de los suelos relacionadas con parámetros del modelo hidrológico.

En condiciones geográficas y climáticas similares, los parámetros del modelo son trasladables a zonas de condiciones similares geológicas, geomorfológicas, de suelos, coberturas y usos del suelo. En cierto modo, la similitud geológica, geomorfológica, de coberturas y de usos del suelo debe corresponder a una similitud de los suelos y de sus parámetros hidrológicos. Esto ha permitido, en un mismo contexto regional, la extrapolación de parámetros a cuencas sin medición (Vélez et al., 2009).

En zonas con muy buena información de las propiedades de los suelos, se pueden explorar relaciones funcionales cuantitativas empíricas entre éstas propiedades y los valores de distintas variables geomorfológicas y ambientales. Las relaciones obtenidas también pueden considerarse de validez regional para su aplicación en condiciones similares.

También se puede clasificar el terreno en términos de sus características morfológicas y ambientales; estas clases pueden servir para orientar el diseño de una estrategia para la medición de propiedades del suelo en todas las clases de terreno en la cuenca o para definir las áreas donde es posible la interpolación de mediciones puntuales. A partir de la información disponible de las propiedades del suelo en cada clase, se puede generar su respectiva tabla de atributos con las propiedades del suelo, donde puede ser un valor único para cada propiedad o un valor modal y un descriptor de su variabilidad local.

Para la clasificación morfológica del terreno hay métodos con distinto nivel de complejidad: desde el trabajo tradicional de cartografía geomorfológica con exploración de campo, el procesamiento automático de mapas digitales usando índices como la distancia vertical al cauce siguiendo la dirección del flujo denominado HAND (Renno et al., 2008) y el Índice Topográfico (Beven y Kirkby, 1979; Merz y Bârdossy, 1998) o de formas más complejas y estructuradas como la utilización de técnicas de procesamiento de imágenes y técnicas de reconocimiento de patrones.

Los mapas raster georreferenciados, al igual que las imágenes digitales discretas, tienen la forma de una matriz bidimensional. Así, considerando a los mapas derivados del DEM y a otros de información ambiental que pueda ser relevante como bandas de una imagen multiespectral, se pueden utilizar técnicas y herramientas de clasificación supervisada y no supervisada para clasificar el terreno (Prima et al., 2006; Arrell et al., 2007). Previamente, es necesario uniformizar todos los mapas a una misma discretización espacial y reescalar los datos de cada mapa en valores enteros para que puedan ser procesados directamente por el software disponible para procesamiento de imágenes. Para la clasificación morfológica del terreno a partir de mapas raster también

se pueden utilizar las técnicas de análisis de texturas que, aunque se desarrollaron para imágenes digitales discretas, también son aplicables a mapas. Patiño (2011), utilizando el método de extracción de texturas, desarrolló un método para clasificación geomorfológica que ha sido aplicada en algunas regiones de Colombia con limitaciones de cartografía geomorfológica, y el resultado obtenido, bastante satisfactorio, ha sido utilizado en la zonificación de la amenaza de inundación (IDEAM, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, 2011).

Los intervalos de tiempo considerados en la simulación, muchas veces determinados por la información disponible y ante la variabilidad temporal de las variables involucradas, pueden ser relativamente largos. Así, en el modelo se distorsionan las variables que tienen una variabilidad de más alta frecuencia, lo que puede tener efecto en los resultados del modelo y obliga a ajustar algunos parámetros.

Cada parámetro efectivo requerido por el modelo tiene un significado físico; teniendo en cuenta las características físicas con las que se relaciona y la escala espacio temporal de los diferentes procesos en la simulación, se puede formular una relación funcional para obtener los mapas con los parámetros efectivos a partir de mapas con valores de las características físicas.

Cuando se cambia la resolución espacial o temporal en la aplicación del modelo, necesariamente cambian los parámetros efectivos. Se pueden configurar nuevamente los mapas de parámetros estimados a priori y acordes con la nueva resolución, o en su defecto, en el proceso de calibración los factores de ajuste que se obtienen serán diferentes a los obtenidos en otras resoluciones.

### Los parámetros relacionados con la red de drenaje

La red de drenaje, constituida por cauces donde se concentra y fluye la escorrentía procedente de las laderas, es el resultado de la acción del agua donde las fuerzas erosivas de la corriente han sido mayores que la resistencia del suelo y su cobertura y se manifiesta en el paisaje como una incisión permanente y claramente diferenciable.

Para que un modelo hidrológico conectado sea funcional, debe representar adecuadamente la red de drenaje. La información de la topografía en el modelo de elevación digital debe ser coherente con el mapa de la red de drenaje (conocido como de líneas azules) para que las pendientes en las laderas concentren el flujo en la red de drenaje. Para garantizar esta coherencia es necesario revisar, corregir y ajustar el modelo de elevación digital.

Algunas veces sólo se cuenta con información procedente de campos de radar con el modelo de elevación digital y no se tiene información cartográfica para diferenciar los cauces de la red de drenaje, aunque todas las celdas tengan direcciones de flujo y estén conectadas entre sí formando una red de drenaje en todo el dominio. Puede haber sumideros inexistentes en la realidad, que hay que corregir, y hay celdas donde en la realidad no hay elementos de la red de drenaje. La identificación de las celdas que tienen elementos de la red de drenaje depende de que se haya alcanzado un umbral en las condiciones para la incisión del cauce (**Montgomery y Dietrich**, 1988). Este umbral se puede definir en función de las características del suelo, de la pendiente local y del área acumulada que se drena a través del elemento. Se han desarrollado diferentes algoritmos de extracción automática de la red de drenaje (**Tarboton et al.**, 1991; **Tarboton**, 1997; **Ramírez y Vélez**, 2002; **Castro**, 2010).

La mayoría de modelos conceptuales con base física, estiman la escorrentía de la laderas o subcuencas y luego ésta escorrentía es integrada en los principales cauces de la red de drenaje, donde se hace un tránsito hidráulico. El tránsito hidráulico requiere información acerca de: la pendiente del cauce, la longitud real del tramo de simulación, la forma de la sección transversal del cauce, la rugosidad del lecho y los elementos claves en la disipación de energía. Todo esto implica un levantamiento de campo detallado (levantamiento topográfico y batimétrico, con secciones transversales en el cauce, medición y conteo de piedras en el lecho para estimar la rugosidad). Realizar esta tarea en todos los cauces de la red de drenaje sería bastante costoso y no necesariamente muy eficiente. En la mayoría de las aplicaciones la información completa y detallada sólo se obtiene para un tramo del cauce principal y para el resto de los cauces de la cuenca se hacen simplificaciones que en muchos casos pueden incidir en el resultado del modelo.

En la mayoría de los casos, la información detallada de campo se limita al levantamiento de unas secciones transversales a intervalos irregulares y donde sea relativamente fácil el levantamiento de la sección, y a una inspección del lecho en el cauce para tener una idea de los sedimentos y tener elementos de juicio para escoger un valor para la rugosidad. Luego, el modelo se configura por tramos con un cauce prismático con la sección transversal obtenida del levantamiento de campo, con una rugosidad determinada por el tamaño de los sedimentos y la pendiente entre secciones obtenida del levantamiento topográfico.

Históricamente, la coherencia entre la forma del cauce y el caudal formador se ha planteado desde la estabilidad de canales de riego con la Teoría del Régimen (**Kennedy**, 1890;

**Lacey**, 1930) y posteriormente desde el equilibrio en canales naturales con la Geometría Hidráulica (**Leopold y Maddock**, 1953). La Geometría Hidráulica propone relaciones empíricas dimensionalmente homogéneas entre el caudal y la forma de la sección del cauce que ocupa el flujo; se han explorado dos versiones: una denominada “de aguas abajo”, que para cualquier cauce relaciona el ancho del cauce a sección llena, la profundidad media del flujo a sección llena y la velocidad media a sección llena con el caudal máximo anual medio; y la denominada “en la estación” que en un mismo sitio relaciona las dimensiones del cauce con el caudal del flujo que lo ocupa.

Muchos autores han estimado valores para los exponentes y coeficientes de estas relaciones para ríos de distinto tamaño, en distintas regiones del mundo y distintas condiciones morfológicas (**Leopold y Wolman**, 1953; **Leopold et al.**, 1964; **Dury**, 1976; **Knighthon**, 1975; **Rosgen**, 1996). Para la Geometría Hidráulica “Aguas Abajo”, se ha encontrado que los exponentes obtenidos en diferentes regiones y para corrientes de distinto orden de magnitud son numéricamente muy cercanos entre sí y se puede considerar que son muy estables, mientras que los coeficientes presentan mayores diferencias y se considera que sólo tienen validez regional en condiciones similares a los de los ríos considerados en la muestra.

Acoplando las relaciones de la “Geometría Hidráulica Aguas Abajo” con las de la “Geometría Hidráulica en la Estación”, en un tramo de un cauce y para cualquier condición de flujo se puede obtener el ancho, la profundidad y la velocidad media en la sección, a partir del caudal y del caudal a banca llena en el sitio, y unos coeficientes y exponentes de Geometría Hidráulica adecuadas a las condiciones morfológicas del tramo en cada intervalo de tiempo.

El caudal a banca llena se ha relacionado con el caudal máximo anual medio y se ha considerado que tiene un período de retorno cercano a 1.5 años (**Leopold et al.**, 1964; **Dury**, 1976; **Richards**, 1982). En distintas regiones del mundo se han obtenido relaciones de escala para la estimación de los caudales en función del área de la cuenca y específicamente en Colombia, **Mesa et al.**, 2002a; **Mesa et al.**, 2002b y **Poveda et al.**, 2007. También se han encontrado relaciones con muy buen ajuste para el caudal máximo anual medio y para su varianza en función del caudal medio multianual que puede estimarse fácilmente mediante el balance hídrico de largo plazo (**Vélez et al.**, 2001).

La posibilidad de contar con un estimado razonable de las características del cauce en toda la red de drenaje, permite un mejor acople del modelo hidráulico que representa el flujo en los cauces dentro del modelo hidrológico. Esto ha permitido que los modelos de este tipo puedan llevar una estrategia en

la modelación hidráulica en todos los elementos de la red de drenaje. La geometría hidráulica representa muy bien los cauces cuando el nivel del flujo está por debajo del de sección llena pero cuando el flujo se desborda se requiere de información adicional de la sección de flujo, dependiendo del entorno geomorfológico.

Como insumos iniciales se tiene un modelo de elevación digital en formato raster cuyo tamaño de celda define la discretización espacial del modelo. Una vez debidamente procesado el modelo de elevación digital se tienen los siguientes productos: un mapa de direcciones de flujo según el esquema D8, un mapa de pendientes, un mapa de número de celdas acumuladas aguas arriba y un mapa con la red de drenaje jerarquizada.

Se asume una red de drenaje virtual y que es representativa de la real. En la red de drenaje virtual hay un solo cauce en cada celda que recibe de todas las celdas aportantes aguas arriba y que se conecta aguas abajo con una sola salida hacia la celda que lo indique el mapa de direcciones de flujo. La pendiente de este cauce, es la que corresponde a la celda en el mapa de pendientes y la forma del cauce es la que debería tener de acuerdo al área drenada, la pendiente y las características morfológicas de la zona en la que se encuentra el tramo de interés de acuerdo con relaciones de la Geometría Hidráulica.

Se supone que la sección del cauce está en una condición cercana al equilibrio, la velocidad del flujo se puede estimar por medio de expresiones para flujo uniforme y el coeficiente de rugosidad se puede obtener de acuerdo al radio hidráulico de la sección del flujo y el tamaño de los sedimentos (**Limerinos, 1979**).

En varios experimentos realizados en corrientes de montaña, en los que se utilizaron trazadores, se encontró que en todos los casos el valor obtenido para el tiempo de viaje a partir de las estimaciones hidráulicas en la secciones de aforo era muy inferior al obtenido del experimento con trazadores (**Vélez et al., 2004**). En este proceso, aunque se tiene un buen detalle de la sección transversal del cauce, se ha hecho una gran simplificación, no se han tenido en cuenta los patrones de alineamiento horizontal y vertical, muchas veces elementos claves en el almacenamiento temporal y en la disipación de la energía. Para mejorar la estimación de la disipación de energía en cauces con morfología de escalones y pozos, se propuso una componente de la rugosidad relacionada con la geometría del patrón de alineamiento vertical y del caudal (**Vélez et al., 2004**).

Es claro que el modelo no es la realidad, es una simplificación de ella pero es importante tener cuidado de que ésta

simplificación sea adecuada para los fines que se quieren con la utilización del modelo conceptual.

Para la representación de procesos de transporte y transformación de solutos que se vuelven críticos con caudales bajos, se requiere una mejor representación del cauce, considerando los patrones de alineamiento horizontal y vertical y la información que provee la geometría hidráulica de las secciones transversales es insuficiente. En la literatura se encuentran distintos esquemas de clasificación de cauces, de acuerdo a su morfología: entre otros, **Rosgen (1994)**, **Montgomery y Buffington (1997)** y **Flores et al., (2006)**. Estos últimos presentan una metodología que con base en la pendiente del cauce y la potencia específica de la corriente, permite diferenciar la morfología en cuatro tipos: “cascada”, “escalón-pozo”, “lecho plano”, y “pozo-rápido”. Cada una de estas morfologías tiene características específicas respecto a la disipación de energía, la dinámica sedimentológica, la incorporación de oxígeno, la dilución y asimilación de sustancias, la autodepuración del agua y la provisión de hábitat para múltiples especies (**Stewardson, 2005**). Las distintas morfologías tienen diferencias claras en la relaciones de geometría hidráulica; **Jiménez (2011)** obtiene algunas relaciones para corrientes de montaña en Colombia.

Cuando los procesos hidrológicos involucrados en un modelo conceptual se pueden representar mediante la utilización de parámetros relacionados con elementos geomorfológicos, la variabilidad espacial de estos elementos se proyecta al modelo a través de los parámetros.

Se hace necesario trabajar en la construcción de una nueva geometría hidráulica del tramo donde se relacione el caudal con el volumen de agua almacenado en el tramo, la velocidad media en el tramo y la rugosidad en el tramo con elementos de los patrones de alineamiento y para cada tipo de morfología.

### Campos de aplicación de la estrategia de simulación

La estrategia de simulación hidrológica distribuida mediante celdas rectangulares, conectadas de acuerdo a trayectorias de flujo y con base en la onda cinemática con parámetros relacionados con características geomorfológicas, inicialmente se le denominó SHIA y el software desarrollado durante varios proyectos de investigación en la UPV (Universidad Politécnica de Valencia, España) se le dio el nombre de TETIS. En Colombia, en UNALMED se han hecho desarrollos paralelos de software en proyectos de investigación y, generalmente, con variantes no lineales en algunas capas o niveles. Estos desarrollos se han reportado como versiones y adaptaciones de SHIA: Modelos lluvia caudal de largo plazo

para el recurso hídrico, Modelos lluvia caudal que involucran el estado de los almacenamientos subterráneos, Modelos lluvia nivel freático para análisis de estabilidad de laderas y deslizamientos detonados por lluvias, Modelos de producción transporte y almacenamiento temporal de sedimentos, Modelos para el transporte, dilución y asimilación de cargas contaminantes, Modelos de la dinámica espacio temporal de la vegetación, Modelos para la evaluación del impacto del cambio climático.

### Simulación de crecidas

Las primeras aplicaciones de la estrategia de simulación tenían por objeto configurar un modelo robusto y eficiente para la simulación de crecidas en los cauces a causa de eventos importantes de lluvia sobre la cuenca, para así, mejorar la capacidad de evaluación de amenazas de inundación (Vélez, 2001).

Una de las ventajas de esta estrategia de simulación es que es “abierta” y para las relaciones entre la tasa de flujo y la cantidad de agua almacenada se pueden incorporar las ecuaciones que se requieran, de acuerdo al flujo que se va a representar y a la escala de la cuenca y a la resolución espacial y temporal de la simulación.

Una de las primeras preguntas que se abordó con el modelo se con las ventajas de la representación del flujo de los cauces mediante la ecuación de la onda cinemática no lineal y la solución numérica en un esquema implícito de diferencias finitas, frente a aproximaciones y simplificaciones lineales, y de su impacto en los resultados obtenidos a la escala de la cuenca. Para atender esta inquietud, inicialmente se hicieron experimentos numéricos en una cuenca teórica donde la red de drenaje era un árbol fractal (árbol de Peano) y se encontraron diferencias importantes entre los resultados obtenidos de la solución numérica de la Onda Cinemática no lineal y la solución de un Esquema Simplificado Lineal. Las diferencias en los hidrogramas obtenidos a la salida de la cuenca eran más grandes a medida que aumentaba la magnitud del evento. Los resultados obtenidos son interesantes ya que al sintetizarlos se obtienen expresiones para el caudal pico, el tiempo de respuesta en función de la magnitud del evento con estructuras similares a los reportados en la literatura y obtenidos de datos en cuencas experimentales, cuando se han reportado evidencias de no linealidad en la respuesta hidrológica (Vélez, 2001; Vélez et al., 2002).

El modelo se implementó en la cuenca experimental del CEMAGREF (Francia) “Real Collobrieres” y para evaluar el desempeño, se calibró con un ajuste más que satisfactorio, su validación con otros eventos fue de muy buena calidad y siempre, en todos los casos, su desempeño fue superior al de

otros modelos con los que se comparó (Vélez, 2001; Vélez, 2003). Se calibró el modelo en la cuenca principal y se validó espacialmente en dos subcuencas y en todos los eventos analizados la validación espacial fue satisfactoria.

También se utilizó el modelo para reconstruir un evento de crecida en el Barranco de Arás en la localidad de Biescas (Pirineo Aragonés en España) (Vélez, 2001) donde una tormenta generó una crecida con consecuencias fatales. La información de la tormenta para alimentar el modelo fue obtenida a partir campos de reflectividad de radar. En este caso, interesaba saber si era previsible un evento de esa magnitud en esa cuenca, se aplicó el modelo y se compararon los resultados del modelo linealizado y el modelo no lineal. En un modelo de embalses lineales se considera que la velocidad del flujo es estacionaria y, en muchos casos, que no varía significativamente aguas abajo en la red de drenaje. A partir de características morfométricas de la cuenca se puede obtener el tiempo de concentración en la cuenca, y con este tiempo y la longitud del cauce se puede tener un valor representativo de la velocidad en los cauces. Con este valor de la velocidad, se implementó un modelo de tanques lineales y el caudal máximo obtenido para la simulación del evento era casi la mitad del reportado; para poder llegar al valor del caudal reportado habría sido necesario considerar una velocidad cuatro veces mayor a la considerada, lo que difícilmente se habría considerado como razonable. Con el modelo no lineal, la velocidad depende de la magnitud del flujo y el caudal máximo obtenido se ajustó bastante bien al reportado.

También se hizo un análisis de sensibilidad con la información espacio temporal de la lluvia obtenida del procesamiento de campos de reflectividad de radar y pudo concluir que si no se tiene la información con muy buena resolución temporal no se hacen evidentes las ventajas del modelo no lineal y sus resultados son alejados de la realidad, casi tanto como los de los obtenidos de un esquema lineal (Vélez, 2001).

En el mundo de las aplicaciones prácticas la simulación hidrológica los modelos lineales y muy especialmente modelos basados en el Hidrograma Unitario agregado o distribuido, se utilizan con tranquilidad. Esto es preocupante ya que en casos de eventos de gran magnitud, cuando no se considera la no linealidad, los caudales son subestimados, lo que no está del lado de la seguridad.

Así, la estrategia de simulación fundamentada en un comportamiento no lineal del flujo en la red de drenaje tiene un gran potencial para simular las crecidas y especialmente en pequeñas cuencas de montaña. En cuencas pequeñas y con cauces pendientes es más probable que un aguacero significativamente intenso y con una duración comparable al tiempo de concentración del agua en la cuenca, cubra toda el área

de la cuenca y por tanto los efectos de la no linealidad sean más severos. No hay que olvidar que para que el modelo no lineal sea efectivo se requiere alimentar el modelo con campos de precipitación de buena calidad y buena resolución espacio temporal, la cual se puede obtener satisfactoriamente de los radares meteorológicos.

En el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (IIAMA-UPV) se siguió trabajando en el desarrollo del modelo denominado TETIS para distintas aplicaciones en hidrología.

El modelo distribuido ha servido para evaluar los caudales producidos por tormentas de distintas características en una cuenca natural. En la Rambla del Poyo (Valencia -España) se implementó el modelo distribuido TETIS con una resolución de 100 m y para intervalos de simulación de 10 minutos; se generaron lluvias de diseño con modelos estocásticos de generación sintética de campos de lluvia RainGen (**Salsón y García-Bartual**, 2003) con variabilidad espacio temporal (área, intensidad y duración). En los resultados se pudo observar como lluvias con periodo de retorno similar producían caudales con periodo de retorno sensiblemente diferente (**Francés et al.**, 2011; **Bussi et al.**, 2012).

Con el propósito de simular eventos de crecidas en cuencas altamente urbanizadas se utilizó el modelo TETIS en la cuenca experimental de la quebrada San Luis (Manizales – Colombia) que tiene un 40% de su superficie en el área urbana. El modelo ha sido implementado con un tamaño celda de 30 m y para intervalos de simulación de 5 minutos. El desempeño del modelo ha sido excelente tanto en los casos de calibración como de validación.

### Predicción de crecidas y sistemas de alerta temprana

El modelo conceptual distribuido se presenta con un buen potencial para la predicción de crecidas y como modelo de apoyo a los sistemas de alerta temprana y para la operación de embalses con posibilidades de laminación de crecidas.

El modelo TETIS fue extendido y adaptado como modelo de apoyo a un sistema de alerta temprana, para su implementación en la cuenca del Río Tajo en España (**Francés et al.**, 2002). La adaptación del modelo incluyó varios elementos nuevos: una capa adicional para el almacenamiento temporal de nieve, con el fin de poder simular crecidas por fusión de nieve ante un aumento de la temperatura; inclusión de embalses artificiales para almacenamiento y laminación de crecidas; un módulo de escenarios de lluvia en el futuro inmediato; una estrategia de actualización de las variables de estado para ajustar el modelo a las nuevas mediciones en tiempo real y una estrategia para el manejo de la incertidum-

bre en el pronóstico (**Vélez**, 2003). El modelo tuvo una buena calibración, una validación satisfactoria y ha mostrado un buen desempeño.

El modelo TETIS se integró, además, en el sistema de alarma temprana DELFT FEWS para predicción de avenidas en tiempo real en algunas cuencas de la C.H. del Júcar (Comunidad Valenciana –España) en el Proyecto IT-SAIH para el Ministerio de Medio Ambiente de España (**Múnera y Francés**, 2009).

### Simulación del régimen de caudales

La gestión del recurso hídrico requiere tener conocimiento del régimen de caudales en los sitios de interés, y muy especialmente la recesión y los caudales bajos. Para esto se requiere un modelo conceptual y distribuido que sea coherente en las recesiones y en los balances de largo plazo. El modelo TETIS respondía bien a estas necesidades, así, aunque inicialmente fue concebido para la simulación de crecidas, fue extendido y adaptado para trabajar modelación continua.

Este modelo se implementó en distintas zonas de la Comunidad Autónoma del País Vasco en España. Allí se utilizó con una resolución espacial de 50 m con una resolución temporal mayor a la usada hasta el momento (1 día). El ajuste en calibración fue excelente y permitió tener series de caudales para la evaluación del potencial del recurso hídrico en cuencas o subcuencas sin medición. En esta oportunidad se ha incluido al modelo TETIS el método de calibración automática SCE-UA para obtener el conjunto de factores correctores óptimos que emplea el modelo, lo que permite obtener, de una manera rápida y confiable, un conjunto de factores correctores para todas las cuencas estudiadas. Los resultados de la simulación continua han sido muy satisfactorios y han permitido obtener series de caudales en subcuencas sin medición para las series de mediano y largo plazo que han sido de gran utilidad en la gestión del recurso hídrico. Además, muestran que la estrategia de simulación hidrológica en cuencas naturales, mediante modelos conceptuales distribuidos y calibración automática, es factible y eficiente (**Vélez y Francés**, 2006).

En Colombia se han realizado varias aplicaciones del modelo distribuido, para la oferta de caudales y el análisis de caudales mínimos en cuencas abastecedoras de acueductos al Oriente de Medellín, (**Jaramillo et al.** 2004). Para la ordenación y manejo ambiental de cuencas hidrográficas se requiere estimar caudales en múltiples puntos sobre la red de drenaje y en múltiples condiciones del régimen climático en la cuenca hidrográfica. Con este fin, **Valencia** (2008) implementó el modelo distribuido TETIS en el Río la Miel (Caldas Colombia); en ésta aplicación se utilizó una ma-

lla de celdas cuadradas de 250 m de lado y se utilizó un intervalo temporal de un día. Los resultados obtenidos en calibración y validación se consideran satisfactorios, pero en la validación espacial se evidenciaron las limitaciones de la distribución espacial de las estaciones de medición de lluvia. En la cuenca del Río de Oro (Santander Colombia) se implementó el modelo distribuido TETIS para la modelación de la interacción acuífero-río y el análisis de caudales bajos y su recesión en los períodos secos (**Forero**, 2011). En la región de Urabá (Colombia) se implementó el modelo distribuido en varias cuencas para la evaluación de la cuenta ambiental del agua (**Quintero et al.**, 2005).

### Simulación de sistemas integrados de aguas superficiales y subterráneas

La simulación de sistemas integrados de aguas superficiales y subterráneas es de gran ayuda para la gestión sostenible del recurso hídrico, mediante la utilización conjunta de agua superficial y agua subterránea. Inicialmente, se hizo una adaptación del modelo distribuido para simular el sistema integrado (**Restrepo-Tamayo**, 2007). Después de evaluar la flexibilidad del modelo, se consideró que era más práctico acoplar dos modelos: un modelo hidrológico lluvia-escorrentía- recarga para toda la cuenca, y un modelo de agua subterránea para el acuífero, con un módulo interacción acuífero-río.

En una primera iniciativa se acoplaron un modelo hidrológico distribuido para toda la cuenca y un modelo de flujo subterráneo agregado conocido como el modelo pluricelular englobado, el cual tiene soluciones analíticas para casos de acuíferos ideales de formas geométricas elementales (**Restrepo-Tamayo et al.**, 2010). Este modelo ha sido aplicado en la quebrada la Mosca (Antioquia Colombia) bajo la idealización del acuífero real a una forma elemental y considerando una conexión río-acuífero total, para lo cual el modelo se calibró con la información disponible y los ajustes obtenidos y los tiempos de cómputo empleados muestran la capacidad del modelo propuesto para la solución del problema de gestión: el modelo acoplado está en capacidad de representar de forma continua los caudales en la red de drenaje, los almacenamientos en el acuífero y las interacciones río – acuífero. Además puede incorporar captaciones de aguas superficiales y subterráneas como ya ha sido presentado en el caso de las captaciones superficiales por **Restrepo** (2007) y en el caso de pozos por **Pulido-Velázquez et al.** (2005); así constituye una herramienta atractiva para la gestión del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas.

En otra iniciativa se acopla un modelo de flujo subterráneo (MODFLOW) con un modelo hidrológico de almacenamien-

tos y flujos (**Estrada-Restrepo et al.**, 2010). En este modelo acoplado se consideran, de forma conjunta, el régimen de caudales, las características del acuífero y las corrientes superficiales, la recarga del acuífero, y las intervenciones antrópicas como captaciones superficiales y subterráneas. La metodología de modelación acoplada ha sido implementada en casos teóricos de aplicación, para diferentes escenarios de simulación que se presentan en situaciones prácticas. Los resultados de la modelación permiten cuantificar el impacto que tiene la explotación del acuífero sobre la disminución en los caudales superficiales, y la variación de la magnitud del impacto en relación con la distancia del pozo y el caudal extraído. Además han mostrado coherencia espacial y temporal. Como resultado del modelo se obtiene información cuantitativa de la dinámica de la interacción río-acuífero en los distintos escenarios analizados, lo que permite cuantificar la recarga inducida del río al acuífero cuando se extrae agua del acuífero. Este modelo acoplado se presenta, con un buen potencial, como herramienta de apoyo para tomar decisiones en la gestión del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas.

### Evaluación de amenaza para deslizamiento

Para la estimación de la amenaza al deslizamiento superficial en laderas, se acopló un modelo hidrológico distribuido, con un modelo sencillo de estabilidad de ladera con el que se evalúa el factor de seguridad de las laderas durante la simulación. El modelo de evaluación se aplicó a condiciones hipotéticas en la Quebrada la Iguaná en Medellín, Colombia (**Vélez, et al.**, 2005). Los resultados obtenidos son bastante coherentes con respecto a la morfología de la cuenca. Para su comparación con el modelo SHALSTAB se implementó este en la misma cuenca, y aunque los resultados de estos dos modelos no son comparables directamente (**Montgomery y Dietrich**, 1994) si se pueden comparar las zonas de mayor amenaza para los dos modelos y en ese caso son bastante similares. La ventaja que ofrece el modelo distribuido que permite considerar la variabilidad espacial en la cuenca de las diferentes características de la ladera, el suelo y su cobertura y se puede hacer una modelación más realista del fenómeno. Para obtener resultados que reflejen correctamente los procesos hidrológicos en la ladera se debe utilizar una resolución espacial suficientemente fina de acuerdo al tamaño de los deslizamientos.

Para la predicción de deslizamientos superficiales activados por lluvias muy intensas, se está implementando la estrategia de simulación hidrológica con una adaptación para evaluación de la estabilidad de laderas; a diferencia de las versiones de TETIS, en este caso, el modelo distribuido tiene un planteamiento no lineal para el flujo subsuperficial en la capa

superior del suelo. El modelo se está implementando para verificación en cuencas donde han ocurrido eventos con numerosos deslizamientos superficiales, pero el objetivo es su utilización como parte de los sistemas de alerta temprana, en zonas urbanas con gran vulnerabilidad y con información de radar meteorológico (Arístizabal et al., 2012).

### Simulación de la producción y transporte sedimentos

La estrategia de simulación de la producción y transporte de sedimentos a escala cuenca, se basa en el acoplamiento de dos modelos: uno hidrológico-hidráulico para el agua (la escorrentía en laderas y el flujo en los cauces) y un modelo para producción y transporte de sedimentos. El modelo hidrológico-hidráulico debe considerar la representación del flujo mediante ecuaciones no lineales. Las ecuaciones de transporte del caudal sólido respecto al caudal líquido son no lineales, los efectos de no linealidad en la escorrentía y en el flujo en los cauces se amplifican en la erosión y el transporte de sedimentos.

El modelo CASC2D-SED (Johnson, 1997; Johnson y Julien, 2000) es el resultado de acoplar el modelo bidimensional de escorrentía CASC2D (Julien y Saghafian, 1991) y un modelo de producción y transporte de sedimentos propuesto por Julien (1995). Este modelo, basado en la ecuación de Kilinc y Richardson (1973) para la erosión causada por la lámina de escorrentía sobre un lecho de arena, fue adaptado por Julien para su utilización en otros tipos de suelo y con diferentes coberturas de vegetación y para ello incorporó algunos coeficientes de la USLE (Universal Soil Loss Equation) de Wischmeier y Smith (1978). Para el transporte de sedimentos en los cauces, el modelo de Julien utiliza la ecuación de Engelund y Hansen (1967). Esta ecuación ha sido reconocida por mejor comportamiento en los distintos tipos de cauces en la cuenca hidrográfica (Machado et al., 2004).

El modelo TETIS-SED (Montoya, 2006) resulta de acoplar el modelo TETIS y el modelo de producción y transporte de sedimentos de Julien (1995). El modelo resultante tiene varias características que los hacen competitivo: tiene la estructura bidimensional de la red de drenaje pero operativamente es unidireccional en la dirección del flujo, la geometría hidráulica provee una representación más estructurada de la red de drenaje sobre toda la cuenca y el flujo en los cauces se calcula de la ecuación de la Onda Cinemática no lineal mediante la solución numérica de un esquema implícito simplificado. Para su evaluación (y comparación con CASC2D-SED) el modelo se implementó en la cuenca Goodwin Creek USA, donde se tenían datos suficientes de características morfológicas del terreno, del suelo y sus coberturas y se

contaba con registros de lluvia sobre toda la cuenca, hidrogramas y sedimentogramas en varias subcuencas y además ya se había implementado el modelo CASC2D-SED (Rojas, 2003). Al comparar los resultados de los dos modelos, se obtienen mejores resultados con TETIS-SED (Montoya et al., 2006).

En esta primera implementación de TETIS-SED, para la escorrentía superficial se consideró una solución simplificada de la onda cinemática que corresponde a la representación de un embalse lineal, mientras que para el flujo en los cauces de la red de drenaje se utilizó la solución numérica de la ecuación de la onda cinemática en un esquema no lineal. Velásquez (2009), configura una segunda versión del modelo de sedimentos acoplado al modelo hidrológico; en este caso la escorrentía superficial en la ladera también se obtiene mediante la solución numérica de un esquema implícito simplificado de la ecuación de la Onda Cinemática de acuerdo a las expresiones propuestas por Vélez (2001) y el resto no difiere sensiblemente de lo implementado por Montoya (2006).

Esta nueva versión también se evaluó en la cuenca Goodwin Creek en USA comparando los resultados de estas dos versiones del modelo. La nueva versión de Velásquez (2009) presenta una mejora en el ajuste de los hidrogramas y los sedimentogramas, tanto en calibración como en validación, pero las diferencias entre el ajuste de las dos versiones del modelo no es muy significativa y las diferencias entre los resultados de las dos versiones del modelo son relativamente pequeñas cuando se las compara con las diferencias entre los valores simulados y observados. Es posible que, con eventos mayores, las diferencias sean más sensibles pero la información disponible para hacer estas evaluaciones aún no es suficiente. Se ha considerado que hay que mejorar la información distribuida y hay que explorar en otras cuencas. Algunas de las ventajas de la estrategia de simulación no fueron efectivas en este caso debido a las características de la cuenca Goodwin Creek, donde prácticamente toda la escorrentía es superficial.

En Colombia, aún no hay información simultánea y de buena resolución de precipitación sobre la cuenca e hidrogramas y sedimentogramas en los cauces, como para poder implementar, calibrar y validar este tipo de modelos de erosión y transporte de sedimentos. Sin embargo, se pueden hacer calibraciones aproximadas aprovechando información disponible. En la rambla del Poyo (Valencia España), Bussi et al. (2012) presentan una "calibración" del modelo TETIS-SED (Montoya, 2006), a partir de la estimación aproximada de las tasas de producción de sedimentos mediante el cubaje de diques de retención en cauces efímeros (Rodríguez-Lloveras et al., 2012).

## Análisis de escenarios para de cambio climático y/o cambio de uso del suelo

En una estrategia de modelación para simular la dinámica de los ciclos del agua y del carbono en ecosistemas de alta montaña ante cambios en el régimen climático, se propuso la estrategia acoplado un modelo para el ciclo del agua con un modelo para el ciclo de carbono. Para el ciclo del agua se propuso la implementación en mediano plazo del modelo TETIS y para el carbono una adaptación al modelo distribuido del modelo Century. En una primera fase, mientras se aumenta la información disponible, se recomendó un modelo semidistribuido de almacenamientos donde se consideran zonas homogéneas de respuesta hidrológica a zonas con cierta similitud de condiciones: climáticas, morfológicas, de suelos y de coberturas y por subcuencas (**IDEAM-Universidad Nacional**, 2007).

En el Plan de Ordenamiento y Manejo del Río Chinchiná se ha implementado el modelo TETIS con una resolución espacial de 90 m y una resolución temporal de 1 día, para la evaluación de escenarios de cambio climático y de cambios de usos del suelo.

## Simulación de la dinámica espacio-temporal de la vegetación

El modelo hidrológico TETIS (**Francés et al.**, 2007) se ha acoplado con el modelo de vegetación HORAS (**Quevedo y Francés**, 2009) para la simulación de las dinámicas de la vegetación en el tiempo y en el espacio (**Pasquato et al.**, 2011). Este modelo hidrológico – de vegetación conceptual y distribuido se ha implementado en la cuenca de Valdeinferno, río Luchena (España). El clima es semiárido con una precipitación anual promedio de 330 mm. La cobertura vegetal es un 60% natural compuesta por matorral y masa forestal. En esta condición la insolación juega un papel importante en la disponibilidad de humedad en el suelo y por ende en el crecimiento de la vegetación (**González-Hidalgo et al.**, 1996). En el modelo, en cada celda la orientación de la ladera determina un parámetro que corrige la evapotranspiración potencial, la vegetación está representada por una variable de estado definida como biomasa foliar y su valor es uno de los factores para obtener la evapotranspiración real a partir de la potencial. El modelo logra una reproducción satisfactoria de la dinámica del NDVI y de las diferencias de densidad de vegetación entre zonas con diferente insolación (**Pasquato et al.**, 2011).

## Conclusiones

La estrategia de simulación del modelo hidrológico conceptual, soportado por una estructura topográfica y morfológica

en la topología y en los parámetros del modelo, ha permitido un buen desempeño en distintas regiones del mundo en distintas condiciones geográficas y climáticas.

La simulación distribuida permite incorporar en la simulación la variabilidad espacial de la precipitación y de las condiciones para la evapotranspiración, la heterogeneidad de los suelos y sus coberturas. Además, el modelo distribuido garantiza la coherencia de los resultados obtenidos en cualquier sitio de la red de drenaje.

El modelo distribuido y las versiones más simplificadas han resultado de gran utilidad para distintos fines. Se han adaptado bien a un rango muy amplio de escalas espaciales y de resolución temporal de la simulación.

El modelo para la distribución espacial de las variables físicas, determinantes de los parámetros del modelo hidrológico conceptual distribuido, hace parte integral de la estructura conceptual del modelo hidrológico.

Es notable como la estructura de almacenamientos y flujos se ha podido adaptar para representar procesos relacionados con el ciclo del agua, distintos a los considerados en las formulaciones iniciales.

El modelo hidrológico conceptual ha sido fácil de acoplar para su interacción con otros modelos de muy distinta naturaleza. Esto muestra que tiene un gran potencial para muchas otras aplicaciones.

## Agradecimientos

A profesores, compañeros de trabajo y alumnos en las Universidades Nacional de Colombia y Politécnica de Valencia que han participado en la construcción de esta estrategia de simulación.

A las Universidades Nacional de Colombia y Politécnica de Valencia.

A varias instituciones que han apoyado este proceso: ICI España, Ministerio de Educación y Ciencia de España, COLCIENCIAS, CEDEX de España, IDEAM Colombia.

## Referencias

- Aristizábal, E., Vélez J.I., Martínez-Carvajal, H.**, SHIA\_LANDSLIDE: a physically based model to predict shallow landslides triggered by rainfall in tropical and mountainous terrains. (Poster) Primer Simposio Geotécnico y de Ingeniería Geológica. Septiembre 5 al 10 de 2012. Bucaramanga.
- Arrell, K.E., Fisher, P.F., Tate, N.J., Bastin, L.** 2007. A fuzzy c-means classification of elevation derivatives to extract the morphometric classification of landforms in Snowdonia, Wales. En: *Computers & Geosciences*. 33 (10): 1366-1381.

- Beven, K. J., Kirkby, M. J.** 1979: A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrol. Sci. Bull.*, 24: 43–69.
- Beven, K. J.** 1987. Towards a new paradigm in Hydrology, *Water for the Future: Hydrology in Perspective*, IASH Publication, 164: 393 - 403.
- Beven, K.J., Freer, J.** 2001a. Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems. *Journal of Hydrology.*, 249: 11–29.
- Bussi, G., Francés, F., Rodríguez Lloveras, X., Benito, G., Sánchez Moya, Y. y Sopena, A.** 2012. Calibration of a hydrological model using sediment proxy data. *PUB Symposium 2012. Completion of the IAHS decade on Prediction in Ungauged Basins and the way ahead.* October 23-25, 2012. Delft.
- Bussi, G., Francés, F., Salinas, J. L., García-Bartual, R., Pujol, L., Guna, V., Ortiz, E.** 2012. Estimación de mapas de peligrosidad mediante generación de tormentas sintéticas. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2012. 9-12 de septiembre de 2012. ISBN 978-9968-933-06-3. San José, Costa Rica.
- Castro, J. C.** 2011. Metodología para la obtención de modelos digitales de terreno hidrológica y geomorfológicamente coherentes, Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- CORPOCALDAS-ASOCAR-UNAL.** 2013. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Chinchiná, Informe final.
- Dury, G.H.** 1976. Discharge prediction, present and former, from channel dimensions. *Journal of Hydrology*, 30: 219-245.
- Estrada- Restrepo, O. A., Vélez, J. I., Vélez, M.V. y Restrepo-Tamayo, C.** 2010. Modelación acoplada de aguas superficiales y subterráneas para la gestión conjunta del recurso hídrico. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica IAHR – AIH., Noviembre de 2010. Punta del Este, Uruguay.
- Flores, A. N., Bledsoe, B. P., Cuhaciyan, C. O., Wohl, E. E.** 2006., Channel-reach morphology dependence on energy, scale, and hydroclimatic processes with implications for prediction using geospatial data, *Water Resources Research*. 42.
- Forero, J. C.** 2011. Modelo Agregado y Distribuido Sobre la Cuenca Superior del Río de Oro. Universidad Industrial de Santander. Tesis de Maestría.
- Francés, F., García-Bartual, R. and Bussi, G.** 2011. High return period annual maximum reservoir water level quantiles estimation using synthetic generated flood events (Poster). 3rd International Week on Risk Analysis, Dam Safety, Dam Security, and Critical Infrastructure Management, Valencia España .
- Francés, F., García-Bartual, R., Bussi, G., Salinas, J. L., Fernández, E.** 2011. Diseño hidrológico de alto período de retorno mediante generación sintética de eventos de crecida. II Jornadas de Ingeniería del Agua “Modelos Numéricos en Dinámica Fluvial”. 5-6 October, 2011. Barcelona, Spain.
- Francés, F., Vélez, J. I., Vélez, J. J. y Puricelli, M.** 2002. Distributed Modeling of Large Basins for Real Time Flood Forecasting System in Spain. Second Federal Interagency Hydrologic Modelling. Conferencia. Las Vegas, USA.
- Francés, F., Vélez, J. I., Vélez, J. J.** 2007. Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*. 332, (1): 226–240.
- González-Hidalgo, J., Sánchez-Montahud, J. Bellot-Abad.** 1996. Efecto de la vegetación y orientación de la ladera en perfiles de humedad en el suelo de un ambiente semiárido del interior de España. *Cuadernos I. Geográfica* (22): 81-96.
- IDEAM**, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. 2011. Implementación de la metodología de zonificación de amenazas por inundaciones para tres grandes cuencas del país (Colombia) .Informe de Investigación.
- Jaramillo, M., Vélez, M. V., Vélez, J. I.** 2004. Estimación de la recarga mediante un modelo hidrológico distribuido. *Memorias del Primer Congreso Colombiano de Hidrogeología.* Marzo 2004. Medellín.
- Jiménez, M. A., Camacho, L. A., Vélez, J. I.** 2010. A Stream Morphology Classification for Eco-hydraulic Purposes Based on Geospatial Data: A solute transport application case (Poster B33F-0445). AGU Fall Meeting, December 13–17, San Francisco, California, USA.
- Jiménez, M. A., Camacho, L. A., Vélez, J. I.** 2010. A Stream Morphology Classification for Eco-hydraulic Purposes Based on Geospatial Data: A solute transport application case. 2010 AGU Fall Meeting, Diciembre 13–17 San Francisco, California, USA, Poster B33F-0445.
- Johnson, B. , Eand, P. Y.** 2000. The two-dimensional upland erosion model CASC2D-SED. *The Hydrology–Geomorphology Interface: Rainfall, Floods, Sedimentation, Land Use* (Proceedings of the Jerusalem Conference, May 1999). IAHS Publ. 261, 2000. 107 .
- Johnson, B. E.** 1997. Development of a storm-event based two-dimensional upland erosion model. PhD Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- Julien, P. Y.** 1995. Erosion and Sedimentation. Press Syndicate of the University of Cambridge, New York, USA.
- Julien, P. Y., Saghafian, B.** 1991. CASC2D User’s manual: A two dimensional watershed rainfall-runoff model. Center for Geosciences—Hydrologic Modelling Group, Colorado State University (CER90-91PYJ-BS-12). Fort Collins, Colorado, USA.
- Julien, P. Y., Saghafian, B.** 1995 Raster-based hydrologic modelling of spatially-varied surface runoff. *Wat. Resour. Bull.* 31(3): 523-536
- Kennedy, R. G.** 1895. Prevention of silting in irrigation canals: *Inst. Civil Eng. Proc.*, 119: 281-290.
- Kilinc, M., Richardson, E. V.** 1973. Mechanics of soil erosion from overland flow generated by simulated rainfall. *Hydrology Paper no. 63*, Colorado State University. Fort Collins, Colorado, USA.
- Knighon, A. D.** 1975. Variations in at-station Hydraulic Geometry. *American Journal of Science*, 275: 186 - 218.
- Kuczera, G., Raper, G. P., Bras, N. S., Jayasuriya, M. D.** 1993. Modeling yield changes after strip thinning in a mountain ash catchment: an exercise in catchment model validation. *Journal of Hydrology*. 150: 433 - 457.
- Lacey, G.,** 1930, Stable channels in alluvium: *Inst. Civil Eng. Proc.*, 229: 259-384.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., Miller, J. P.** 1964. *Fluvial processes in Geomorphology.* San Francisco, W. H. Freeman.
- Leopold, L.B. , Maddock, T. Jr.** 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. U.S. Geological Survey Professional Paper No. 252. 57 pp
- Limerinos, J. T.** 1969. Relation of the Manning coefficient to measure bed roughness in stable natural channels. Professional Paper United States Geological Survey. 650D.
- Machado, D., Aguirre-Pe, J., Moncada, A., Olivero, M.** 2007. Optimización del uso de modelos de transporte de sedimentos en canales y ríos mediante análisis comparativo. *Ciencia e Ingeniería*. 28 (1): 9-18.
- Merz, B., Bârdossy, A.** 1998. Effects of spatial variability on the rainfall runoff process in a small loess catchment. *J. Hydrol.* 212-213(1-4): 304-317
- Merz, B., Plate, E. J.** 1997. An analysis of the effects of spatial variability of soil and soil moisture on runoff. *Wat. Resour. Res.* 33(12): 2909-29.

- Mesa, O., Vélez, J. I., Giraldo, J., Quevedo, D.** 2003a. Regionalización de características medias de la cuenca con aplicación en la estimación de caudales máximos. *Meteorol. Colomb.* 7:141-147.
- Mesa, O., Vélez, J. I., Giraldo, J., Quevedo, D.** 2003b. Adaptación del método del multiescalamiento para la estimación de caudales máximos en Colombia. *Meteorol. Colomb.* 7:149-156.
- Montgomery, D., Dietrich, W. E.** 1988. Where do channels begin? *Nature.* 336, 232-234.
- Montgomery, D. R., Buffington, J. M.** 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin.* 109: 596-611.
- Montgomery, D. R., Dietrich, W. E.** 1994. A Physically-Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding, *Water Resources Research*, 30: 1153-1171.
- O'Callaghan, J. F., Mark, D. M.** 1984. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Compu. Vision Graphics Image Process.* 28: 323 - 344.
- Pasquato, M., Medici, C., Francés, F.** 2011. Aplicación de un modelo conceptual distribuido de vegetación dinámica a una cuenca semiárida del sureste de España. *Jornadas de Investigación en la Zona no Saturada del Suelo. Estudios en la zona no saturada del suelo. Volumen X, ZNS 11. Universidad de Salamanca.* 19-21 de Octubre de 2011. Salamanca, España.
- Patiño, D. A.,** 2011. Diseño de una Metodología de Clasificación Automática de Unidades Geomorfológicas en la Geografía Colombiana Utilizando Técnicas de Reconocimiento de Patrones, Maestría en ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Poveda, G., Vélez, J. I., Mesa, O. J., Cuartas, L. A., Barco, O. J., Mantilla, R. I., Mejía, J. F., Hoyos, C. D., Ramírez, J. M., Botero, B. A., Mejía, M. I., Ceballos, L. I., Zuluaga, M. D., Giraldo, J. D., Quevedo, D. I.** 2007. Linking long-term water balances and scaling to regionalize peak and low flows in Colombia. *Journal of Hydrologic Engineering – ASCE*, 12 (1): 4-13.
- Prima, O., Echigo, A., Yokoyama, R., Yoshida, T.** 2006. Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps. *Geomorphology* .78 (3-4): 373-386.
- Pulido-Velázquez, M. A., Sahuquillo-Herraiz, A., Ochoa-Rivera, J. C., y Pulido-Velázquez D.** 2005. Modeling of Stream-Aquifer Interaction: The Embedded Multireservoir Model. *Journal of Hydrology*, 313: 166-181.
- Puricelli, M. M.** 2003. Estimación y distribución de parámetros del suelo para la modelación hidrológica. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Tesis Doctoral.
- Quevedo, D., Francés, F.** 2005. A conceptual dynamic vegetation-soil model for arid and semiarid zones. *Hydrology and Earth System Science* (12): 1175-1187.
- Quintero, F., Vélez, J. I., Blandón, L.** 2005. Modelo hidrológico distribuido para la cuenta ambiental del agua. *Gestión y Ambiente.* 8 (1): 93-105.
- Ramírez, J. M., Vélez, J. I.** 2002. Estrategias para la extracción automática de redes de drenaje a partir de Modelos Digitales de Terreno. *Avances en Recursos Hidráulicos.* 9: 69-82.
- Renno, C., Nobre, A., Cuartas, L., Soares, J., Hodnett, M., Tomasev, J., Waterloo, M.** 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment.* 112 (9): 3469-3481.
- Restrepo-Tamayo, C.** 2007. Modelo Hidrológico Distribuido Orientado a la Gestión de la Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. sede Medellín.
- Restrepo-Tamayo, C., Álvarez-Villa, O., Vélez, J. I., Pulido-Velázquez, M. y Velásquez, N.** 2010. Un modelo hidrológico distribuido acoplado a un modelo de flujo subterráneo para la gestión del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica IAHR – AIIH. Noviembre de 2010. Punta del Este, Uruguay.
- Rhodes, D. D.** 1977. The b-f-m diagram graphical representation and the interpretation of at-a-station hydraulic geometry. *American Journal of Science*, 277: 73 - 96.
- Richards, K. S.** 1982. *Rivers, Form and Processes in Alluvial Channels*, Methuen, London.
- Rodríguez Lloveras, X., Bussi, G., Sánchez Moya, Y., Sopeña, A., Francés, F., Benito, G.** 2012. Aproximación a las tasas de producción de sedimento mediante el cubicaje de diques de retención en ríos mediterráneos efímeros. XII Reunión Nacional de Geomorfología. 17-20 de septiembre de 2012. Santander, España.
- Rosgen, D. L.** 1994. A classification of natural rivers. *Catena*, 22: 169-199.
- Rosgen, D. L.** 1996. *Applied river morphology.* Wildland Hydrology. Pagosa Springs, Colorado.
- Salsón, S., García-Bartual R.** 2003 A space-time rainfall generator for highlyconvective Mediterranean rainstorms. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3:103-114.
- Schmidt, J., Merz, B., Dikau, R.** 1998. Morphological structure and hydrological process modelling: *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., Supplement Band, 112: 55-66 Berlin Stuttgart .
- Stewardson, M.** 2005. Hydraulic geometry of stream reaches. *Journal of Hydrology*, 306(1-4): 97-111.
- Tarboton, D. G., Bras, R. L., Rodríguez-Iturbe, I.** 1992. A Physical Basis for Drainage Density. *Geomorphology*, 5(1-2): 59-76.
- Tarboton, D. G., Bras, R. L., Rodríguez-Iturbe, I.** 1991. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrologic Processes.* 5(1): 81-100.
- Tarboton, D. G.** 1997. A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, 33(2): 309-319.
- Valencia, M.** 2008. Modelación Hidrológica Distribuida de Tipo Conceptual, como Elemento para Ordenación y Manejo Ambiental de Cuenca Hidrográficas, Caso de Estudio: Cuenca Hidrográfica del Río La Miel, Departamento de Caldas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.
- Vélez, J. I.** 2001. Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Tesis Doctoral.
- Vélez, J. I., Francés, F., Vélez, J. J.** 2002a. No linealidad del flujo en los cauces de la red de drenaje y sus implicaciones en la modelación hidrológica. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. La Habana, Cuba.
- Vélez, J. I., Villarraga, M. R., Álvarez, O. D., Alarcón, J. E., Quintero, F.** 2005. Modelo distribuido para determinar la susceptibilidad al deslizamiento superficial por efecto de tormentas intensas y sismos. *Boletín de Ciencias de la Tierra* (17): 85-96.
- Vélez, J. J., Francés, F.** 2006. Recursos hídricos en la Comunidad Autónoma del País Vasco usando modelación distribuida y calibración automática. *Memorias del XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Ciudad Guayana, Venezuela, Octubre 2006.*

- Vélez, J. J., Vélez, J. I., Francés, F.** 2002b. Modelo distribuido para la simulación hidrológica de crecidas en grandes cuencas. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. La Habana, Cuba.
- Vélez, J. J., Puricelli, M., López-Unzueta, F., Francés, F.** 2009. Parameter extrapolation to ungauged basins with a hydrological distributed model in a regional framework, *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 229-246
- Wagensberg, J.** 1985. Ideas sobre la complejidad del mundo, *Metemas* MT 9, ISBN: 978-84-7223-453-6, 160 pág., Ed Tusquets, España.
- Wischmeier, W. H., Smith, R. E.** 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* no. 537. US Dept Agriculture, Washington DC, USA.

## LA “TABLA DE GÉNEROS”, UN INTERESANTE MANUSCRITO BOTÁNICO THE “TABLE OF GENERA”, AN INTERESTING BOTANICAL MANUSCRIPT

Santiago Díaz Piedrahíta\*

### RESUMEN

Díaz Piedrahíta S. La “Tabla de géneros”, un interesante manuscrito botánico. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 37 (144): 437-453, 2013. ISSN 0370-3908.

Se transcribe y se comenta un manuscrito botánico titulado “*Tabla de géneros*” y que contiene datos pertinentes a la clasificación de 97 géneros de plantas y a los usos terapéuticos dados a algunas de sus especies, incluyendo información sobre sus nombres, sinonimia y etimologías. Por sus características y contenido, así como por los autores que son citados, este texto debió ser escrito en el último tercio del Siglo XVIII iniciando apenas el siglo XIX. Se ignora quién pueda ser su autor.

**Palabras clave:** Botánica, clasificación, Historia de la botánica, terapéutica.

### ABSTRACT

The botanical manuscript entitled *Table of Genera* is transcribed and commented. The document contains data about the classification of 97 plant genera and the therapeutic properties given to some species, including information about their names, synonyms and etymologies. Due to its characteristics, contents and authorities that are quoted, the anonymous text was probably written on the last third of the XVIII century or at the beginning of the XIX century.

**Key words:** Botany, classification, History of botany, therapeutics.

### Introducción

Para explicar el origen del manuscrito objeto de este artículo resulta menester referirse previamente al padre Enrique Pérez Arbeláez (Medellín 1896 - Bogotá 1972). El padre Pérez aparte de ser un excelente botánico fue un intelectual

destacado y dentro de esta faceta indagó por los orígenes y desarrollo de la ciencia en Colombia. Fruto de sus investigaciones históricas son los textos introductorios de la *Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada* que hacen parte del Tomo I de esta obra, así como el *Primer Diario de la Expedición Botánica, Humboldt en Colombia*,

la biografía titulada *José Celestino Mutis, su vida y su obra* y varios artículos pertinentes a la historia de la botánica en nuestro medio, como el titulado *Trayectoria en Colombia de las ciencias de la Naturaleza, 1760 – 1900*, que fueron publicados en distintas revistas del país y del exterior

Fue sin duda el padre Pérez el científico colombiano más destacado del siglo XX en el campo de las ciencias naturales y entre sus realizaciones se cuentan, la organización del Herbario Nacional Colombiano (COL), la creación del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, inicialmente Departamento de Botánica de la misma Universidad, la fundación del Jardín Botánico de Bogotá y la iniciación de la edición de la *Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada*, obra monumental que logró poner en marcha luego de una sostenida lucha por lograr un acuerdo cultural entre los gobiernos de España y Colombia, acuerdo que debía garantizar la publicación de totalidad de las láminas de la Real Expedición promovida y dirigida por José Celestino Mutis entre 1783 y 1808, continuada después de su muerte bajo la dirección de Sinforoso Mutis Consuegra, en la parte botánica, y Francisco José de Caldas, en la parte astronómica.

Célebre y clásica es su obra *Plantas Útiles de Colombia*, por mucho tiempo la “biblia” de los botánicos, agrónomos e ingenieros forestales, como importantes son sus libros *Hilea Magdalena*, *Hilea Amazonica*, *Recursos Naturales de Colombia* y muchos folletos divulgativos como *Lecciones sobre el Herbario*, *Las Plantas su Vida y su Clasificación*, *Suelo Árboles y Cultivos*, *Conservemos estas aguas* y *La Hoya de Captación del Acueducto de Manizales*, publicaciones que sirvieron para arraigar una conciencia científica nacional y para atraer hacia las ciencias naturales a muchos lectores, entre quienes me puedo contar, pues tras la lectura de sus cartillas fuimos cautivados por el mundo de la botánica. Célebre también es su trabajo *Apuntes para la Historia de la Botánica en Colombia*, obra llena de información y que ha servido de germen para redactar diversas historias de la ciencia y la botánica en nuestro medio.

Era el padre Pérez un gran conocedor de la botánica y de su historia y como tal debió leer muchos libros y consultar múltiples documentos, que fue reuniendo a lo largo de su vida y que utilizó para dar fundamento a sus escritos históricos. Entre esos documentos figuraba un pequeño legajo que permaneció un tanto refundido dentro de los libros y documentos que fue reuniendo a lo largo de su vida el padre Pérez y escapó de ser vendido con el resto de volúmenes de su biblioteca, la cual fue adquirida integralmente por la Universidad de Antioquia a doña Teresa Arango Bueno, secretaria y confidente de sacerdote y naturalista y quien heredó su bibliote-

ca. Años después de la muerte del ex sacerdote jesuita, doña Teresa apareció en mi oficina, un tanto quejumbrosa como lo era habitualmente y tras mediar unas pocas palabras y los saludos de rigor me entregó un sobre que estaba marcado de su puño y letra con la leyenda (manuscrito sobre plantas. Biblioteca Dr. E. Pérez- Arbeláez). Tiempo después, ya agobiada por las enfermedades me llamó por vía telefónica para expresarme su gratitud por una nota aparecida en el diario *El Tiempo*, en la cual, dentro de una serie sobre los personajes del Siglo XX en Colombia, yo calificaba al padre Pérez Arbeláez como el científico más destacado en el campo de las ciencias naturales. Fue esta la última vez que hable con ella y entonces olvidé comentarle que esperaba que hiciese con el manuscrito que me había entregado años antes. Considero importante dar a conocer este documento junto con algunos comentarios que considero pertinentes.

### Características y posible fecha del manuscrito

El manuscrito, titulado *Tabla de Géneros*, está formado por un legajo con 34 páginas manuscritas de cerca de 21 cm de alto x 15.5 cm de ancho, escritas sobre ambas caras en un papel fuerte pero carente de marcas de agua y en caracteres de tinta indeleble de color sepia. La letra es relativamente clara y legible; este texto va acompañado de una tabla mayor, que se encuentra bastante desgastada sobre todo en su borde superior, y que mide cerca de 20 x 42 cm, formada por dos hojas de 23 cm unidas lateralmente. En esta tabla aparece representado el sistema sexual de clasificación de Carlos Lineo acompañado de ejemplos para cada clase y con algunas notas explicativas. El legajo contiene datos referentes a 93 géneros y termina con dos notas que aparecen en la última página bajo el título: *Inscripción*. Dicen así las notas:

“Jurad sobre esta tumba, castellanos,  
Antes morir que consentir tiranos.

Otra

A los que de valor nos dan ejemplo  
No es sepulcro el sepulcro, sino templo.”

En relación con este manuscrito debe señalarse que resulta claro que fue escrito durante la segunda mitad o quizás en el último tercio del Siglo XVIII; razones a favor de este aserto son: el tratamiento dado a los géneros, el cual se centra en el Sistema Sexual de Clasificación de Carlos Lineo, un sistema de tipo artificial ampliamente utilizado por esa época en la botánica occidental. En segundo lugar, aun se emplean protólogos para designar las especies, tal como aparecían en las obras de Lineo y en las de algunos de los autores prelineanos. En tercer lugar las medidas que se citan se dan en dracmas, magnitud de peso cuyo nombre deriva de una antigua

moneda griega, medida utilizada en la farmacia de entonces y que equivalía a la octava parte de una onza, aunque también figuran los gramos, medidas que por entonces empezaron a reemplazar los escrúpulos, que equivalían a más o menos el peso de veinte granos de trigo. En cuarto lugar, los autores que aparecen citados en el texto, tanto los botánicos como los terapeutas, corresponden en su totalidad al siglo XVIII, época en la que dieron a conocer sus contribuciones. Entre otros aparecen Willdenow, Lineo, Braconnet, Haller, Stoerek, Galeno, Gallen, Sindeham, Bergius, Stoertz, Vauquelin, Braconnet, von Stallen y Orfila.

Otra característica a favor de la datación la constituye la letra empleada, que es similar a la utilizada por los oficiales de pluma de la Real Expedición Botánica (José María Carbonell, Juan Francisco Aguiar, José Antonio Cándamo y Francisco Javier Zabaraín) así como de otras expediciones como la dirigida por Sebastián Esteban Boldó en la isla de Cuba; las abreviaturas utilizadas, la puntuación y el uso ortográfico también corresponden a la época. Un comentario adicional; la grafía empleada en el manuscrito objeto de este artículo es claramente diferente a la de José Celestino Mutis y a la de Francisco José de Caldas, cuyos caracteres son inconfundibles; resulta imposible asignarla a alguien en concreto, pero cabe la presunción de que el texto corresponda a unos apuntes de alguno de los botánicos que laboraron en la Expedición, los únicos por la época en interesarse por la que Lineo denominara la "*ciencia amable*." Estos apuntes debían tener por objeto, el disponer a mano el Sistema sexual de clasificación de Lineo, junto con los caracteres de los géneros más comunes, ya fuese como notas de clase para ser dictadas a los estudiantes, o como un resumen de datos para facilitar el trabajo de clasificación y a la vez tener a disposición la información sobre las propiedades terapéuticas de las principales especies en forma de vademécum. También, aunque lucen muy ordenados para ello, pudiesen corresponder a las notas de clase de un estudiante, ya pasadas a limpio. Entonces no se manejaba el concepto de familia como jerarquía taxonómica y las plantas se agrupaban en géneros que a su vez hacían parte de clases u órdenes en las que compartían con otras especies muchas de las características florales. Como se trataba de un sistema de clasificación, todavía de naturaleza artificial, resulta natural encontrar agrupadas en una misma jerarquía plantas tan disímiles como hongos, gimnospermas y plantas con flores como las monocotiledóneas y las dicotiledóneas.

Un último comentario en relación con la posible época de origen del manuscrito lo motiva la inscripción que aparece al final, ya citada: "*Jurad sobre esta tumba, castellanos, Antes morir que consentir tiranos*. Estos versos podrían aludir a la invasión de las tropas napoleónica a España, la cual se produjo en 1808, tras lo cual se produjo el motín de Aranjuez

y a la abdicación de Carlos IV a favor de su hijo Fernando quien luego, en Bayona, sería forzado a traspasar el trono a José Bonaparte. Si así fuere, el manuscrito sería posterior a esta fecha, es decir que dataría de comienzos del siglo XIX, más concretamente hacia 1810.

Los géneros que figuran en el folleto fueron agrupados en orden alfabético y van de la letra **A**, a la letra **C**, empezando por *Accacia* y terminando por *Cassia*. El autor de este lexicon o diccionario genérico no concluyó su tarea, o lo hizo en otros fascículos, lo cual nos priva del resto de la información, si es que ésta existió.

A pesar de ser incompleto, pues cubre tan solo tres letras del alfabeto, consideramos de interés dar a conocer este un pequeño diccionario, pues su lectura nos muestra, de una parte el grado de desarrollo de la investigación botánica; de otra, deja ver la metodología seguida para clasificar las plantas cuando estaban en uso este tipo de sistemas de clasificación, que como el del caso analizado, se basaba en el análisis de los verticilos de la flor pero considerando esa flor como un órgano completamente aislado de la planta en la que se producía. Bajo esos parámetros se desarrollaban entonces los trabajos de la Real Expedición Botánica de la Nueva Granada, empresa coetánea con otras expediciones como las del Perú y Chile, la de Nueva España y Guatemala y la de Cuba, dirigidas respectivamente por Hipólito Ruiz y José Pavón, Martín Sesse y José Mociño y Sebastián Esteban Boldó.

Cabe un comentario en relación con las presuntas virtudes terapéuticas de las especies mencionadas. Entre las dolencias curables con las plantas que figuran en la *Tabla de Géneros* aparecen: acrimonia, afecciones hemorroidales, afecciones reumáticas, amaurosis o gota serena del ojo, ardor de orina, asma, cálculos, calenturas, cancro, caries, cataratas, catarros, cirro, cólicos espasmódicos, constipaciones, delirios, desórdenes nefríticos, disentería, dispepsia, dolor metrítrico, dolor de coyunturas, dolor nefrítico, enfermedades cutáneas y exantematosas, enfermedades venéreas, epilepsia, escorbuto, escrófulas, espasmos abdominales, estipiquez, fatigas estomacales, fiebres intermitentes y epidérmicas, fiebres nerviosas, flatulencia, flujos alvinos, flujos biliosos, gota, hidropesía, hinchazones, hipocondrias, histeria, ictericia, induración de las glándulas, intermitentes obstinadas, lombrices, nudos venéreos, obstrucciones del hígado y del bazo, obstrucciones viscerales, cataménicas y glandulares, odontalgia, oftalmia, opacidad de la cornea, parálisis de la lengua, parálisis melancólicas, pleuresía, secreciones, sífilis, supresión del mes, tiña capilar, tumores indolentes, úlceras de las fauces, úlceras sórdidas y otras ulceraciones, vahídos y vómitos.

Entre las virtudes o propiedades de las especies mencionadas aparecen las de: afrodisíacos, antídotos o contravenenos,

antiácidos, antihelmínticos, antipútridos, antisépticos, astringentes, aromáticos, carminativos, catárticos, corroborantes, demulcentes, desobstruyentes, detergentes, diaforéticos, diurético, emenagogos, emolientes, estimulantes, estípticos, estornutatorios, estomacales, estornutatorios, expectorantes, febrífugos, masticatorios, mucílagos, pectorales, pungentes, refrigerantes, resolventes, sedativos, sudoríficos, supurantes y venenos, así como la virtud de promover los lochios. En cuanto a la forma de aplicación de estos fármacos aparecen: bálsamos, cataplasmas, cocimientos, confecciones, cordiales, cucharadas, decocciones, emplastos, emulsiones, fomentos, infusiones, gotas, linimentos, masticatorios, polvos, sudoríficos, trías y ungüentos.

Para facilitar la lectura del manuscrito se ha transcrito el texto utilizando las normas ortográficas vigentes en la actualidad y sin utilizar abreviaturas; los nombres de los géneros y las especies, así como los prótologos y las raíces etimológicas aparecen en itálica para facilitar la lectura.

## Transcripción del manuscrito

### Tabla de géneros

#### A

1. **Acacia.** De la Clase *Poligamia*, Orden *Monoecia*. Sus especies más conocidas son: *Acacia catechu*, que produce la goma conocida por el nombre de *terra japonica*, que contiene más tanino que cualquier otro astringente y la *Acacia vera* que produce la goma arábica descrita así por Willdenow<sup>1</sup>: *Spinis stipularibus foliis bipinnatis partialibus extintis glandula interstinctis, spinosis globosis pedunculatis.* (*Afilus*).
2. **Acanthus.** Clase *Dydimamia*, Orden *Angiospermia*. *Acanthus mollis* o *Brange ursine* cuyas raíces son mucilaginosas. *Foliis simientis incrinibus* de Lineo (*Espina*).
3. **Acarois.** Un nuevo género de plantas de New South Wales.
4. **Acer.** (*Agudo*). Clase *Poligamia*, Orden *Monoecia*. Sus especies son el *Acer campestre* que da una leche dulce cuya base es cal, es semitransparente, no la altera el aire y es soluble en soportes de agua hirviendo. *Acer pseudoplatanus* o *Platanus traga*. Su jugo fresco se tiene por antiescorbútico. *Acer bacccharinum*, del cual se saca en Nueva Inglaterra y el Canadá grandes cantidades de azúcar. Este árbol es alto como la encina y su diámetro es de dos a tres pies. Las incisiones no le perjudican, antes le hacen producir mucho azúcar. De veinte años para adelante está en su producción y da cada vez 6 & (sic) de azúcar.
5. **Achillea.** (*Por haber curado con ella Aquiles a Téleto*). Clase *Syngenesia*, Orden *Poligamia superflua*. Sus especies son: *Ach. ageratum*, llamada *Balsamina faemina*. *Eupatorium mesues*. Lineo la describe así: *Foliis truncatis obtusis, acutoserratis*; es antihelmíntica y sirve pa. **Obstrucciones del hígado.** *Ach. millefolium* o *Myriophillon Chalisphyllon Lumbris teneris militaris herba stratister carpentaria, Speculum veneris*. Sus hojas y flores tienen un olor agradable y aromático, su sabor es amargo, áspero y pungente. *Ach. ptarmica*. El nombre sistemático de la estornutatoria o *Puerrum silvestre, Draco silvestris, Tarchon silvestris*. **Sternutamentoria, Dracunculus pratensis.** Las flores y raíces de esta planta *Achillea foliis lanceolatis acuminatis argute serratis* tienen un gusto picante y caliente semejante al del *Pyrethrum* como también sus propiedades. Se usa como un masticatorio y estornutatorio.
6. **Achras (sapota).** De la Clase *Hexandria*, Orden *Monoegnea*, sus semillas se dan en forma de emulsión en las enfermedades calculosas; su corteza como la del *Achras mamosa* es muy astringente y se usa bajo el nombre de *cortex jamaicensis*.
7. **Aconitum** (de *a*, privación y *conis*, polvo, porque crece sin tierra). De la Clase *Poliandria*, Orden *Trigynia*. *Ac. antora, floribus pentagynis, foliorum laciniis linearibus* de Lineo; se emplea indistintamente como el *Ac. napethus foliorum laciniis linearibus superne latioribus, linea excavatis*. Esta planta se cultiva en Europa como un adorno de los jardines y se produce espontáneamente en Germania y algunas otras partes del norte de Europa. Esta planta es muy venenosa y muy particularmente su raíz. Cuando se masca tiene al principio un gusto acrimonioso, después produce insensibilidad o estupor en la lengua y un calor pungente en los labios, paladar y fauces. El jugo aplicado a una herida puede afectar todo el sistema nervioso. Los efectos de este fatal veneno son convulsiones, vahídos, locura, vómitos, evacuaciones y la muerte misma. El Dr. Stoerlz<sup>2</sup> lo aplicó el primero para los reumatismos obstinados y ha producido muy buenos efectos en

1 Se refiere a Karl Ludwig Willdenow (1765–1812) destacado botánico y micólogo alemán.

2 Ignoramos a quien se refiere con este nombre.

la gota, hinchazones escrofulosas, nudos venéreos, amaurosis, fiebres intermitentes, ulceración y cirro. Dos gramos del extracto de acónito mezclados a dos dracmas de azúcar y de esta mezcla se dan diez gramos por dosis, pero puede aumentarse después.

8. **Acorus.** (De *Corus*, pupila, por ser bueno para los ojos). De la Clase *Hexandria*, Orden *Digynia*. Cálamo aromático. *Acorus* en la num *Scapi mucrone longissimo foliaceo* de Lineo; su raíz se considera como estomacal y en polvos son buenos para la dentadura.
9. **Adansonia.** (De Adanson<sup>3</sup> que descubrió una especie de Etiopía). Clase *Polyandria*, Orden *Monadelphia*. *Ad. digitata* que es la única especie descubierta crece en la costa occidental de África, desde en Níger al Reino de Benín. Su corteza es llamada Lulo, los negros la secan a la sombra, la hacen polvos y le echan a su alimento. Es mucilaginoso y promueve la transpiración; el mucílago es un poderoso específico contra las fiebres epidémicas de aquel país, como lo es el fruto fresco y las hojas.
10. **Adiantum.** Culantrillo. (de *a.* negación y *anthium* crecer húmedo, porque sus hojas no se mojan.) Clase *Criptogamia*, Orden *Filices*. *Ad. capillus veneris*. El jarabe de Capillare se prepara de ella y sirve para los catarros. *Ad. pedatum* o *Adiantum canadense* es superior a la primera.
11. **Aegopodium.** (De *aego*, cabras y *podium*, pie). Clase *Pentandria*, Orden *Dydinamia*. *Aegp. podagraria* es sedativa y alivia la gota.
12. **Aesculus.** (De *esca*, alimento). Clase *Heptandria*, Orden *Monoginia*. *Aesc. hippocastaneum foliis septenis* de Lineo produce un fruto bueno para la hernia, su corteza se considera mejor que la quina como febrífugo y se da en la misma dosis; ha producido almidón (castaño).
13. **Aethusa.** (De *aethus*, miserable). Clase *Pentandria*, Orden *Digynia*. *Ethusa meum* (Pinillo oloroso). La raíz de esta planta se recomienda como carminativa y estomacal.
14. **Agaricus.** (De *Agaria*, una ciudad de Asia). Clase *Criptogamia*, Orden *Fungi*. Las plantas de esta especie de acercan más a la naturaleza de la mate-

ria animal que a la vegetal; son notables también por la viveza de su crecimiento y decadencia, como por la hediondez que acompaña su espontánea descomposición. Las seis siguientes especies han sido descompuestas: *Ag. campestris* que dio a Vauquelin<sup>4</sup> los constituyentes que siguen: 1° Adiposina 2° Una materia aceitosa 3° Albumen vegetal 4° Azúcar de hongos 5° Materia animal soluble en el agua y en alcohol 6° Fungina 7° Acetato de Potasa. *Ag. volutaceus* que suministró a Braconnet<sup>5</sup> fungina, gelatina, albumen vegetal, mucho fosfato de potasa, algún aceite de potasa, azúcar de hongo, una materia venenosa muy fugaz, ácido no combinado, muriato de potasa y agua; esto da 14 ingredientes. *Ag. acris* o *piperatus* que contiene según Braconnet los mismos principios que el anterior exceptuando la cera y ácido benzoico. *Ag. stipticus* que de 20 partes dio a Braconnet 1.8 de vesina y adiposina, 16.7 de fungina y 1.5 de una sustancia gelatinosa desconocida, sal de potasa y un principio fugaz acre. *Ag. bulbosus* que dio a Vauquelin una materia animal insoluble en agua y alcohol, osmazoma, una suave y gruesa materia amarilla y una sal ácida. *Ag. theologus*, en esta halló Vauquelin azúcar de hongos, osmazoma, una materia gruesa acre y amarga, una materia animal no soluble en alcohol, una sal conteniendo ácido vegetal.

Del *Ag. campestris* hay diferentes especies. *Ag. chantarelus*, estimado por los franceses como muy delicado; hervido con sal y pimienta tiene el olor y gusto de la almeja asada. *Ag. cinamomeus* u hongo negro tiene un agradable olor. *Ag. mineralis*, la leche montana o harina montana de los germanos es el más puro de los nativos carbonatos de cal, se halla en las rocas y fondos de algunos lagos, suelto y semiduro, Se usa interiormente en hemorragias, estranguria y disenterías y se aplica a úlceras viejas. *Ag. muscarius* o agárico de chinche así llamado por que los destruye; este hongo rojo es el *Agaricus stipitatus*, *Laminis dimidiatus solitarius stipite volvato* de Lineo. Haller<sup>6</sup> refiere que seis personas de Lituania perecieron a un tiempo por haber comido de ese hongo y Orfila<sup>7</sup> refiere lo mismo de cuatro soldados franceses que lo comieron a dos leguas de Polosela

3 Alude a Michel Adanson (1727–1806), botánico especialista en criptógamas y autor de un sistema de clasificación.

4 Se refiere al químico y naturalista francés Louis Nicolas Vauquelin (1763-1829).

5 Alude al químico y botánico Henry Braconnet (1780–1815).

6 Se refiere a Albrecht von Haller (1708-1777), médico y botánico suizo considerado el padre de la fisiología moderna.

7 Alude a Mateo Orfila (1787–1853), científico y toxicólogo menorquín.

en Rusia, todos ellos gangrenados. *Ag. piperatus* tan deletéreo como el anterior. *Ag. pratensis* que tiene poco olor, pero hervido comunica un sabor agradable. *Ag. violaceus* hirviéndolo mucho tiene el gusto de la ostra.

15. **Agrimonia.** (De *Agros*, campo y *monos*, sola, porque es la principal de las yerbas silvestres). Clase *Dodecandria*, Orden *Digynia*. *Ag. eupatoria foliis caulinis pinnatis foliolis undique serratis omnibus minutis interstinctis, fructibus hispidis* de Lineo. Es común en los campos y en los lugares sombríos, es un poco astringente y corroborante, es buena para las obstrucciones del hígado y para enfermedades cutáneas. Se da en infusión y en polvos hechos de sus cogollos.
16. **Agrostema.** Cizaña. (De *agros*, campo, *tema*, quin, ancla. Clase *Decandria*, Orden *Pentagynia*).
17. **Alcea.** (De *alze*, fuerza) *Malva hortense*. Clase *Monadelphina*, Orden *Polyandria*. *Alcea rosea*, las flores de este bello árbol se dice poseen virtudes astringentes y mucilaginosas.
18. **Alisma.** (De *ali*, el mar) Clase *Hexandria*, Orden *Polygamia*. *Al. plantagi aquatica*, el plátano de agua.
19. **Allium.** Ajo (De *oleo*, oler o de *alio evitur* por que hiede) Clase *Hexandria*, Orden *Monogynia*. *Alli cepa*, cebolla *Scapo nudo interne ventricosus longiore foliis teretibus* de Lineo. La cebolla es acre y estimulante y poco nutritiva; a los biliosos les produce flatos, sed, vahídos y síntomas febriles; pero a los flemáticos los estimula y les promueve las secreciones, en particular la expectoración y orina; es buena para el escorbuto y se emplea como cataplasma supurante, y puesta en el pubis de los niños, les contiene la orina. *Alii porrum*, el puerro. Todas las partes de esta planta, pero particularmente la raíz, abundan con un olor peculiar. Su jugo es diurético y se aplica en hidropesías. *Allium sativum*, *Theriaca rusticorum*, ajo. *Caule planifolio bulbifero, bulbo composito, staminibus tricuspidadis* de Lineo. El ajo crece espontáneamente en Sicilia y tiene en un grado eminente las propiedades del puerro y cebolla, cura además las intermitentes según Bergio,<sup>9</sup> su jugo es bueno para los cálculos en opinión de Lobb. La decocción de los bulbos del puerro y ajo cura los cálculos y piedra. Sidenham<sup>10</sup> lo recomienda aplicado a las plantas de los pies para causar revulsiones de la cabeza o pecho y cuando aparece la inflamación se instituye la cataplasma con una de pan y leche para aliviar el dolor, se dice también que alivia el hipo teniéndolo en la mano. *Allium victorale*, este seco se dice ser eficaz para los espasmos abdominales de las mujeres embarazadas.
20. **Aloe.** (De *ahlah*, palabra hebrea que significa crecer junto al mar) Clase *Hexandria*, Orden *Monogynia*. *Al. perfoliata*, *Aloe zocotorina*, *foliis acutis dentatis amplexicaulibus vaginantibus, floribus corymbiferis cernuis pedunculatis subcylindricis*. Esta especie es indígena de la isla de Socotora en el océano Índico; ella es de una superficie brillante y de un color rojo anaranjado; reducida a polvo es de color dorado, siendo escasa esta especie se ha sustituido con la que se produce en el Cabo de Buena Esperanza (*Aloe spicata* de Lineo) condensando el zumo de las hojas. *Aloe hepatica* vel. *Barbadensis*:
21. **Alsine.** (De *alsin*, antro, porque crece en lugares sombreados). Clase *Pentandria*, Orden *Trigynia*. *Alsine media*; hervida se come lo mismo que espinaca y sirve para las cataplasmas emolientes.
22. **Alchemilla.** (Llamada así por su celebridad entre los alquimistas). Clase *Tetrandria*, Orden *Monogynia*. *Alchemilla vulgaris foliis lobatis* de Lineo, se estimó como astringente.
23. **Althaea.** (De *althos*, curar) Clase *Monadelphia*, Orden *Polyandria*. Malvisco o *Althea officinalis foliis simplicibus tomentosis*. La materia mucilaginosa de la planta es la parte medicinal de ella, siendo emoliente y demulcente, propia para toses, catarros, desinfectas y ardor de orina.
24. **Amarantus.** (de *a* privativa y *marantos* decaer, por que dura sin marchitarse). Clase *Monoecia*, Orden *Pentandria*. *Am. oleraceus* o Amaranto esculento, sus hojas se comen como la berza o col.
25. **Ammi.** (De *ammos*, arena) Este es el xistro y hay dos especies, el *Sison ammi*, y el *Ammi majus foliis inferioribus pinnatis lanceolatis serratis, superioribus multifidis linearibus* de Lineo, sus propiedades son como las del *Sison ammi*.
26. **Amomum.** (De una palabra árabe que significa paloma por que se creyó parecerse al pie de este ani-

8 No sabemos a quien se refiere.

9 Hace referencia a Bent Bergius (1723 – 1784), naturalista sueco discípulo de Lineo.

10 Alude a Thomas Sindenham (1624 – 1784), destacado médico inglés.

- mal). Clase *Monandria*, Orden *Monogynia*. *Amomum granum paradisi*, Grana del paraíso, o los granos del Cardamomo mayor se contienen en un vaso grande moreno y triangular; los granos son angulares y de un color rojo moreno, más pequeños que los de pimienta y semejantes a los del *Cardamomum urinus*. Son cálidos y sus cualidades medicinales. Son cálidos y sus cualidades semejantes a la pimienta.
27. **Amigdalus**. Almendra; Clase *Icosandria*, Orden *Monogynia*. *Amigdalus communis* o almendro común. *Foliis serratis infimis glandulosis, floribus sessilibus geminis* de Lineo. El almendro es natural de Berbería, el mismo árbol produce dulces y amargas; sus cualidades medicinales dependen del aceite que contienen y es casi la mitad de su peso. Tiene las propiedades el aceite de olivas, pero es más agradable al paladar y preferido para el uso interno, en toses, estiptiquez y dolores metrítricos; exteriormente se usa contra retención y rigidez. Las soluciones lechosas de almendras llamadas emulsiones poseen las virtudes que el aceite y tienen la ventaja de poderse administrar en ayudas o inflamatorias sin peligro de los malos efectos que el aceite puede producir. La almendra amarga se ha creído ser venenosa para algunas especies de animales y aun para la especie humana, pero la experiencia desmiente esto último. Bergio recomienda la emulsión de almendras para las intermitentes obstinadas. *Amygdalum persica* o melocotón. Su fruto es agradable y saludable, rara vez dañando el estómago. Sus flores, incluyendo el cáliz y corola tienen usos medicinales, siendo catárticas y antihelmínticas. Una docena de flores secas o media onza de frescas dadas en infusión es la dosis regular.
28. **Amyris**. (De *á* interno, y *myris*, unguento o bálsamo). Clase *Octandria*, Orden *Monogynia*. *Amyris clemifera, foliis tenuis quinato-pinatisque, subtus tomentosus* de Lineo. Es el árbol que se supone producir la goma elemí de América; la que es más tomada cuando es más suave y blancuzca verdosa; se usa solamente en unguentos y emplastos, siendo un poderoso digestivo. *Amyris gileadensis foliis ternatis integerrimis pedunculatis unifloris lateralibus* de Lineo. Este es el *Balsamum genuinum antiquorum; balsamelaeon; aegipciacum balsamum, Asiaticum, Sirciacum. Alpini, e diceca*. Crece allí espontáneamente, el jugo del fruto es llamado carpobalsamum y el de la madera y ramas xilobalsamum, Este bálsamo es muy estimado entre los turcos, y sus virtudes tan exageradas que ellos lo consumen casi todo; parece sin embargo que es igual en todo al de Tolú, su dosis es de 15 a 50 gotas.
29. **Anacardium**. (de *ana*, sin, y *cardia*, corazón, porque la pulpa de su fruto no rodea la semilla, sino que esta se halla por fuera). Clase *Enneandria*, Orden *Monogynia*. *Anacardium occidentale*, acajou o acayaoiba, el aceite de esta fruta es un cáustico, actico, sirve también para tinta de marcar.
30. **Anchusa**. (De *anchu*, ahogar por que se decía ahogaba serpientes). Clase *Pentandria*, Orden *Monogynia*. *Anchusa officinalis* o Buglosa; *foliis lanceolatis strigosis, spicis secundis imbricatis, calycibus quinquepartitis* de Lineo. Tuvo aceptación como cordial en melancolía y hipocondría, ahora se usa poco como aperiente y refrescante. *Anchusa tinctoria* o alcance, es silvestre en Francia y se cultiva en Inglaterra; su raíz es color de púrpura y le comunica al aceite cera y trementina para lo cual es usada.
31. **Andropogon**. (De *andros* hombre, y *pogon* Oso) Clase *Poligamia*, Orden *Monoaecia*, nardo, *spica indica*. La raíz de esta planta es un ingrediente en la mithridaca y triaca, su gusto, que no es desagradable, es cálido y pungente y usado por los orientales como especia. *Andropogon schananthus*, Cálamo aromático, junco oloroso, *faenum camelorum*. Tiene un olor agradable, y se introduce a Europa como estomacal y desobstruyente.
32. **Anemone**. (De *anemos*, viento, porque sus flores no se abren sino son impelidas por él). Clase *Polyandra*, Orden *Polygamia*. *Anemona hepatica*, herba trinitatis, esta planta posee virtudes corroborantes y astringentes para lo cual se dan de alta infusiones como té, o el polvo de sus hojas en cantidad de media cucharada. *An. nemorosa* o *Ranunculus albus* de las farmacopeas. Sus hojas y flores machacadas se dice que curan la tinea capitis; los habitantes de Kauskatka envenenaban sus flechas con la raíz de esta planta. *Anem. pratensis pulsatilla nigricans – pedúnculo involucrato, petalis apice reflexis, foliis bipinnatis* de Lineo. Esta ha sido recibida en la farmacopea de Edimburgo por recomendación del Barón Stoerck<sup>11</sup> que asegura ser excelente para las enfermedades de los ojos particularmente para la gota serena o amaurosis, cataratas y opacidad de la cornea. También es buena para nudos venéreos, induración de las glándulas, supresión del mes, úlceras, caries, erupciones cutáneas, melancolía y

11 Se trata del botánico alemán Antón von Stoerck (1731 – 1803).

parálisis. Mascada su hoja es muy acre y corroe la lengua y fauces.

33. **Anethum. Anis.** (De *anen*, lejos y *teo*, correr, porque sus raíces se extienden mucho). Clase *Pentandria*, Orden *Digynia*. *Anethum saniculum*, hinojo . *fructibus ovatis* de Lineo. Sus semillas vienen sin olor aromático, su sabor es caliente y dulce y contiene mucho aceite esencial. Son estomacales y carminativos, su raíz es pectoral y diurética. *Anethum graveolens*, eneldo *fructibus compressis* de Lineo. Sus semillas tienen aceite esencial y son dadas en flatulencia, cólicos y dispepsia; promueven también la secreción de la leche.
34. **Angelica.** (Llamada así por sus muchas virtudes.) Clase *Pentandria*, Orden *Digynia*. *Angel. archangelica* o *Milzadella angelica foliorum impari lobulo* de Lineo. Esta planta es natural de Laponia y cultivada en Europa; sus raíces tienen un agradable olor y su sabor pungente y amargoso. Se usa como aromática y carminativa; una confección es hecha de su raíz, propia para el estómago, que solo es sobrepujada por la de jengibre. *Angelica sativa vel silvestris, foliis equalibus ovato-lanceolatis* de Lineo. Esta especie posee en inferior grado las mismas condiciones que la anterior. *Angelica zanami acostae*, árbol del Malabar que tiene hasta 16 pies de grueso y crece en rocas y arena. Sus hojas calientes alivian el dolor en las coyunturas e hinchazones de los testículos. El árbol que da la *Angelina cortice* es natural de Granada; es antihelmíntico.
35. **Anthemis. Manzanilla** (De *antheo*, florecer, por sus muchas flores). Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamya superflua*. *Anthemis cotula chamaemellum fetidum*, manzanilla *locu receptaculiis conicis paleis setaceis, seminibus nudis* de Lineo. Esta planta tiene un olor desagradable y las hojas sabor amargoso, acre y fuerte, tuvo uso en confecciones históricas. *Anthemis nobilis* Camomila romana, *Euanthemum* de Galeno. *Foliis pinnato compositis linearibus acutis subvillosis* de Lineo; sus hojas y flores tienen un fuerte olor y un sabor amargo u nauseoso, posee propiedades tónicas estomacales, ha sido empleada con suceso en la cura de intermitentes y fiebres nerviosas, también lo ha sido en histérico, cólicos espasmódicos y disentería, pero no es buena en diarreas según la opinión de Cullen<sup>12</sup>. Se usa también en fomentos. *Anthemis pirethrum*, *Asteranticum bupthalmum cre-*

*ticum*, *Dentaria herba salivaris, parietaria* de España o Camomila, *caulibus simplicibus unifloris decumbentibus, foliis pinnato-multifidis* de Lineo. Los antiguos romanos usaban esta planta para adobo o escabeche. Se usa en medicina como masticatorio para el dolor de muchas afecciones reumáticas de la cara y parálisis de la lengua.

36. **Anthirrinum.** (De *anti*, contra y *ris*, nariz, porque se parece a la nariz, por lo general se parece a la nariz de la ternera). Clase *Dydnamia*, Orden *Angiosperma*. *Anthirrhinum elatina*, Veronica o Betonica; sus hojas tienen un sabor amargo y ningún olor; fue antiguamente usada como escórbica. *Anthirrhinum linaria. Osaris urinaria. Foliis lanceolatis linearibus confertis caule erecto, spicis terminalibus sessilibus, floribus imbricatis* de Lineo. Sus hojas tienen un gusto amargoso y algunas veces salino y frotadas con los dedos un leve olor semejante al del saúco. Ellas son diuréticas y catárticas, usadas en la hidropesía y enfermedades que requieran fuertes evacuaciones, también se ha administrado como resolvente en ictericia y obstrucciones viscerales; pero sus mejores efectos han sido aplicada externamente en afecciones hemorroidales para lo cual hojas y flores han sido empleadas en forma de unguento, fomentaciones y emplastos. Por el descubrimiento que hizo el Dr. Wolph<sup>13</sup> del unguento le prometió el Landgrave de Hesse<sup>14</sup> un buey gordo anualmente, y de aquí se añadió el siguiente verso:

*Esula lactescit, sinlacte linaria crecit.*

Este otro:

*Esula nil nobis, sed dut linaria taurum.*

37. **Apium. Apio.** (De *apios*, dulce, o de *Apes*, oveja, por que buscan sus flores). Clase *Pentandria*, Orden *Digynia*. *Apium graveolens*, perejil de agua. *Foliolis caulinis cuneiformibus, umbellis sessilibus* de Lineo. Su raíz, granos y hojas frescas son aperientes y carminativas. *Apium petroselinum, Apium hortense*, perejil. *Foliis caulinis linearibus, involucellis munitis* de Lineo. Sus raíces son aperientes y diuréticas y han sido empleadas en dolores nefríticos y obstrucciones de orina.

12 Se refiere a William Cullen (1710 – 1790), médico y botánico defensor de la doctrina del vitalismo.

13 Se trata de Christian Wolf, filósofo y profesor de la Universidad de Halle, quien sentó las bases del sistema médico deductivo.

14 Landgrave de Hesse fue una dinastía sueca iniciada en 1246. La cita parece aludir al monarca sueco del momento.

38. **Aquilegia.** (De *acua*, agua y *lego*, recoger porque sus hojas recogen rocío). Clase *Polyandria*, Orden *Pentagynia*). *Aquilegia vulgaris*, **Columbina**, **Aquileña** o **pajarera**. Sus granos se han usado en enfermedades exantematosas y toda la planta en escorbuto.
39. **Aralia.** (De *ara*, un banco en el mar, porque ella crece en bancos litorales). Clase *Pentandria*, Orden *Pentagynia*. De las diferentes especies de este árbol las raíces del *nudicaulis* fueron llevadas de los E. U. a Inglaterra y vendidas por Zarzaparrilla.
40. **Arbutus.** Clase *Decandria*, Orden *Monogynia*. *Arbutus unedo* o *Unedo papyracea*. Una decocción de su corteza se recomienda en fiebres. *Arbutus uva ursi*, *caulibus procumbentibus foliis integerrimis* de Lineo. Es un remedio excelente en males nefríticos y calculosos.
41. **Arctium.** (De *arctios*, oso, por su aspereza). Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamia aequalis*. **Bardana**. *Arctium lappa*, **Britanica**, **Ilaphis**. *Foliis cordatis internibus petiolatis* de Lineo. Sus semillas tienen un sabor amargoso, y dadas en emulsión o polvo y en cantidad de una dracma son un diurético eficaz. Sus raíces son diuréticas, aperientes y sudoríficas y pueden darse en ayudas porque no irritan, Decocciones se han dado con suceso en reumatismos, gota y enfermedades venéreas. Dos onzas de sus raíces cocidas hasta que el agua quede en una cuarta parte añadidas dos dracmas de sulfato de potasa pueden darse por cuartas partes diariamente una de ellas.
42. **Aristolochia.** (De *aristos*, bueno y *lochia*, parto). Clase *Gynandria*, Orden *Hexandria*. *Aristolochia anguicida*, **mata culebra**. *Foliis cordatis acuminatis, caule volubili fruticoso, pedunculis solitariis, stipulatis cordatis* de Lineo. El jugo de su raíz emborracha las serpientes de una manera que pueden cogerse sin peligro; una o dos gotas son suficientes, y si se les hecha en la boca se ponen convulsiones y también sirve de antídoto para las mordeduras. *Aristolochia clematis* es usada contra la podagra o gota. *Aristolochia longa* para promover los lochios, de aquí su nombre. *Foliis cordatis, petiolatis, integerrimis, obtusiusculis, petiolatis, caule infirmo floribus solitariis*. Los antiguos le atribuyeron muchas virtudes. *Aristolochia serpentaria*, **Colubrina virginiana**, **viperina**, **contrayerba virginiana**. *Foliis cordato oblongis planis, caulibus infirmis flexuosis teretibus, floribus solitariis. Caule geniculata valde nodosa, flores ad radicam* de Lineo. Esta raíz tiene un olor aromático semejante al de la Valeriana; fue muy recomendada como contraveneno, ahora se usa como tónica, antiséptica, diaforética y estimulante. *Aristolochia trilobata. Foliis trilobis, caule volubili, floribus maximis* de Lineo. Es diurética y empleada en América contra las mordeduras de serpientes.
43. **Arnica.** (De *ars*, cordero, por la semejanza de su hoja a la lana del cordero). Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamia superflua*. *Arnica montana. Foliis ovatis integris caulinis geminis oppositis* de Linneo, *Doronicum germanicum*, **Aegrus**. El Dr. Collin<sup>15</sup> la recomienda mucho para la parálisis y como febrífuga y antiséptica, pero debe emplearse en su dosis porque produce vómitos y fatigas de estómago.
44. **Artemisia.** (Porque Artemisa la usó primero, o de Artemis, Diana). Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamia superflua*. *Artemisia abrotanum*, el **abrotano de las farmacopeas**. *Abrotanum mas*, **Adonion**, *Abrotanum foliis setaceis ramosissimis* de Lineo. Esta planta se supone estimula todo el sistema, particularmente el útero. Se usa solo en fomentos. *Artemisia absinthium*, el **absintium vulgar de las farmacopeas**. **Común lombricera**. *Absinthium ponticum* de **Discórides** y **Plinio**. *Foliis compositis multifidis floribus subglobosis pendulis, receptáculo villosa* de Lineo. Esta planta es natural de Bretaña, sus flores son más aromáticas y menos amargas que sus hojas y pueden estas considerarse como el principal de los amargos herbáceos. Bergio le atribuye las propiedades siguientes: antipútrida, antiácida, antihelmíntica, resolutive, tónica y espasmódica; estas dos últimas propiedades son más conocidas. Se aplica en fiebres intermitentes, hipocondriasis, obstrucciones del hígado y bazo, cálculos, gota, escorbuto, hidropesía y lombrices. Exteriormente se usa en fomentos antisépticos, una tintura de sus flores se emplea para lombrices. *Artemisia chinensis*, *Moxa japonica*, *Musia patrae*, una substancia suave y lanosa es preparada de esta planta en el Japón de sus hojas tiernas y secas, frotándolas entre las manos hasta que quedan las fibras finas. *Moxa* es celebrada en el Oriente para prevenir y curar muchas enfermedades, para lo cual se hace un cono pequeño de la substancia dicha; sobre la parte que se quiere humedecida se coloca y se le da fuego, luego para promoverse se coloca un ajo pequeño en la quemadura. *Artemisia glacialis* es hallada en situaciones alpinas y sus virtudes son semejantes a la *Artemisia absinthium*. *Artemisia marítima* o *Absinthium mariti-*

15 No sabemos a que personaje se refiere.

*mum. Foliis multipartitis tomentosís, racemís cernuís, flosculís femineís ternís* de Lineo. Esta especie crece en la costa del mar y en lagunas saladas, se prefiere a la *Artemisia absinthium*. *Artemisia pontica* es el *Absinthium ponticum*. *Artemisia rupestris*, sirve para el *genipi album* de las farmacopeas. *Foliis pinnatis, caulibus adscendentibus, floribus globosis cernuís, receptaculo papposo; tiene un agradable olor y se aplica en intermitentes y obstrucciones cataménicas. Artemisia santonica, Absinthium santonicum Alexandrinum, Sermentina, Scheba arabum, Lumbricorum semina, Cina, Semen contra, Semen sanctum. Granos vermífugos de Tartaria. Foliis caulínis linearibus pinnato multifídís, spicís secundís reflexís, floribus quinque floris* de Lineo. Sus semillas se llevan de Levante, son pequeñas ovales y cubiertas con una cota amarillo verdosa; destiladas son estomacales, emenagogas y antihelmínticas; la dosis es de dos dracmas para un adulto. *Artemisia vulgaris. Foliis pinnatifídís, pinnatis incísís, subtus tomentosís, racímís simplicibus recurvatis, floribus radio quinquefloro* de Lineo; esta especie ha decaído en medicina.

45. **Arum.** (De la palabra hebrea *jaron* que significa dardo, o de la griega *ara*, que equivale a injuria). Clase *Gynandria*, Orden *Polyandria*. *Arum dracunculuss, Dracuncullus polyphillus. Colubrina dracontia, Serpentaria gallorum, Erva de Sancta Maria.* La raíz y hojas de esta planta son muy acres y sus virtudes iguales a las del *Arum maculatum* descrito así por Lineo: *Acaule, foliis hastatis integerrimis, spadice clavato.* Su raíz es la parte medicinal, siendo muy acre estando fresca, mascada excita una ardiente sensación en la lengua que dura mucho; esta acrimonia es gradualmente perdida secándose y puede disiparse con la aplicación del fuego hasta dejar la raíz en un alimento blando harinoso. En este estado se ha hecho un pan saludable, y se prepara también almidón. Su cualidad medicinal debe residir por tanto en la parte volátil y el polvo de su raíz debe perder mucho de sus virtudes dentro de poco tiempo. El *Arum* es un poderoso estimulante promoviendo las secreciones, y se ha empleado con ventaja en reumatismos y afecciones de personas flemáticas y de torpes constituciones y particularmente en estómagos relajados ocasionados por la prevalencia de mucos viscosos. Su raíz puede aplicarse a los pies en delirios, y su dosis para los adultos es de una dracma.
46. **Arundo.** (Derivado de *areo* porque se seca pronto). Clase *Triandria*, Orden *Dygynia*. *Arundo bambos,*
- el bamboa. Sus renuevos se preparan en la India Oriental con ajo, pimienta, etc. en excelentes escabeches que promueven el apetito y asisten la digestión. Una sustancia llamada *Tabasheer* o *Tabachir* que es una concreción en las cavidades de la caña se estima mucho como una medicina por los orientales.
47. **Asarum.** (De *a* negativa y *sarm*, adornar, porque no era admitido en las antiguas guirlandas). Clase *Dodecandria*, Orden *Monogynia* **Asaro** o **Asarabaca.** *Asarum europeum. Nardus montana, Nardus rustica, asarabaca de las boticas. Foliis reniformibus obtusis binis* de Lineo. Sus hojas en polvo son acres y se dan como estornutatorio en cantidad de 5 gramos y siendo muy activo ha tenido buen efecto en la odontalgia, oftalmia y parálisis. Antes de importarse en Europa las *Ipecacuana*, las raíces y hojas del *Asaro* se usaban como emético, siendo la dosis de las hojas secas 20 gramos y de la raíz 10; por su violencia son inusitadas. *Asarum hypocistis*, una parásita que crece sobre las raíces del *Cistus*. Su jugo es un dulce astringente pero en desuso.
48. **Asclepias.** (Del nombre del descubiertos o de Esculapio). Clase *Pentandria*, Orden *Dygynia*. *Asclepias siriaca, Matacán,* es venenosa a los perros y a la especie humana. Hirviéndola parece destruirse el veneno en los renuevos que comidos son nutritivos y tienen sabor a espárrago. *Asclepias vinvetoxicum, Hermidianaria golondrina.* Su raíz fresca huele como la *Valeriana*, mascada tiene un sabor dulce y después acre y amargoso; se usaba para obstrucciones glandulares.
49. **Aspalathus.** (De *a*, y *span* porque sus espinas se sacan con dificultad). Clase *Diadelphía*, Orden *Decandria*. *Aspalanthus canariensis.* El árbol rosa o *lignum rodium* de los antiguos. De sus raíces se saca un aceite esencial usado como perfume, pero es un excelente cordial y carminativo. La mejor presentación es una tintura macerando la  $F^{16}$  de la madera en una pinta de aguardiente o espíritu rectificado
50. **Asparagus.** (Renuevo tierno) Clase *Hexandria*, Orden *Monogynia*. *Asparagus officinalis.* Su raíz se estima como un diurético pero se emplea principalmente como alimento aunque no es nutritivo. Un

16 Aunque esta figura no aparece en las distintas simbologías botánicas usadas en la antigüedad, parece, en el contexto, referirse a la médula.

peculiar principio vegetal ha sido hallado en esta planta nombrado asparafín.

51. **Asperula.** (Diminutivo de *asper* por la aspereza de sus semillas). Clase *Tetrandria*, Orden *Monogynia*. *Asperula odorata*. MadreSelva oficial. Esta es una planta baja umbelífera que crece en los bosques y florea en mayo. Tiene un olor agradable que se aumenta secándola moderadamente, y se comunica a los licores vinosos. Es cordial y desobstruyente.
52. **Asphodelus.** (De *aspis*, serpiente y *deilos*, temor, porque destruye el veneno de las serpientes). Clase *Hexandria*, Orden *Monogynia*. *Asphodeilus ramosus*, narciso. *Caule nudo, foliis enciformibus carinatis levibus* de Lineo. Se creyó eficaz para las úlceras sordidas.
53. **Asplenium.** (De *a*, privación y *splen*, bazo, porque suponen curar sus desórdenes). Clase *Criptogamia*, Orden *Filices*. *Asplenium ceterach*, *Scolopendria vera*. Doradilla. *Frondebis pinnatifidis, lobis alternis confluentibus obtusis* de Lineo. Esta especie de planta crece sobre rocas y antiguas murallas; tiene un sabor herbáceo, mucilaginoso y áspero; se recomienda como pectoral. En España es dada con gran suceso en desórdenes nefríticos y calculosos. *Asplenium ruta muraria*, es la ruta muraria de las farmacopeas; ha tenido alguna aceptación para las úlceras de los pulmones dada en cocimiento. *Asplenium scolopendrium*, es el scolopendrium de las farmacopeas. *Phyllitis, Lingua cervina frondibus simplicibus, cordato lingulatis integerrimis; stipitibus hirsutis* de Lineo. Crece en bancos y lugares sombríos; su gusto es suavemente astringente y mucilaginoso, frotada fresca tiene un olor desagradable; ella es una de las cinco yerbas capilares; fue primero usada para fortalecer las vísceras, restañar las hemorragias y flujos alvinos<sup>17</sup> y destruir las obstrucciones del hígado y del bazo. *Asplenium trichomanes, culantrillo. Frondebis pinnatis, pinnis subrotundatis, crenatis* de Lineo. Sus hojas tienen un sabor subastringente, dulce y mucilaginoso, sin olor particular. Son pectorales y abren las obstrucciones de las vísceras.
54. **Astragalus.** (De *astragalos*, ostra o dado, porque su forma es semejante al dado que se usó en los antiguos juegos). Clase *Diadelphia*, Orden *Decandria*. *Astragalus excapus*, Alverjana lechosa, *Leguminibus lunnatis, foliis villosis* de Linneo. Se dice curar la sífilis, confirmado especialmente en forma de nudos y dolores nocturnos. *Astragalus venus, Tragacantha. Spinu hirti*. Olivier, un viajero francés hizo el descubrimiento de la goma tragacantha del comercio; su descripción es diferente de la que hace Lineo del *Astragalus tragacantha*, y del *Astragalus gummifera* de Lubillardier. Ella crece en el norte de Persia y no se disuelve, pero se ablanda en el agua. Sus cualidades demulcentes son semejantes a las de la goma arábica.
55. **Athamanta.** (De *Athaman* en Tesalia). Clase *Pentandria*, Orden *Digynia*. *Atamantha cretencis*, Zana-horia de Candia. *Mirrhus anua. Foliolis linearibus planis, hirsutus, petalis bipartitus, seminibus oblongis hirsutis* de Lineo. Sus semillas y aun toda la planta se usó antiguamente en medicina y obtuvo el nombre indicado. Sus semillas son carminativas y diuréticas en enfermedades de la primera vía y pasajes urinarios. *Atamantha oreoselinum*, Perejil negro de monte. *Foliolis divaricatis* de Linneo. Esta especie se creyó tan medicinal que la nombraron Polycresta. El aceite obtenido por destilación se reputa bueno para las muelas y toda la planta como antiescorbútica y corroborante.
56. **Atriplex.** (Por su color oscuro llamado por esto *Atrum olus*) Clase *Poligamia*, Orden *Monoecia*. *Atriplex sativa*, Armuello. Orzaga, Marisma. *Caule erecto herbaceo, foliis triangularibus* de Lineo. Se creyó antiescorbútica, pero ha decaído.
57. **Atropa.** (De *Atropos*, una parca, por sus fatales efectos). Clase *Pentandria*, Orden *Monogynia*. *Atropa belladonna, Solanum melonocerasus, Solanum lethale. Caule herbaceo, foliis ovatis integris* de Lineo. Esta planta se ha conocido hace mucho tiempo como un poderoso veneno narcótico, y sus bayas han suministrado ejemplos de fatales efectos, particularmente en niños que la han comido. Su actividad depende de un principio peculiar llamado atropia. Sus hojas se usaron exteriormente en sarros y caneros y por sus buenos efectos se animaron los físicos a aplicarlas interiormente para lo mismo, y mil ejemplos prueban su eficacia. Su dosis debe ser pequeña al principio y se aumenta poco a poco; 5 gramos disminuyen la vista y causan vértigos. *Atropa mandrágora. La radiz mandragorae* de las farmacopeas. Hervida y en forma de emplasto disuelve tumores indolentes.
58. **Avena.** (De *aveo*, desear con ansia, porque así la buscan los ganados). Clase *Triandria*, Orden *Digy-*

17 Se daba el nombre de flujos alvinos (*alvi fluxi*) a las cámaras, diarreas o desconcierto.

*nia. Avena sativa*, hay de dos especies, negra y blanca, pero de iguales virtudes; son menos farináceas y nutritivas que el trigo y arroz, pero en Escocia, Alemania y Noruega forman el pan común. En calenturas inflamaciones, toces y ulceración de las fauces, se da como remedio y alimento.

59. **Avicennia.** (Del nombre del célebre Avicena). Clase *Dydimamia*, Orden *Angiospermia*. *Avicennia tomentosa*. *Foliis cordato-ovatis subtus tomentos* de Lineo. Esta suministra la baya de Malaca o *Anacardium orientale* ahora en desuso.
60. **Azalea.** (De azaleos, seco, porque crece en tierra seca). Clase *Pentandria*, Orden *Monogynia*. *Azalea pontica*.

## B

61. **Bellis.** (Por su bello color). Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamia superflua*. *Bellis perennis*, Margarita, Maya. *Scapo nudo* de Lineo. Aunque sus hojas y flores son acres, se dice que curan las heridas; no se usa por los cirujanos modernos.
62. **Berberis.** (Silvestre). Clase *Hexandria*, Orden *Monogynia*. *Berberis vulgaris*. *Oxycantha galeni*, *spina acida*, . *Crespinus*. *Pedunculis racemosis*, *spinis triplicibus* de Lineo. Este árbol es natural de Inglaterra. Su fruto o bayas que tienen un ácido agradable y algo astringente son de mucho uso en flujos biliosos y cuando el calor, la acrimonia y corrupción prevalecen en los humores. Los filamentos de este arbusto poseen una notable irritabilidad porque siendo tocados en su base con la punta de un alfiler, una repentina contracción se produce que puede repetirse.
63. **Beta.** Acelga (Del nombre del Betis en España, de donde es indígena, o de su figura semejante a la Beta griega). Clase *Pentandria*, Orden *Digynia*. *Beta hybrida*. Su raíz contiene mucho azúcar y es muy nutritiva. Aplicada exteriormente cura las úlceras. *Beta vulgaris*. *Floribus congestis* de Lineo. Su raíz la comen los franceses, es nutritiva y antiescorbútica, con vinagre forma una buena ensalada y contiene mucho azúcar, y después que su jugo es exprimido se hace de ella una buena cerveza. Sirve para colorear el clarete.
64. **Betonica.** (De *Vetones*, un antiguo pueblo de España). Clase *Didynamia*, Orden *Gymnospermia*. *Betonica officinalis*, *Betonica purpurea*. *Betonica vulgaris*, *Cestrum*. *Vetonica cordi*. *Spica interrupta*, *corollarum lobii lacinia intermedia emarginata* de Lineo. Las hojas y cogollos de esta planta tienen un olor débil y agradable. Su sabor un poco astringente y amargo. Sus hojas sirven como estornutatorio y se fuman como tabaco. Sus raíces difieren mucho en cualidad de las otras partes de la planta; son eméticas y purgantes, pero fuertemente aun en pequeñas dosis, y tienen algo de común con las del Heleboro. Antonio Musa, médico de Augusto llenó un volumen enumerando sus virtudes, y la aplicaba a 47 clases de enfermedades. De aquí el adagio italiano: Tiene usted más virtudes que la Betónica.
65. **Betula.** Clase *Monoecia*, Orden *Tetrandria*. Aliso y abedul. *Betula alba*. *Foliis ovatis acuminatis, serratis* de Lineo. El jugo, hojas y corteza han sido empleadas en medicina, Si se pica el árbol en la primavera sale gradualmente un jugo claro, acuoso y dulce y produce un árbol solo de uno a dos galones por día. Este jugo es antiescorbútico, desobstruyente y diurético; fermentado con un poco de pasas da un licor fuerte de mucha duración. Las hojas y corteza se usan exteriormente como resolventes, detergentes y antisépticas. *Betula alnus*, el aliso común o *alnus* de las farmacopeas.
66. **Bixa.** Clase *Polyandria*, Orden *Monogynia*. *Bixa orleana*, esta planta que da la tierra orleana o anotto de las farmacopeas; esta sustancia es una masa cerosa obtenida de las películas de las semillas. En Jamaica es considerada como un útil remedio en disentería; en Europa solo sirve para dar color al queso y algunas otras cosas.
67. **Boletus.** (De *bolos*, masa o *boletis*, globular). Clase *Criptogamia*, Orden *Fungi*. *Yesca*. *Boletus ignarius*, *Agaricus chirungorum*, *Agaricus quercus*, *Fungus ignarius*, *Agárico hembra*. *Acaulis pulvinatus laevis*, *poris tenuissimis* de Lineo. Ha sido muy usado por los cirujanos como estíptico externo, pero ni hay ahora confianza en él. *Boletus laricis*, el agárico blanco oficial que da sobre alerces en Europa y se administra contra la Ptisis. *Boletus suaveolens* es el *fungus salicis* de las farmacopeas. *Acaule superne laevis salicibus* de Lineo; fresco huele a orines y tiene un sabor amargo y ácido.
68. **Borago.** (Antes *Corago*, de *Cor*, el corazón, y *ago*, afectar, porque lo conforta). Clase *Pentandria*, Orden *Monogynia*. *Borago officinalis*, *Borraja*, *Carra*, *Buglossum verum*, *Buglossum latifolium*, *Borago hortensis*, *Foliis omnibus alternis*, *calycibus patentibus* de Lineo. Se usa como refrigerante y cordial;

de sus hojas se prepara un jarabe para pleuresías y fiebres inflamatorias. En Inglaterra hacen de ella la agradable bebida llamada "cool tankard".

69. **Brassica.** (De *Bratto*, devorar porque es comida pronto de los animales). Clase *Tetradynamia*, Orden *Siliquosa*. **Berza**, Col. *Brassica capitata*, Col. Hay diferentes variedades de col; todas son generalmente de digestión difícil y suministran muy poco alimento, más sus inconveniencias no son para los estómagos fuertes y acostumbrados a comerlas. Se corrompen prontamente y deben usarse luego de que se corten. En Holanda y Alemania las preservan dividiéndolas y regándoles sal y algunas plantas aromáticas; luego se cierran apretadas en un tubo y se dejan fermentar, lo que es llamado sour crout o saber kraut. Todas las ensaladas de col se consideran como saludables y antiescorbúticas. *Brassica conglylodes*, col o nabo, *Brassica cumana*, col roja, *Brassica eruca*, *Brassica cruceastrum*, *Eruca silvestris*. La planta que produce el *semen cruceae*. *Brassica foliis lyartidis caule hirsuto, siliquis glabris* de Lineo. Las semillas de esta planta tienen un sabor acre y las comen los Italianos en salsa. Se dice ser aperientes, antiescorbúticas y afrodisíacas. *Brassica florida*, coliflor, *Brassica napus*, la planta de que el *semen napi* es obtenido. Sus semillas dan un aceite bueno para linimentos estimulantes. *Brassica napa*, *Rapum napa*, *Napus dulcis*, Nabo. Se considera como un alimento sumo, demulcente, detergente y diurético pero para los estómagos débiles es de difícil digestión y produce flatulencias. Hervido da un licor bueno para constipaciones. Sus semillas son diuréticas. *Brassica rubra*, es un reactivo para distinguir los ácidos y álcalis, siendo naturalmente azul, tornándose verde con álcalis y roja con ácidos.
70. **Bromelia.** (En honor de Olav Bromel<sup>18</sup>, un autor sueco). Clase *Hexandria*, Orden *Monogynia*. *Bromelia ananas*, Piña. *Foliis ciliato spinosis mucronatis spica comosa* de Lineo. Se da en fiebres como refrigerante. *Bromelia karatas*. La planta que produce el fruto llamado penguin que se da en América contra las fiebres disenterías &. Ella crece apiñada, y cada una es del grueso del dedo, conteniendo una sustancia blanca pulposa que es lo que se come. Madura huele a piña, y se hace de ella un vino que emborracha mucho. Piñuela.
71. **Bromus.** (De *Broma*, alimento). Clase *Triandrya*, Orden *Digynia*. *Bromus sterilis*, avena silvestre.
72. **Brucea.** (En honor a Bruce<sup>19</sup> que llevó a Inglaterra sus semillas de Abisinia). Clase *Dioecia*, Orden *Tetrandria*.
73. **Bryonia.** Nueza (De *brio*, abundancia). Clase *Dioecia*, Orden *Singenesia*. *Brionia alba*. *Agrostis*, **Ampelo sagria**, *Archeostris*, *Cherlidonium Ophros taphilum*, *Psilotrum*. *Foliis palmatis utrinque callosa scabris* de Lineo. Esta planta es muy común en bosques y cercas, su raíz tiene un gusto nauseoso y picante y un olor muy desagradable. Bergio atribuye a esta raíz las siguientes virtudes: purgante, hídrica, emenagoga y diurética; fresca es emética; este catártico irritante y poderoso evacuando humores cerosos debe ser muy útil en las hidropesías, aunque rara vez se prescribe por los físicos. Se citan ejemplos de sus buenos efectos en asma, manía y epilepsia. En polvo y desde  $\frac{2}{j}$  a  $3\frac{20}{j}$ , es un fuerte purgante y el jugo que da la planta espontáneamente produce los mismos efectos con más suavidad en dosis de una cucharada. Un extracto preparado con agua obra más dulcemente que la raíz en sustancia, y se da desde media a una dracma. Una cucharada de su jugo exprimido obra violentamente por arriba y abajo; la raíz fresca se emplea en cataplasmas como solvente y discuyente, también en ischiadica y otras afecciones reumáticas.
74. **Bubon.** (De *bubon*, ingle, o un tumor a que está expuesta aquella parte). Clase *Pentandria*, Orden *Digynia*. *Bubon galbanum*, nombre de la planta que da el Gálbanum oficial; Albetad, Chalbane, Gesón. La planta es también nombrada Africana, *Oreoselinum africanum*, *Anisum fruticosum galbaniferum*, *Anisum africanum fructicescens*, **Ayborzat**, *foliis rombeis dentatis striatis glabris umbellis paucis* de Lineo. Galbanum es el jugo gomoresinoso obtenido por la exudación espontánea del tallo, pero con más abundancia haciendo una incisión en el tronco, cerca de la raíz. El galbanum viene de Turquía y las Indias orientales; tiene un fuerte y desagradable olor y un sabor acre, cálido y amargo. Considerado medicinalmente tiene un rango medio entre asafétida y amoniaco, pero su fetidez es muy considerable, comparado con la primera, es menos antiespasmó-

18 Se trata de Olof Bromelius (1634 - 1705), médico, botánico y farmacéuta, a quien está dedicada la familia de las Bromeliaceae.

19 No sabemos con certeza a quien menciona.

20 Estas abreviaturas se usaban para señalar medidas en farmacopea y se refieren a los escrúpulos y sus fracciones.

dico que la asafétida y menos expectorante que el amoniaco; pero en el histérico se considera superior a ambos. Exteriormente se aplica para desvanecer tumores indolentes o para facilitar más bien la supuración. *Bubon macedonicum*, es la planta que suministra el *Semen petroselinum*, *Apium petraeum*, *Petrapium* o perejil de Macedonia. Esta planta es en su calidad semejante al perejil común pero más débil y menos agradable; sus semillas entran en la preparación de la trica y metridaca.

75. **Bunium.** (De *bounos*, collado pequeño por lo tuberoso de su raíz). Clase *Pentandria*, Orden *Digynia*. Criadilla de tierra, Nuez de tierra. *Bunium bulvocosstanum*, Nuez de tierra, Criadilla de tierra. Su raíz es tan grande como una nuez moscada, dura y blanda; es comida asada o cruda; es dulce y nutritiva y se usa contra stranguria y orina de sangre.
76. **Bupleurum.** (De *Bou*, largo y *pleuron*, costilla, porque los filamentos de sus hojas tiene semejanza a las costillas). Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamia superflua*. *Bupleuron rotundifolium* es la perfoliata de algunas farmacopeas, Oreja de liebre. Esta planta se usaba para curar fracturas, mezclada con harina y vino en forma de emplasto.
77. **Buxus. Box.** Clase *Monoecia*, Orden *Triandria*. *Buxus sempervirens*. En el pueblo se aplican sus hojas en cocimiento para hidropesía, asma y lombrices. Sus hojas tiene un sabor fuerte, nauseoso y amargo y se consideran como aperientes.

### C

78. **Cachris.** Clase *Pentandria*, Orden *Digynia*. *Chacris odontalgica*, su raíz puede substituir al *pyretrum* en el dolor de muelas.
79. **Cactus.** (De *Kaktos*, nombre dado a esta planta por Teofrasto). Clase *Icosandria*, Orden *Monogynia*. Cactus opuntia, el nombre de la opuntia de las farmacopeas; cardón, cabezudo. Las espinosas hojas de esta planta abundan de mucílago y se estiman como emolientes en cataplasmas.
80. **Caesalpinia.** (En honor de Caesalpino, primer médico de Clemente 8°). Clase *Decandria*, Orden *Monogynia*. *Caesalpinia crista*. El árbol de Brasil de Sur América, Isla de Francia y Japón.
81. **Calamus.** (De *Kalam*, voz árabe que significa tallo). Clase *Hexandria*, Orden *Monogynia*. *Calamus ra-*

*tang*, el nombre de la planta que produce la sangre de dragón. *Cinabaris graecorum*, *Dracontae nabaris graeconthaema*, **Asegen, Asegón.** *Caudice densissime aculeato, aculeis erectis, spadice erecto.* *Petrocarpus draco* y *Dracaena draco* también suministran esta resina. Ella viene de las Molucas, Java y otras partes de las Indias Orientales; la mejor especie es de un rojo oscuro, que pulverizada muda en carmesí; es insoluble en agua pero muy soluble en alcohol. Se derrite fácilmente y arroja llama; no tiene olor, pero al gusto descubre calor y pungencia. Los griegos conocían la astringencia de esta droga y después se aplicó en hemorragias y flujos alvinos. Ahora se usa interiormente.

82. **Calendula.** (Porque florece cada mes). Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamia necessaria*. *Calendula officinalis*, *Chrysanthemum*, *Spensa salis*, *Caltha vulgaris*, *Seminibus cymbiformibus, muricatis incurvatis omnibus* de Lineo. Esta planta se aplica medicinalmente; las flores como aperientes en obstrucciones uterinas y enfermedades ictéricas. Como diaforéticas en fiebres exantematosas, y las hojas como dulces aperientes para promover las secreciones en general.
83. **Callicoea.** Clase *Pentandria*, Orden *Monogynia*. *Callicoea ipecacuanha*. La planta que produce la ipecacuanha fue largo tiempo desconocida; se creyó ser la *Psychotria emetica*, Clase *Pentandria*, Orden *Monogynia*, también la *Viola ipecacuanha*, Clase *Syngenesia*, Orden *Monogynia*. Ahora se asegura ser la pequeña planta indicada arriba. Hay tres especies de *ipecacuanha*, la gris, la oscura y las blanca. Se prefiere la primera en medicina porque la oscura produce violentos efectos, y la blanca muy débiles en iguales dosis. La ipecacuanha es el emético más seguro de todos los conocidos y tiene la ventaja peculiar de que si no produce vómito, es pungente pasando prontamente por los otros emenatorios. Se juzgó ser un infalible remedio contra disenterías y otros flujos inveterados como diarrea, menorragia, leucorrea, & y también en enfermedades que provienen de antiguas obstrucciones. La ipecacuanha conserva aun su preparación y se emplea también con suceso en asma espasmódica, catarros y consumpción. Su principal uso es como vomitivo, y en pequeñas dosis mezclada con opio como diaforético. Sus preparaciones oficiales son; *pulvis ipecacuanha compositus* y *vinum ipecacuanha*.
84. **Caltha.** (De *Kaltha*, corrompido de Chalcha, amarillo). Clase *Polyandria*, Orden *Polyginia*. *Caltha arvensis*, *Calendula arvensis*. La caléndula silvestre es

preferida a la de Turquía; su jugo se da de  $\frac{3}{j}$  a  $\frac{3}{jiii}$ , en ictericia y caqueticia y sus hojas se recomiendan para niños de humores escrofulosos en ensaladas. *Caltha palustris*, Populago. Caléndula común. Se dice ser cáustica y deletérea, pero es cuestionable. Los pimpollos de esta planta sustituyen bien el adobo a las alcaparras.

85. **Campanula.** Clase *Pentandria*, Orden *Monogynia*. *Campanula tracheleum*, Cervicaria. Se recomienda en inflamaciones de garganta y boca.
86. **Camphorosma.** (De *Camphor*, alcanfor, y *osma*, olor). Clase *Tetrandria*, Orden *Monogynia*. *Camphorosma monspelliensis* es la *Camphorata hirsuta*. *Foliis hirsutis linearibus* de Lineo. Esta planta tomó su nombre por su olor de alcanfor; rara vez se aplica ahora pero antes se daba en cocimiento en hidropesía y asma.
87. **Canella.** (Diminutivo de *Caana* que significa caña). Clase *Dodecandria*, Orden *Monogynia*. *Canella alba*, véase *Winteria aromatica*. *Canella maburica*: véase *Laurus cassia*.
88. **Cannabis.** (De *Kanah*, voz árabe que significa segar). Clase *Dioecia*, Orden *Pentandria*. *Cannavis sativa*, cáñamo. Tiene un olor narcótico. Los efluvios de esta yerba fresca afectan la cabeza y los ojos, y el agua donde ha sido la planta empapada es un veneno repentino. Sus semillas frescas dan mucho aceite y decocciones y emulsiones de ellas se recomiendan en toces, ardor de orina &.
89. **Capparis.** Alcaparra. Clase *Polyandria*, Orden *Monogynia*. *Capparis spinosa*, Alcaparra. *Pedunculis solitariis unifloris, stipulis spinosis, foliis annuis, capsulis ovatis* de Lineo. La flor en botón de esta planta se usa en adobo y posee propiedades anti-escorbúticas; la corteza de la raíz se reputó como desobstruyente.
90. **Capsicum.** (De *Capso*, morder). Clase *Pentandria*, Orden *Monogynia*. *Capsicum annum*, Pimiento de Cayena. *Piper indicum*, Lada chilli, Capo mollago, *Solanum urens*, *Piper lusitanicum*. *Caule herbaceo, peduncullis solitariis* de Lineo. La pimienta es usada como condimento y previene la flatulencia del alimento vegetal, y da calor de estómago poseyendo todas las virtudes de las especias orientales sin producir los males de cabeza que estas ocasionan, pero abusando de ella, origina obstrucciones viscerales especialmente del hígado. Considerada me-

dianamente, ella suministra uno de los más fuertes y quizá el más puro estimulante, muy útil en casos de gota y parálisis. El Dr. Adain<sup>21</sup> que la introdujo en la medicina la aplicó en la caquetsia africana. El Dr. Wright<sup>22</sup> dice que es buena en hidropesías como adicional a los catybeates cuando estos son indicados y que también es útil en afecciones letárgicas. También ha producido buen efecto en la cynancha maligna de las Indias Occidentales, que se ha resistido a la quina y otros remedios. En las fiebres de los trópicos acompañadas de sueño y delirios se han empleado también cataplasmas de pimienta. En oftalmia de relajación el jugo de pimienta ha sido muy útil. El Dr. Adair da de seis a ocho granos por dosis en píldoras o en una tintura de una onza de pimienta con una libra de alcohol y de ella de una a dos dracmas diluidas con agua suficiente.

91. **Cardamine.** (De *cardia*, el corazón, porque obra como cordial). Clase *Tetradymia*, Orden *Siliquosa*. *Cardamine pratensis*, Cardamantica, *Nasturium aquaticum*; *Cauli flos, Iberis sophia. Foliis pinnatis, foliolis radicalibus subrotundis, caulinis lanceolatis* de Lineo. La flor tiene un lugar en la materia médica sobre la autoridad de George Baker<sup>23</sup> que ha publicado cinco casos, dos de los cuales en Chorea Sancti Viti, uno en asma espasmódica, uno de hemiplegia y uno en afecciones de las piernas, donde las flores cardaminas han sido empleadas con suceso.
92. **Carduus.** (De *Carere*, siendo propios para cardar lana). Cardo; Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamia aequalis*. *Cardus marianus* o *Carduus mariae Fiti-malo. Foliis amplexicaulibus, hastato-pinnatifidis, spinosis, calycibus aphillis spinis calicibus duplicato spinosis* de Lineo. Esta planta y sus semillas son medicinales; las últimas contienen un aceite amargo y se recomiendan como relajantes; el jugo de la hoja es útil en hidropesías en dosis de 4 onzas, las hojas hervidas son mejores que la col más delicada y se reputan como diuréticas.
93. **Carex.** (Porque su aspereza sirve para cardar) Lirio espadañal. Clase *Monoecia*, Orden *Triandria*. *Carex arenaria*. El nombre oficial de la zarzapa-

21 Ignoramos a quien alude. Por el contexto se trata de un médico, autor de varios trabajos.

22 Alude a William Wright (1735–1819), médico y botánico escocés, autor de numerosos artículos de medicina y de más de 760 especies la mayoría recolectadas en Jamaica.

23 Sir George Baker (1776–1845) fue un naturalista destacado, miembro del Real Colegio de Médicos de Inglaterra, entidad a la que presidió.

rrilla germánica que crece en las costas. Su raíz es medicinal en afecciones mucosas de la tr+aquea y en gota y reumatismo.

*Carica papaya*. El papayo natural de ambas Indias. De su jugo se extrae una materia exactamente semejante a la carne o fibra animal, y de aquí llamada fibra vegetal.

94. **Carlina.** (De *Carolus* porque se dijo que un ángel se la enseñó a Carlo Magno y con ella libró a su ejército de la peste). Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamia aequalis*. *Carlina acaulis*, *Chamaeleon album*, *Cardopatium*. **Cardo de estrella.** *Caule unifloro, flore brevior* de Lineo. La raíz de esta planta es amarga y se dice poseer virtudes diaforéticas y antihelmínticas. Es elogiada para curas de enfermedades crónicas agudas y malignas; también para piedras y tiricia. *Carlina gummifera*, *Carlina pinea*, **Ixina**, **Cardo piña**, *Atractilis gummifera* de Linneo. Su raíz da un jugo lechoso y viscoso que se concreta en náuseas semejante a cera, al principio es un masticatorio.

() **Carlo santo radix.** Se produce en la provincia de Mechoacán y la corteza de esta raíz es sudorífica.

95. **Carthamus.** (De *karthamo*, purgar). Clase *Syngenesia*, Orden *Polygamia aequalis*. *Carthamus tinctoria*,

*rius*, **azafrán bastardo**, *Cnicus*, *Crocus saracanicus*, *Carthamus officinarum*, *Carduus sativus*. *Folii ovatis integris, serrato aculeatis* de Lineo. Sus semillas mondadas se han reputado como un suave catártico en dosis de una a dos dracmas, también se tienen como diuréticas y expectorantes. Esta planta se cultiva y sus flores se emplean como tinte.

96. **Carum.** (Karus, de Caria, provincia de Asia) **Alcaravea**, Clase *Pentandria*, Orden *Monogynia*. *Carum carvi*, *carvi*, *Cuminum pratense*, *Carus carnion*. Sus semillas sin bien conocidas ser una agradable especia por su olor y gusto aromáticos y son usadas para varios objetos económicos. Se recomiendan como carminativos, cordiales y estomacales y propios en dispepsia, flatulencias y otros síntomas de histeria e hipocondría. Un aceite esencial se saca de ellas.

97. **Cassia.** (De la voz árabe *Katsia*, romper). Clase *Dicandria*, Orden *Monogynia*. *Cassia fistula*, *Cassia nigra*, *Cassia fistularis*, **Alexandrina**, **Caiarxambar**, **Canna**, *Cassia solutiva*, **Flai xiem**, **cañafistola**. *Folii quinquejugatis ovatis acuminatis glabris, petiolis eglandulatis* de Lineo. Es producción de ambas Indias.

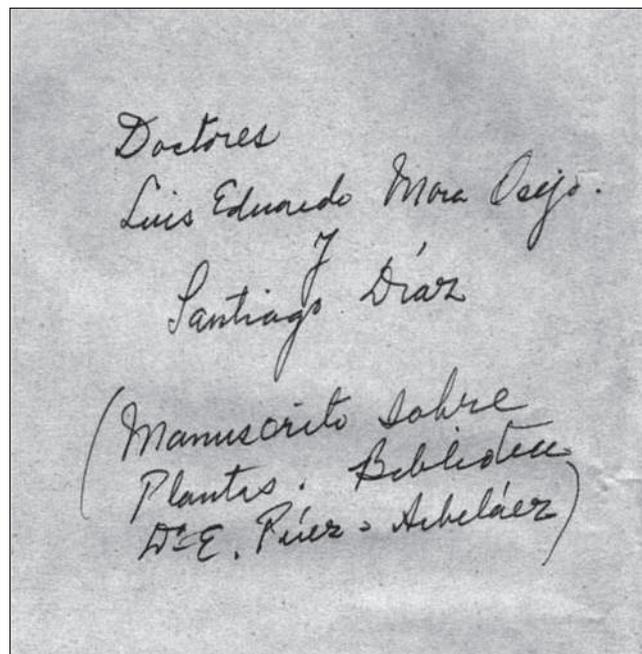


Figura 1. Rótulo del sobre que guardaba el manuscrito.

