

**INTROPICA** 



# INTROPICA



---

*Publicación seriada*  
*Volumen 12, No. 2, julio - diciembre 2017*  
*ISSN PRINT: 1794-161X / ISSN WEB: 2389-7864*  
*Santa Marta - Colombia*

---

# INTROPICA

Volumen 12 N° 2, julio – diciembre 2017 / ISSN PRINT: 1794-161X / ISSN WEB: 2389-7864

## EDITOR

Saeko I. Gaitán Ibarra. – Universidad del Magdalena, Colombia

## COMITÉ EDITORIAL

Luis M. Manjarrés Ph.D. – Universidad del Magdalena, Colombia  
Gladys Reinoso Flórez M.Sc. – Universidad del Tolima, Colombia  
Ivonne Bejarano Ph.D. – National Oceanic and Atmospheric Administration, Estados Unidos  
Ernesto Otero Ph.D. – Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico  
Fernando Alzate Ph.D. – Universidad de Antioquia, Colombia  
Jairo Altamar Ph.D. (c) – Universidad del Magdalena, Colombia  
Rosa Cerros Tlatilpa Ph.D. – Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México  
Diego Giraldo Cañas Ph.D. – Universidad Nacional de Colombia, Colombia  
Jose Carmelo Murillo Ph.D. – Universidad Nacional de Colombia, Colombia  
Cesar Enrique Tamaris Turizo Ph.D. (c) – Universidad del Magdalena, Colombia  
Andrés M. Vélez-Pereira Ph.D. (c) – Universidad Autónoma de Barcelona, España  
Francisco José Guerrero Bolaño Ph.D. (c) – Oregon State University, Estados Unidos  
Víctor Macías Ph.D. – Universidad del Magdalena, Colombia  
Carlos Arturo Iregui Castro Ph.D. – Universidad Nacional de Colombia, Colombia  
Pablo E. Gutiérrez-Fonseca Ph.D. – University of Puerto Rico Rio Piedras, Puerto Rico

## COMITÉ CIENTÍFICO

Reinhard Schnetter Dr. Rer. Nat. – Universidad de Giessen, Alemania  
Rocío García Urueña Ph.D. – Universidad del Magdalena, Colombia  
José Ernesto Mancera Ph.D. – Universidad Nacional de Colombia, Colombia  
Sergio Losada Prado Ph.D. – Universidad del Tolima, Colombia  
Jorge Higinio Maldonado Ph.D. – Universidad de Los Andes, Colombia  
Gabriel Rodolfo Navas Suárez Ph.D. – Universidad de Cartagena, Colombia  
María A. Negritto Dr. Ciencias Biológicas – Universidad del Magdalena, Colombia  
Karim Erzini Ph.D. – Universidade Do Algarve, Portugal  
Juan Carlos Gutiérrez Estrada Ph.D. – Universidad de Huelva, España  
Mónica Lugo Dr. Ciencias Biológicas, – Universidad Nacional de San Luis, Argentina  
Rafael García Ph.D. – Universidad del Magdalena, Colombia

## ASISTENTE EDITORIAL

Ana Milena Lagos Tobias – Universidad del Magdalena, Colombia

## CORRECTOR DE ESTILO

Gran Caribe, Pensamiento, Cultura, Literatura, Colombia

## DISEÑADOR GRAFICO

Andrés Felipe Moreno Toro – Universidad del Magdalena, Colombia

## ENTIDAD EDITORA

Universidad del Magdalena, Santa Marta – Colombia

## TEMATICAS

INTROPICA publica artículos originales, artículos de revisión, reflexión y notas científicas. Está dirigida a investigadores en ciencias naturales y ambientales, incluyendo las disciplinas de Biología, Pesquerías, Agronomía, Etnobiología, Economía de recursos naturales, Ecología y afines.

## OBJETIVO

INTROPICA provee un espacio para la publicación de contribuciones que estudien e interpreten de manera integrada los ecosistemas tropicales así como los problemas ambientales derivados de la intervención antropogénica sobre el territorio.

## NORMA DE CITACIÓN

INTROPICA utiliza el sistema Harvard de citación.

## BASE DE DIVULGACIÓN Y DIRECTORIOS

Reconocida por Publindex – Colciencias



Revista registrada en las bases de datos: ASFA, Dialnet, Latindex, UlrichsWeb, REDIB, BASE, Actualidad Iberoamericana, PERIÓDICA, SHERPA/RoMEO, CiteFactor, INFOBASE, OAJI, ERIHPLUS, C.I.R.C. y MIAR.



#### FORMA DE ADQUISICIÓN

La revista es de acceso abierto y se puede acceder a ella de manera gratuita, a través de la página <http://intropica.unimagdalena.edu.co>. En formato papel se puede solicitar a través del correo electrónico [revistaintropica@unimagdalena.edu.co](mailto:revistaintropica@unimagdalena.edu.co) o a la siguiente dirección: Cra 32 N° 22-08. Universidad del Magdalena. Bloque 8 segundo piso. Editorial de la Universidad del Magdalena, Santa Marta – Magdalena. Colombia. PBX (57-5) 4217940 EXT. 1888.

#### PERIODICIDAD

INTROPICA se publica con una frecuencia semestral y circula a nivel nacional e internacional.

#### DERECHOS DE AUTOR



INTROPICA se encuentra bajo licencia Creative Commons 4.0 de Colombia: Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual. Se autoriza la reproducción parcial o total siempre y cuando se cite la fuente. El contenido de los artículos publicados en *Intropica* es responsabilidad exclusiva de los autores.

#### SERVICIO DE CANJE

Carrera 32 N° 22 – 08.  
Bloque 8 segundo piso. Editorial de la Universidad del Magdalena  
Código Postal No. 470004  
Apartado Postal 2-1-21630  
[revistaintropica@unimagdalena.edu.co](mailto:revistaintropica@unimagdalena.edu.co)  
[revistaintropica@gmail.com](mailto:revistaintropica@gmail.com)

#### FOTOGRAFÍAS PORTADA

*Rhizophora mangle* estuario del río Ranchería, Geomar Molina-Bolívar, Iris Augustina Jiménez-Pitre y Mario Nava  
*Nasutitermes nigriceps*, Paula Andrea Sepúlveda Cano  
*Mollusca*, Geomar Molina-Bolívar  
*Pachygrapsus transversus*, Pedro R. Dueñas Ramírez



## **EVALUADORES**

**Angel De Souza**  
Universidad de Granma, Cuba.

**Daniel Giovanni Pérez Ferro**  
Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia.

**Edison Parra García**  
Universidad de Antioquia, Colombia.

**Francisco Cristóbal Yepes**  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

**Jean Linero Cueto**  
Universidad del Magdalena, Colombia.

**Jhony Benavides**  
Universidad del Valle, Colombia.

**Jorge A. Quirós-Rodríguez**  
Universidad de Córdoba, Colombia.

**Luis Alfonso Vidal**  
Universidad del Magdalena, Colombia.

**Luz Miryam Gómez Piñerez**  
Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, Colombia.

**María Lujan Bustos**  
Universidad Nacional del Sur, Argentina.

**Nataly de la Pava Suárez**  
Universidad del Magdalena, Colombia.

**Neis José Martínez Hernández**  
Universidad del Atlántico, Colombia.

**Paula Martínez Silva**  
Corporación Universitaria del Huila, Colombia.

**Vladimir José Soria Freire**  
Universidad de Guayaquil, Ecuador.



## CONTENIDO - CONTENTS

---

### ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

- TAXOCENOSIS MOLLUSCA-CRUSTACEA EN RAÍCES DE *Rhizophora mangle*, DELTA DEL RÍO RANCHERÍA - LA GUAJIRA, COLOMBIA**  
MOLLUSCA-CRUSTACEA TAXOCENOSIS ON SUBMERGED ROOTS OF *Rhizophora mangle* IN THE ESTUARY OF THE RIVER RANCHERIA, LA GUAJIRA, COLOMBIAN CARIBBEAN  
*Geomar Molina-Bolívar, Iris Agustina Jiménez-Pitre y Mario Lester Nava-Ferrer* 87
- NEW RECORDS OF PREDATION ON EGGS OF *Bemisia tabaci* (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) BY *Chrysopodes (Chrysopodes) lineafrons* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) IN NORTHWESTERN ARGENTINA**  
NUEVOS REGISTROS SOBRE LA DEPREDACIÓN DE HUEVOS DE *Bemisia tabaci* (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) POR *Chrysopodes (Chrysopodes) lineafrons* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) EN EL NOROESTE DE LA ARGENTINA  
*Eugenia Silvana Ortega, Cecilia Veggiani-Aybar, Ana Lucía Ávila and Carmen Reguilón* 101
- REGISTRO DE TERMITAS (ISOPTERA) ASOCIADAS A CULTIVOS DE MANGO (*Mangifera indica*) EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, COLOMBIA**  
RECORDS OF TERMITES (ISOPTERA) ASSOCIATED WITH MANGO CROPS (*Mangifera indica*) IN THE DEPARTMENT OF MAGDALENA, COLOMBIA  
*Hafid Y. Hurtado, Diego A. Manga y Paula A. Sepúlveda-Cano* 109
- EFFECTOS DE LA ENTRADA DE AGUA DEL RÍO MAGDALENA EN LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DEL FITOPLANCTON EN LA CIÉNAGA PAJARAL, CARIBE COLOMBIANO**  
EFFECTS OF THE WATER INLET FROM MAGDALENA RIVER ON THE PHYTOPLANKTONIC PRIMARY PRODUCTION IN THE CIÉNAGA PAJARAL, COLOMBIAN CARIBBEAN  
*Carlos Augusto Hernández-Jiménez* 117
- APROXIMACIÓN AL DESARROLLO DE HERRAMIENTAS PARA UN MANEJO COSTERO INTEGRADO: ANÁLISIS DE RIESGO DEL PUERTO DE LA PALOMA (URUGUAY)**  
RISK ASSESSMENT METHODOLOGICAL TRIAL: THE CASE OF LA PALOMA PORT, URUGUAY  
*Martín García, Camila Longarete, Cristina Cancela, Martín Sanguinetti, Santiago Silveira, Daniel de Alava, Ingrid Roche y Hugo Inda* 131
- ARTÍCULO DE REVISIÓN**
- APORTACIONES SOBRE EL CAMPO MAGNÉTICO: HISTORIA E INFLUENCIA EN SISTEMAS BIOLÓGICOS**  
CONTRIBUTIONS TO THE MAGNETIC FIELD: HISTORY AND INFLUENCE ON BIOLOGICAL SYSTEMS  
*María Victoria Carbonell, Mercedes Flórez, Elvira Martínez y José Álvarez* 143



## TAXOCENOSIS MOLLUSCA-CRUSTACEA EN RAÍCES DE *Rhizophora mangle*, DELTA DEL RÍO RANCHERÍA - LA GUAJIRA, COLOMBIA

### MOLLUSCA-CRUSTACEA TAXOCENOSIS ON SUBMERGED ROOTS OF *Rhizophora mangle* IN THE ESTUARY OF THE RIVER RANCHERIA, LA GUAJIRA, COLOMBIAN CARIBBEAN

Geomar Molina-Bolívar<sup>ID</sup>, Agustina Jiménez-Pitre<sup>ID</sup> y Mario Lester Nava-Ferrer<sup>ID</sup>

#### RESUMEN

Las raíces sumergidas de *Rhizophora mangle* son un importante soporte para parte de la comunidad de organismos que forman un subsistema con organización y estructura dinámica propia. Son útiles como criadero de peces, camarones, cangrejos y mejillones, entre otros. El objetivo de esta investigación fue determinar la composición y la abundancia de la taxocenosis de moluscos y crustáceos asociados a las raíces sumergidas de *R. mangle* y su relación con algunas variables fisicoquímicas del agua en el estuario del río Ranchería. Los muestreos se llevaron a cabo entre los meses de septiembre del 2014 y marzo del 2015, en cinco estaciones de muestreo. Tres estaciones asociadas al brazo El Riño y dos en el brazo Calancalá. En cada muestreo y en cada sitio se midieron algunas variables fisicoquímicas (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, dureza y turbidez). En cada estación se cortaron al azar dos raíces de mangle sumergidas, las cuales se colocaron en bolsas plásticas con formalina al 10 %. En el laboratorio se cuantificaron e identificaron las muestras. Se encontró un total de 38 taxones, correspondiente a un 57,89 % de moluscos y 42,11 % de crustáceos para toda el área de estudio. Aunque las estaciones estudiadas presentaron diferencias significativas entre ellas, en cuanto a salinidad y pH, la taxocenosis de moluscos y crustáceos se considera muy uniforme con una similitud mínima de 68 % entre las estaciones. Se concluye que el bivalvo *Mytiliopsis leucophaeata* y el anfípodo *Americorophium brevis* fueron las especies más abundantes, por ser especies estuarinas típicas de sustratos duros, dominando la taxocenosis en el delta del río Ranchería, el cual presenta una baja riqueza de especies de moluscos y crustáceos, que se debe principalmente al amplio cambio de salinidad a lo largo del periodo estudiado.

**PALABRAS CLAVE:** moluscos y crustáceos; composición y abundancia; variables fisicoquímicas; río ranchería

#### ABSTRACT

The submerged roots of *Rhizophora mangle* are an important support to some organisms community that form a subsystem, since they have their own organization and dynamic structure. Such roots serve as site for fish, shrimps, crabs and mussels breeding, among others. This research aim was to determine the distribution of Mollusca-Crustacea taxocenosis associated with the submerged roots of *R. mangle* and their relationship with some physicochemical variables of water in the Ranchería River estuary. The samplings were carried out between September 2014 and March 2015 in five sites three sites associate to the tributary El Riño and two sites in the tributary Calancalá. Physicochemical variables (salinity, temperature, dissolved oxygen, pH, alkalinity, hardness and turbidity) were measured at each site in every month. At each site, two roots were randomly cut and were introduced in plastic bags with formalin 10 %. The samples were quantified and identified at the laboratory. For the entire study area, 38 taxa were collected, corresponding to 57.89 % to mollusks and 42.11 % of crustacea. Although the stations studied show certain differences regarding physicochemical factors, mainly salinity and pH, the taxocenosis is considered very uniform with a minimum similarity of 68 % among the sites. It is concluded that the bivalve *Mytiliopsis leucophaeata* and the amphipod *Americorophium brevis* were the most abundant species, since they are estuarine species typical of hard substrate, dominating the taxocenosis in the Ranchería River delta, which shows a low species richness of mollusks and crustaceans, mainly due to the broad change of salinity throughout the studied period.

**KEY WORDS:** mollusks and crustaceans; composition and abundance; physico-chemical variables; rancher river

#### Dirección de los autores:

Grupo de Investigación BIERMAC, Universidad de La Guajira, Kilómetro 5 Vía Maicao Universidad de La Guajira, Colombia; e-mail: gmolina@uniguajira.edu.co, **ORCID:** 0000-0001-6380-379X (G.M.B); e-mail: iajimenez@uniguajira.edu.co, **ORCID:** 0000-0002-8109-7013 (I.A.J.P). Laboratorio de Sistemática de Invertebrados Acuáticos, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela; e-mail: mariolesternava@gmail.com, **ORCID:** 0000-0002-4885-8052 (M.L.N.F).

## INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con unas 380 000 ha de manglar, de las cuales 292 000 ha se encuentran en la costa del Pacífico y 87 000 ha en la del Caribe (INVEMAR, 2005). Solo en La Guajira colombiana se totalizaron 3 131 ha, y para el mar Caribe se han registrado cinco especies: *Rhizophora mangle* Linnaeus, 1753; *Avicennia germinans* Linnaeus, 1753; *Laguncularia racemosa* Gaetner, 1805; *Conocarpus erectus* Linnaeus, 1753; y *Pelliciera rhizophorae* Triana y Planchon, 1862 (Reyes y Campos, 1992). El delta del río Ranchería es de gran interés como ecosistema estuarino asociado a este tipo de vegetación y el cual presenta condiciones ambientales que, aunque naturales, pueden considerarse estresantes, como baja precipitación, períodos prolongados sin inundación y elevada insolación, así como también presiones antrópicas que generan los poblados asociados a este ecosistema (Molina-Bolívar, 2010).

Las raíces sumergidas de *R. mangle* son un importante soporte para parte de la comunidad de organismos que forman un subsistema con organización y estructura dinámica propia, pues sirven de criadero de peces, camarones, cangrejos y mejillones, entre otros. Los estudios sobre los bivalvos asociados a raíces de manglar han predominado tal vez debido a su interés alimenticio y económico. Sin embargo, estos sustratos ecológicos son complejos y, al ser expuestos a cambios o condiciones fluctuantes, que en algunos casos se dan de manera gradual y en otras ocasiones se presentan abruptamente, desorganizados o turbulentos, pueden llegar a presentar asociaciones de diferentes de organismos (Holling et al., 2002).

Existen varios estudios sobre la diversidad en ecosistemas de manglar tanto en Centroamérica (Guerra-Castro et al., 2011; Quintana, 2011; Ortíz y Blanco, 2012; Hernández-Ávila et al., 2013; Acosta et al., 2014; Ruíz y López-Portillo, 2014) como en el Caribe colombiano (Valle, 2007; García y Palacio, 2008; Prüsmann y Palacio, 2008; Arteta-Bonivento, 2009; Cortés-Castillo, 2010; Molina-Bolívar, 2010; Ortíz y Blanco, 2012; Quirós y Arias, 2013). Estos trabajos destacan a los moluscos y los crustáceos como la fauna predominante en este tipo de sustratos y como un componente importante en la red trófica del delta.

Los ecosistemas estuarinos presentan problemas de contaminación. En las zonas estuarinas particularmente, la problemática se asocia a la sobrepoblación y a la falta de sistemas de saneamiento básico en las comunidades localizadas en sus áreas de influencia, lo que convierte a este sistema hídrico en el sitio más frecuente de disposición de los desechos producidos en las actividades antrópicas, lo cual no favorece a la sustentabilidad del ecosistema. Adicionalmente, las severas condiciones ambientales naturales a las que normalmente se encuentra el delta del río Ranchería, entre las que destacan altas salinidades producto de una alta evaporación y baja pluviosidad (Proyecto Prolagunas, 2001), generan un estrés ambiental en los organismos vivos y convierten a este sistema natural en un espacio de interés académico y ambiental. El presente estudio se desarrolló en la costa suroccidental de la península de La Guajira (departamento de La Guajira), Colombia, para establecer la composición de la taxocenosis de moluscos y crustáceos asociados a las raíces de *R. mangle* y su relación con algunas variables fisicoquímicas del agua, en vista de su importancia como componente faunístico desconocido en la zona, donde el manglar es uno de los principales patrimonios paisajísticos de la ciudad de Riohacha.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio se encuentra inmersa en la zona deltaica-estuarina del río Ranchería. Al norte limita con el mar Caribe, por el sur con el resguardo indígena de la media Guajira, con la ciudad de Riohacha al este, y al oeste con la laguna Buenavista. El delta se encuentra rodeado por manglares en las zonas de la desembocadura. Se caracteriza por presentar condiciones de tensión o estrés ambiental, ya que es una zona de extrema estacionalidad y alta evaporación (Vélez y Polanía, 2007). Se realizaron muestreos mensuales (12 en total) entre septiembre de 2014 y agosto de 2015, a lo largo de dos brazos o vertientes conocidas como El Riíto y Calancalá, bajo el criterio de accesibilidad, límites y presencia de mangle rojo (*R. mangle*). Se seleccionaron cinco estaciones de muestreo (Figura 1): tres en el brazo El Riíto, denominadas como Desembocadura (DB), El Mirador (EM) y Villa Fátima (VF); y dos en el brazo Calancalá: Cangrejito (CG) y Valle de los Cangrejos (VC). Las distancias entre las estaciones seleccionadas estuvieron entre 11 y 15 km.

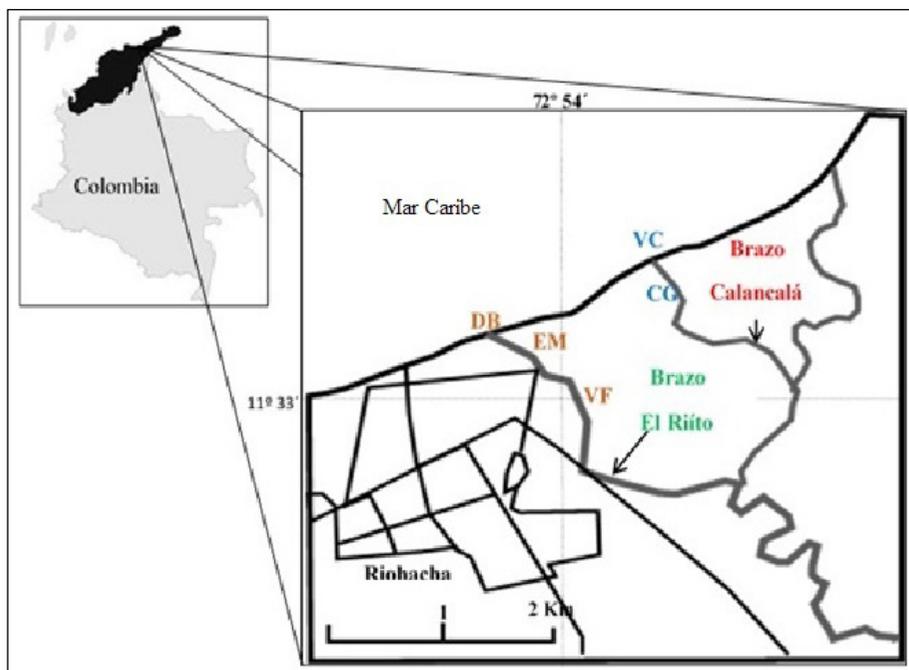


Figura 1. Área de estudio en el delta del río Ranchería. Estaciones asociadas al brazo El Riíto (DB = Desembocadura; EM = El Mirador; VF = Villa Fátima); estaciones asociadas al brazo Calancalá (VC = Valle de los Cangrejos; CG = Cangrejito).

### Variables fisicoquímicas y recolección de muestras biológicas

Durante los muestreos se realizó el monitoreo de las variables fisicoquímicas: temperatura (°C), salinidad pH, mediante el empleo de un equipo multiparamétrico WTW 3320. El oxígeno disuelto (mg/L) se determinó con un oxímetro WTW y la turbidez (NTU) por el método nefelométrico (APHA, 1999). También se tomaron muestras de agua en botellas de vidrio de color ámbar de 1 L de capacidad, previamente esterilizadas, rotuladas y forradas con papel aluminio, para luego ser refrigeradas en una nevera de icopor (~6 °C) y trasladadas a los laboratorios del Instituto de Estudios y Aprovechamiento del Agua (INESAG) de la Universidad de La Guajira, para determinar la dureza total (mg/L CaCO<sub>3</sub>) y la alcalinidad (mg/L CaCO<sub>3</sub>) mediante métodos potenciométricos (APHA, 1999).

Para la recolección de muestras biológicas se cortaron al azar dos raíces sumergidas de mangle (ancho perimetral promedio = 3,91 ± 1,72 cm) y se introdujeron en bolsas plásticas previamente etiquetadas. Las muestras se preservaron en formalina al 10 %, de acuerdo a

las recomendaciones de Cedeño et al. (2010). En el laboratorio de Ciencias Biológicas de la Universidad de La Guajira se separaron los especímenes y se conservaron en recipientes plásticos con alcohol etílico al 70 %. Los organismos se observaron y se cuantificaron bajo un microscopio estereoscópico (Lexus 40) para cada estación de muestreo (Guerra-Castro et al., 2011) y se identificaron hasta el nivel taxonómico más bajo posible con la ayuda de las descripciones y claves taxonómicas de Díaz-Merlano y Puyana (1994), Warmke y Tucker-Abbot (1997), Severeyn y Rodríguez (2000), Bitter (2003), Roldán (1996, 2003), Thompson (2004), LeCroy (2004) y Nava et al. (2011). Los ejemplares se depositaron en viales y se conservan en la colección biológica de la Universidad de La Guajira.

### Análisis de datos

Se realizó un análisis de conglomerados (Cluster) basado en una matriz de similitud de Bray-Curtis, usando las abundancias totales de organismos en todo el estudio con la finalidad de establecer si existen asociaciones biológicas a nivel espacial. Para analizar los atributos ecológicos de los moluscos y crustáceos se calculó

la riqueza específica (S), el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y la Equidad de Shannon ( $J'$ ) con el software PAST versión 3.08 (Hammer et al., 2001). Para determinar la relación entre las variables fisicoquímicas y ecológicas se aplicó un análisis de correlación múltiple de Spearman. Estas estimaciones estadísticas se hicieron con el software IBM SPSS (versión 22).

## RESULTADOS

### Variables fisicoquímicas

La temperatura del agua ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrada en VF presentó valores que oscilaron entre 15,90 y 30,70  $^{\circ}\text{C}$ . Se registró el valor más alto en enero y el más bajo en diciembre, respectivamente (Tablas 1 y 2). No se encontraron diferencias significativas entre las estaciones, en ambos periodos climáticos (Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ). El oxígeno disuelto, la turbidez, la alcalinidad y la dureza total mostraron diferencias entre las estaciones principalmente en la época seca ( $p < 0,05$ ), mientras que variables como la salinidad y el pH presentaron diferencias significativas en ambos periodos climáticos (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ).  
Tabla 1. Valores promedios y desviación estándar de

las variables fisicoquímicas del agua durante la época de lluvias (septiembre de 2014 - enero de 2015) en las estaciones estudiadas en el delta del río Ranchería. Min.: valor mínimo, Máx.: valor máximo.

### Composición y abundancia de moluscos y crustáceos

En total se procesaron 120 raíces de *R. mangle*, en las cuales se colectaron un total de 38 taxones. Para toda el área de estudio los moluscos representan el 57,89 % de la composición de especies, representado por las clases Bivalvia y Gasteropoda. Las especies *Mytilopsis leucophaeata* Conrad, 1831 (22,30 %), *Neritina meleagris* Lamarck, 1822 (3,23 %), *Neritina reclinata* Say, 1822 (1,50 %) y *Pyrgophorus platyrachis* Thompson, 1968 (1,19 %), presentaron las mayores abundancias. Por su parte, el subphylum Crustacea conforma el 42,11 % de la composición y se encontró representado principalmente por las clases Malacostrácea y Maxillopoda, en las cuales se destacan la presencia de *Americorophium brevis* Shoemaker, 1949 (35,02 %), *Grandidierella* sp. Coutière, 1904 (7,77 %), *Callinectes sapidus* Stimpson, 1860 (1,06 %) y *Penaeus* sp. Fabricius, 1798 (2,19 %), por su abundancia relativa para toda el área de estudio (Tabla 3).

Tabla 1. Valores promedios y desviación estándar de las variables fisicoquímicas del agua durante la época de lluvias (septiembre de 2014 - enero de 2015) en las estaciones estudiadas en el delta del río Ranchería. Min.: valor mínimo, Máx.: valor máximo.

	El Riíto			Calancalá	
	DB	EM	VF	VC	CG
<b>Temperatura</b> ( $^{\circ}\text{C}$ )	27,43 $\pm$ 0,85	26,62 $\pm$ 1,38	26,05 $\pm$ 2,53	25,82 $\pm$ 1,96	26,58 $\pm$ 1,74
Min. - Máx.	26,4 - 28,4	25 - 28,8	21,95 - 28,4	22,5 - 27,3	24,4 - 29,2
<b>Oxígeno</b> (mg/L)	4,11 $\pm$ 1,37	3,19 $\pm$ 2,32	4,40 $\pm$ 1,5	4,36 $\pm$ 0,45	3,53 $\pm$ 1,23
Min. - Máx.	2,27 - 5,95	0,61 - 6,28	2,58 - 6,52	3,74 - 4,89	2,51 - 5,26
<b>Salinidad</b> Min. - Máx.	11,13 $\pm$ 7,11 0,6 - 19,3	10,04 $\pm$ 7,4 0,3 - 18,75	8,39 $\pm$ 5,64 0,6 - 15,5	20,14 $\pm$ 4,61 12,74 - 25,15	16,99 $\pm$ 7,62 6 - 25
<b>pH</b> Min. - Máx.	7,75 $\pm$ 0,31 7,34 - 8,14	7,854 $\pm$ 0,50 7,49 - 8,7	7,54 $\pm$ 0,26 7,3 - 7,92	8,18 $\pm$ 0,20 7,88 - 8,38	8,19 $\pm$ 0,25 7,78 - 8,41
<b>Turbidez</b> (NTU)	72,14 $\pm$ 75,08	61,39 $\pm$ 76,5	81,71 $\pm$ 92,25	30,17 $\pm$ 10,54	30,02 $\pm$ 10,74
Min. - Máx.	28,94 - 205,5	18,58 - 197,5	27,49 - 243,5	17 - 45,8	16,6 - 45,05

Continuación de la Tabla 1

	El Riíto			Calancalá	
	DB	EM	VF	VC	CG
<b>Alcalinidad (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	337,12 ± 301,92	195,59 ± 73,59	178,16 ± 66,02	332,92 ± 138,02	544,55 ± 510,09
<b>Min. – Máx.</b>	129,11 - 866,75	97,28 - 269,38	103,96 - 257,77	173,4 - 477,51	171,62 - 1424,69
<b>Dureza Total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	1986,6 ± 1410,62	1688,58 ± 2096,79	2314,92 ± 1895,33	4358,83 ± 1959,54	3753,57 ± 2425,77
<b>Min. – Máx.</b>	349,51 - 4145,74	0 - 4978,27	252,42 - 4973,45	1077,66 - 6014,36	922,86 - 6884,65

Letras distintas (a, b) denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). DB: Desembocadura / EM: El Mirador / VF: Villa Fátima / VC: Valle de los Cangrejos / CG: Cangrejito.

Tabla 2. Valores promedios y desviación estándar de las variables fisicoquímicas del agua durante la época de sequía (febrero 2015 - agosto 2015) en las estaciones estudiadas en el delta del río Ranchería. Min.: valor mínimo, Máx.: valor máximo.

	El Riíto			Calancalá	
	DB*	EM*	VF*	VC*	CG*
<b>Temperatura (°C)</b>	28,62 ± 1,27	28,68 ± 1,13	27,7 ± 1,31	24,8 ± 7,51	27,6 ± 1,1
<b>Min. – Máx.</b>	26,6 — 30,7	26,9 — 30,7	25,6 — 29,3	28,04 — 29,8	25,5 — 28,8
<b>Oxígeno (mg/L)</b>	2,96 ± 1,44	2,04 ± 1,03	3,1 ± 1,04	4,72 ± 0,99	5,12 ± 1,2
<b>Min. – Máx.</b>	0,56 — 4,73	0,56 — 3,48	2,14 — 4,9	3,21 — 6,11	3,5 — 6,64
<b>Salinidad</b>	33,22 ± 6,66	30,05 ± 6,71	27,89 ± 7,07	45,72 ± 15,18	46,72 ± 13,56
<b>Min. - Máx.</b>	21,5 — 41,3	21,45 — 41,3	15,5 — 38,1	22,65 — 63,16	27,15 — 60
<b>pH</b>	7,49 ± 0,37	7,55 ± 0,23	7,54 ± 0,11	8,2 ± 0,16	8,22 ± 0,09
<b>Min. - Máx.</b>	6,91 — 7,95	7,09 — 7,79	7,37 — 7,7	7,93 — 8,36	8,05 — 8,31
<b>Turbidez (NTU)</b>	29,2 ± 14,69	7,77 ± 2,76	10,09 ± 10,44	47,81 ± 19,75	58,17 ± 13,84
<b>Min. – Máx.</b>	9,1 — 49,85	4,54 — 12,1	4,72 — 33,57	20,5 — 77,6	39 — 83,2
<b>Alcalinidad (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	272,56 ± 13,04	276,07 ± 12,99	277,51 ± 16,49	376,17 ± 41,05	390,61 ± 24,53
<b>Min. – Máx.</b>	246,73 — 285,29	256,12 — 293,05	257,34 — 300,38	300,03 — 432,68	365,74 — 439,08
<b>Dureza Total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	5 097,83 ± 1466,5	5 264,93 ± 2 588,58	4 889,8 ± 1 088,56	7 417,7 ± 1 873,31	7 797,33 ± 2 600,05
<b>Min. – Máx.</b>	3513,4 — 7485,7	3055 — 10704,6	3216,3 — 6252,33	4633,2 — 9768,33	3007,57 — 11536,9

Letras distintas (a, b) denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). DB: Desembocadura / EM: El Mirador / VF: Villa Fátima / VC: Valle de los Cangrejos / CG: Cangrejito.

Tabla 3. Lista de especies y abundancia relativa (%) durante todo el estudio, por estación de muestreo y para todo el delta, de la taxocenosis Mollusca y Crustacea recolectada en las raíces de *Rhizophora mangle* en el delta del río Ranchería, La Guajira.

Phylum / Subphyllum	Clase	Especie	El Riíto			Calancalá		Delta	
			DB	EM	VF	CG	VC		
Crustacea	Malacostraca	<i>Americorophium cf. brevis</i>	32,40	38,24	31,77	44,91	27,78	35,02	
		<i>Arenaeus cribarius</i>	0,67	0,42	1,42	1,07	1,19	0,95	
		<i>Callinectes bocourti</i>	0,80	0,95	1,42	0,47	0,79	0,89	
		<i>Callinectes sapidus</i>	0,80	0,64	1,28	1,54	1,06	1,06	
		<i>Cardisoma guanhumi</i>	0,67	0,74	0,28	0,24	0,26	0,44	
		<i>Carpilius corallinus</i>	0,93	0,64	1,13	0,95	1,06	0,94	
		<i>Goniopsis cruentata</i>	0,53	0,53	1,13	0,47	0,53	0,64	
		<i>Grandidierella sp.</i>	0,93	20,02	3,12	2,61	12,17	7,77	
		<i>Grapsus grapsus</i>	0,13	0,00	0,71	1,18	1,85	0,78	
		<i>Ocypode quadrata</i>	1,07	0,21	0,00	0,83	0,00	0,42	
		<i>Paracyclois atlantis</i>	1,87	0,53	0,28	0,47	0,93	0,82	
		<i>Penaeus sp.</i>	4,00	1,48	0,85	2,96	2,65	2,39	
		<i>Periclimenes cf. pauper</i>	1,20	0,42	1,13	1,07	1,98	1,16	
		<i>Uca thayeri</i>	0,13	0,21	0,43	0,00	0,26	0,21	
	Maxillopoda	Cyclopoide sp.	2,00	1,27	0,99	0,24	1,19	1,14	
	Ostracoda	Ostracoda sp.	5,33	2,75	4,82	2,37	6,35	4,33	
	Molusca	Bivalvia	<i>Anadara chemnitzii</i>	0,53	0,64	0,43	0,36	0,79	0,55
			<i>Anadara ovalis</i>	0,93	0,32	0,85	1,07	1,59	0,95
			<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	0,53	0,21	0,28	0,95	0,93	0,58
			<i>Arca zebra</i>	0,53	1,17	0,14	1,07	0,53	0,69
<i>Brachidontes exustus</i>			0,00	0,11	0,57	0,95	0,53	0,43	
<i>Chama macerophylla</i>			0,27	0,32	0,85	1,07	1,19	0,74	
<i>Chione cancellata</i>			0,13	0,11	0,14	0,36	0,93	0,33	
<i>Corbula contracta</i>			0,80	0,53	0,43	1,54	0,79	0,82	
<i>Crassinella lunulata</i>			0,13	0,11	0,71	0,83	1,19	0,59	
<i>Mytilopsis leucophaeata</i>			31,07	16,31	33,48	13,98	16,67	22,30	
<i>Tivela mactroides</i>			0,53	0,74	0,43	1,30	0,26	0,65	
<i>Trachycardium muricatum</i>			0,27	0,64	0,99	1,07	0,00	0,59	
<i>Anachis obesa</i>			1,20	0,64	1,70	0,71	1,46	1,14	
<i>Biomphalaria glabrata</i>			0,40	0,21	0,57	2,01	1,59	0,96	
<i>Bittium varium</i>			0,00	1,17	0,85	0,59	1,19	0,76	
<i>Bulla striata</i>			0,40	0,85	1,13	0,47	1,06	0,78	
Gasteropoda	<i>Granulina cf. ovaliformis</i>	0,40	0,64	0,28	0,59	1,32	0,65		
	<i>Caecum antillarum</i>	0,00	0,32	0,43	1,18	1,32	0,65		
	<i>Neritina meleagris</i>	4,93	3,50	1,99	4,15	1,59	3,23		
	<i>Neritina reclinata</i>	2,13	1,48	1,56	0,36	1,98	1,50		
	<i>Oliva reticularis</i>	0,67	0,85	0,43	1,30	1,59	0,97		
	<i>Pyrgophorus platyrachis</i>	0,67	0,11	0,99	2,73	1,46	1,19		

La abundancia total promedio presentó fluctuaciones temporales, y disminuyó en las estaciones de muestreo más alejadas de la costa como EM, VF y CG, mientras que en las estaciones más cercanas a la costa, como lo son DB y VC, se observó una ligera tendencia al aumento (Figura 2).

Cada estación mostró variaciones en la composición de los taxones de estudio. En la estación DB los moluscos mostraron mayor abundancia promedio que los crustáceos durante la época de lluvias, mientras que durante el periodo de sequía se observó una

relación inversa, siendo los crustáceos el grupo con mayor número de taxones. La estación EM presentó la mayor abundancia promedio de crustáceos durante la época de lluvias (42 ind). Por su parte, en VF se observó una relación estable de la abundancia durante las dos épocas climáticas. Las estaciones asociadas al brazo Calancalá presentaron mayores abundancias de crustáceos durante la época de lluvias con respecto a los moluscos, aunque en ambas estaciones disminuyó la abundancia de este grupo durante la transición de lluvia a sequía, ocurriendo lo contrario para el grupo de los moluscos (Figura 3).

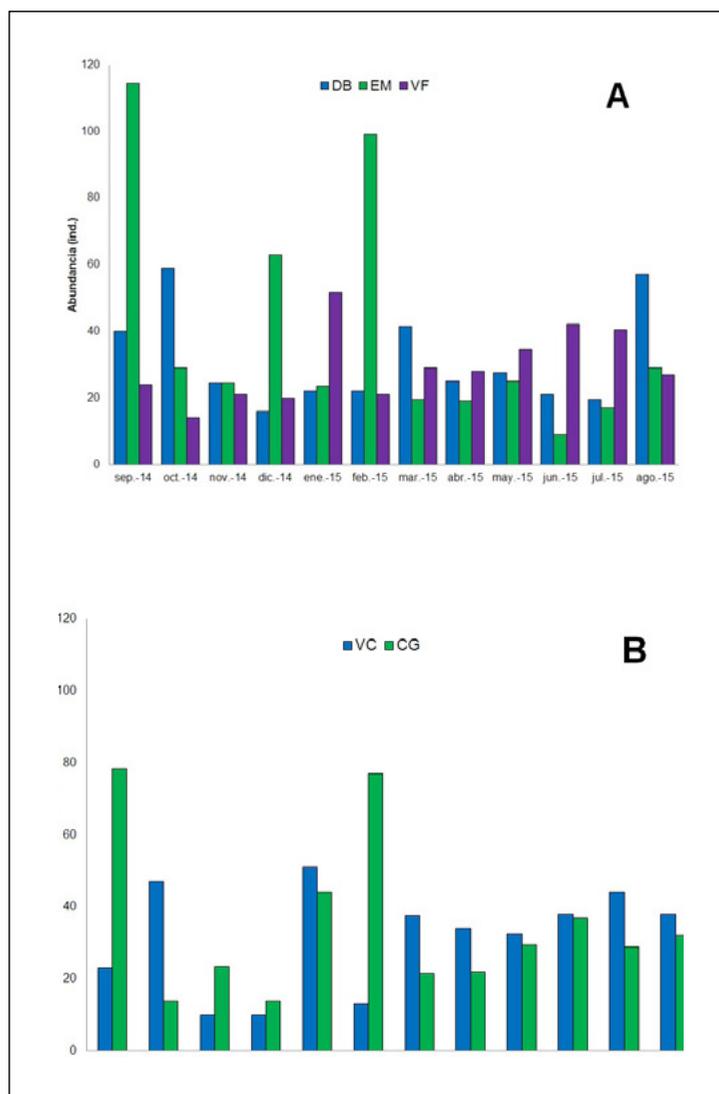


Figura 2. Abundancia de organismos (ind.) por estación y mes de muestreo en el delta del río Ranchería. A) Estaciones asociadas al brazo El Riíto (DB= Desembocadura; EM= El Mirador; VF= Villa Fátima); B) estaciones asociadas al brazo Calancalá (VC= Valle de los Cangrejos; CG= Cangrejito).

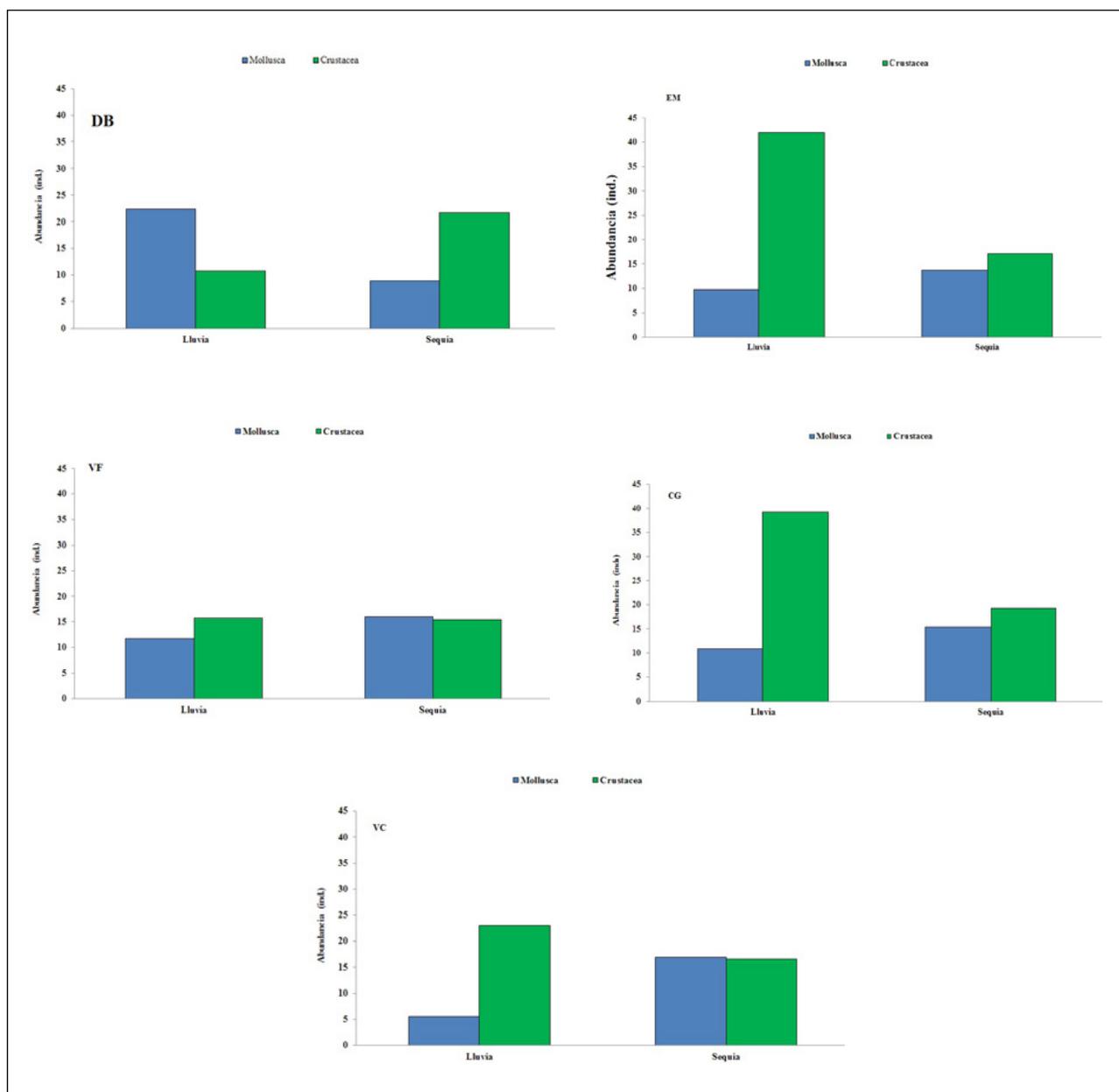


Figura 3. Variación temporal de la abundancia en la taxocenosis Mollusca-Crustacea en el delta del río Ranchería. DB) Desembocadura; EM) El Mirador; VF) Villa Fátima; CG) Cangrejito; VC) Valle de los Cangrejos.

Las especies más abundantes del *phylum* Mollusca fueron *M. leucophaeata* y *N. meleagris*, mientras que en los crustáceos fueron *A. brevis* y *Grandidiriella* sp., las cuales estuvieron presentes en todas las estaciones y fueron relativamente constantes durante todo el estudio. Por otra parte, los índices de diversidad mostraron uniformidad en general (Tabla 4): la riqueza (S) osciló

entre 35 y 37 especies, la diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) entre 2,16 y 2,72, mientras que la equidad ( $J'$ ) estuvo comprendida entre 0,60 y 0,76. De lo anterior, es importante destacar que ambos brazos del delta del río Ranchería presentaron dinámicas diferentes debidas a las condiciones fisicoquímicas, mientras que la estructura de la fauna estudiada fue similar.

Tabla 4. Valores de abundancia promedio de organismos, riqueza específica (S), equidad de Shannon (J) y diversidad de Shannon-Wiener (H') en el delta del río Ranchería para todo el periodo de estudio.

	El Riíto			Calancalá	
	DB	EM	VF	CG	VC
<b>Abundancia promedio (ind)</b>	31,25	39,33	29,38	35,17	31,50
<b>Riqueza específica (S)</b>	35	37	37	37	36
<b>Shannon-Wiener (H')</b>	2,24	2,16	2,26	2,40	2,72
<b>Equidad de Shannon (J')</b>	0,63	0,60	0,62	0,67	0,76

En general, en todo el estudio, el análisis de similitud de la fauna invertebrada asociada a las raíces de cada estación indicó que fueron muy parecidas, siendo mayor entre las estaciones VF y DB (86 %). Estas estaciones presentaron a su vez una similitud de 74 % con VC, y

estas presentaron una similitud del 68 % con respecto a las estaciones EM y CG, que son más semejantes entre ellas (76 %), por lo que se puede hablar de una única unidad faunística a lo largo del área de estudio (Figura 4).

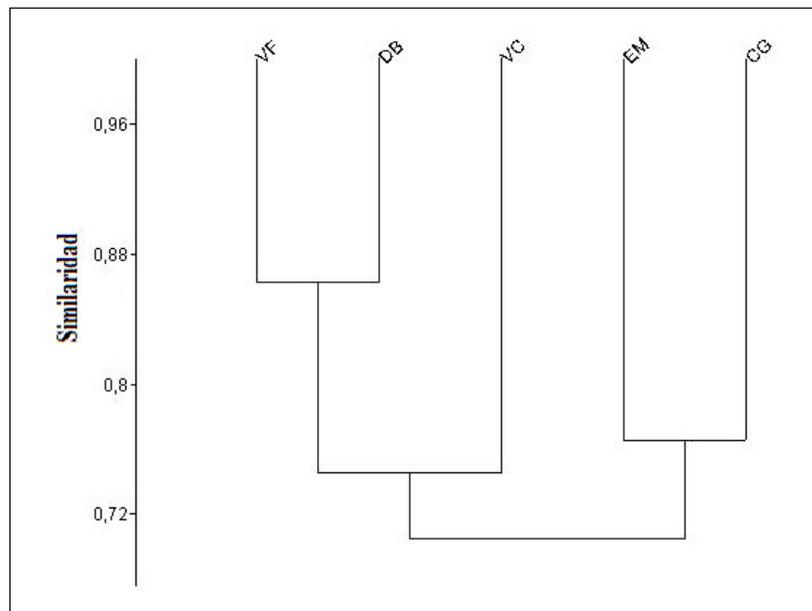


Figura 4. Análisis de conglomerados (matriz de similitud de Bray-Curtis, método de grupos pareados) por medio de la abundancia de especies por cada estación de muestreo en el delta del río Ranchería.

El análisis de correlación de Spearman (Tabla 5) mostró una relación significativa y directa de la diversidad (H') con respecto a todas las variables fisicoquímicas, a excepción de la temperatura. Mientras tanto, la riqueza (S) estuvo positivamente relacionada con la salinidad,

la turbidez, la alcalinidad y la dureza total. Se destaca que no existió asociación alguna con la abundancia de organismos. Sin embargo, la equidad mostró una correlación positiva con el oxígeno disuelto, el pH y la alcalinidad.

Tabla 5. Correlación ordinal de Spearman entre las variables biológicas y fisicoquímicas en el delta del río Ranchería. En negrillas valores significativos  $p < 0,05$ .

		Diversidad H	Riqueza S	Equidad J	Abundancia (Inds)
<b>Temperatura</b>	r	0,0732	0,1810	0,0374	0,1504
	n	(60)	(60)	(60)	(60)
	p	0,5739	0,1646	0,7740	0,2479
<b>Oxígeno Disuelto</b>	r	0,3168	0,1025	0,3216	-0,1094
	n	(60)	(60)	(60)	(60)
	p	0,0150	0,4311	0,0135	0,4009
<b>Salinidad</b>	r	0,3512	0,3451	0,1907	0,1693
	n	(60)	(60)	(60)	(60)
	p	0,0070	0,0080	0,1430	0,1935
<b>pH</b>	r	0,3090	0,1339	0,3274	-0,0906
	n	(60)	(60)	(60)	(60)
	p	0,0176	0,3038	0,0119	0,4863
<b>Turbidez</b>	r	0,2989	0,3445	0,1685	0,1770
	n	(60)	(60)	(60)	(60)
	p	0,0217	0,0081	0,1957	0,1739
<b>Alcalinidad</b>	r	0,4128	0,2890	0,3791	-0,0759
	n	(60)	(60)	(60)	(60)
	p	0,0015	0,0264	0,0036	0,5601
<b>Dureza</b>	r	0,3468	0,3451	0,1917	0,1946
	n	(60)	(60)	(60)	(60)
	p	0,0077	0,0080	0,1410	0,1349

r = Coeficiente de correlación, n = número de muestras, p = probabilidad.

## DISCUSIÓN

La riqueza de especies de moluscos asociados a las raíces de mangle en el estuario del río Ranchería fue menor a la reportada por Márquez y Jiménez (2002) en el golfo Santafé (Venezuela), Cedeño et al. (2010) en la laguna Bocaripo (Venezuela), Acosta et al. (2014) en la bahía de Mochima (Venezuela), y García y Palacio (2008) en las bahías de Turbo y el Uno (Colombia), debido principalmente a que estos ambientes son estrictamente marinos, mientras que el número de taxones encontrados en este estudio, en cuanto a moluscos, es similar al reportado por Prüssmann y Palacio (2008) en el golfo de Morrosquillo

(Colombia). Con respecto a los crustáceos, el número de especies fue bajo con referencia a los reportados por Márquez et al. (2006) en el golfo Santafé (Venezuela), Ruíz y López-Portillo (2014) en la laguna La Mancha (México) y Prüssmann y Palacio (2008) en el golfo de Morrosquillo (Colombia). Por otra parte, Quirós y Arias (2013) encontraron una riqueza de especies de moluscos y crustáceos similar en número a este estudio, pero con diferentes taxones en la bahía de Cispatá (Colombia); mientras que Reyes y Campos (1992) indican una riqueza específica de 43 especies de moluscos y 78 de crustáceos en la bahía de Chengue (Colombia), siendo muchos mayores a los reportados en el presente trabajo.

La correlación directa significativa entre el oxígeno disuelto y la diversidad de especies también fue registrada por Molina-Bolívar (2010) en la fauna asociada al sedimento en el delta del río Ranchería, así como también se han observado relaciones similares en sistemas acuáticos con características análogas (Márquez y Jiménez, 2002; Acosta et al., 2014); por lo anterior, se destaca el oxígeno como uno de los principales factores que influencia a las comunidades animales en sistemas acuáticos (Cognetti et al., 2001).

En el estuario del río Ranchería se encontró un bajo número de especies típicas de ambientes con salinidades fluctuantes. De hecho, las especies más abundantes en este estudio, como *M. leucophaeata*, *A. brevis* y *Grandidiriella* sp., son predominantemente especies estuarinas (Warmke y Tucker-Abbot, 1997; LeCroy, 2004). Esto puede explicar por qué las estaciones más cercanas a la costa, como DB y VC, mostraron ligeros aumentos en su abundancia durante la sequía, ya que quizás las pocas especies existentes en estas zonas presentan mayor influencia salina por la cercanía al Mar Caribe. En general, se puede indicar que la salinidad está incidiendo en los organismos y ocasiona un cambio temporal significativo en la composición y en la abundancia dentro del sistema, debido a que muchas plantas y animales no se adaptan o desarrollan con cambios bruscos en las condiciones ambientales (García y Palacio, 2008). Por ello, en este estudio se encontró una correlación significativa entre la salinidad y la diversidad, aunque no se observó lo mismo para la abundancia. Los crustáceos decápodos encontrados son principalmente marinos, aunque se destacan especies estuarinas como, por ejemplo, *C. sapidus*, lo que coincide con lo reportado por Arteta-Bonivento (2009) para el delta del río Ranchería. Es muy importante el hecho de que se encontraron especies vagiles y de alta movilidad, como los ostrácodos, así como también organismos asociados a los sedimentos, como las almejas *Tivela mactroides* y *Chione cancellata*, además de los cangrejos *Cardisoma guanhumi* y *Uca thayeri* (Rodríguez, 2000), todos en etapas jóvenes, cuya presencia puede estar asociada a sus ciclos de vida (etapas planctónicas) y colonización reciente.

La baja abundancia de algunas especies se puede relacionar con las fluctuaciones y los valores extremos de salinidad que experimentó el delta, principalmente por la acción natural de alta evaporación y sequía extrema (Proyecto Prolagunas, 2001), así como también por las actividades humanas de los

poblados asociados a este sistema (Molina-Bolívar, 2010; Polanía et al., 2006). Incluso obras de mayor envergadura, como la represa El Cercado en el río Ranchería (Granados et al., 2012), podrían generar condiciones adversas para la biota, aguas abajo de su ubicación, como se ha encontrado en sistemas sometidos a la construcción de este tipo de obras, donde los cambios de caudal y las condiciones climáticas extremas pueden ser determinantes (Encarnação et al., 2013; Magalhães-Neto et al., 2010), por lo que se destaca la importancia del monitoreo continuo de los ecosistemas intervenidos.

Aunque los brazos del delta presentan condiciones fisicoquímicas diferentes, como altos valores de salinidad y pH en el brazo Calancalá con respecto al brazo El Riíto, la fauna se mostró muy similar y constante, por lo que a la zona se le puede considerar como una gran unidad biológica donde la composición de especies que allí se encuentran consiguen mantener su supervivencia en condiciones que pueden ser adversas para otros organismos, como las altas salinidades resultado de la formación de una barra que elimina el efecto de las mareas y por ende la mezcla de las aguas; este fenómeno es común en el delta durante la transición de las épocas de lluvias y sequía. Lo anterior define, en parte, estas condiciones mucho más particulares con respecto a las de otros sistemas de manglar principalmente asociados a condiciones marinas o cenagosas: más estables (Márquez y Jiménez, 2002; Márquez et al., 2006; Cedeño et al., 2010; Quiroz y Arias, 2013).

Con respecto a la salinidad, el delta del río Ranchería mostró un aumento progresivo en el periodo de estudio, lo que puede explicar la correlación entre la diversidad de Shannon-Wiener con esta variable en particular, que también se asocia a la riqueza de especies y la equidad (Begon et al. 2006). Esta variable además puede indicar la afinidad de los organismos característicos de manglares a condiciones estuarino-marinas (Márquez y Jiménez, 2002; Prüsmann y Palacio, 2008) en vista del incremento de la salinidad de niveles bajos (0,6) a otros relativamente muy superiores (63,16); las variaciones registradas fueron producto de la estacionalidad. El resultado registrado en este estudio muestra para los índices ecológicos una taxocenosis estructuralmente similar entre las estaciones, sin embargo, los valores registrados en el brazo Calancalá son ligeramente mayores a los del brazo Riíto, y se debe principalmente a una abundancia relativa más equitativa entre los

organismos encontrados en Calancalá, ya que existen riquezas de especies similares entre las estaciones estudiadas en ambos brazos, esto definido por la relación número de taxones y abundancia relativa (Begon et al., 2006).

En este estudio se destaca que no se registró la presencia de cirrípedos, los cuales son organismos comunes y abundantes en las raíces de *R. mangle* (Reyes y Campos, 1992; Márquez-Rojas et al., 2006; Quirós y Arias, 2013), lo que indica que el delta del río Ranchería podría considerarse un ambiente muy inestable para las capacidades fisiológicas de este tipo de organismos, muy comunes en estuarios, que se pueden encontrar distribuidos en donde las condiciones, principalmente salinas, les son más favorables (Rodríguez, 2000). Por lo anterior, la formación de la barra que limita los brazos del delta a las aguas del Mar Caribe, también se considera un obstáculo para la colonización de cirrípedos al estuario, dificultando los fenómenos de reclutamiento (Begon et al. 2006) desde aguas marinas. El patrón observado, principalmente en la estación DB, de mayor abundancia de moluscos durante la época de lluvias, mientras que los crustáceos dominaron en la sequía, podría estar relacionado con la turbidez, ya que se presentaron mayores valores de esta variable durante las lluvias, siendo esto una respuesta directa del tipo de alimentación del molusco más abundante del estudio, *M. leucophaeata*. Esta es una almeja filtradora que se alimenta de material en suspensión (Abott, 1985; Hansen et al. 2010), y que pudo verse favorecida a nivel competitivo con respecto a los crustáceos. Este fenómeno se observó igualmente en las estaciones del brazo Calancalá, donde el aumento de la turbidez se vio acompañado de un aumento en la abundancia de moluscos.

La presencia de *M. leucophaeata* y *A. brevis*, como especies dominantes en el ecosistema estuarino, indica que estas se encuentran adaptadas a las características del sustrato estudiado (raíces de *R. mangle* como sustrato duro), así como también a las condiciones ambientales particulares que evidencia el estuario del río Ranchería. Estas condiciones estuvieron determinadas principalmente por las variaciones de la salinidad y el pH en el trascurso del estudio, que destacó por ser año de alta sequía, sobre todo en la región del Caribe, producto del fenómeno de El Niño durante el periodo 2014-2015 (King et al., 2015).

De todo lo anterior se puede concluir que el bivalvo *Mytiliopsis leucophaeata* y el anfípodo *Americorophium brevis* fueron las especies más abundantes durante el

estudio que, al ser de naturaleza estuarina y asociadas a sustratos duros (Warkme y Tucker-Abbot, 1997; Hiebert, 2015), explican su predominancia en este sistema, mientras que las bajas abundancias en otras especies pueden ser explicadas por las fluctuaciones ambientales temporales, la afinidad de algunos organismos a otros sustratos (blandos), así como también a su movilidad. En comparación con otras zonas del Caribe, el delta del río Ranchería presenta una baja riqueza de especies de moluscos y crustáceos, que se debe principalmente al amplio cambio de salinidad a lo largo del periodo de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a los pescadores de La Desembocadura y al profesor Santiago Pichón de la comunidad indígena de El Pasito, por el apoyo permanente. Oscar Aldana y Erika Viloría Daza quienes nos apoyaron en la logística de los muestreos. A los funcionarios del INESAG por todo el apoyo recibido. Finalmente, a la Universidad de La Guajira por el financiamiento de la presente investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

Abbott, T. 1985. *American Seashells*. Golden Press, New York.

Acosta, V., Betancourt, R. y Prieto, A. 2014. Estructura comunitaria de bivalvos y gastrópodos en raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) en isla Larga, bahía de Mochima, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 62(2): 551–565.

APHA. 1999. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 18 th. Eaton: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Arteta-Bonivento, R. 2009. Cangrejos en el delta del río Ranchería, Riohacha (Colombia) (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural* 13(1): 140–152.

Begon, M., Townsend, C. R. y Harper, J. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing, Oxford.

Bitter, R. 2003. *Conchas Marinas del Estado Falcón (Venezuela). Guía para su Colección e Identificación*. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Caracas.

Cedeño, J., Jiménez, M., Pereda, L. y Allen, T. 2010. Abundancia y riqueza de moluscos y crustáceos asociados

a las raíces sumergidas del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en la laguna de Bocaripo, Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 58(3): 213–226.

Cognetti, G., Sará, M. y Magazzú, G. 2001. *Biología Marina*. Ariel. Madrid.

Cortés-Castillo, D. 2010. Flora y vegetación asociada a un gradiente de salinidad en el sector de la bahía de Cispatá (Córdoba - Colombia). Tesis de Maestría, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.

Díaz-Merlano, J. y Puyana, M. 1994. *Moluscos del Caribe colombiano; un catálogo ilustrado*. Colciencias, Fundación Natura, Invenmar, Santa Marta.

Encarnação, J., Leitão, T., Morais, M., Piló, D. Range, P., Chicharo, L. y Chicharo, M. A. 2013. Effects of inter-annual freshwater inflow shifts on the community structure of estuarine decapods. *Cahier de Biologie Marine* 54(2): 181-189. <https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/5314/1/3.pdf>. Consultado: 24 de agosto de 2017.

García, J. M. y Palacio, J. 2008. Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del Mangle Rojo (*Rhizophora mangle*) en las bahías de Turbo y El Uno, Golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Gestión y Ambiente* 11(3): 55–66.

Granados, M., Rodríguez, E., Rodríguez, L. y S. Teheran. 2012. Represa del río Ranchería: falsas promesas de desarrollo. *Cien días visto por CINEP, Desarrollo* 75: 32-35. [http://www.cinpe.org.co/publicaciones/PDFS/201207011.represa\\_rancheria75.pdf](http://www.cinpe.org.co/publicaciones/PDFS/201207011.represa_rancheria75.pdf). Consultado: 23 de agosto de 2017.

Guerra-Castro, E., Cruz-Motta, J. y Conde, J. 2011. Cuantificación de la diversidad de especies incrustantes a las raíces de *Rhizophora mangle* L. en el Parque Nacional La Restinga. *Interciencia* 32(12): 923–930.

Hammer, O., Harper, D.A. y P.D. Ryan. 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica* 4(1): 1–9.

Hanson, P., Springer, M. y Ramírez, A. 2010. Capítulo 1. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical* 58: 3-37.

Hernández-Ávila, I., Tagliafico, A. y Rago, N. 2013. Composición y estructura de la macrofauna asociada con agregaciones de dos especies de bivalvos en Isla de Cubagua, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 61(2): 669–682.

Hiebert, T.C. 2015. *Americorophium brevis*. En: Hiebert, T.C., Butler, B.A. y Shanks, A.L., Editor. *Oregon Estuarine Invertebrates: Rudys' Illustrated Guide to Common Species*. University of Oregon Libraries and Oregon Institute of Marine Biology, Charleston.

Holling, C., Gunderson, L. y Ludwig, D. 2002. In quest of a theory of adaptative change: 12 En: Gunderson, L. y Holling C., Editor. *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington, D.C., USA.

INVENMAR. 2006. *Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2005*. Serie de Publicaciones Periódicas (8). Santa Marta.

King, B., González, L., Alemán, J., Mattson, S., Tejada, S., Endara, A. y Iyer, G. 2015. ¿Cómo sería un mundo con el niño todos los años? *Trópicos. Revista del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales*. [http://issuu.com/strinewspanama/docs/tropicos\\_september\\_2015/2](http://issuu.com/strinewspanama/docs/tropicos_september_2015/2). Consultado: 14 Febrero, 2017.

Lecroy, S.E. 2004. *An illustrated guide to the nearshore marine and estuarine Gammaridean Amphipoda of Florida*. Volúmen 3. Families Bateidae, Biancolinidae, Cheluridae, Colomastigidae, Corophiidae, Cyproideidae and Dexaminidae. Ocean Springs, University of Southern Mississippi.

Magalhães Neto, J., Teixeira, H., Patricio J., Baeta, A., Veríssimo, H., Pinto, J. y Marques, J. C. 2010. The Response of Estuarine Macrobenthic Communities to Natural- and Human-Induced Changes: Dynamics and Ecological Quality. *Estuaries and Coasts* 33:1327–1339.

Márquez, B. y Jiménez, M. 2002. Moluscos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo *Rhizophora mangle*, en el Golfo de Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 50(3/4): 1101–1112.

Márquez, B., Blanco-Rambla, J., Jiménez, M. y Allen, T. 2006. Crustáceos asociados a las raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* (L.) en el Golfo de Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela. *Revista Científica de la Facultad Experimental de Ciencias* 14(1): 12–27.

Molina-Bolívar, G. 2010. Macroinvertebrados bentónicos asociados al ecosistema estuarino El Riño (Río hacha, La Guajira, colombiana). Tesis de Maestría, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Nava, M., Severeyn, H. y Machado, N. 2011. Distribución y taxonomía de *Pyrgophorus platyrachis* (Caenogastropoda:

- Hydrobiidae), en el Sistema de Maracaibo, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 59(3): 1165–1172.
- Ortiz, L.F. y Blanco, J.F. 2012. Distribución de los gasterópodos del manglar, *Neritina virginea* (Neritidae) y *Littoraria angulifera* (Littorinidae) en la Ecorregión Darién, Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical* 60(1): 219–232.
- Polanía, J., Orozco-Toro, C. y Ángel, I. 2006. Delta del río Ranchería (La Guajira, Colombia): caudal, salinidad y transporte de sólidos y su posible influencia sobre la composición y estructura de los manglares. *Actualidades Biológicas* 28(84): 27–37.
- Proyecto Prolagunas. 2001. Protección y recuperación de humedales costeros del Caribe colombiano. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia.
- Prüsmann, J. y Palacio, J. 2008. Colonización de moluscos y crustáceos en raíces de mangle rojo en la laguna costera de la punta norte del Golfo de Morrosquillo. *Gestión y Ambiente* 11(3): 77–86.
- Quintana, M. 2011. Caracterización del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) bajo diferentes presiones en dos sitios de Honduras. Tesis de Pregrado, Escuela Agrícola Panamericana, San Antonio de Oriente, Zamorano, Honduras.
- Quirós, R. y Arias, J. 2013. Taxocenosis de moluscos y crustáceos en raíces de *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) en la bahía de Cispatá, Córdoba, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 18(2): 329–339.
- Reyes, R. y Campos, N.H. 1992. Macroinvertebrados colonizadores de raíces de *Rhizophora mangle* en la bahía de Chengue, Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR* 21(1): 101–116.
- Rodríguez, G. 2000. *El Sistema de Maracaibo*. Instituto de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas.
- Roldan, G. 1996. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Universidad de Antioquia, Colombia.
- Roldan, G. 2003. *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia; Uso del método BMWP/Col*. Universidad de Antioquia, Medellín.
- Ruíz, M. y López-Portillo, J. 2014. Variación espacio-temporal de la comunidad de macroinvertebrados epibiontes en las raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) en la laguna costera de La Mancha, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical* 62(4): 1309–1330.
- Severeyn, H. y Rodríguez, G. 2000. La fauna estuarina: Invertebrados. En: Rodríguez, G. Editor. *El Sistema de Maracaibo*. Instituto de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela.
- Thompson, F.G. 2004. *An identification manual for the freshwater snails of Florida*. University of Florida, USA.
- Valle, A. 2007. Estructura y algunos apuntes sobre la fauna asociada a las raíces de *Rhizophora mangle* (L. 1773) en la ciénaga de Cholón, Isla Barú, municipio de Cartagena, Caribe colombiano. Tesis de pregrado, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Magdalena, Colombia.
- Vélez, L. y Polanía, J. 2007. Estructura y dinámica del manglar del delta del río Ranchería, Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical* 55(1): 11–21.
- Warmke, G. y Tucker-Abbott, R. 1997. *Caribbean Seashells. A guide to the marine Mollusks of Puerto Rico and other west Indian Islands, Bermuda and the lower Florida Keys*. Dover Publications, New York.

**Fecha de recepción:** 03/05/2017

**Fecha de aceptación:** 04/07/2017

**Publicado en línea:** 14/09/2017

**Para citar este artículo:** Molina-Bolívar, G C., Jiménez-Pitre, I.A y Nava-Ferrer, M.L. 2017. Taxocenosis Mollusca-Crustacea en raíces de *Rhizophora mangle*, Colombia. *Intropica* 12(2): 87-100 DOI: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2281>

## NEW RECORDS OF PREDATION ON EGGS OF *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) BY *Chrysopodes (Chrysopodes) Lineafrons* (Neuroptera: Chrysopidae) IN NORTHWESTERN ARGENTINA

### NUEVOS REGISTROS SOBRE LA DEPREDACIÓN DE HUEVOS DE *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) POR *Chrysopodes (Chrysopodes) Lineafrons* (Neuroptera: Chrysopidae) EN EL NOROESTE DE LA ARGENTINA

Eugenia Silvana Ortega , Cecilia Veggiani-Aybar , Ana Lucía Ávila  and Carmen Reguilón 

#### ABSTRACT

*Bemisia tabaci* has become one of the major pests of economic importance that affects several crops worldwide. Among their natural enemies are found the Chrysopidae family, with larvae predators of different pests resulting very effective biological control agents. In order to contribute to possible use of this beneficial insect in *B. tabaci* biological control, the developmental time and survival of the immature stages of *Chrysopodes (Chrysopodes) lineafrons* was determined, as well as longevity and oviposition of the adults fed with eggs of *B. tabaci*. *C. (C.) lineafrons* adults were collected in tomato crops in Lules department, Tucumán province. To determine the developmental duration for each instars and survival of the larvae, 90 eggs of *C. (C.) lineafrons* were randomly selected, of which only 71 eggs hatched; of these, 34 larvae were fed with *B. tabaci* eggs and 37 with *Sitotroga cerealella* eggs, used as control. The oviposition and longevity of the adults were recorded, both fed with the two preys. *C. (C.) lineafrons* larvae consumed an average 127.04 ( $\pm$  40.2) eggs of *B. tabaci* and 44 ( $\pm$  19.04) eggs of *S. cerealella* per day. Mean developmental time of *C. (C.) lineafrons* fed with *B. tabaci* eggs was 45 ( $\pm$  3.54) days and 35 ( $\pm$  5.04) days with *S. cerealella* eggs. Survival of immature stages, number of eggs per adults and their longevity were higher when *C. (C.) lineafrons* were fed with *S. cerealella* eggs than with *B. tabaci* eggs. *Chrysopodes (C.) lineafrons* has proved to be an efficient predator which would represent an excellent tool for *B. tabaci* biological control in tomato crops.

**KEY WORDS:** green lacewing; whitefly; predation capacity

#### RESUMEN

*Bemisia tabaci* se ha convertido en una de las principales plagas de importancia económica, afectando a diversos cultivos en todo el mundo. Entre sus enemigos naturales se encuentran las especies de la familia Chrysopidae, con larvas depredadoras de diferentes plagas que resulta un agente de control biológico muy efectivo de diferentes plagas. Para contribuir al posible aprovechamiento de este insecto benéfico en el control biológico de *B. tabaci*, se determinó el tiempo de desarrollo y supervivencia de los estadios inmaduros de *Chrysopodes (Chrysopodes) lineafrons*, y la longevidad y oviposición de los adultos alimentados con huevos de *B. tabaci*. Los adultos de *C. (C.) lineafrons* fueron recolectados en cultivos de tomate en el departamento Lules, provincia de Tucumán. Para determinar la duración del desarrollo de cada estadio y la supervivencia de las larvas, se seleccionaron aleatoriamente 90 huevos de *C. (C.) lineafrons*, de los cuales sólo 71 huevos eclosionaron; de estas, 34 larvas fueron alimentadas con huevos de *B. tabaci* y 37 con huevos de *Sitotroga cerealella*, utilizados como control. Se registró la oviposición y la longevidad de los adultos alimentados con las dos presas. Las larvas de *C. (C.) lineafrons* consumieron un promedio de 127,04 ( $\pm$  40,2) huevos de *B. tabaci* y 44 ( $\pm$  19,04) huevos de *S. cerealella* por día. El tiempo promedio de desarrollo de *C. (C.) lineafrons* alimentados con huevos de *B. tabaci* fue de 45 días ( $\pm$  3,54); mientras que los alimentados con huevos de *S. cerealella* fue de 35 días ( $\pm$  5,04). La supervivencia de los estadios inmaduros, el número de huevos por adultos y la longevidad fue mayor cuando *C. (C.) lineafrons* fueron alimentados con huevos de *S. cerealella* que con los huevos de *B. tabaci*. *C. (C.) lineafrons* demostró ser un depredador eficiente, representando así una excelente herramienta para el control biológico de *B. tabaci* en cultivos de tomate.

**PALABRAS CLAVE:** crisopa; mosca blanca; capacidad de depredación

#### DIRECCIÓN DE LOS AUTORES:

Instituto Superior de Entomología "Dr. Abraham Willink", Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina, e-mail: eugesortega@gmail.com, **ORCID:**0000-0002-8339-1160 (E.S.O); e-mail: ceciliaveggianiaybar@yahoo.com.ar, **ORCID:** 0000-0001-6689-2767 (C.A.V.A). Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, Tucumán, Argentina, e-mail: avilanalucia@yahoo.com.ar, **ORCID:** 0000-0001-7458-4991 (A.L.A.). Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, e-mail: c\_reguilon@yahoo.com.ar, **ORCID:** 0000-0001-7458-4991 (C.R.).

## INTRODUCCIÓN

The whitefly *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) is a serious pest of several annual crops, ornamental, industrial, fruit and weeds worldwide (Byrne et al., 1990; Brown et al., 1995; Viscarret, 2000; López-Ávila, 2005). It causes direct damage through sucking sap and the excretion of sugary substances that produce the growth of sooty mold, which causes decrease of the photosynthetic capacity of plant; also causes indirect damage by transmitting viruses and bacteria (Berlinger, 1986; Viscarret, 2000). The species of *B. tabaci* has caused significant losses in America since 1981, reducing crop productivity of tomato, sweet pepper, beans and textiles (Brown, 1993). In Argentina, the first record of *B. tabaci* arises from specimens found on unspecified host plant in Tucumán province (Viscarret, 2000). Subsequently, its presence is reported in greenhouses and field crops such as cotton, tobacco, citrus, sugar cane, soybean, forestry and horticultural crops of the families Solanaceae, Cucurbitaceae, Brassicaceae and Asteraceae (Polack, 2005).

Currently, the most used control method against *B. tabaci* is chemical control; however, an alternative method is based on biological control using natural enemies of the pest in order to decrease its density (Reguilón et al., 2011; Flores et al., 2015), the environmental impact and to improve product quality (López et al., 1999). Among their natural enemies is found the genus *Chrysopodes* Navás (Neuroptera: Chrysopidae), of cosmopolitan distribution and with about 40 species distributed in two subgenera, *Chrysopodes* s. str. and *Neosuarius* Adams and Penny

(Adams and Penny, 1987). In Argentina, the species *Chrysopodes* (*Chrysopodes*) *lineafrons* Adams and Penny, *Chrysopodes* (*Chrysopodes*) *polygonicus* Adams and Penny, *Chrysopodes* (*Neosuarius*) *divisus* Walker and *Chrysopodes* (*Neosuarius*) *porterinus* Navás have been reported (Adams and Penny, 1987; González-Olazo et al., 1999; Monserrat and Freitas, 2005; González-Olazo and Reguilón, 2008; Ortega et al., 2014).

*Chrysopodes* (*C.*) *lineafrons* is considered as an effective predator in biological control, however it is necessary to investigate the preference for certain pest species or even pest stage to be controlled as well as a possible interaction with other natural enemies. As such knowledge is deficient in the literature, an assay to study life cycle of *C. (C.) lineafrons* fed with eggs of *B. tabaci* as prey was set up. Therefore, developmental time, survival, longevity and oviposition as biological parameters of *C. (C.) lineafrons* were studied, as well as their predation ability over *B. tabaci* eggs under laboratory conditions.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area and collection of specimens

Entomological sampling was performed during the period 2009-2010 in two greenhouses and one field of tomato crop in Lules department (26° 55' 60" S – 65° 20' 60" W, 382 m.a.s.l), Tucumán province, northwestern Argentina (Figure 1).

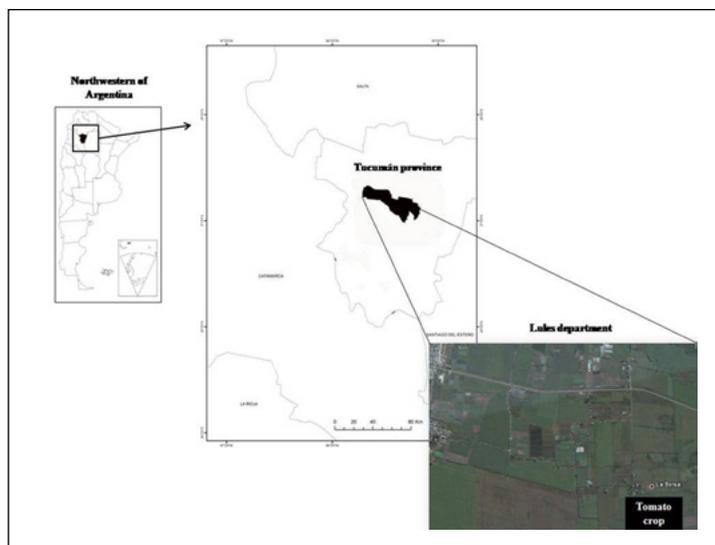


Figure 1. Geographical location of the tomato crops in Tucumán Province, northwestern Argentina.

*Chrysopodes (C.) lineafrons* specimens were collected in tomato crops and the surrounding vegetation using manual aspirators for the adults and manually with a brush for the immature stages. Subsequently, adults were placed in plastic containers of 500 cm<sup>3</sup> covered with voile and larvae in petri dishes with paper accordions, used to avoid cannibalism, and feeding with *Sitotroga cerealella* Oliver eggs.

### Assay in laboratory

Rearing of *C. (C.) lineafrons* was maintained for 12 months. The adults were placed in 5 L plastic containers covered with voile, secured with an elastic band and properly labeled with the date of the collect and the number of individuals. A circular paper was placed inside the container for the females to lay eggs. They were fed daily with a mixture of yeast, pollen, honey and water in a proportion 10-1-5-7 and provided water with moistened cotton (Nuñez, 1988; Holguin et al., 2004; Reguilón et al., 2006).

To evaluate the ingestion of *C. (C.) lineafrons*, eggs breeding in the laboratory were selected randomly and placed in individual plastic containers of 2 cm diameter with hermetic seal, maintained at 27 °C, 65 % humidity and a photoperiod of 12: 12 (L: D) until hatching (Díaz-Aranda and Monserrat, 1990; Giffoni et al., 2007) Once lacewing larvae emerged, they were separated in two groups. A known number of eggs of *B. tabaci* (190.3 ± 113.2) were offered to one of the groups and *S. cerealella* eggs (122.9 ± 45.0) to the other, the latter used as a control, because it is the most used prey for the mass rearing of species of green lacewing. After 24 hours, the number of eggs predated and the *C. (C.) lineafrons* larvae survival were recorded (Legaspi et al., 1994; Hagler et al., 2004).

When the larvae of *C. (C.) lineafrons* achieved the pupal stage, they were placed in 1 L plastic containers covered with voile. The number of adults that emerged was recorded in each repetition and it were fed and maintained under the same conditions that the adults of breeding. The number of eggs laid and longevity of adults was registered every 24 hours (Figure 2).

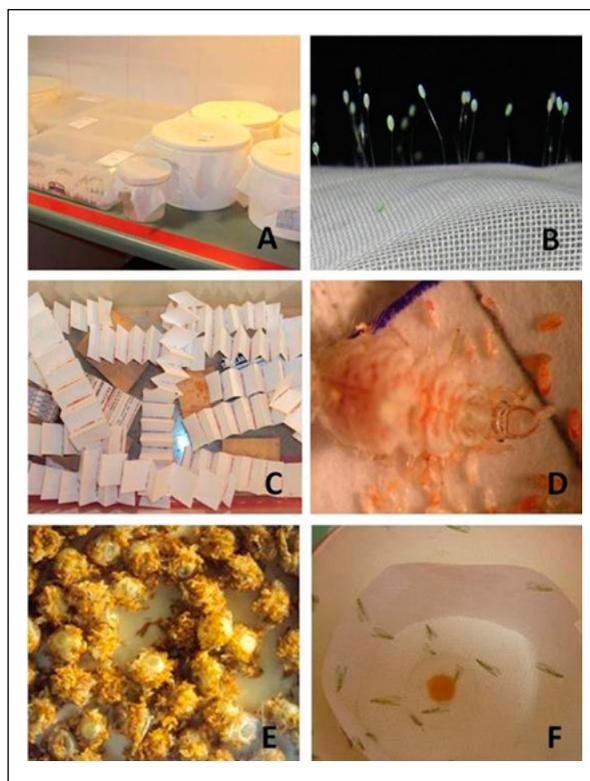


Figure 2. a. Rearing of *C. (C.) lineafrons*; b. Eggs; c. Larval feeding box; d. Larvas; e. Pupal stage; F. Adults.

### Data analysis

Data obtained in the laboratory such as number of prey offered and consumed, date of emergence of *C. (C.) lineafrons* larvae, oviposition, number of individuals adults placed in each container and numbers of eggs laid daily were registered into spreadsheets.

The mean, average and percentage of eggs predated by *C. (C.) lineafrons* were calculated. In addition, the survival of the different life stages (egg, larva and pupa) of lacewing was determined, as well as, the adult longevity and number of eggs laid per female per day fed with *B. tabaci* eggs and *S. cerealella* eggs. The analysis was carried out using the Statistica 6.0 (StatSoft, 2001) software.

### RESULTS

Of the total of 90 eggs of *Chrysopodes (C.) lineafrons* chosen at the beginning of the assay, only 71 hatched, and of these 34 were fed with *B. tabaci* eggs and 37

with *Sitotroga cerealella* eggs. During the ingest assay it was observed that a total of 34 individuals reached the adult state, 28 fed with *S. cerealella* eggs and 6 with *Bemisia tabaci* eggs.

### Ingestion assay

In general, the larvae of *C. (C.) lineafrons* consumed an average of 127.04 ( $\pm$  40.2) eggs of *B. tabaci* and 44 ( $\pm$  19.04) eggs of *S. cerealella* per day. When each larval stage was evaluated separately, it was observed that

the larva I of *C. (C.) lineafrons* consumed a maximum of 556 eggs of *B. tabaci* and 189 eggs of *S. cerealella*, the larva II consumed 531 eggs of *B. tabaci* and 240 eggs *S. cerealella*, while larva III consumed 619 eggs of *B. tabaci* and 150 eggs of *S. cerealella* per day (Table 1). On the other hand, the developmental time of the different larval stages were similar between larvae I and II, whereas for larvae III was shorter. With regard to developmental time of *C. (C.) lineafrons* an average of 45 days was recorded when the larvae were fed with of *B. tabaci* eggs and 35 days with *S. cerealella* eggs (Table 2).

Table 1. Daily eggs consumption of *C. (C.) lineafrons* larvae fed with *B. tabaci* eggs and *S. cerealella* eggs.

Stage	Number of individuals evaluated	Eggs consumption			
		Total	Average/individuals	Average/individuals/day	Rank
<i>B. tabaci</i>					
L1	34	33607	988.4	88.01	0-556
L2	31	43188	1393.2	124.8	0-531
L3	23	27446	1193.3	168.3	0-619
<i>S. cerealella</i>					
L1	37	8125	219.6	22.02	0-189
L2	31	10367	334.4	55.2	0-240
L3	30	6020	200.6	54.8	0-150

Table 2. Developmental time of different stages of *C. (C.) lineafrons* fed with *B. tabaci* eggs and *S. cerealella* eggs.

Stage	Mean $\pm$ SD	Life cycle duration
<i>B. tabaci</i>		
L1	11.23 $\pm$ 3.28	45.2 $\pm$ 3.54
L2	11.16 $\pm$ 6.02	
L3	7.09 $\pm$ 4.37	
Pupa	15.75 $\pm$ 2.99	
<i>S. cerealella</i>		
L1	9.97 $\pm$ 4.21	34.9 $\pm$ 5.04
L2	6.06 $\pm$ 4.27	
L3	3.66 $\pm$ 2.47	
Pupa	15.21 $\pm$ 3.51	

Means  $\pm$  SD followed by P < 0.05

### Survival, longevity and oviposition

In general, survival of eggs of *C. (C.) lineafrons* was 81.1 %. The immature stages of *C. (C.) lineafrons* fed with *B. tabaci* eggs showed lower survival (8.2 %) than those fed with *S. cerealella* eggs (30.1 %). Lacewings survival decreased significantly from the larval stage toward the adult stage, for both individuals fed with *B. tabaci* eggs as *S. cerealella* eggs (Figure 3).

Regarding to *C. (C.) lineafrons* adults longevity, a greater number of specimens was observed from larvae fed with *S. cerealella* eggs, as well as greater longevity of 41 days approximately, while the larvae fed with *B. tabaci* eggs it was 20 days (Figure 4a). Oviposition of *C. (C.) lineafrons* was also higher in females fed with *S. cerealella* eggs (Figure 4b).

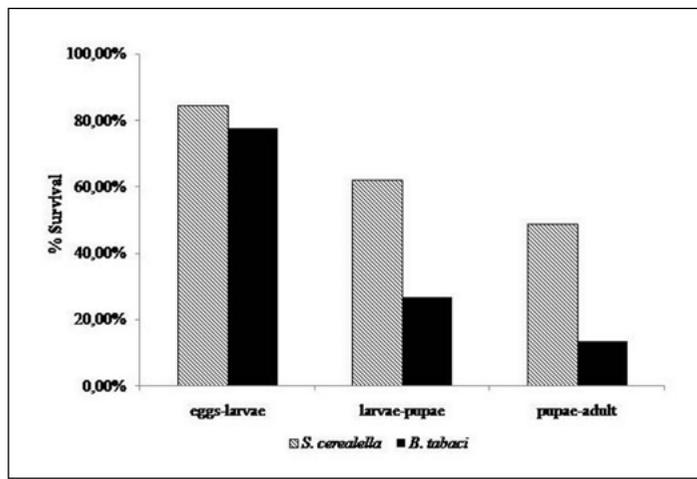


Figure 3. Viability of different developmental stages of *C. (C.) lineafrons* fed with *B. tabaci* eggs and *S. cerealella* eggs.

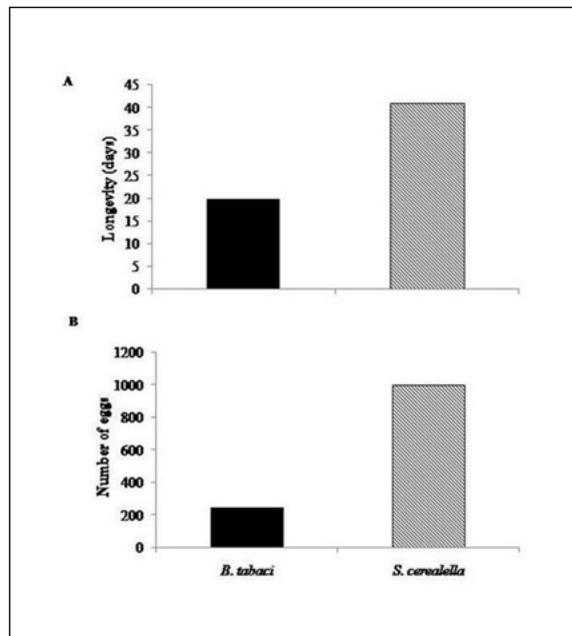


Figure 4. (a) Longevity and (b) Oviposition of *C. (C.) lineafrons* adult fed with *B. tabaci* and *S. cerealella* eggs.

## DISCUSSION

This study represents the first record of *C. (C.) lineafrons* predation capacity over *B. tabaci* eggs in Argentina, pointing at this specie as a potential biological control agent. It should be noted that this lacewing specie was recently cited in the province of Tucumán, northwestern Argentina (Ortega et al., 2014).

Regarding to the ingest capacity, the *C. (C.) lineafrons* larvae consumed a greater amount of *B. tabaci* eggs per day than *S. cerealella* eggs, standing out the larva II, respectively. These results are comparable with those reported by Legaspi et al. (1994), who determined that a greater number of *B. tabaci* eggs were necessary for the development of larvae III of *Chrysoperla rufilabris* Bumeister. Other studies cite that *Chrysoperla carnea* Stephens was able to eat up 200.5 nymphs of *B. tabaci* and 171.8 nymphs of *Amrasca devastans* Distant (Nisar-Syed et al., 2005) and that the larvae can consume about 8 000 eggs of *S. cerealella* and 510 pupae of *B. tabaci* throughout its development (Gallardo et al., 2005). As well, Legaspi et al. (1994) determined that *C. rufilabris* larvae consume an average of 531.55 eggs of *B. tabaci* per day, whereas Avila et al. (2009) reported that *Chrysoperla argentina* Steimann larvae ingested an average of 275 eggs of *B. tabaci* per day. This behavior can be attributed to that reported by Nisar-Syed et al. (2005), who determined that the prey density has a strong influence on the predation potential, i.e. the consumption of number of egg increase as the prey density was increased.

Furthermore, it was observed that *C. (C.) lineafrons* presented a developmental time of 45 days when they were fed with *B. tabaci* eggs and 35 days with *S. cerealella* eggs. Regarding this, investigations performed by Ramirez-Delgado et al. (2007) with *Ceraeochrysa* sp. nr. *cincta* determined that total developmental time, from egg until adult emergence was 29 days when they were fed with *S. cerealella* eggs. Moreover, Legaspi et al. (1994) recorded an increased duration of larval developmental time in *C. rufilabris* fed with *B. tabaci* eggs compared with those fed with *S. cerealella* eggs; however, Nisar-Syed et al. (2005) recorded that *C. carnea* present a shorter developmental time when they were fed with *B. tabaci* eggs compared that with *A. devastans* eggs.

Survival of *C. (C.) lineafrons* as the life cycle progresses decreased for both individuals those fed with *B. tabaci*

eggs and those fed with *S. cerealella* eggs. These results agree with those obtained by Ramirez-Delgado et al. (2007), who determined a steadily decreased over time of *C. sp. nr. cincta* survival fed with *S. cerealella* eggs. Longevity of *C. (C.) lineafrons* adults fed with *S. cerealella* eggs was 41 days and 20 days with *B. tabaci* eggs, results that agree with those reported by Ramirez-Delgado et al. (2007), who determined a greater longevity for adults of *C. sp. nr. cincta* fed with *S. cerealella* eggs.

Generally, survival, longevity and number of eggs laid per female of *C. (C.) lineafrons* was greater when they were fed with *S. cerealella* eggs than with *B. tabaci* eggs. In this regard, Giffoni et al. (2007) determined that *C. externa* only completed its life cycle when being fed with *S. cerealella*; while Legaspi et al. (1994) recorded that *C. rufilabris* larvae showed a greater preference for *S. cerealella* eggs than for *B. tabaci* eggs.

It has been observed that *C. (C.) lineafrons* present a similar behavior to other lacewing species but with the peculiarity that the predation efficiency is much higher, which would represent an excellent tool to an efficient biological control of *B. tabaci* in tomato crops. Therefore, we can conclude that the larval stages of *C. (C.) lineafrons* require a greater number of *B. tabaci* eggs than of *S. cerealella* eggs to complete its life cycle; larvae II and III of *C. (C.) lineafrons* consume more *B. tabaci* eggs; larval I stage is longer than the other two larval stages; survival and longevity of *C. (C.) lineafrons* adults was greater in individuals fed with *S. cerealella* eggs, as well as the number of eggs laid per female was higher.

In general, we can say that *C. (C.) lineafrons* feed with *S. cerealella* reached a complete development in a shorter time, whereas individuals feeding with *B. tabaci* required a higher density of the prey to complete the development since the number of eggs offered failed to meet nutritional needs. These results would indicate that the greater efficiency of the predator would be given when the availability and number of whitefly are greater than those offered in the present study. Therefore, survival, longevity and oviposition are determined by the nutritional value of the prey, that is, *C. (C.) lineafrons* require a higher number of whitefly eggs to increase these values and indicate their potential as a control agent.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We thank to the Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas, Tucumán for the collaboration and funding for this research. This research was supported by the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas Técnicas (Project Number 20110100687).

## REFERENCES

- Adams, P.A. and Penny, N. 1987. Neuroptera of Amazon Basin, Part 11a. Introduction and *Chrysopini*. *Acta Amazonica* 15: 413–479.
- Ávila, A.L., Arias, M.J., Ortega, S. and Toledo, S. 2009. Ingesta de huevo de mosca blanca por *Chrysoperla argentina*, Resúmenes de las III Jornadas de Jóvenes Investigadores 2009. Tucumán, Argentina.
- Berlinger, M.J. 1986. Host plant resistance of *Bemisia tabaci*. *Ecosystems Environment* 17: 69–82.
- Brown, J. 1993. Evaluación crítica sobre los biotipos de mosca blanca en América, de 1989 a 1992. In: Mata, M. De., Dardon Avila, D.E., Salguero, N., V.E., Editors. *Memorias del taller Centroamericano y del Caribe sobre Moscas Blancas*. CATIE, Turrialba.
- Brown, J., Coats, S.A., Bedford, I.D., Markhan, P.G., Bird, J. and Frohlich, D.R. 1995. Characterization and distribution of esterase electromorphs in the Whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). *Biochemical Genetics* 33: 205–213.
- Byrne, N.D., Bellows, T.S.Jr. and Parrella, M.P. 1990. Whiteflies in agricultural systems, In: Gerling, D., Editor. *Whiteflies: their bionomics, pest status and management*, Intercept Ltd., Andover.
- Díaz-Aranda, L.M. and Monserrat, V.J. 1990. Estadios larvarios de los Neuropteros Ibéricos. VI: *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836), *Chrysoperla mediterránea* (Höfzel, 1972) y *Chrysoperla ankylopteryformis* Monserrat y Díaz-Aranda, 1989. (Insecta, Neuroptera: Chrysopidae). *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 16: 675–689.
- Flores, G., Reguilón, C., Alderete, G. and Kirschbaum, D.S. 2015. Liberación de *Chrysoperla argentina* (Neuroptera: Chrysopidae) para el control de *Trialetrodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) en invernáculo de pimiento en Tucumán, Argentina. *Intropica* 10: 28–36.
- Gallardo, J., Vargas-Camplis, J.J., López-Arroyo, J.I. and Reyes-Rosas, M.A. 2005. Uso y manejo de *Chrysoperla carnea*. Patronato para la investigación fomento y sanidad vegetal. Centro regional de estudios y reproducción de organismos benéficos. *H. matamoros*, Tamaulipas. <http://home.satx.rr.com/avargas/CHRYSOPELA.htm>. Accessed December 19, 2005.
- Giffoni, J., Valera, N., Diaz, F. and Vasquez, C. 2007. Ciclo Biológico de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada con diferentes presas. *Bioagro* 19: 109–113.
- González-Olazo, E.V., Toledo, S. and Zaia, G. 1999. Nuevas citas de Chrysopidae (Neuroptera: Planipennia) para la Argentina. *Acta Zoológica Lilloana* 45: 151–152.
- González-Olazo, E.V. and Reguilón, C. 2008. Orden Neuroptera. In: Claps, L.E., Debandi, G., Roig-Juñent, S., Editors. *Biodiversidad de Insectos de la Argentina II*. Sociedad Entomológica Argentina. Argentina.
- Hagler, J.R., Jackson, C.J., Isaacs, R. and Machtley, S.A. 2004. Foraging behavior and prey interactions by a guild of predators on various lifestages of *Bemisia tabaci*. *Journal of Insect Science* 4:1–13.
- Holguin, C.M., Mendoza, C.E., Tauber, C.A. and Belotti, C. 2004. Especies de la Familia Chrysopidae asociadas al cultivo de Yuca *Manihot esculenta* Crantz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali. Colombia. Póster. [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/ipm/pdfs/socolen\\_04\\_holguin.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/ipm/pdfs/socolen_04_holguin.pdf). Accessed March 5, 2016.
- Legaspi, J.C., Carruthers, R.Y. and Nordlund, D.A. 1994. Life history of *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae) provided sweet potato whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) and other food. *Biological Control* 4: 178–184.
- López-Ávila, A. 2005. Biología y control biológico de las moscas blancas. Centro de investigación Tibaitatá, Bogotá, pp. 1–13. <https://tallertesis.files.wordpress.com/2015/03/bycbdemoscasblancas3.pdf>. Accessed September 29, 2017.
- López, S.N., Viscarret, M.M. and Botto, E.N. 1999. Selección de la planta hospedera y ciclo de desarrollo de *Trialetrodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae) sobre zapallito (*Cucurbita máxima* Duch.; Cucurbitales: Cucurbitaceae) y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.; Tubiflorales: Solanaceae). *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 25: 21–29.

Montserrat, V. and Freitas, S. 2005. Contribución al conocimiento de los crisópidos de Coquimbo, Patagonia y Tierra del Fuego (Argentina y Chile) (Insecta, Neuroptera, Chrysopidae). *Graellsia* 61: 163-169.

Nisar-Syed, A., Ashfak, M. and Khan, S. 2005. Comparison of development and predation of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) on different densities of two hosts (*Bemisia tabaci* and *Amrasca devastans*). *Pakistan Entomologist* 27: 41-44.

Núñez, Z.E. 1988. Ciclo biológico y crianza de *Chrysoperla externa* y *Ceraeochrysa cincta* (Neuroptera: Chrysopidae). *Revista Peruana de Entomología* 31: 76-82.

Ortega, E.S., Veggiani-Aybar, C.A., Avila, A.L., Heredia, F. and Reguilón, C. 2014. First report of *Chrysopodes* (*Chrysopodes*) *lineafrons* (Neuroptera: Chrysopidae) in Tucumán province, Northwestern Argentina. *Florida Entomologist* 97: 266-268.

Polack, L.A. 2005. Manejo integrado de moscas blancas. *Boletín Hortícola* 31:1-7.

Ramírez-Delgado, M., López-Arroyo, J.L., González-Hernández, A. and Badii-Zabeh, M.H. 2007. Rasgos Biológicos y Poblacionales del depredador *Ceraeochrysa* sp. nr. *cincta* (México) (Neuroptera: Chrysopidae). *Acta Zoológica Mexicana* 23: 79-95.

Reguilón, C., Alderete, G. and Flores, G.C. 2011. *Chrysoperla argentina* (Neuroptera: Chrysopidae) un enemigo natural promisorio para el control de la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en cultivo de pimiento en invernaderos - Lules, Tucumán. *Horticultura Argentina* 30(73): 55.

STATSOFT INC. 2001. STATISTICA (data analysis software system), versión 6.

Viscarret, M. 2000. Estudios biológicos sobre Aleyrodidae de importancia económica (Insecta: Hemiptera) con énfasis en el complejo *Bemisia tabaci* (Gennadius) y su posible control biológico. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina.

**Fecha de recepción:** 09/03/2017

**Fecha de aceptación:** 14/07/2017

**Publicado en línea:** 14/09/2017

**Para citar este artículo:** Ortega E. S., Veggiani-Aybar, C., Ávila, A.L. and Reguilón C. 2017. New Records of predation on eggs of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) by *Chrysopodes* (*Chrysopodes*) *lineafrons* (Neuroptera: Chrysopidae) in northwestern Argentina. *Intropica* 12(2): 101-108. DOI: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2284>.

## REGISTRO DE TERMITAS (Isoptera) ASOCIADAS A CULTIVOS DE MANGO (*Mangifera indica*) EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, COLOMBIA

### RECORDS OF TERMITES (Isoptera) ASSOCIATED WITH MANGO CROPS (*Mangifera indica*) IN THE DEPARTMENT OF MAGDALENA, COLOMBIA

Hafid Yesid Hurtado-Borrero , Diego Armando Manga-Candelario  y Paula Andrea Sepúlveda-Cano 

#### RESUMEN

Las termitas (Isoptera) son insectos sociales que ocasionan daños en muchos cultivos de interés económico. Teniendo en cuenta la importancia del cultivo de mango en la economía de los agricultores del departamento del Magdalena y la expansión de este cultivo en la región, se realizó un inventario inicial de las especies de termitas presentes. Se realizaron muestreos en 22 huertos ubicados en las diferentes zonas productoras del departamento del Magdalena. Se realizó una recolección manual de los especímenes de termitas en cada zona y se determinaron dos familias: Rhinotermitidae, con un género (*Heterotermes*), y Termitidae, con dos géneros (*Microcerotermes* y *Nasutitermes*). Se identificaron cuatro morfoespecies, dentro de las cuales *Nasutitermes* sp. presentó la mayor abundancia y una amplia distribución en el área de estudio, seguida de *N. nigriceps* (Haldeman), *Microcerotermes* sp. y *Heterotermes tenuis*. Se requieren nuevas observaciones en campo y laboratorio que permitan determinar los factores que afectan en la distribución e incidencia de las especies de termitas en el departamento y un análisis sobre su impacto económico en el cultivo.

**PALABRAS CLAVE:** *Nasutitermes*; Rhinotermitidae; Termitidae

#### ABSTRACT

Termites (Isoptera) are social insects that cause damage to many crops of economic interest. Given the importance of mango crops in the economy of the farmers in the department of Magdalena and the growth of this crop in the region, a preliminary termites inventory was carried out. Samplings were taken in 22 orchards located in the different producing areas of the department of Magdalena. Manual collections of termite specimens were made in each area and two families were determined: Rhinotermitidae, with one genus (*Heterotermes*), and Termitidae, with two genera (*Microcerotermes*, y *Nasutitermes*). Four morphospecies were identified. *Nasutitermes* sp. was the most frequent in the sampled orchards, followed by *N. nigriceps* (Haldeman), *Microcerotermes* sp. and *Heterotermes tenuis*. New field and laboratory observations aimed at determining the factors affecting the distribution and incidence of termite species in the department and an analysis of their economic impact on the crop are required.

**KEY WORDS:** *Nasutitermes*; Rhinotermitidae; Termitidae

---

#### Dirección de los autores

Laboratorio de Entomología, Universidad del Magdalena, Calle 32 22-08 Hangar B, Colombia, e-mail: hafidhurtado@gmail.com, **ORCID:** 309.819.138 (H.Y.H.B); e-mail: diegomanga\_24@hotmail.com, **ORCID:** 160.407.310 (D.A.M.C); e-mail: sepulveda-cano@yahoo.es; **ORCID:** 4.088.656 (P.A.S.C).

## INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica*) es uno de los cultivos de mayor proyección económica en la fruticultura del departamento del Magdalena; sin embargo, en todas las zonas donde se cultiva se presenta una alta incidencia de insectos plaga, ocasionando pérdidas que en ocasiones hacen insostenible el cultivo (Galán, 1999). Además de los daños directos, algunas lesiones ocasionadas por estos insectos pueden abrir un sitio de ingreso para agentes patógenos causantes de otros problemas fitosanitarios que afectan el rendimiento y la calidad del producto (Kondo-R, 2010). En Colombia, los principales insectos que afectan el cultivo de mango son los siguientes: mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae), escamas y cochinillas (Hemiptera: Coccothraupidae), trips (Thysanoptera), termitas (Isoptera), hormigas (Hymenoptera: Formicidae), chinches y pulgones (Hemiptera: Pentatomidae, Membracidae, Aphididae), y mariposas (Lepidoptera: Nymphalidae, Limacodidae, Megalopygidae) (Cartagena et al., 1992; Anacafé 2004; CORPOICA y Asohofrucol, 2013).

Dentro de estos artrópodos se destacan las termitas, insectos que viven en sociedades y han logrado aprovechar la lignocelulosa como recurso nutricional; se alimentan principalmente de las capas del cambium de las plantas, aunque actualmente usan otros sustratos alimenticios como hongos, pasto, humus y estiércol de ungulados (Krishna et al., 2013a). Para el caso de mango, el ataque de estos insectos reduce su crecimiento, principalmente por las dificultades en el desarrollo y establecimiento de raíces (Rogers et al., 1999), aunque algunos autores los consideran “plagas menores” de este cultivo (Hill, 2008).

En los cultivos de mango alrededor del mundo se han registrado varias especies de termitas asociadas, mostrando mayor susceptibilidad los árboles jóvenes (Bignell et al., 2011) y huertos localizados en zonas semi-áridas y secas (Abrol, 2015). Algunas de estas especies son *Odontotermes* spp. y *Neotermes mangiferae* en la India (Kannan y Venugopala, 2006; Krishna et al., 2013b), *Macrotermes gilvus* y *Nasutitermes* spp. en Filipinas (Acda, 2013), *Ancistrotermes cavithorax* en Senegal (Han y Ndiaye, 1996), *Microtermes mycophagus* en Pakistán (Iqbal et al., 2015) y *Nasutitermes corniger*, *N. ephratae* y *N. nigriceps* en Nicaragua (Maes, 2004). Para el caso de Colombia y en especial en la región Caribe, los trabajos más recientes en termitas se han realizado en cultivos de cítricos. En un inventario

realizado en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba y Magdalena, Abadía et al. (2013) encontraron una incidencia de termitas, superior al 70 %, siendo el departamento del Magdalena el de mayor afectación, con un porcentaje del 75,56 % de incidencia, por lo que sugirieron realizar monitoreo y evaluaciones a las poblaciones de las especies más frecuentes. Sin embargo, la información para otros frutales de la región es escasa y se desconocen las especies de termitas asociadas. En este contexto, el presente trabajo buscó realizar un reconocimiento inicial de las especies asociadas a cultivos de mango de las zonas de mayor producción del frutal en el departamento del Magdalena.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron en 22 huertos productores de mango (con mínimo 0,5 ha) localizados en tres zonas del departamento del Magdalena: zona norte (municipios Santa Marta y Ciénaga), zona centro (municipio Pivijai) y zona sur (municipios San Sebastián y Guamal). Los huertos fueron heterogéneos en cuanto al manejo agronómico, edad de las plantas y variedades cultivadas, dentro de las que se destacaron los cultivares Azúcar (50 %) e Hilaza (31 %), mientras que el 19 % restante tenían cultivadas las dos anteriores y mezclas de las variedades Manzano, Filipino, Bocado, Chupa, Tommy, Número 11 y Chanqueta. En cada huerto se realizó un recorrido en zig-zag y se inspeccionaron aproximadamente el 10 % de los árboles. En cada planta se examinaron la base del árbol, el tronco, las ramas, las hojas y los frutos, y ante la presencia de termitas se tomaron muestras de soldados, se depositaron en alcohol al 75 % y se rotularon. En laboratorio se llevó a cabo el proceso de identificación, siguiendo las claves taxonómicas propuestas por Constantino (2002). Adicionalmente, en campo se tomaron los datos de número de árboles afectados y cantidad de ramas con galerías conspicuas. El material se depositó en el Centro de Colecciones Biológicas de la Universidad del Magdalena.

## RESULTADOS

Se registraron daños por termitas en las cuatro zonas productoras del mango del departamento (Figura 1) y en el 77 % de los huertos evaluados, con presencia de nidos tanto en la base como en la parte aérea de los árboles. Además, se encontraron túneles en los troncos y ramas y resquebrajamiento y secamiento de ramas. Tras la determinación taxonómica, se encontraron

dos especies y dos morfoespecies distribuidas en tres géneros: *Heterotermes tenuis* (Hagen, 1858) (Rhinotermitidae), *Microcerotermes* sp. (Silvestri, 1901), *Nasutitermes nigriceps* (Haldeman) (Termitidae) y *Nasutitermes* sp. (Figura 2a-d). Las morfoespecies del

género *Nasutitermes* presentaron la mayor frecuencia de captura y la distribución geográfica más amplia, mientras que *H. tenuis* fue la especie con menor frecuencia de captura y la única que se restringió a la zona centro (Figuras 1 y 3).

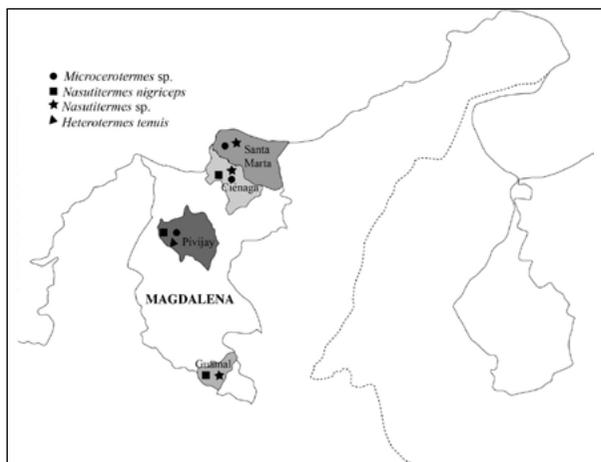


Figura 1. Distribución de las morfoespecies de termitas en las tres zonas productoras de mango del departamento.

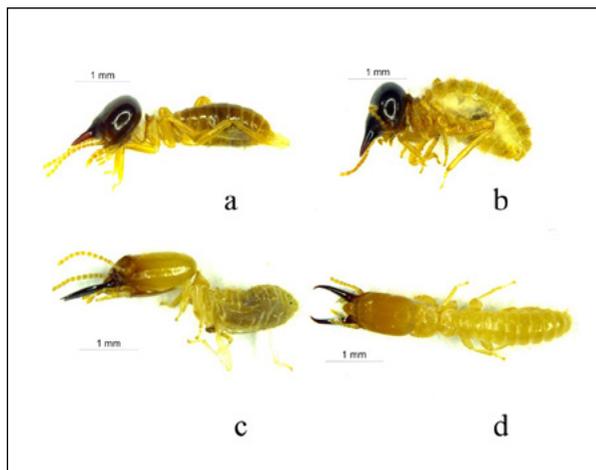


Figura 2. Morfoespecies de termitas encontradas asociadas al cultivo de mango del departamento del Magdalena a) *Nasutitermes nigriceps* b) *Nasutitermes* sp. c) *Microcerotermes* sp. d) *Heterotermes tenuis*.

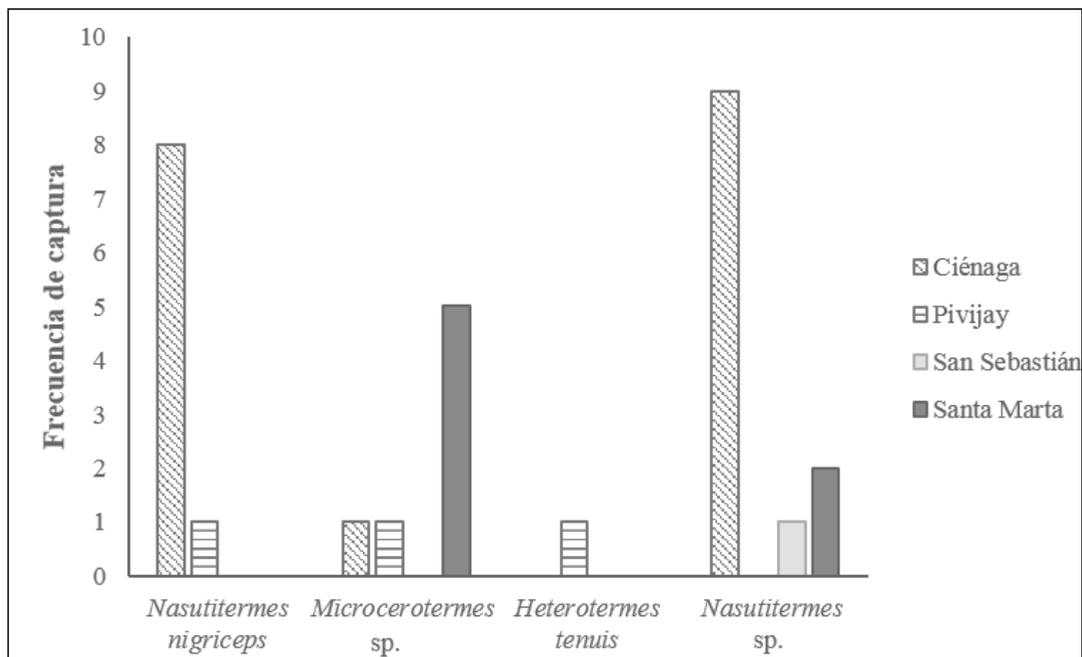


Figura 3. Frecuencia de termitas en municipios productoras de mango del departamento del Magdalena.

## DISCUSIÓN

El género más abundante y más ampliamente distribuido en el departamento del Magdalena fue *Nasutitermes* (Figuras 2a-b y 3). Este género, con más de 244 especies descritas, se encuentra presente en 27 departamentos de Colombia, en altitudes entre 0 y 2800 m (Vargas-Niño et al., 2005) y posee especies que se han registrado previamente en cultivos de mango en otras regiones del mundo, como *N. luzonicus* en Filipinas (Acda, 2013), *N. graveolus* en el norte de Australia (Waite, 2002) y *N. corniger*, *N. ephratae* y *N. nigriceps* en Nicaragua (Maes, 2004). La morfoespecie más registrada en la mayoría de los huertos a lo largo del departamento del Magdalena fue *Nasutitermes* sp. (Figura 2b). La descripción de los soldados recolectados de esta morfoespecie coincide con las de Constantino (2002). Las especies de este género se pueden encontrar en nidos arbóreos y sus galerías transitan en troncos y ramas del árbol, alcanzando dimensiones de 2 m de altura y 1 m de ancho (Thorne et al., 1996; Pearce, 1997; Constantino, 2002; Arcila et al., 2013). En el caso de *N. nigriceps*, se encontró principalmente en la zona norte del departamento (Figura 2a).

Desde el punto de vista biológico algunas especies de *Nasutitermes* tienen adaptaciones. Thorne et al. (1996) y Gaju et al. (2015), evaluaron inclusiones o nódulos que se encuentran dentro de la galería de algunos nidos de termitas, concluyendo que utilizan los nódulos como una forma de almacenamiento de alimentos, debido a que encontraron que éstas poseen altas concentraciones de celulosa y bajas concentraciones de cutina, en comparación con un nido normal de este orden. Otra adaptación se relaciona con que *N. nigriceps* no almacena o cultiva su alimento, sino que lo procesa, es decir, tritura la comida y la incorpora a la matriz del nido para una utilización futura.

Se desconoce el impacto económico o el efecto de la asociación de estas especies con otros organismos en el desarrollo del cultivo de mango. Sin embargo, en otras especies vegetales, como *Acacia mangium*, se asume que pueden ocasionar daños indirectos y asociarse con otras especies cuando los árboles están debilitados o secos; por consiguiente, usualmente no se registra como plaga de importancia en la agricultura del país, sino que se considera secundaria a otros problemas sanitarios (Lores y Pinzón, 2011; Abadía et al., 2013).

*Heterotermes tenuis* (Figura 2d) solo se encontró en la zona centro del departamento. Esta especie es originaria de Suramérica, aunque ha invadido las Antillas menores

y el Caribe; se ha registrado en cultivos de caña de azúcar y eucalipto (Constantino, 2002; Szalanski et al., 2004). La morfología de los individuos recolectados coincidió con la descrita por Constantino (2002). Los soldados de *H. tenuis* son pequeños, la cabeza tiene forma casi rectangular, con mandíbulas generalmente grandes (alargados y sin dientes) casi rectas y visibles o aserradas; antenas con 15 – 18 antenómeros; pronoto casi plano o convexo; abdomen por lo general de color blanquecino y opaco con poros frontales y setas largas y cortas sobre su superficie (Constantino, 2002; Arcila et al., 2013). Los nidos de esta especie son subterráneos, así que la manera de detectar su presencia en los árboles es observando largos caminos de galerías que construyen en troncos y ramas (Arcila et al., 2013). Aunque se encuentran generalmente en árboles muertos y en descomposición (Arcila et al., 2013), durante los muestreos se observaron en plantas en pie, lo que puede deberse a que los agricultores de la zona sur no realizan podas sanitarias con frecuencia y se conservan árboles que pueden tener hasta 80 años de edad, con ramas secas y no productivas.

Los nidos de *Microcerotermes* sp. se encontraron en la zona centro y norte del departamento (Figura 2c), con presencia de sus nidos en los troncos o bases de los árboles. En cultivos como caña de azúcar usualmente se han registrado atacando raíces y tallos; también se han encontrado en tomate y algodón (Harris, 1954; Han y Ndiaye, 1998). Según Sermeño et al. (2003), los nidos de las especies de *Microcerotermes* son de conformación densa y dura, lo que los hace resistentes a la lluvia, solo permitiendo una ligera erosión de las capas más externas, mientras que las partes internas no se ven afectadas. Según Nickle et al. (1992), estos artrópodos pueden adaptar la consistencia de los nidos para una mayor protección en contra de las altas temperaturas de las zonas áridas y de los depredadores. Los soldados de este grupo son pequeños y con cabeza rectangular, tienen mandíbulas grandes aproximadamente simétricas, muy curvadas y sin dientes marginales, por lo general con margen serrado interno; labro angosto en el ápice y abdomen no blanquecino (Constantino, 2002). Especies de este género hasta el momento no han sido registradas como plaga común del cultivo de mango en este departamento, pero si se han documentado causando problemas en cultivos de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) en el departamento del Magdalena (Gutiérrez et al., 2004; Gutiérrez et al., 2005).

Las diferencias en la distribución geográfica de las morfoespecies de termitas en cultivos de mango en el departamento del Magdalena no podrían ser atribuibles a

un factor en particular, dado que la carencia de estudios en aspectos nutricionales, biológicos y adaptativos de las termitas no permiten hacer inferencias a partir de los datos obtenidos. En términos generales, las diferencias entre las tres regiones van desde la génesis de sus suelos hasta el manejo agronómico de los huertos. Por ejemplo, en la zona norte se observó durante este estudio un mayor desarrollo tecnológico en los cultivos del mango, en donde se realizan podas sanitarias, programas de fertilización completos y hay presencia de cultivos en grandes extensiones, a diferencia de la zona sur, en donde la mayor parte de los huertos están en traspatios y no tiene ningún manejo sanitario dado el bajo precio de compra del producto. En la zona centro las plantaciones tienen un mayor acompañamiento técnico que en la zona sur, pero la tecnificación aun es incipiente.

Además del manejo sanitario hay aspectos que requieren evaluación. Por ejemplo, algunos estudios han encontrado un mayor impacto de las termitas en zonas con abundante vegetación y con altas concentraciones de nutrientes. Además, dado que algunas especies de termitas utilizan selectivamente las partículas del suelo, zonas con suelos conformadas por partículas más finas para construir sus nidos (los cuales son subterráneos y/o epigeos) pueden favorecer su presencia, aun mas cuando se sabe que existen especies que requieren cantidades precisas de arena, limo y arcilla para la construcción de sus nidos y galerías (Lee et al., 1971; Jouquet et al., 2000). Para el caso de las zonas evaluadas en el departamento del Magdalena, la zona centro cuenta con suelos clase III, con frecuente encharcamiento, alto contenido de sales y fuerte erosión, lo que favorece la presencia de arcillas endurecidas y por ende ocasiona que las raíces de las plantas no profundicen mucho. Igualmente, la zona sur tiene suelos clase VIII, considerados no aprovechables para actividades agropecuarias por sus suelos pobres y pantanosos (Gobernación del Magdalena, 2008); adicionalmente, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (2009) ha realizado investigaciones sobre los tipos de suelos que existen en el departamento del Magdalena, indicando que la mayor parte de los suelos son aptas para el cultivo de *M. indica*, en especial la región norte, la cual comprende algunos sectores de Santa Marta y los municipios de Ciénaga y Zona Bananera, los cuales se visitaron para realizar este trabajo. Así mismo, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (2009) describe que los tipos de suelos que existen en el departamento del Magdalena son moderadamente profundos a muy profundos, bien a deficientemente drenados y con una fertilidad alta a moderada,

originarios especialmente de depósitos aluviales, en donde predominan los suelos franco arenosos, franco arcillosos y arcillosos. A simple vista, no se infiere ninguna relación evidente entre los tipos de suelos y las morfoespecies de termitas asociadas, pero se requeriría realizar análisis de suelos en una escala espacial más pequeña en aquellos huertos con presencia permanente de termitas, a fin de determinar el rol del tipo de suelo en la distribución de estas morfoespecies.

## CONCLUSIONES

Las termitas podrían llegar a ser uno de los problemas entomológicos más importantes en el departamento del Magdalena en lo que respecta a los cultivos de mango, por su alta prevalencia y amplia distribución.

Se requiere la evaluación de variables biológicas y su relación con factores edáficos y microambientales, a fin de disponer de herramientas para el diseño de posibles sistemas de control del insecto.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue parcialmente financiado por Colciencias y la Universidad del Magdalena en el marco del *Plan de acompañamiento a Semilleros de investigación convocatoria 617-2013*. Los autores agradecen a los propietarios y administradores de los huertos incluidos en la investigación por su gentil colaboración.

## BIBLIOGRAFÍA

Abadía, J., Arcila, A. y Chacón, P. 2013. Incidencia y distribución de termitas (Isoptera) en cultivos de cítricos de la costa Caribe de Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 39(1): 1-8.

Abrol, D.P. 2015. Chapter 8: Tropical fruits. En: Abrol, D.P., Editor. *Pollination Biology, Vol.1: Pests and pollinators of fruit crops*. Springer International Publishing, Switzerland.

Aca, M.N. 2013. Geographical distribution of subterranean termites (Isoptera) in economically important regions of Luzon, Philippines. *Philippine Agricultural Scientist Journal* 96(2): 205-209.

ANACAFE. 2004. *Cultivo de Hule*. Programa de diversificación de ingresos de la empresa cafetalera, Guatemala.

- Arcila, A., Abadía, J.C., Achury R.A., Carrascal, F.F. y Yacomelo, M.J. 2013. *Manual para la identificación y manejo de termitas y otros insectos plagas de los cítricos en la región Caribe de Colombia*. Corpoica, Colombia.
- Bignell, D. E., Roisin, Y. y Lo, N. 2011. *Biology of Termites: a Modern Synthesis*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Corpoica- Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias y Asohofrucol- Asociación Hortifrutícola de Colombia. 2013. *Modelo Tecnológico para el cultivo del mango en el Valle del alto Magdalena en el Departamento del Tolima*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá.
- Cartagena, J.R. y Vega, D. 1992. *Fruticultura colombiana, el mango, Manual de asistencia técnica N° 43*. PM Ediciones, Bogotá.
- Constantino, R. 2002. An illustrated key to Neotropical termite genera (Insecta:Isoptera) based primarily on soldiers. *Zootaxa* 67: 1-40.
- Gaju, M., Bach, C. y Molero, R. 2015. Orden Isoptera. *Revista IDEA-SEA* 49:1-17.
- Galán, V. 1999. *El Cultivo Del Mango*. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid.
- Gobernación del Magdalena. 2008. *Magdalena, Plan de desarrollo departamental 2008-2011*. Gobernación del Magdalena. Santa Marta.
- Gutiérrez, A.I., Uribe, S. y Quiroz, J. A. 2004. Termitas asociadas a plantaciones de *Eucalyptus* spp. en una reforestadora en Magdalena, Colombia. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 72: 54-59.
- Gutiérrez, A.I., Saldarriaga, Y., Uribe, S., Zuluaga, M. y Pineda, F. 2005. Patogenicidad de *Paecilomyces lilacinus* y *Metarhizium anisopliae* sobre termitas *Microcerotermes* sp. (Isoptera: Termitidae). *Revista Colombiana de Entomología* 31(1): 9-14.
- Han, S.H. y Ndiaye, A.B. 1998. Dégâts causés par les termites (Isoptera) sur les arbres fruitiers dans la region de Dakar (Sénégal). *Actes des Colloques Insectes Sociaux* 10:111-117.
- Harris, W.V. 1954. Termites and tropical agriculture. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 31:11-18.
- Hill, D.S. 2008. Major tropical crops and their pest spectra En: Hill, D.S., Editor. *Pests of Crops in Warmer Climates and Their Control*. Springer, Netherlands.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. 2009. *Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento del Magdalena, escala 1:100.000*. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá.
- Iqbal, N., Khan, H.A. y Saeed, S. 2015. Response of *Microtermes mycophagus* (Isoptera: Termitidae) to twenty one wood species. *PeerJ* 3:e1132.
- Jouquet, P., Lepage, M. y Velde, B. 2000. Termite soil preferences and particle selections: strategies related to ecological requirements. *Insectes Sociaux* 49: 1-7.
- Kannan, M. y Venugopala, N. 2006. Seasonal incidence and population fluctuation of dipteran, isopteran, hymenopteran and thysanopteran pest of mango. *Journal of Plant Protection and Environment* 3(2): 50-55.
- Krishna, K., Grimaldi, D.A., Krishna, V. y Engel, M. 2013a. Treatise of the Isoptera of the world. 1. Introduction. *AMNH Bulletin* 377 (1):1-202.
- Krishna, K., Grimaldi, D.A., Krishna, V. y Engel, M. 2013b. Treatise of the Isoptera of the world. 2. Basal families. *AMNH Bulletin* 377 (2): 201-624.
- Kondo-R., D.T. 2010. III. Insectos. En: Bernal, J.A. y Díaz, C.A., Editores. *Tecnología para el cultivo de mango*. Manual Técnico. Produmedios, Bogotá.
- Lee, K.E. y Wood, T.G. 1971. Physical and chemical effects on soils of some Australian termites, and their pedological significance. *Pedobiologia* 11: 376 – 409.
- Lores, A. y Pinzón, O. 2011. Insectos fitófagos en plantaciones comerciales de *Acacia mangium* Willd. en la costa Atlántica y la Orinoquia colombiana. *Colombia Forestal* 14 (2):175-188.
- Maes, J.M. 2004. Insectos asociados a algunos cultivos tropicales en el Atlántico de Nicaragua. Parte XI. Mango (*Mangifera indica*, Anacardiaceae). *Revista Nicaragüense de Entomología* 64: Suplemento 1, parte XI: 1-158.
- Nickle, D. y Collins, M. 1992. The Termites of Panama (Isoptera) En: Quintero, D. y Aiello, A. Editores. *Insects of Panama and Mesoamerica: selected studies*. Oxford University Press, New York.
- Pearce, M. 1997. *Termites: biology and pest management*. CAB international, New York.

Rogers, L., French, J. y Elgar M. 1999. Suppression of plant growth on the mounds of the termite *Coptotermes lacteus* Froggatt (Isoptera: Rhinotermitidae). *Insectes Sociaux* 46: 366–371.

Sermeño, J., Jones, D., Menjivar, D., Paniagua M. y Monro, A. 2003. *Termitas de los cafetales de El Salvador*. Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de El Salvador. URL: <http://ri.ues.edu.sv/9080/1/A%20Termitas%20de%20los%20cafetales%20de%20El%20Salvador%2C%202003.pdf>. Consultado: 26 de agosto 2017.

Szalanski, A.L., Scheffrahn, R.H., Austin, J.W., Kreck, J. y Su, N-Y. 2004. Molecular phylogeny and biogeography of *Heterotermes* (Isoptera: Rhinotermitidae) in the West Indies. *Annals of the Entomological Society of America* 97: 574–585.

Thorne, B., Collins, M. y Bjorndal K. 1996. Architecture and nutrient analysis of arboreal carton nests of two neotropical *Nasutitermes* species (Isoptera: Termitidae), with notes on embedded nodules. *Florida Entomologist* 79(1): 27-36.

Vargas-Niño, A.P., Sánchez-Muñoz, O.D. y Serna-Cardona, F.J. 2005. Lista de los géneros de Termitidae (Insecta: Isoptera) de Colombia. *Biota Colombiana* 6(2): 181–190.

Waite, G.K. 2002. Pest and pollinators of mango. En: Peña, J., Sharp, J.L. y Wysoki, M., Editores. *Tropical Fruit Pests and Pollinators: Biology, Economic Importance, Natural Enemies and Control*. Cabi Publishing. London.

**Fecha de recepción:** 31/03/2017

**Fecha de aceptación:** 01/09/2017

**Publicado en línea:** 14/09/2017

**Para citar este artículo:** Hurtado-Borrero, H.Y. Manga-Candelario, D.A. y Sepúlveda-Cano, P.A. 2017. Registro de termitas (Isoptera) asociadas a cultivos de mango (*Mangifera indica*) en el departamento del Magdalena, Colombia. *Intropica* 12(2): 109-115.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2286>



## EFFECTOS DE LA ENTRADA DE AGUA DEL RÍO MAGDALENA EN LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DEL FITOPLANCTON EN LA CIÉNAGA PAJARAL, CARIBE COLOMBIANO

### EFFECTS OF THE WATER INLET FROM MAGDALENA RIVER ON THE PHYTOPLANKTONIC PRIMARY PRODUCTION IN THE CIÉNAGA PAJARAL, COLOMBIAN CARIBBEAN

*Carlos Augusto Hernández-Jiménez*

---

#### RESUMEN

Se evaluó la producción primaria del fitoplancton en la Ciénaga Pajalar, entre agosto de 1999 y octubre de 2000, con el propósito de monitorear los efectos de la entrada de agua dulce a través del caño Aguas Negras. Se utilizó el método de botellas claras y oscuras para valorar la producción primaria; también se estimaron las siguientes variables: concentración de clorofila *a* y feofitina *a*, conductividad eléctrica del agua, ortofosfatos, nitrógeno inorgánico total y CO<sub>2</sub>. Los valores más altos ocurrieron en la Ciénaga de Pajalar (máxima producción primaria neta = 10,19 gC·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>) y los menores en el caño Aguas Negras. La respiración de la comunidad planctónica fue en algunos casos mayor que la producción primaria neta. Se observó una relación significativa entre la salinidad del agua y los valores de producción primaria neta y de concentración de clorofila *a*. Además, se estableció la composición de especies y la abundancia de fitoplancton.

**PALABRAS CLAVE:** producción primaria; fitoplancton; lagunas costeras

#### ABSTRACT

Phytoplanktonic primary production in the Ciénaga Pajalar was evaluated between August 1999 and October 2000, to monitor the effects of freshwater inlet from the Aguas Negras Channel. The light and dark bottles method was used to assess the primary production. Chlorophyll *a*, pheophytin *a*, electrical conductivity, salinity, orthophosphate, total inorganic nitrogen, and carbon dioxide were also measured. Higher values of net primary production (NPP) are reported in the Ciénaga Pajalar (maximum value of 10.19 gC·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>) in comparison with the ones reported in Aguas Negras Channel. The plankton community respiration was sometimes greater than the net primary production. Significant correlations between salinity and NPP and between salinity and chlorophyll *a* were found. Furthermore, species composition and phytoplankton abundance were determined.

**KEY WORDS:** primary productivity; phytoplankton; coastal lagoons

---

**Dirección de los autores:**

Universidad del Magdalena, Calle 32 22-08, Santa Marta Colombia, e-mail: cajhernandez@gmail.com, (C.A.H.J).

## INTRODUCCIÓN

La entrada de energía a la biosfera y a cualquier sistema biológico está dada por el proceso fotosintético y seguido por la acumulación de biomasa vegetal, o sea la producción primaria neta (PPN) (Margalef, 1983; Odum y Sarmiento, 1997). La producción primaria del fitoplancton está relacionada con la tasa fotosintética y la respiración del fitoplancton (según el método de medición se incluye la respiración del zooplancton y el bacterioplancton). La PPN varía en distintos órdenes de magnitud en los diferentes ecosistemas de la biosfera y las variaciones internas en el ecosistema son de importancia vital para la conservación de los sistemas biológicos (Knoppers, 1993; Ryszowski, 1998). Las variaciones en la PPN son determinadas por factores condicionantes físicos, químicos y biológicos.

La intensidad de la luz como fuente primaria de energía puede ser el principal factor limitante en ecosistemas cenagosos, dado que en el agua ésta disminuye exponencialmente con la profundidad, a lo que se suma la alta turbiedad del agua, afectando por tanto el espesor de la zona fótica donde es posible que se dé la fotosíntesis. Una respuesta del fitoplancton a bajas intensidades de luz es aumentar la concentración de pigmentos fotosintéticos, en particular la clorofila *a*, y cambiar la proporción de otros pigmentos que pueden utilizar las longitudes de luz que llegan a mayor profundidad (Margalef, 1983).

Se han realizado varias valoraciones de la producción primaria del fitoplancton en la Ciénaga Pajalar. Rondón (1991) estimó la PPN en  $1,63 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  ( $598 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ ), usando el método de botellas claras y oscuras. Rodríguez et al. (2009) estimaron la PPN en  $4,33 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  la PPN durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. En el 2007 Granados et al. (2011) registraron en una estación central en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) una PPN de  $1,5 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ . Durante el período octubre 1984-abril 1985 Hernández (1986) y Hernández (1988) registraron en la CGSM una PPN que varió entre  $1,40$  y  $16,3 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ ; en el mismo estudio se indica que la variación temporal y espacial de la producción primaria en la CGSM es causada principalmente por la entrada de aguas continentales y marinas, la turbidez del agua por resuspensión de sedimentos y la biomasa del fitoplancton; es importante anotar que la PPN en la CGSM fue más alta cuando la salinidad era baja (Hernández y Gocke, 1990).

Con referencia a la comunidad de fitoplancton, Kucklick (1987) señaló que en las especies de fitoplancton de la CGSM predominan los tamaños de 2 a 20 micrometros (nanoplancton). En el mismo estudio las cianobacterias presentaron altas densidades durante la época de lluvias, cuando se da también una fuerte turbulencia en el cuerpo de agua; también observó una correlación negativa entre la clorofila *a* y la transparencia, así como entre la clorofila *a* y la salinidad. Además, este autor afirmó que las comunidades de fitoplancton estaban en una fase joven de crecimiento. En la CGSM Vidal (1995) registró 200 especies de diatomeas, 54 de dinoflagelados, 23 de cianofitas y 23 formas de clorófitas, euglenófitas, crisófitas y silicoflagelados. Durante el período marzo 1995-febrero de 1996 Mogollón (1996) observó un total de 91 especies de fitoplancton de la Ciénaga Pajalar, correspondiendo las mayores densidades a las cianofitas y las diatomeas, seguidas por las clorófitas y las euglenófitas.

Las especies observadas por Mogollón (1996) son típicas de hábitat de agua dulce y estuarina. Entre las abundantes se destacaron *Anabaena flos-aque*, *Microcystis* cf. *robusta*, *Paralia sulcata*, *Cyclotella meneguiniana*, *Cyclotella glomerata*, *Actinocyclus normanii*, *Skeletonema costatum*, *Navicula* sp., *Nitzschia closterium* y *Plagiotopis lepidoptera*, (características de hábitat de agua dulce). Durante el período octubre 88-septiembre 89 Rondón (1991) observó 34 taxa en la Ciénaga Pajalar, 8 cianofitas, 7 clorófitas, 17 diatomeas, 2 euglenófitas y 8 sin identificar. Como resultado de un estudio sobre la flora fitoplanctónica de la Ciénaga Pajalar realizado entre marzo-96 y febrero-97, Ruiz (1999) reportó 219 taxa: 73 diatomeas, 31 cianofitas, 70 clorófitas, 35 euglenófitas y 10 dinoflagelados. Este mismo autor destacó que las cianofitas fueron el grupo más abundante (66 %), luego las diatomeas (20 %) y las clorófitas (11 %); en dicho estudio se indicó también que diez especies constituyeron el 91 % de la abundancia total y los tamaños de la mayoría de las especies estuvieron entre 4,5 y 50  $\mu\text{m}$ ; además, los géneros más abundantes fueron: *Oscillatoria*, *Synechocystis*, *Anabaenopsis*, *Nitzschia*, *Navicula* y *Ankistrodesmus*.

A partir de muestreos efectuados en la CGSM entre octubre de 1999 y julio de 2000, Vidal et al. (2001) encontraron 84 taxa (14 % clorófitas, 9 % cianofitas, 15 % diatomeas céntricas, 46 % diatomeas pennadas, 4 % dinoflagelados, 10 % euglenófitas y 1 % otros: criptófitas y 2 sin identificar). El 24 % de las especies fueron de origen marino, el 35 % dulceacuícola, el 13 % estuarinas y el restante 28 % sin hábitat identificado. Vidal (2010)

recopiló toda la información disponible y presentó la iconografía y sistemática del fitoplancton en la CGSM y zonas aledañas: un total de 578 taxa (71 cianofitas, 95 diatomeas céntricas, 189 diatomeas pennadas, 59 dinoflagelados, 63 clorófitas, 8 euglenófitas y 18 no identificadas).

La situación climática en la época del presente estudio se describe con base en el informe del IDEAM (2005). Durante el periodo diciembre 1998 a febrero de 2000 (época en que se realizó el trabajo de campo) se presentó el evento climático denominado fenómeno ENSO, el cual en su fase fría, conocida como “La Niña” (15 meses de duración), fue fuerte a moderado (Velásquez y Rosales, 2002). La Niña se caracteriza por un régimen de vientos alisios fuertes desde el este, siendo típico observar condiciones más húmedas respecto a lo normal sobre la región Caribe colombiana. En mayo de 1998 finalizó El Niño, uno de los más intensos del siglo XX, y se inició La Niña. Durante el tiempo que duró el presente trabajo, el complejo lagunar del delta exterior del río Magdalena recibió grandes volúmenes de agua por desbordamiento del río Magdalena y por escorrentía, con el consiguiente lavado de los suelos de la cuenca de la Ciénaga de Pajalar.

El problema objeto de la presente investigación se planteó en términos de ¿cuáles son los efectos de la entrada de agua dulce procedente del río Magdalena, a través del caño Aguas Negras, sobre la producción primaria de las comunidades del fitoplancton de la Ciénaga Pajalar? El estudio se basó en la hipótesis de que la entrada de agua procedente del río Magdalena, rica en nutrientes, además de reducir la salinidad del humedal (que en el pasado se había salinizado), causa un incremento en la producción primaria del fitoplancton en la Ciénaga Pajalar, y por tanto aumenta la eutrofización del sistema.

## ÁREA DE ESTUDIO

La Ciénaga Pajalar se localiza en la reserva de la biosfera del complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta (CLCGSM), donde hay dos zonas de manejo especial: El Vía Parque Nacional Isla de Salamanca (al norte) y el Santuario de Fauna y Flora CGSM (al sur). La Ciénaga Pajalar hace parte de la llanura deltaica derecha del río Magdalena y de la plataforma continental del Caribe colombiano; la zona es plana y está formada por materiales aluviales y lacustres del cuaternario. El área que cubre el CLCGSM se estima en 4900 km<sup>2</sup>, de los cuales 1300 km<sup>2</sup> son cuerpos de agua permanentes,

730 km<sup>2</sup> son ciénagas y caños y 570 km<sup>2</sup> son de área marina (Bernal y Betancur, 1996). El complejo lagunar se localiza entre los 74° 27' y 74° 45' E y los 10° 44' y 11° 00' N (Figura 1), ocupando parte de la gran llanura de inundación y acumulación formada por la divagación del río Magdalena (IGAC, 1993). La Ciénaga Pajalar se comunica con la CGSM por el caño Grande; tiene un área superficial aproximada de 44,95 km<sup>2</sup>, el volumen de agua se estima en 564 x 106 m<sup>3</sup> y el nivel de la columna de agua es bajo, oscilando entre 0,2 y 1,3 m (Bernal, 1996).

La región se encuentra dentro de la zona de altas presiones atmosféricas, donde convergen los vientos alisios para formar la zona de confluencia intertropical (ZCI). Los vientos alisios del NE son el factor macroclimático condicionante para la región costera caribeña. Estos vientos dominan desde finales de noviembre hasta mediados de marzo (determinan la época seca). El Instituto Geográfico Agustín Codazzi reporta que toda la región está caracterizada por un déficit hídrico (600 a 1400 mm año<sup>-1</sup>), ya que siempre la evapotranspiración (aproximadamente 1800 mm año<sup>-1</sup>) es superior a la precipitación, que está alrededor de 400 a 1200 mm•año<sup>-1</sup> (Lecarpentier et al., 1975), déficit que favorece la salinización de las aguas.

El Proyecto de Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta realizó la conexión entre el río Magdalena y el complejo lagunar mediante el dragado de los caños Clarín (dragado en 1996) y Salado, Renegado, Aguas Negras (dragados en 1998) y, a menor escala, los caños Flechas, Burro y Agua Viva (RAMSAR et al., 2004). El caño que tiene mayor influencia en la zona de estudio es Aguas Negras; se inicia en el río Magdalena, al sur de la población de Remolino, y se dirige en dirección noreste para desembocar en la Ciénaga Pajalar, siguiendo un recorrido aproximado de 28 km. En el km 15 + 300 metros se presenta el primer ramal de desviación por el caño Las Fuentes (2 km + 490 m), que es el ramal que desemboca en la Ciénaga Pajalar. El caño Aguas Negras continua en dirección norte y en un segundo ramal se une al caño El Tambor en el kilómetro 21 + 100 metros y finalmente se presenta otra derivación, el caño Guayacán (2 km + 380 m), que se comunica con la ciénaga de Mendegua (PROCIENAGA, 1994). Con la reapertura de los caños Clarín, Aguas Negras y Renegado, se logró una reducción significativa de la salinidad, tanto en la columna de agua como en el agua intersticial del suelo. En estas zonas, antes dominadas por manglar (principalmente *Avicennia*

*germinans* y *Rhizophora mangle*), en el momento de este estudio predominó el playón salino, con parches dispersos de *Batis marítima*, *Sporobolus virginicus* y *Sesuvium portulacastrum*. En el caño Aguas Negras y en la desembocadura del ramal Las Fuentes se encontraron *Ipomoea reptans*, *Pontederia* sp., *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* y *Neptunia postrata*. Estos cambios en la salinidad se manifiestan en los procesos de regeneración natural y de desarrollo de la vegetación de agua dulce y halófila, que para la época del estudio se estaba dando en varias áreas que habían perdido totalmente la cobertura vegetal por la muerte del manglar (Botero y Mancera, 1996). Por tanto, estos cambios se asocian a la reducción de la

salinidad en todo el complejo de ciénagas y caños. La disminución en los valores de salinidad también favoreció la dispersión de especies de agua dulce como *Typha domingensis*, la cual fue extendiendo su distribución desde el km 13 en el caño Clarín hasta sectores en donde se inició el deterioro de los bosques de manglar (La Luna y Bristol). También se observaron algunas plantas en la zona de caño Aguas Negras. En estos sitios, tanto el hidroperíodo como el micro-relieve han jugado un papel importante en el asentamiento y dispersión de *T. domingensis*, estableciendo una competencia por el espacio con las plántulas de manglar (INVEMAR, 2000 y observación personal) (Figura 1).

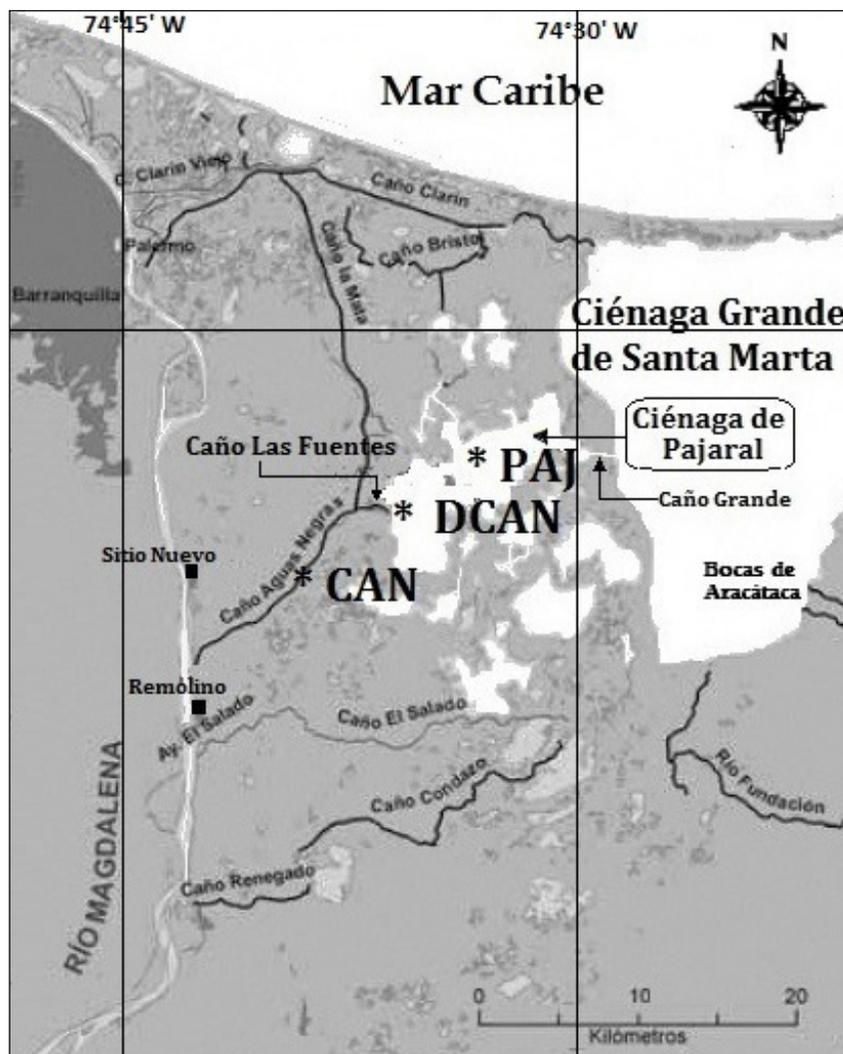


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo donde se valoró la producción primaria del fitoplancton en el complejo de Pajaral CAN, DCAN y PAJ. En el norte se encuentra la Vía Parque Nacional Isla de Salamanca y caño Clarín y al oeste del río Magdalena y nacimiento de Caño Aguas Negras (modificada de la Imagen SPOT).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras se tomaron en tres estaciones: caño Aguas Negras (CAN, 10°46'37" y 74°39'07" W), desembocadura del caño Aguas Negras en la Ciénaga Pajalar (caño Las Fuentes) (DCAN, 10°48'51" y 74°36'37" W) y Ciénaga Pajalar (PAJ, 10°49'59" y 74°34'28" W). En el palafito de Nueva Venecia se estableció la estación donde se realizaron los monitoreos en periodos de 48 horas (10°49'59" y 74°34'28" W). Para tomar las muestras de agua se utilizó una botella fabricada con un tubo de PVC sanitario de 12 cm de diámetro y 2 m de longitud, con una válvula en un extremo que permitía cerrar herméticamente y recoger la muestra de la columna de agua. El contenido de agua se vertía en un tanque plástico con capacidad de 30 l y se repetía la toma de muestra hasta llenarlo. De este volumen de agua se tomaban cuatro submuestras de 500 ml para las diferentes valoraciones: A) fitoplancton, B) clorofila *a* y feofitina *a*, C) conductividad y nutrientes y D) sólidos y seston. Estos tanques se guardaban en neveras refrigeradas con hielo para ser transportadas al laboratorio, en tanto que el agua restante se usaba para valorar la producción primaria fitoplanctónica.

Para valorar la producción primaria del fitoplancton se recurrió al método de botellas claras y oscuras (Gaarder y Gran, 1927). Se homogenizaba la muestra agitando suavemente el contenido de la caneca de 30 l. Para llenar la batería (para cada estación) de 14 botellas (tipo DBO de ± 115 ml de capacidad) más dos botellas tipo DBO de 500 ml (con la que valoró la respiración en un periodo de 24 horas), se utilizaron cuatro mangueras de plástico que permitían llenar las botellas y dejar rebosar un volumen igual al volumen de éstas antes de ser tapadas.

Las incubaciones se realizaron entre las 08:30 y las 13:30 (5 horas que corresponden al segundo y tercer quinto de las horas luz, tiempo suficiente para obtener un valor promedio de la producción de un día). Los valores de oxígeno se expresaron en  $\text{mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ . Para convertir  $\text{mgO}_2$  a gC (carbono), el valor de oxígeno en mg se multiplicó por el factor 0,313 (Grasshoff et al., 1983). Otros autores (Vollenweider, 1974; González y Berdayes, 1981) utilizan el factor 0,375.

Las botellas claras (dos para cada nivel de intensidad de luz) se colocaron a cinco profundidades: 100 %, 50 %, 25 %, 10 % y 1 % de intensidad de la luz que llega

a la superficie de la masa de agua (1%) (Figura 2). Las botellas oscuras se suspendieron en la columna de agua, a 10 cm del fondo. Estas botellas se colocaron dentro de un tubo de PVC con tapas, para evitar la entrada de luz. La altura de la columna de agua osciló entre 0,63 m y 1,14 m (0,89 m en promedio). La profundidad de incubación (PI) se calculó con base en la siguiente ecuación:  $PI = PS \cdot (2,70104 - [1,353325 \cdot \text{Log}(I\% \text{ de luz deseada})])$ , donde PI es la profundidad de incubación, PS es la profundidad de visibilidad del disco Secchi, 2,70104 es el coeficiente de extinción y 1,353325 es la constante obtenida mediante la regresión de las variables profundidad e intensidad de luz en la columna de agua en la Ciénaga de Pajalar (medida con un cuantómetro Li-cor).

Se valoró la concentración de oxígeno mediante el método de Winkler. La cantidad de oxígeno se estimó como el promedio de los valores de la pareja de botellas en cada profundidad. Luego se calculó la producción por capa, posteriormente por unidad de volumen ( $\text{m}^3$ ) y finalmente por unidad de área ( $\text{m}^2$ ). Este valor, obtenido en cinco horas de incubación, se calculó por día ( $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ ), multiplicando por un factor que depende del número de horas luz por día, utilizando para ello los valores de horas luz del día en el que se realizó el bioensayo (Figura 2).

Las muestras de agua utilizadas para identificar las especies del fitoplancton se almacenaron en botellas plásticas de 600 ml de capacidad, a las que se adicionó 5 ml de lugol. Las muestras usadas para valorar clorofila se almacenaron en frascos de 500 ml y se guardaron en neveras con abundante hielo para su transporte al laboratorio. Las muestras de agua para nutrientes se almacenaron en botellas de vidrio de 100 ml (fosforo y hierro) y de plástico de 100 ml (nitrógeno) y 600 ml (seston y sólidos). Salinidad conductividad, pH y temperatura se midieron *in situ* con equipos portátiles WTW (pH-metro conductímetro). Para la valoración de nutrientes se siguió la metodología establecida en Grasshoff et al. (1983) y APHA et al. (1992).

El fitoplancton se evaluó de manera cualitativa y cuantitativa. Se identificaron 191 especies y se valoró la abundancia, con ayuda de un microscopio Nikon Eclipse 4000. Dada la alta densidad de células y de material detrítico acompañante (no se requirió concentrar la muestra), se tomaron submuestras de 50  $\mu\text{L}$  medidas con una pipeta Eppendorf (capacidad de 1200  $\mu\text{L}$  y graduación 0,1  $\mu\text{L}$ ). Este volumen

se vertió en una placa portaobjeto y se colocó el cubreobjetos. Luego se valoró toda el área mediante transectos lineales con aumento de 400 X y en caso de ser necesario 1000 X. Se observaron de 15 a 20 submuestras (50 µL) de cada muestra, y se contaron el número de individuos por mililitro de muestra. Para la

identificación taxonómica se utilizaron los siguientes trabajos: Yacubson (1969; 1972; 1974a; 1974b; 1980; 1984), Parra et al., (1982), Yacubson y Bravo (1982; 1986); Anagnostidis y Komárek (1988), Vidal (1995; 1996), Pereira et al. (2000) y Vidal et al. (2001).

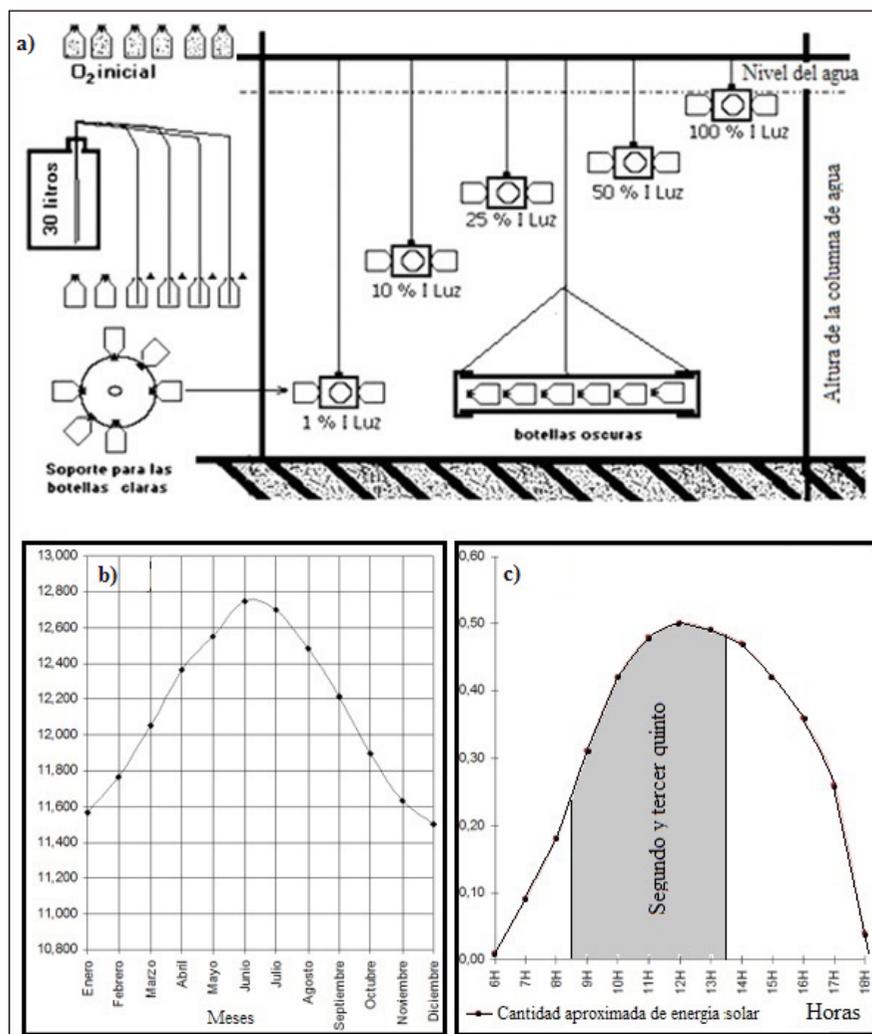


Figura 2. A) Diseño de la incubación de las botellas claras y oscuras para valorar la producción primaria del fitoplancton. B) Horas de luz promedio mes en la región de Santa Marta y C) intensidad lumínica aproximada durante un día y tiempo de medición de la producción primaria.

La extracción de la clorofila *a* y la feofitina *a* se realizó con acetona al 90 %. Se usaron filtros Whatmann GF/F (0,7 µm), espectrofotómetro Bausch & Lomb Spectronic, lámpara de tungsteno y celdas de cuarzo de 1 y 5 cm. Para el cálculo de la concentración de pigmentos se utilizaron las ecuaciones propuestas por Lorenzen (1967):

$$\text{Clorofila } a \left( \mu \frac{g}{l} \right) = 26,73 \cdot (D665o - D665a) \cdot \left[ \frac{v}{(V \cdot L)} \right]$$

$$\text{Feofitina } a \left( \mu g/l \right) = 26,73 \cdot [(1,7 \cdot D665a) - D665o] \cdot \left[ \frac{v}{(V \cdot L)} \right]$$

Donde:

- V = Volumen, en litros, de muestra filtrada.
- v = Volumen, en mililitros de acetona 90% usada para extracción.
- L = Longitud de la cubeta espectrofotométrica usada (1 y 5 cm).

D665o = Densidad óptica a 665 nm, corregida sin acidificar.  
 D665a = Densidad óptica a 665 nm, corregida acidificada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción primaria

Los valores de PPN, PPB y respiración se muestran en las Figuras 3, 4 y 5, respectivamente. En la estación

CAN los valores de PPN fueron relativamente bajos (son aguas del río Magdalena). En dos mediciones la PPN fue menor que la respiración. El pico de máxima producción se presentó en marzo y junio, cuando también se observaron valores altos de conductividad eléctrica (aguas salobres). Los valores de salinidad estuvieron en cero en la mayoría de las observaciones realizadas en la estación PAJ (Figura 6).

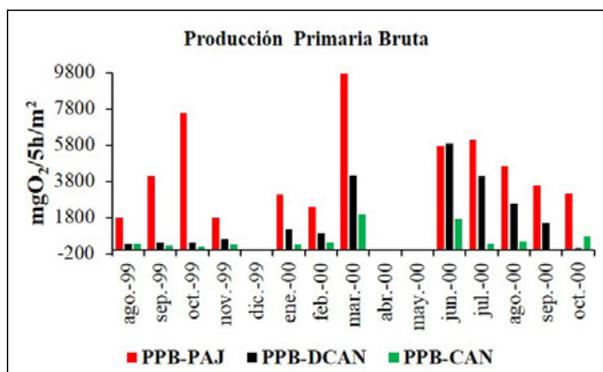


Figura 3. Producción primaria neta (PPN), mgO<sub>2</sub>/5h/m<sup>2</sup>. Estaciones caño Aguas Negras, CAN desembocadura del caño Aguas Negras DCAN y Ciénaga Pajaral PAJ.

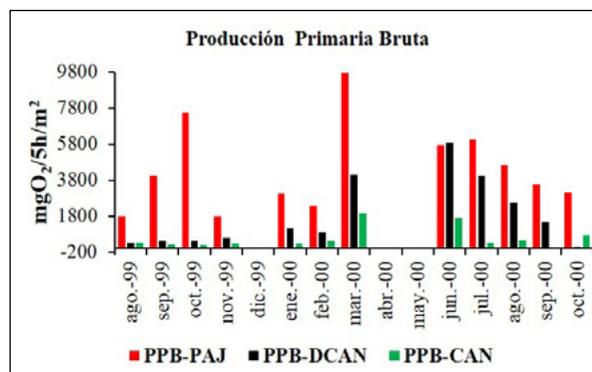


Figura 4. Producción primaria bruta (PPB), mgO<sub>2</sub>/5h/m<sup>2</sup>. Estaciones caño Aguas Negras, CAN desembocadura del caño Aguas Negras DCAN y Ciénaga Pajaral PAJ.

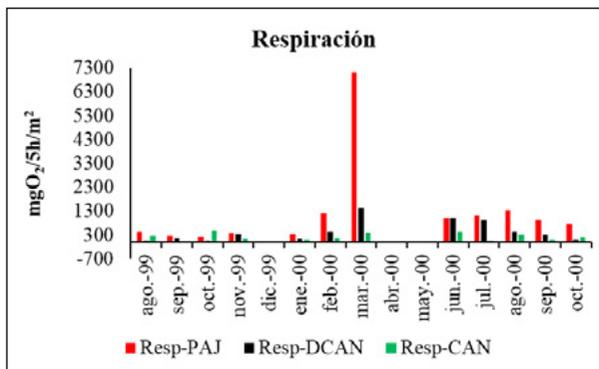


Figura 5. Salinidad en las estaciones caño Aguas Negras, Desembocadura del caño Aguas Negras y Ciénaga de Pajaral.

En octubre del 2000 se observó que la PPB en la estación DCAN fue casi igual a la respiración. Esta alta respiración no pudo ser causada solo por la respiración del fitoplancton; es posible que el bacterioplancton fuera en parte el responsable, lo que se explicaría por la baja conductividad eléctrica en uno de los meses con mayor precipitación pluvial, ocasionando que la

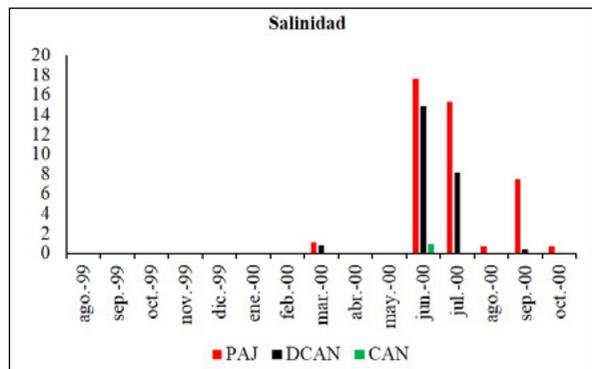


Figura 6. La respiración (R = PPB - PPN) de la comunidad fitoplanctónica en las tres estaciones caño Aguas Negras, desembocadura del caño Aguas Negras y Ciénaga Pajaral.

entrada de agua dulce implique el transporte de una alta carga de compuestos orgánicos y, por consiguiente, una alta demanda de oxígeno. Algo similar se observó en agosto y septiembre de 1999, cuando se presentaron valores de cero en las salinidades. En junio del 2000 se presentó el pico de máxima PPN y para ese momento había aumentado la salinidad.

En la estación PAJ, al igual que en las estaciones DCAN y CAN, la salinidad fue baja en la mayoría de los muestreos (Figura 6). Se presentaron tres picos de producción primaria, correspondientes a los muestreos realizados en sep-99, oct-99 y jun-00, y un mínimo en feb-00. Los dos primeros se presentaron cuando la salinidad fue cero (baja conductividad eléctrica) y el tercero cuando la salinidad logró su máximo valor (alta conductividad eléctrica). Esta situación fue observada en otros estudios (Hernández, 1986; Hernández, 1988; Rondón, 1991; Granados et al., 2011), lo que indicaría que el cambio de salinidad tiene un efecto en el metabolismo de las especies del fitoplancton, ya sea por cambios en la composición de especies o por modificar un factor limitante (una menor turbidez del agua).

Los valores de PPB, PPN y respiración difirieron significativamente entre las tres estaciones, lo que parece ser una respuesta al gradiente de conductividad eléctrica del agua (salinidad). Si bien el tiempo de duración de las incubaciones de las botellas claras y oscuras fue de cinco horas (08:00-13:00), los valores observados en el 100 % y el 50 % de intensidad de luz indican la ocurrencia del proceso de foto-respiración causada por alta intensidad luminosa. La fotorespiración se observó solo en las muestras de DCAN y PAJ, lo que implica que los valores reales de fotosíntesis fueron mayores a los estimados con base en el oxígeno disuelto de las botellas a 100 y 50 % de intensidad luminosa.

Los valores de PPN en CAN oscilaron del siguiente modo: máxima de  $2,95 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  (jun-00) y mínima (valor negativo, donde la respiración supera la fotosíntesis) de  $-0,33 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  (oct-00), siendo el promedio  $0,60 \pm 0,94 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ . En DCAN el máximo valor fue  $4,30 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  (jun-00) y el mínimo  $-0,05 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  (oct-00), en tanto que el promedio fue  $2,57 \pm 3,05 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ . En PAJ el máximo fue  $10,19 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  (oct-99) y el mínimo  $0,18 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  (jul-00), mientras que el promedio fue  $3,92 \pm 2,76 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ . Los valores máximos de PPN ocurrieron en PAJ y si bien en DCAN se dio un pico, éste comparativamente se encontró entre los valores bajos observados en PAJ. Tanto la PPB como la PPN de CAN son bajos al compararlos con las otras dos estaciones. También es notable el hecho de que se presentaron valores negativos de PPN, indicando que en tales casos la tasa respiratoria superó a la fotosíntesis neta.

El promedio de la PPB fue  $3,13 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Se estimó que la PPB anual es de  $1142,64 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}$ . El promedio de la PPN fue  $2,36 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , lo que significa  $860,96 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ . El área de PAJ es de  $44,95 \text{ km}^2$ , por lo que la PPN se estima en

$38,700 \text{ TnC}\cdot\text{año}^{-1}$ . De este carbono fijado por la fotosíntesis, una parte permanecería en los sedimentos como materia orgánica no biodegradable, otra parte es exportada como biomasa animal de herbívoros (peces, crustáceos) y carnívoros como peces y aves piscívoras. Esta biomasa sale del sistema por pesca y migración, en tanto que otra parte de la biomasa de herbívoros se quedaría en el sistema como material detrítico depositado en sedimentos, donde se liberarían elementos nutrientes.

### Tasa respiratoria

El análisis de la tasa de respiración indica que en algunos de los bioensayos la producción de oxígeno fue mayor que su consumo, por lo que la razón Producción/Respiración fue mayor que uno (1). Se presentaron casos donde la respiración fue mayor que la PPN, es decir las demandas de oxígeno superaron la cantidad de oxígeno liberado en el proceso de producción primaria. El comportamiento de los valores de respiración en las estaciones de muestreo se presenta en la Figura 5, donde se observa que los picos de tasa respiratoria se presentaron en marzo y agosto del 2000 y los mínimos en octubre 1999 y octubre 2000. Se observa una relación positiva entre el comportamiento de la conductividad eléctrica del agua (salinidad) y la tasa respiratoria. Los coeficientes de correlación para las tres estaciones de trabajo fueron: CAN,  $r = 0,76$ ; DCAN,  $r = 0,79$ ; y PAJ,  $r = 0,51$  ( $n = 12$  en todos los casos). La localización de las tres estaciones permitió detectar un gradiente salino (menor a mayor) en la dirección CAN, DCAN y PAJ.

Se presentaron tasas respiratorias que superaron a la fotosíntesis neta, lo que denota un claro comportamiento heterotrófico de la comunidad planctónica. El análisis de la tasa de respiración indica que en la mayoría de las observaciones el comportamiento de la comunidad fitoplanctónica es autótrofo y, por los altos valores, se infiere un estado de eutrofización que en algunos casos es muy alto, alcanzando niveles de hipertrofia y ocurriendo bajas de oxígeno en la noche. En el mes de marzo se presentó en CAN un pico en la tasa respiratoria, cuando se da un aumento en la salinidad y la producción primaria es relativamente alta en las tres estaciones. En agosto del 2000 la tasa respiratoria en los tres puntos de muestreo es alta y corresponde a una baja de la salinidad.

La PPN estuvo correlacionada positivamente con el contenido de sales en el agua. Los coeficientes de correlación fueron los siguientes: CAN,  $r = 0,77$  ( $p = 0,0035$ ); DCAN,  $r = 0,84$  ( $p = 0,00078$ ); y PAJ,  $r = 0,65$  ( $p = 0,0229$ ).

Por otra parte, el coeficiente de correlación obtenido con todos los datos fue  $r = 0,742$  ( $n = 36$ ,  $p < 0,05$ ). Estos resultados indican una aparente contradicción con otros estudios, puesto que en este caso a mayor salinidad mayor PPN (Figura 3). Una posible explicación sería que la entrada de agua dulce afecta la tasa fotosintética, en la medida que aumenta la cantidad de material inorgánico disuelto y en suspensión en el agua, lo que atenúa la penetración de la luz (reduce la capa fótica); además, el agua que entra tiene bajas densidades de fitoplancton (procede del río Magdalena) y a esto se suma la alta carga orgánica que transporta el agua del río lo que aumenta la demanda de oxígeno por parte del bacterioplancton, sin desconocer la respiración del zooplancton, en particular por organismos protistas asociados a las bacterias que constituyen su alimento (Gocke et al., 2004).

### Clorofila *a* y Feofitina *a*

Los valores de clorofila *a* (Figuras 7 y 8) se situaron dentro de los valores encontrados por otras investigaciones en el área. En PAJ los valores extremos fueron  $16,7 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en nov-99 y  $174,3 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en jul-00. Para la Ciénaga Pajalar Rondón (1991) encontró valores entre  $3,34 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en oct-88 y  $173,75 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en jul-89; Mogollón (1996) registró valores entre  $0,58 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en dic-95 y  $212,18 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en feb-96. Después de la reapertura del caño Clarín que desemboca en la CGSM, Ruiz (1999) registró  $7,42 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en oct-96 y  $204,11 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en sep-95. Mogollón (1996) coincide en afirmar que los mayores contenidos de clorofila *a* se presentan después de los períodos de lluvia y son seguidos por un aumento en los niveles fluviométricos en el sistema estuarino, durante el período de aguas altas, cuando se presentaron importantes precipitaciones en la región acompañadas de un aumento en el flujo de agua proveniente del río Magdalena cargado de nutrientes inorgánicos y materia orgánica disuelta y particulada.

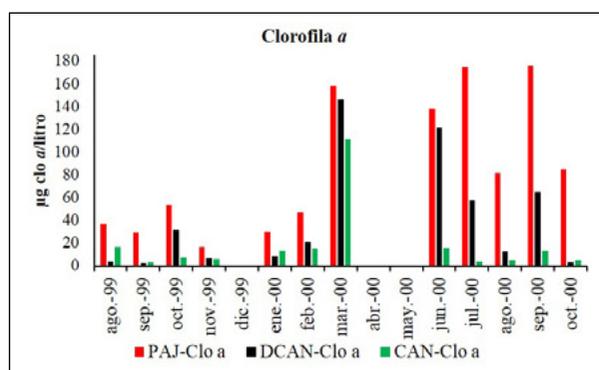


Figura 7. Concentración de clorofila *a* en las estaciones caño Aguas Negras, CAN desembocadura del caño Aguas Negras DCAN y Ciénaga Pajalar PAJ.

La feofitina *a* corresponde a la porción de clorofila *a* degradada (Andreo y Vallejo, 1984). En el presente estudio se observó que la concentración de clorofila *a* en PAJ fue mayor que la de feofitina *a*, con una excepción en febrero de 2000, cuando la concentración de feofitina *a* fue mayor, coincidiendo con una densidad de fitoplancton y una PPN relativamente bajas. Los valores de feofitina *a* en PAJ se situaron en el rango  $2,9 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en ago-00 y  $86,4 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en feb-00. En DCAN la concentración de feofitina *a* fue mayor en siete muestreos a lo observado en PAJ. Dichos valores fueron  $3,2 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en sep-00 y  $41,4 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en jun-00. En CAN la concentración de feofitina *a* fue mayor a la de PAJ en seis muestreos, con valores entre  $0,8 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en ago-00, y  $54,0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  en marzo del 2000 (Figura 8).

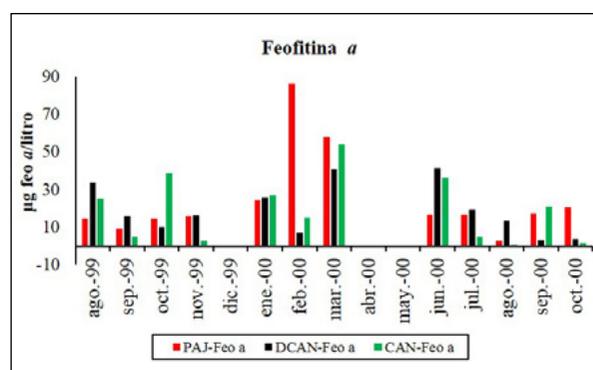


Figura 8. Concentración de feofitina *a* en las estaciones caño Aguas Negras, CAN desembocadura del caño Aguas Negras DCAN y Ciénaga Pajalar PAJ.

### Densidad del fitoplancton

En este estudio se observaron 191 taxones distribuidos de la siguiente forma: 45 cianófitas, 10 diatomeas céntricas, 47 diatomeas pennadas, 3 dinoflagelados, 62 clorófitas, 19 euglenófitas y 6 formas flageladas. En la mayoría de las muestras el fitoplancton fue característico de aguas dulces. El aumento en la salinidad modificó la composición y la densidad de especies, evidenciando que la comunidad fitoplanctónica respondió rápidamente a los cambios de salinidad asociados a otros cambios en variables físicas y químicas (turbidez, concentración de nutrientes). En PAJ se identificaron 180 especies, en DCAN 161 y en CAN 160. Se observó una correlación significativa positiva entre la concentración de clorofila *a* y la densidad (células $\cdot\text{ml}^{-1}$ ), que se calculó con base en datos obtenidos de las 36 muestras ( $r = 0,7064$ ,  $p = 0,000001$ ). También fue significativa la correlación entre clorofila *a* y conductividad eléctrica (salinidad): CAN,  $r = 0,64$  ( $p < 0,0500$ ); DCAN,  $r = 0,71$  ( $p < 0,0500$ ); y PAJ,  $r = 0,76$  ( $p < 0,0500$ ) (Figura 9).

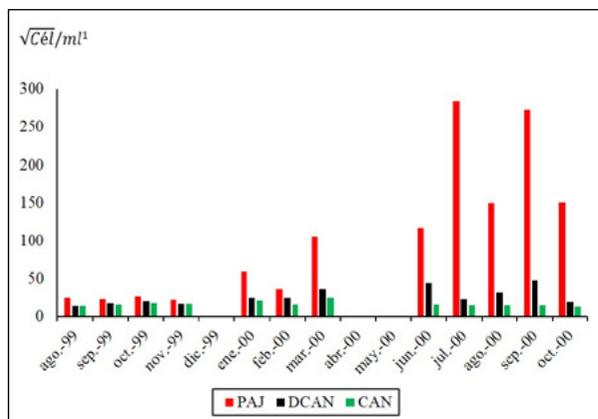


Figura 9. Densidad de fitoplancton por muestreo en las estaciones caño Aguas Negras, CAN desembocadura del caño Aguas Negras DCAN y Ciénaga Pajal PAJ.

Las cianofitas contribuyeron con el 23,6 % del total de especies, predominando las formas filamentosas (tipo *Oscillatoria*), las esféricas (tipo *Chroococcus*) y las láminas (tipo *Merismopedia*). En CAN se encontraron 33 especies de cianofitas, en DCAN 41 especies y en PAJ 45 especies. Por otra parte, de las 45 especies de cianofitas identificadas, seis presentaron altas densidades y alta frecuencia (comunes a las tres estaciones de muestreo). Sus abundancias (células·ml<sup>-1</sup>) aportaron la mayor cantidad de células en los diferentes muestreos. Este grupo aportó la mayor abundancia de células en todas las estaciones. Por su pequeño tamaño, las especies de cianofitas se ubicaron en la categoría de nanoplancton (2-20 µm) y unas pocas en la categoría de microplancton (20-200 µm).

En cuanto a las diatomeas céntricas, se identificaron 10 taxones (5,2 %). Las densidades más altas correspondieron a las especies *Actynocyclus normanii*, *Coscinodiscus cf. gigas* y *Cyclotella meneghiniana*. Las especies observadas están en las categorías de nanoplancton y microplancton. Se identificaron 47 especies de diatomeas pennadas (24,6 %); las densidades mayores correspondieron a los géneros *Navicula* y *Nitzschia*. También se ubicaron en las categorías de nanoplancton y microplancton. Los dinoflagelados observados fueron tres taxones (1,6 %), siendo *Alexandrium minutum* la especie más importante. La frecuencia y el número de individuos de este grupo fueron bajos, significando una baja contribución al fitoplancton en la zona de estudio. En lo que respecta a las clorofitas (62 taxa, 32,5 %), los géneros *Oocystis*, *Scenedesmus* y *Eudorina* presentaron una densidad alta y aparecieron en la

mayoría de las muestras (categorías nanoplancton y microplancton).

En el grupo de las euglenófitas (19 taxones, 9,9 %) se destacaron por su mayor frecuencia las especies de los géneros *Euglena* (9), *Phacus* (5) y *Trachelomonas* (5). En este último género, la especie más abundante y frecuente fue *Trachelomona armada*. Estos géneros se ubican en las categorías de nanoplancton y microplancton. En el grupo de las especies flageladas se identificaron cinco taxones (2,6%), uno de los cuales fue asignado a las criptófitas, en tanto que los otros cuatro fueron especies flageladas no identificadas; todas estas se ubicaron en la categoría del nanoplancton, con tamaños entre 0,5 y 10 µm.

La eutrofización evidenciada en la Ciénaga Pajal se explica por el incremento de los niveles de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (Tabla 1); el origen de éstos se explicaría por los aportes difusos de aguas provenientes del lavado de suelos de áreas de cultivos y ganadería que se encuentran en los terrenos que separan el complejo de humedales y el río Magdalena, los nutrientes que transportan las aguas del río Magdalena, el lavado de suelos sin vegetación (manglar muerto y orillas del caño sin cobertura vegetal) que aportan minerales al agua, además de la acumulación de sedimentos ricos en elementos nutrientes y los aportes puntuales de aguas residuales domésticas no tratadas, vertidas directamente al sistema acuático. El exceso de nutrientes y en especial de fósforo es favorable para las cianobacterias, que se benefician de las altas temperaturas (mayores de 25 °C), la baja turbulencia del agua por la disminución de vientos en la época de lluvias y la intensidad luminosa de la región de Santa Marta, que recibe entre 5,5 y 6,0 kWh/m<sup>2</sup> de radiación solar por día (IDEAM, 2005).

## CONCLUSIONES

Como se esperaba, la producción primaria de la comunidad fitoplanctónica fue más alta en la estación ubicada en la Ciénaga Pajal y más baja en las aguas del caño Aguas Negras.

La tasa de respiración fue mayor en la Ciénaga Pajal comparada con las otras dos estaciones, dado que la comunidad fitoplanctónica en Pajal se encuentra en un estado de mayor madurez (densidad alta y relaciones tróficas más complejas). Además, la mayor

tasa de respiración se puede atribuir parcialmente al metabolismo del bacterioplancton.

La mayor PPN ocurrió en la estación PAJ, oscilando entre 0,2 gC·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup> y 10,2 gC·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup> (promedio de 3,9 ± 2,8 gC·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>). Si bien las tasas fotosintéticas fueron altas, éstas se dan en una delgada capa (zona fótica) dada la alta turbidez y la poca profundidad de los cuerpos de agua.

Los valores de PPN en la Ciénaga Pajal son comparables a los observados en la Ciénaga Grande de Santa Marta por Hernández y Gocke (1990), quienes registraron un valor máximo de 16,3 gC·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

Los altos valores de PPN, densidad de fitoplancton, concentración de clorofila *a* y turbidez del agua indican que la Ciénaga Pajal está en un nivel alto de eutrofización.

Tabla 1. Valores de concentración de Ortofosfato (PO<sub>4</sub>), Nitrogeno inorgánico total (Nt), y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en las estaciones de Ciénaga Pajal (PAJ), desembocadura del caño Aguas Negras (DCAN) y Caño Aguas Negras (CAN), durante el período agosto 1999 a octubre 2000.

Fechas	PAJ	DCAN	CAN	PAJ	DCAN	CAN	PAJ	DCAN	CAN
	PO <sub>4</sub> (mg·l <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> (mg·l <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> (mg·l <sup>-1</sup> )	Nt (mg·l <sup>-1</sup> )	Nt (mg·l <sup>-1</sup> )	Nt (mg·l <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> (mg·l <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> (mg·l <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> (mg·l <sup>-1</sup> )
ago-99	0,30	0,60	0,50	0,62	1,04	1,18	0,19	0,19	0,16
sep-99	0,02	0,10	0,10	0,38	1,05	0,95	0,09	0,12	0,02
oct-00	1,10	1,50	1,50	0,70	0,66	1,09	0,47	0,08	0,03
nov-99	0,10	0,30	0,20	0,22	2,49	0,21	0,27	0,38	0,23
ene-00	0,50	0,80	0,80	9,00	1,23	1,33	0,34	0,21	0,09
feb-00	0,20	0,20	0,40	2,87	0,63	2,38	0,21	0,09	0,08
mar-00	0,40	0,30	0,30	1,21	1,24	1,27	0,10	0,01	0,02
jun-00	1,20	1,40	0,70	3,74	3,43	1,54	0,14	0,06	0,04
jul-00	0,20	0,10	0,10	1,26	1,14	0,97	0,27	0,14	0,06
ago-00	9,50	7,20	4,70	1,19	1,13	0,98	0,17	0,07	0,03
sep-00	6,70	13,10	16,07	0,27	1,00	1,39	0,12	0,05	0,02
oct-00	5,00	5,60	4,10	0,32	0,58	0,54	0,27	0,23	0,02

El estado trófico de la Ciénaga Pajal está determinado por la entrada de nutrientes y materia orgánica transportada por las aguas del río Magdalena (y su desbordamiento en época de lluvias), determinando una acumulación progresiva de nutrientes y materia orgánica en los sedimentos; a este proceso de eutrofización contribuye también el hecho de ser un cuerpo de agua somero, con profundidades de 20 a 130 cm, lo que facilita la resuspensión de sedimentos y nutrientes, y un espejo de agua de 4,495 hectáreas, que facilita la mezcla de las aguas por la acción del viento.

La producción primaria de los cuerpos de agua en general y, en particular, de los que han sido objeto de este estudio, con valores de PPN del orden de los 10,19 gC·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>, permite comprender la función del

fitoplancton como una bomba de carbono que reduce el CO<sub>2</sub> agua-atmósfera. En la región, el área de los cuerpos de agua permanentes se estima en 1,300 km<sup>2</sup>; con base en lo anterior, el valor de CO<sub>2</sub> fijado podría ser del orden de los 13,247,000,000 gC·1,300 km<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup>.

En los meses de julio, agosto y septiembre del 2000 se presentó un florecimiento de cianofitas, correspondiendo las mayores densidades a *Anabaenopsis circularis*, *Oscillatoria* sp. y *Lyngbya limnetica*. Predominaron varios géneros de cianofitas que son potencialmente liberadores de sustancias tóxicas, como son *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanizomenon*, *Lyngbya* y *Microcystis*. El segundo grupo en importancia fueron las diatomeas pennadas, cuyas mayores densidades correspondieron a los géneros *Navicula* y *Nitzschia*.

El efecto del evento climático fenómeno ENSO en su fase fría causó abundantes entradas de agua dulce tanto del río Magdalena como de la escorrentía local por lluvias; esto determinó bajas en la salinidad en la Ciénaga Pajalaral y aportes de sedimentos inorgánicos, elementos nutrientes y materia orgánica, lo que causó una alta turbiedad del agua y limitó la zona fótica (en la mayoría de las observaciones no llegó suficiente luz al fondo).

La reapertura del caño Aguas Negras afectó la concentración de sales, en la medida que se da una recuperación de la cobertura vegetal y la presencia de vegetación acuática; por otra parte, aumentó la carga de sedimentos que entra al sistema contribuyendo a la colmatación de los humedales, como se observó en la desembocadura del caño en la Ciénaga Pajalaral (DCAN) donde se formó un mini delta por acumulación de sedimentos, dificultando la navegación y la entrada al caño Las Fuentes.

### AGRADECIMIENTOS

La información presentada en este documento hace parte del Proyecto “Monitoreo de los procesos indicadores de recuperación de ecosistemas en el delta exterior derecho del río Magdalena”, financiado por la Universidad del Magdalena, COLCIENCIAS, GTZ, CORPAMAG y UAESPNN. Código 1117-09-040-98 (Contrato 361-98). El trabajo de campo fue apoyado por habitantes del palafito de Nueva Venecia (complejo Pajarales).

### BIBLIOGRAFÍA

Anagnostidis, K. y Komárek, J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3. Oscillatoriales. *Archiv fuer Hydrobiologie Supplement* 80 (1-4): 327-472.

Andreo, C. y Vallejo, R. 1984. *Fotosíntesis*. Secretaria General de la Organización de Estados Americanos, Washington.

American Public Health Association APHA, American Water Works Association AWWA, and Water Pollution Control Federation WPCF. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association.S.A, Washington.

Bernal, F. G. 1996. Caracterización geomorfológica de la llanura deltaica del río Magdalena con énfasis en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR* 25 (1): 19-48.

Bernal, G. y Betancur, J. 1996. Sedimentología de Lagunas Costeras: Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga de

Pajarales. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR* 25 (1): 49-76.

Botero, L. y Mancera, J. E. 1996. Síntesis de los cambios de origen antrópico ocurridos en los últimos 40 años en la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 20: 465-474.

Gaarder, T. y Gran, H. H. 1927. Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. Rappports et Procès-Verbaux des réunions. *Conseil International pour L'Exploration de la Mer* 42: 1-48.

Gocke, K., Hernández, C., Giesenhagen, H. y Hoppe, H. 2004. Seasonal variations of bacterial abundance and biomass and their relation to phytoplankton in the hypertrophic tropical lagoon Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Journal of Plankton Research* 26(12): 1429-1439.

González, S.G. y Berdayes, J.A. 1981. La producción primaria en las lagunas costeras de Tunas de Zaza, Cuba. *Revista Investigaciones Marina* II (2): 109-139.

Granados-Martínez, C., Rodríguez-Chila, J. y López-Salgado, H. 2011. Producción primaria fitoplanctónica y metabolismo durante una época lluviosa en una laguna costera estuarina tropical. Ciénaga Grande de Santa Marta. *Intropica* 6: 9-19.

Grasshoff, K., Ehrhardt, M. y Kremling, K. 1983. *Methods of Seawater Analysis. Second, Revised and Extended Edition*. WILEY-VCH, Weinheim.

Hernández, C. 1986. Producción primaria y dinámica del fitoplancton en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Tesis de Maestría, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.

Hernández, C. 1988. *Producción primaria del fitoplancton en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Informe técnico, primera parte*. INVEMAR - COLCIENCIAS, Santa Marta.

Hernández, C. y Gocke, K. 1990. Productividad primaria en la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Anales Instituto Investigaciones Marinas de Punta Betón* 19-20: 101-119.

IDEAM. 2005. *Atlas Climatológico de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá.

IGAC. 1993. *Características Geográficas Magdalena*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.

INVEMAR, 2000. *Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades*

vegetales y de recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta: Un enfoque de manejo adaptativo. Informe Técnico Final 2001. Ministerio Medio Ambiente-Banco Interamericano Desarrollo – INVEMAR, Santa Marta.

Knoppers, B. 1993. Aquatic Primary Production in Coastal Lagoons. En: Kjerfve, B., Editor. *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Oceanography Series, Columbia.

Kucklick, M. 1987. Phytoplankton biomasse und seston grehalt eines mangrove ästuars (Ciénaga Grande de Santa Marta, Kolumbien). Tesis de Doctorado, Universität Stuttgart Hohenheim Botanisches Institut, Stuttgart, Alemania.

Lecarpentier, C., Umaña, G. y Vega, G. 1975. *Estudio hidroclimático de la región del Caribe*. IGAC, Bogotá.

Lorenzen, C. J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments spectronic equations. *Limnology and Oceanography* 12: 343-346.

Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega S.A., Barcelona.

Mogollón, M. 1996. Estructura de la comunidad fitoplanctónica del Complejo de Pajarales y Salamanca Occidental, Costa Caribe Colombiana. Tesis de pregrado, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.

Odum, E. P. y Sarmiento, F. O. 1997. *Ecología el puente entre ciencia y sociedad*. Editorial Mc-Graw-Hill Interamericana, México D. F.

Parra O. O., M. González, V. Delarosa, P. Rivera y Orellana, M. 1982. *Manual taxonómico de fitoplancton de aguas continentales. Con especial referencia al fitoplancton de Chile. 1982. I – Cyanophyceas*. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Pereira I., Reyes, G. y Kramm. V. 2000. Cyanophyceae, Euglenophyceae, Chlorophyceae, Zygnematophyceae y Charophyceae en arrozales de Chile. *Gayana Botánica* 57: 29-53.

PROCIENAGA. 1994. *Estudio de impacto ambiental*. Informe final proyecto: Reapertura de canales en el delta exterior derecho del río Magdalena, Santa Marta.

RAMSAR, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG) e INVEMAR. 2004. *Plan de manejo para el sitio RAMSAR y reserva de la biosfera, sistema delta estuarino del río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta*. Talleres de Unión Gráfica Ltda, Bogotá.

Rodríguez-Chila, J. D., Mancera-Pineda, J. E. y López-Salgado, H. J. 2009. Efectos de la recomunicación del río Magdalena con su antiguo delta: cambios en la producción primaria fitoplanctónica y respiración en el complejo Pajarales, 1989 A 2005. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR* 38(2): 119-144.

Rondón, E. 1991. Estimación de la productividad fitoplanctónica en Ciénagas del Complejo de Pajarales, Caribe colombiano. Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Ruiz, D. M. 1999. Valoración cualitativa y cuantitativa del fitoplancton en ciénagas del delta exterior derecho del río Magdalena y su relación con la reapertura del Caño Clarín. Tesis de Pregrado, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.

Ryszowski, L. 1998. Economía de la energía y de la materia en los ecosistemas. En: Dobben, W. H. y Lowe-McConnell, R. H., Editores. *Conceptos Unificadores en ecología*. Blume Ecología, Barcelona.

Velásquez A. y Rosales C. 2002. *Los pasos de El Niño en Colombia 1980 – 2001: Algunas interpretaciones, oportunidades y utilidades*. Informe Anual Colombia Año #2, Proyecto ENSO 15 de enero del 2002, LA RED – IAI, Universidad del Valle, Cali.

Vidal, L. A. 2010. Manual del fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños. Bogotá: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Vidal, L. A. 1995. Estudio de fitoplancton en el sistema lagunar estuarino tropical Ciénaga Grande de Santa Marta. Colombia, durante el año 1987. Tesis Magíster Scientiae Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Vidal, L. A., 1996. *Estudio del fitoplancton en la Ciénaga Grande de Santa Marta durante el año de 1995. Resultados cualitativos y variación en el tiempo*. Informe Final INVEMAR, Santa Marta.

Vidal, L. A., Guillot, G., Sánchez, G. E. y Criales, M. 2001. Composición del fitoplancton de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) Caribe colombiano, octubre 1999-julio 2000. En: *IX Congreso Latinoamericano Sobre Ciencias del Mar*, Colombia.

Vollenweider, R. A. 1974. *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. IBP Handbook No. 12, Blackwell Scientific, Oxford.

Yacobson, S. 1969. Algas de ambientes acuáticos continentales para Venezuela. *Boletín Centro Investigaciones Biológicas* (3): 7- 87.

Yacubson, S. 1972. Catálogo e iconografía de las Cyanophytas de Venezuela. *Boletín Centro Investigaciones Biológicas* (5): 7- 78.

Yacubson, S. 1974a. Catálogo e iconografía de las Chlorophytas de Venezuela. *Boletín Centro Investigaciones Biológicas* (11): 7- 143.

Yacubson, S. 1974b. El Fitoplancton de la Laguna de San Javier del Valle (Estado Mérida), Venezuela. *Revue Algologique Tome XI Fascicule 1-2*: 91-131.

Yacubson, S. 1980. Algas del río Limón y ambientes acuáticos cercanos (Estado Zulia Venezuela). *Boletín Centro Investigaciones Biológicas* (14): 1- 81.

Yacubson, S. 1984. Algas del río Tucuco y ambientes acuáticos de sus alrededores (Estado Zulia Venezuela). *Boletín Centro Investigaciones Biológicas* (17): 19- 95.

Yacubson, S. y Bravo, C. R. 1982. Especies de Trachelomonas (Euglenophytas) de algunos cuerpos de agua de los distritos Urdaneta y Perijá (Estado Zulia Venezuela). *Boletín Centro Investigaciones Biológicas* (15): 17- 47.

Yacubson, S. y Bravo C. R. 1986. Especies de *Phacus* (Euglenophytas) de diversos cuerpos ambientes acuáticos del Estado de Zulia Venezuela). *Boletín Centro Investigaciones Biológicas* (17): 47- 77.

**Fecha de recepción:** 26/07/2017

**Fecha de aceptación:** 11/09/2017

**Publicado en línea:** 14/09/2017

**Para citar este artículo:** Hernández-Jiménez C.A. 2017. Efectos de la entrada de agua del río Magdalena en la producción primaria del fitoplancton en la ciénaga pajaral, Caribe colombiano. *Intropica* 12(2): 117-130. DOI: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2315>

## APROXIMACIÓN AL DESARROLLO DE HERRAMIENTAS PARA UN MANEJO COSTERO INTEGRADO: ANÁLISIS DE RIESGO DEL PUERTO DE LA PALOMA (URUGUAY)

### RISK ASSESSMENT METHODOLOGICAL TRIAL: THE CASE OF LA PALOMA PORT, URUGUAY

Martín García , Camila Longarete , Cristina Cancela , Martín Sanguinetti , Santiago Silveira ,  
Daniel de Alava , Ingrid Roche  y Hugo Inda 

#### RESUMEN

El manejo costero integrado surge como una herramienta que integra un amplio espectro de actores sociales y que genera información sistematizada y comunicable para el manejo democrático y sustentable de los recursos costeros. Bajo este marco y ante el uso como terminal maderera planteado por el Gobierno uruguayo para el puerto de la localidad de La Paloma, el presente trabajo brinda elementos para el manejo de los riesgos derivados de esta actividad. Se adoptó la metodología de análisis de riesgo que se llevó adelante en tres fases: la construcción de una tabla de identificación de actividades, amenazas, área geográfica, receptores de amenazas y consecuencias; estimación de probabilidad y consecuencia a través de consulta a expertos; y, finalmente, valorización del riesgo a través de una matriz que permitió la priorización de los riesgos más altos y desarrollar recomendaciones para su mitigación. Los resultados obtenidos muestran que la actividad del puerto siempre requiere desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión, debido al alto impacto que tendría (categoría de riesgo: inaceptable). Los riesgos más importantes derivados de la actividad portuaria fueron identificados como los derivados del dragado (cambios en la sedimentación y contaminación), y del tránsito de barcos (contaminación residual y encallamiento). Estos resultados permiten generar estrategias de gestión y facilitar la interpretación de los problemas a los tomadores de decisión dentro de un proceso de manejo integrado de la operativa del puerto.

**PALABRAS CLAVE:** riesgo; terminal maderera; puerto; operativa

#### ABSTRACT

Integrated coastal zone management emerges as an integrated and democratic approach to coastal resources management by including stakeholders into decision-making processes and generating accessible and systematized information. Under this theoretical framework, and as a response to the new use of the port of La Paloma for timber shipping, this project intends to provide information towards improving risk management associated to the activity. The risk analysis methodology was adopted and developed in three stages: the designing of a table to identify activities, hazards, geographical delimitations and environmental receptors; the estimation of hazard occurrence probability and its consequence through interviews to expert technicians; and, finally, the risk estimation through a consequence and probability matrix, which allowed prioritizing risks and developing mitigation recommendations. The results show that the port activities require prioritized and immediate mitigation actions for management due to its high-risk impact (risk category: unacceptable). The main risks identified, associated to the port activities, were the ones derived from the dredging (sedimentation changes and contamination) and ship transit (residual contamination and stranding). These results allowed designing risk management strategies with accessible information for decision makers, within an integrated approach towards port management.

**KEY WORDS:** risk; timber terminal; port; operations

#### Dirección de los autores:

Centro interdisciplinario de respuesta al cambio y variabilidad climática, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay; e-mail: martingarciaartagena@gmail.com, **ORCID:** 0000-0003-0473-6069 (M.G.). Laboratório de Conservação e Gestão Costeira- UNIVALI, Brasil; email: camilalongarete@gmail.com, **ORCID:** 0000-0002-3401-7754 (C.L.). Estudiante Maestría en Manejo Costero Integrado del Cono Sur-MCISur-Centro Universitario Regional Este-Universidad de la República, Montevideo, Uruguay; e-mail: criscancela76@gmail.com, **ORCID:** 0000-0002-9854-3630 (C.C.). Unidad de Extensión, Universidad de la República, Uruguay; e-mail: msanguin58@gmail.com, **ORCID:** 0000-0002-4464-724X (M.S.). Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, La Paloma, Uruguay, e-mail: santisur3@gmail.com, (S.S.). Centro Interdisciplinario Manejo Costero Integrado del Cono Sur - MCISur - Centro Universitario Regional Este - Universidad de la República, Uruguay; e-mail: daniel.dealava@gmail.com, **ORCID:** 0000-0003-2284-141X (D.D.). Facultad de Arquitectura, Universidad de la República Montevideo, Uruguay; e-mail: ingridroc15@gmail.com, **ORCID:** 0000-0001-8560-2980 (I.R.). Centro Universitario Regional Este, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay; e-mail: hinda@cure.edu.uy, **ORCID:** 0000-0003-1955-7821 (H.I.).

## INTRODUCCIÓN

La zona costera presenta un alto nivel de complejidad, dinamismo y vulnerabilidad, debido a la gran cantidad de interacciones bio-físicas y sociales que este tipo de ecosistema complejo presenta. Se estima que aproximadamente un 23 % de la población mundial habita en zonas costeras (hasta 100 km tierra adentro) y la densidad de población en estas zonas es tres veces mayor que el promedio global de densidad (Parry et al., 2007). El 44 % de la población mundial vive a menos de 150 kilómetros de la costa (UN Atlas of the Oceans, 2014). A su vez, se estima que 18 de las 27 megalópolis en el mundo serán las que mayores presiones migratorias reciban en el futuro (World Water Assessment Programme, 2009). Las presiones antropogénicas que aumentan sobre las zonas costeras, también aumentan el nivel del mar (McGranahan et al., 2007; Nicholls y Cazenave, 2010), la erosión costera (Leatherman et al., 2000; Zhang et al., 2004; Feagin et al., 2005) y la frecuencia e intensidad de eventos extremos de origen atmosférico (Bidegain et al., 2005; 2013; Webster et al., 2005; Woth et al., 2006; Knutson et al., 2010). Estos datos dejan claro que un gran porcentaje de la población mundial que habita en zonas costeras se encuentra expuesta a altos niveles de riesgo.

El riesgo puede entenderse como una construcción social, dinámica y cambiante, con diferencias marcadas en función de procesos territoriales y sociales a través de los cuales las amenazas y la vulnerabilidad (natural y social) se relacionan (Aptekar, 1994; Beck, 2002; Oliver-Smith, 2002; Phillips y Fordham, 2010; Etkin et al., 2012; Glavovic, 2015). En tanto, los factores que explican su existencia pueden encontrar su origen en distintos procesos sociales y en distintos territorios, su expresión más nítida es a nivel micro social y territorial o local (Lavell, 2003).

La variedad de amenazas en relación a eventos extremos y presiones antrópicas que potencialmente enfrenta la sociedad es muy amplia y tiende a aumentar constantemente debido a eventos extremos y el aumento de presión del hombre sobre la naturaleza. Estas se pueden clasificar de la siguiente manera: amenazas naturales, amenazas seudo o socio-naturales, y las amenazas antropogénicas. Las amenazas en relación a eventos naturales son aquellas asociadas a la dinámica geológica, atmosférica y oceanográfica del planeta (sismos, deslizamientos de tierra, huracanes y tsunamis) (Bryant, 2005).

Las que son de naturaleza seudo o socio-natural son producidas como resultado de la intersección o relación del mundo natural con las prácticas sociales. En éstas, los cambios en los patrones de uso del suelo y otros procesos sociales (distribución de poder, recursos, etc.) crean o amplían el espectro condicionante de la amenaza y generan vulnerabilidad social (Phillips y Fordham, 2010). Por último, las derivadas de carácter antropogénico, resultado de la actividad humana, están representadas por casos como explosiones, conflagraciones, derrames de materiales tóxicos, contaminación de aire, tierra y agua por productos industriales (Lavell, 2003; Taubenbock, 2008, Lozoya et al., 2011).

Más allá de las amenazas yace otro elemento fundamental del riesgo, la vulnerabilidad. La vulnerabilidad puede entenderse como la dificultad que cualquier sistema socio-ecológico pueda enfrentar para recuperarse luego de ser expuesto a distintos niveles de estrés y/o shock (Wisner et al., 2003; Luedeling et al., 2013; Mach et al., 2014). Esta definición de vulnerabilidad integra conceptos como exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (Luedeling et al., 2013; Mach et al., 2014). Por exposición se entiende la localización espacial de especies, personas, infraestructuras, etcétera, en lugares donde puedan verse afectados de forma negativa (Mach et al., 2014). Sensibilidad es la facilidad con la que una parte del sistema puede llegar a responder a cambios en variables que le afectan directamente, como por ejemplo las distintas medidas de aumento del nivel del mar en relación al aumento en la temperatura. Finalmente, la capacidad adaptativa es la capacidad de un socio-ecosistema determinado de modificarse, ajustarse, y adaptarse en respuesta a los cambios producidos por una amenaza determinada (Mach et al., 2014). Si bien la vulnerabilidad, en ocasiones, se toma como la propiedad de un sistema, también es importante mencionar que la vulnerabilidad a nivel social no es una propiedad natural, sino el resultado de procesos sociales. Los procesos sociales de distribución desigual de poder, recursos, etc., resultan en la marginalización de grandes sectores de la población (género, etnias, clases sociales, etc.) y la capacidad de respuesta a la ocurrencia de amenazas que estos sectores marginales tiene es significativamente menor que la de sectores con acceso a más y mejores recursos. Este proceso de distribución desigual de la riqueza produce lo que se denomina vulnerabilidad social (Cutter, 1996; Cutter y Finch, 2008; Phillips y Fordham, 2010).

En este contexto de riesgo en zonas costeras, se enmarca la problemática del puerto de La Paloma ( $34^{\circ} 39' 19.02''$  S -  $54^{\circ} 8' 37.07''$  O). Este es un poblado ubicado en el departamento de Rocha al este de Uruguay, con 3,495

habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2011) y cuyo desarrollo está muy relacionado con los ciclos de vida del puerto que allí existe (Figura 1).

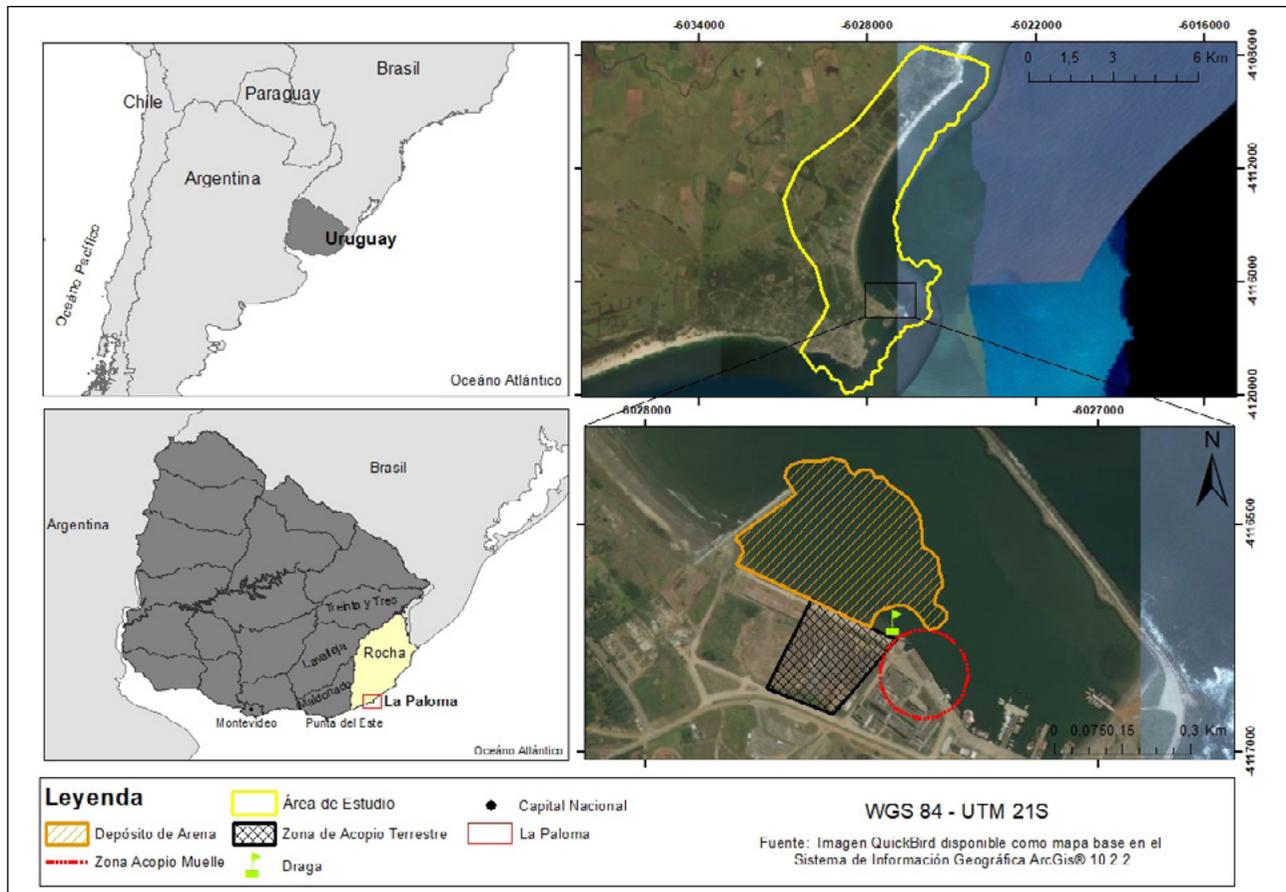


Figura 1: Mapa de delimitación del área de estudio.

Históricamente el Puerto de La Paloma pasó por varias etapas siendo las últimas muy asociadas a la pesca artesanal, semi-industrial, e industrial (1940 a 1993). Durante el periodo de auge máximo de estas actividades (a partir de 1970) y a raíz del desarrollo del Plan Pesquero Nacional, la población de La Paloma llegó a duplicarse en pocos años llegando la población a ser empleada en las actividades pesqueras. Desafortunadamente el auge de la pesca culminó a principios de la década de 1990, momento en el que empezó a constatar una disminución en la captura de recursos pesqueros asociado al desarrollo industrial. Más de la mitad de la población quedó desempleada y debió volcarse a sectores como la construcción y el turismo (Delfino et al., 2001; Arocena et al., 2006; Goyos et al., 2011; Sánchez, 2012). En la actualidad, el Puerto

de La Paloma se utiliza como Base Naval con servicio de vigilancia costera, aduana, escasos remanentes como puerto deportivo y para la pesca artesanal. Ante el decaimiento de las actividades socio-económicas, las autoridades gubernamentales desarrollan una iniciativa para revitalizar el puerto a través de un proyecto que plantea éste como una terminal maderera para dar salida a 140,000 ha de forestación (*Eucalyptus*) existentes en esta región hacia el puerto de Fray Bentos y la planta de celulosa allí existente. Este cambio ha generado cierta preocupación en la comunidad local, asociada al temor de potenciales pérdidas de la calidad ambiental y social de La Paloma. El presente artículo analiza los posibles riesgos asociados al nuevo uso maderero del puerto de La Paloma- Uruguay a través de una valoración de riesgo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de los potenciales riesgos bio-físicos asociados a la actividad portuaria se utilizó una aproximación metodológica para análisis de riesgo en ecosistemas acuáticos y terrestres (Gorgon Report, 2005). Los principales objetivos fueron la valoración del riesgo y su priorización, con el fin de ayudar y facilitar la gestión de riesgos. Ambos objetivos se basan en la cuantificación de riesgo y la valoración de sus consecuencias. El proceso de valoración del riesgo se realizó siguiendo una serie de pasos que se presentan sintetizados en el flujograma de la figura 2.

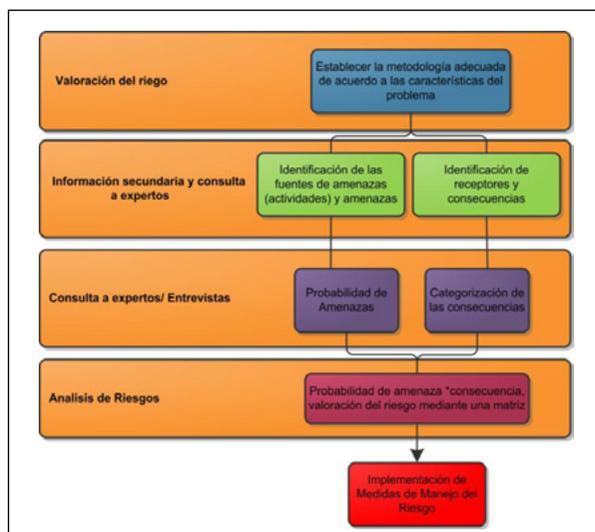


Figura 2: Flujograma de análisis de riesgo, modificado de Gorgon Report (2005).

### Valorización del riesgo

Existen diversas metodologías para desarrollar los análisis de riesgos y la selección de la metodología más apropiada. En cada caso depende de la disponibilidad de información y el nivel de detalle que se desea alcanzar. En este trabajo el factor de riesgo es el desarrollo portuario de la localidad de La Paloma, por lo que las amenazas que se consideran son únicamente las asociadas al mismo. Este nivel de especificidad permite realizar la valorización del riesgo basada en la ecuación propuesta por Morrow (2009):

$$\text{Riesgo} = \text{POA} * \text{ICA}$$

Donde:

POA = probabilidad de ocurrencia de una amenaza;  
ICA = intensidad de la consecuencia de una determinada amenaza.

En este caso se define una amenaza como una actividad o evento que produzca algún daño a la sociedad, medio ambiente, sistemas, bienes o recursos. Y la intensidad de la consecuencia como la estimación de la severidad sobre los denominados factores de vulnerabilidad o receptores que podrían resultar afectados (personas, medio ambiente, sistemas, procesos, servicios, bienes o recursos).

Para elaborar el mapa de riesgos y calcular la probabilidad de amenazas y el efecto de las consecuencias se deben considerar criterios que sean comparables. Para ello, se definieron los criterios utilizados generalmente en este tipo de análisis (Fondo de prevención y atención de emergencias, 2012) donde se describe la categorización de las POA sobre los distintos componentes con sus correspondientes ICA para obtener los riesgos asociados al desarrollo portuario en La Paloma.

En este análisis el rango de POA presenta un mínimo categorizado como Raro (con probabilidades de ocurrencia de 1 vez entre 20 a 50 años) y valores máximos categorizados como Casi Seguro (con probabilidades de ocurrencia de 5 a 10 veces en 1 año) con una amplitud de 5 categorías de POA. Las ICA se categorizan en 5 estados en el cual se establece un mínimo de incidencia, donde no se considera ningún daño ambiental, categorizado como Insignificante (no produce daño ambiental) hasta valores categorizados como Extremo (daño ambiental grave no recuperable) (Tabla 1, 2).

Mediante la fórmula ( $R = \text{POA} * \text{ICA}$ ) se realizaron las matrices especificadas en la figura 3. Por un lado, se realiza una matriz de riesgo por amenaza donde en el Eje X se colocan los valores de ICA y en el Eje Y los de POA. A su vez, se subdivide el POA y el ICA en 5 categorías con sus respectivos valores numéricos para que nos permita obtener en la interacción de POA e ICA el valor de riesgo de la amenaza analizada.

Los valores que se ven dentro de la matriz A de la figura 3 son los coeficientes resultantes de la intersección entre POA e ICA, mientras que la matriz B de la figura 3 muestra los mismos relativizados en porcentaje o Riesgo Relativo. Esta segunda matriz (Matriz B, Figura 3) está compuesta por los valores porcentuales de riesgo de cada celda relativas al máximo de riesgo (ej. casi seguro\*extremas = 25). Este cálculo permite determinar los umbrales sobre los cuales se determinan los criterios de aceptabilidad del riesgo (Tabla 3).



Figura 3. Matriz de riesgo (ICA X POA) y criterios de aceptabilidad asociados a dicha matriz.

Tabla 1. Criterios de probabilidad de amenazas presentados a los entrevistados.

Criterios de probabilidad de amenazas	
<b>Raro</b>	Difícil que ocurra, ejemplo: una vez cada 50 años
<b>Poco probable</b>	Baja probabilidad de ocurrencia; ha sucedido o se espera que suceda solo pocas veces, una vez entre los 20 y 50 años.
<b>Moderado</b>	Limitada probabilidad de ocurrencia; sucede en forma esporádica, una vez entre los 5 y los 20 años.
<b>Probable</b>	Probabilidad de ocurrencia; sucede Algunas veces, una vez entre 1 y los 5 años.
<b>Casi seguro</b>	Significativa probabilidad de ocurrencia; sucede en forma reiterada, entre 1 vez y 10 veces al año.

Tabla 2. Criterios de intensidad de consecuencias ambientales presentados a los entrevistados.

Intensidad de consecuencias ambientales	
<b>Insignificantes</b>	No produce daño ambiental
<b>Bajas</b>	Daño ambiental leve recuperable
<b>Medianas</b>	Daño ambiental grave recuperable a mediano plazo
<b>Muy altas</b>	Daño ambiental grave recuperable a largo plazo
<b>Extremas</b>	Daño ambiental grave no recuperable

Tabla 3. Criterios de Aceptabilidad del Riesgo (Fuente: FOPAE, 2012).

Crterios	Definición
<b>Aceptable</b>	Significa que la relación Frecuencia/Consecuencia; no implica una gravedad Significativa, por lo que no amerita la inversión de recursos y no requiere acciones para la gestión sobre el factor impacto considerado, diferentes a las ya aplicadas en el escenario.
<b>Tolerable</b>	Significa que la relación Frecuencia/Consecuencia; aunque deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo, tiene una prioridad de segundo nivel, pudiendo ser a mediano plazo.
<b>Inaceptable</b>	Significa que la relación Frecuencia/Consecuencia; se requiere siempre desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión, debido al alto impacto que tendría
<b>Inadmisible</b>	Significa que la relación Frecuencia/Consecuencia; por bajo ninguna circunstancia se deberá mantener un escenario con esa capacidad potencial de afectar la estabilidad del ambiente, pues podría hacerla desaparecer. Por ello estos escenarios requieren una atención de “Alta Prioridad” para disminuir a corto o inmediato plazo su impacto.

### **Primera identificación de amenazas, sus fuentes y sus receptores**

La identificación de las amenazas, así como de los receptores de dichas amenazas fue construida en base a una aproximación primaria para caracterizar el área de estudio a través de una revisión bibliográfica, registro sobre el campo y reconocimiento del área mediante sensores remotos, información luego conjugada en un SIG. Esta aproximación permitió construir una tabla de posibles amenazas y consecuencias.

### **Validación de las amenazas, sus fuentes, sus receptores, e identificación de su posibilidad de ocurrencia e intensidad de sus consecuencias**

Habiendo finalizado la tabla de actividades asociadas a la nueva operativa del puerto y sus posibles amenazas y consecuencias, se identificaron expertos a través de un muestreo de bola de nieve (Morgan, 2008) y se llevaron adelante una serie de entrevistas semi-estructuradas (Ayes, 2008) a los expertos identificados. Los criterios utilizados para identificar “expertos” fueron los siguientes: que los mismos fueran técnicos asociados a la temática portuaria, del ámbito académico e institucional y que, por su trayectoria académica o laboral, tengan un acumulado de experiencia y conocimiento en actividades relacionadas al puerto, posibles amenazas y eventuales consecuencias de las mismas.

En total se entrevistaron 10 expertos y, además de solicitarles que validaran y complementaran la tabla de amenazas y receptores a través de preguntas abiertas, también se les solicitó que categorizaran la posibilidad de ocurrencia (POA) de las mismas así como también la intensidad de sus consecuencias (ICA) a través de preguntas cerradas con respuestas de opción múltiple. Para esto se les presentó a los entrevistados dos tablas (Tablas 2 y 3) con los criterios estandarizados para determinar el POA y el ICA de cada amenaza en relación a sus receptores. Finalmente, siguiendo la técnica de muestreo de bola de nieve, también se les solicitó a los entrevistados a través de una pregunta abierta, que utilizando los criterios establecidos y descritos en el párrafo anterior, identificaran otros ‘expertos’ para consultar. La información resultante permitió identificar a los ‘expertos’, enriquecer la tabla de amenazas y receptores elaborada, validar la información en ella adscrita, y determinar el POA y el ICA para cada amenaza.

De los 10 entrevistados solo 8 fueron considerados para el análisis de riesgo (Tabla 4). Los dos entrevistados restantes solicitaron que sus aportes no sean considerados para la realización del análisis debido a que fueron de tipo cualitativo asociado a impactos sociales no correspondían ni eran posibles de cuantificar. Este último punto expuso una limitante de este tipo de análisis cuantitativo del riesgo asociada a la integración de riesgos sociales no cuantificables.

Tabla 4. Entrevistados categorizados por institución de procedencia y perfil disciplinar.

Entrevistado	Institución	Disciplina
A	Universidad de la República	Ingeniero Hidráulico
B	Universidad de la República	Ingeniero Hidráulico
C	Dirección Nacional de Recursos Acuáticos	Biólogo
D	Universidad de la República	Biólogo
E	Dirección Nacional de Hidrografía	Gestor
F	Universidad de la República	Bióloga
G	Universidad de la República	Ingeniero Agrónomo
H	Universidad de la República	Biólogo

### Análisis de riesgo

Con los resultados cuantitativos obtenidos a través de la consulta a expertos, se construyó una matriz que nos permitió analizar los riesgos en base a las opiniones de los técnicos consultados. El nivel riesgo de cada amenaza lo obtuvimos de la sumatoria de los valores asignados por los técnicos y el riesgo relativo lo obtuvimos de la división de este sobre la sumatoria de máximos.

### RESULTADOS

A continuación, se desarrollan los aportes y consideraciones recopiladas y sintetizadas en la figura 4.

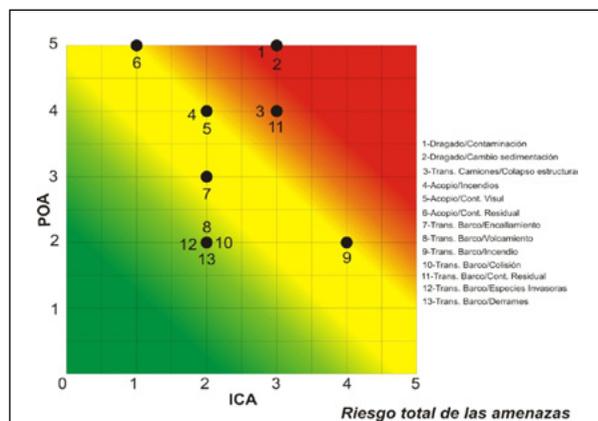


Figura 4. Gráfico del riesgo total de las amenazas.

### Tránsito de camiones

Del total de entrevistas únicamente dos especialistas hablaron de las amenazas derivadas de esta actividad. En la entrevista, el sujeto C detectó como amenaza más relevante dentro de esta actividad el colapso estructural (Figura 5), categorizándolo como probable y de intensidad media, categorizándose el riesgo como inaceptable. La mayoría de los entrevistados evitó hablar sobre esta actividad porque consideraban que no tenían aportes sobre la misma, en función de su experiencia y área de conocimiento, aunque reconociendo, como apreciación más subjetiva, que es una actividad que impactaría en el ámbito social del balneario.

### Acopio de madera/ carga y descarga

Esta actividad junto con la anterior es de la que menos información se recopiló, solo dos entrevistados se refirieron a estas. La carencia de información en cuanto a esta actividad es considerada como en el ítem anterior.

### Dragado

La actividad del dragado fue la que más información generó en las consultas. Las amenazas asociadas son el cambio en la sedimentación (transporte y

deposición) (Figura 6) y la contaminación (Figura 7). Las valoraciones en ambas fueron desde el rango de aceptable con una probabilidad rara e intensidad insignificante, al máximo valor de riesgo de inadmisibles, con una probabilidad de casi seguro y muy alto de intensidad. El valor de riesgo de ambas amenazas en el total es inadmisibles.

### Tránsito de barco

En las entrevistas esta fue otra actividad que generó bastante información. Concretamente sobre las

amenazas de contaminación residual y encallamiento, siendo la primera en la que más aportes se hicieron (Figura 8). La valoración mínima sobre contaminación residual fue de probabilidad rara e intensidad media, siendo un riesgo aceptable; la valoración máxima fue de probabilidad casi seguro e intensidad muy alta, siendo un riesgo inadmisibles. En cuanto al encallamiento se consideró un mínimo de probabilidad baja e intensidad poco probable, siendo un riesgo aceptable; el máximo se consideró probable y de baja intensidad, como riesgo tolerable.

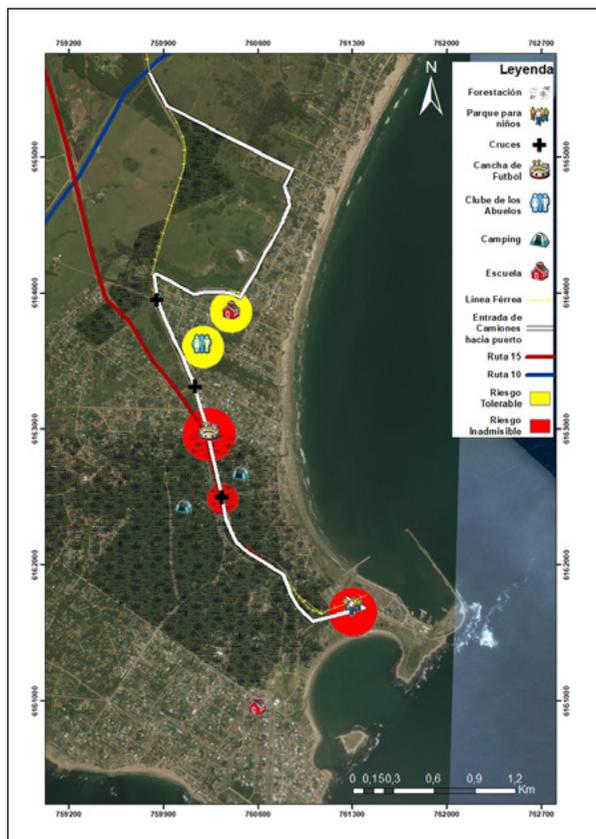


Figura 5: Ilustración de la amenaza Colapso Estructural en el área geográfica.

Los informantes consultados sugirieron la incorporación de dos nuevas amenazas, no reflejadas en la tabla inicial, que fueron el derrame de hidrocarburos y la posible introducción de especies invasoras por el agua de lastre. En relación al encallamiento y colisión se señaló la dificultad de la maniobra de atraque y salida del barco dentro del puerto, así como una zona histórica de difícil navegación en cuanto a la ruta de ingreso inmediato. Sobre esta actividad solo tres entrevistados emitieron recomendaciones de manejo.

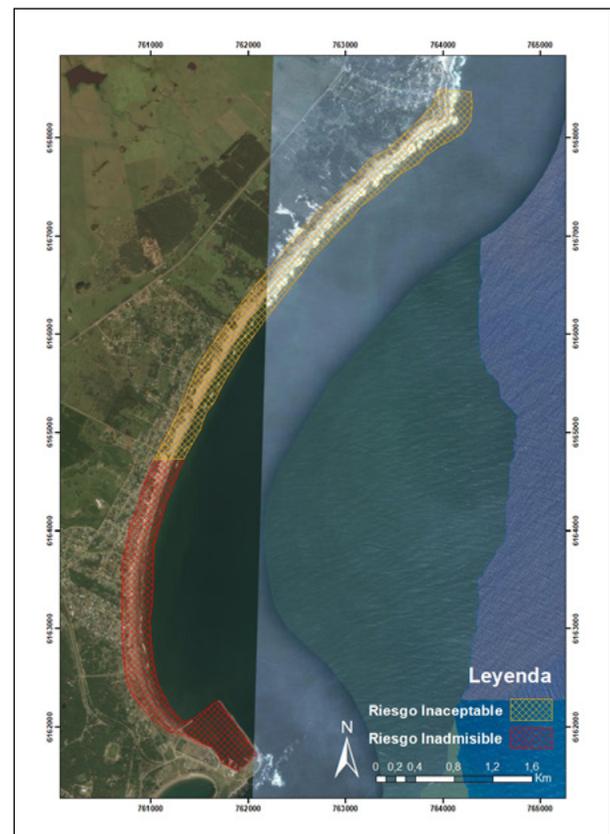


Figura 6: Ilustración de la amenaza Cambios en la Sedimentación en el área geográfica.

## DISCUSIÓN

A partir del análisis de riesgo realizado se considera que algunas actividades vinculadas al acopio y traslado de madera desde el puerto de La Paloma, sí generan riesgos ambientales y sociales. Coinciden los riesgos identificados como de mayor importancia con las nuevas actividades que se prevén desarrollar asociadas al proyecto maderero (dragado y llegada del nuevo barco de carga). Existen antecedentes sobre la contaminación

y las modificaciones sobre el tránsito de sedimento referido a la actividad del dragado y sus impactos (Stansbury et al., 1999; Whomersley, 2008; Elsaeed, 2011). Sin embargo, la relación causa-efecto entre el riesgo identificado y la nueva actividad del puerto se hace muy difícil de constatar mediante este análisis, ya que las amenazas identificadas como importantes pueden ser históricas y no asociables directamente al proyecto del puerto maderero. De todas formas, en base a los resultados obtenidos se puede afirmar que se intensificó el dragado y que los riesgos asociados al mismo son altos. Más aun, se constató el vertido de los sedimentos dragados del puerto en la playa inmediatamente al este del mismo, lo que genera un nuevo riesgo/impacto no contemplado en el modelo.

En una segunda instancia los riesgos más importantes que se detectaron fueron los asociados al tránsito de barcos (contaminación residual y encallamiento). Históricamente, en referencia a mapas y cartas náuticas, la zona en torno al cabo de Santa María es una de las que tiene mayor concentración de accidentes de navegación (Varese, 1993). Las cartas señalan específicamente dos bajos fondos, el Bajo 18 de julio y el Bajo Falkland, que representarían zonas de alto riesgo de colisión debido a su situación en el frente de entrada al puerto (Figura 8). Además, refiere que en toda el área en general abundan los afloramientos rocosos. En estas formaciones la problemática se acentúa debido a que son zonas de importancia para el hábitat y reproducción de invertebrados bentónicos y de peces (Demicheli y Scarabino, 2006; Piedra et al., 2006; com. pers. Soutullo, 2013).

Actualmente, a nivel mundial, la principal causa de introducción involuntaria de especies acuáticas es a través del agua de lastre (Carlton, 1985; Ruiz et al., 2000), causando daños en los ecosistemas, en la biodiversidad nativa, en actividades pesqueras, así como perjuicios a la salud humana (Silva et al., 2004; Brugnoli et al., 2006). El tránsito del barco incrementaría la posibilidad de introducción de especies invasoras, efecto que también se aplicaría a la navegación deportiva, como se registró en algún caso de veleros en Punta del Este (Uruguay) (Com. pers. Carranza, 2013).

Los antecedentes refieren impactos, similares tanto para la operativa del dragado, la marítima, la calidad del agua, la ecología costera y marina, así como la calidad del paisaje (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2000). La Paloma en la actualidad basa su identidad en el turismo de sol y playa (Goyos et

al., 2010; Sánchez, 2011): la ocurrencia de alguna de las amenazas que generen cambios en las características de la calidad del agua, la biodiversidad y el paisaje que hacen a los atractivos turísticos del lugar podría implicar un impacto en la posibilidad de seguir desarrollando actividades turísticas en la zona, generando también de esta manera cambios en la identidad cultural asociada a esta actividad productiva. Esto se sumaría al posible riesgo de los impactos del uso turístico inapropiado, dado que la expansión del proceso urbano-turístico tradicional es una de las principales transformaciones negativas resultantes de la interacción humana en el espacio físico a nivel costero (De Álava, 1996; 2006).

## CONCLUSIONES

En base a las entrevistas desarrolladas se pudo abordar casi la totalidad de las amenazas esperadas derivadas de las actividades del puerto, quedando por fuera del abordaje 4 amenazas (de las 15 listadas). Este análisis categoriza al total de la operativa portuaria como un proyecto cuyos riesgos requieren siempre desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión, debido al alto impacto que podrían tener (inaceptable). De cualquier manera, es importante destacar que el riesgo de la operativa portuaria no es la única presión existente sobre los receptores que se identificaron. También se deben considerar las presiones de los procesos de urbanización sobre el ambiente costero (desarrollo del turismo de sol y playa) y las presiones económicas externas (demandas internacionales de materias primas, precios internacionales) referidas en particular al desarrollo de actividades productivas asociadas a la forestación.

A través del análisis de riesgo se determinó que las amenazas derivadas del dragado y del tránsito de barcos son aquellas que presentan los valores más altos. A su vez, también son las actividades donde se concentran la mayor cantidad de datos obtenidos y la mayor cantidad de recomendaciones brindadas por los entrevistados. Esta alta concentración se puede explicar debido a que el tema “calidad de agua” en Uruguay es un foco actual de debate. Este debate se potencia a través del surgimiento de una fuerte demanda social que exige mayor información y participación en estos temas, cuestionando los modelos de producción y desarrollo planteados a nivel nacional. En el caso particular del puerto de La Paloma, la demanda social se asocia al temor de que se modifique la identidad del balneario de turismo de sol y playa cuya base es la calidad del agua y la arena.

Por último, el análisis de riesgo demostró ser una herramienta práctica, útil y que podría posibilitar una fácil comunicación de resultados desde la ciencia hacia la población local y a los tomadores de decisiones. La utilización de este tipo de herramientas y de sus resultados en los procesos de toma de decisión racionaliza las decisiones, y hace que las mismas sean comunicables y comprensibles por la mayor cantidad de actores tanto de sectores públicos como privados. Actualmente, además del uso maderero del puerto, se está planteando reflotar el uso pesquero del mismo, esta vez como puerto de recalado y mantenimiento para una flota china de pesca comercial de merluza negra. Dada la utilidad demostrada de la herramienta de análisis de riesgo aquí presentada, deviene imprescindible un nuevo análisis de situación para dar cuenta de esta eventual nueva actividad y poder gestionar la prevención de los riesgos asociados. Este mecanismo permitiría trascender el esquema actual de gestión de riesgo en el Uruguay, el cual se basa en la mitigación de impactos constatados, que en contextos de alta fragilidad social o ecosistémica, no será capaz de retornar al estado pre-impacto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aptekar, L. 1994. *Environmental disasters in global perspective*. G. K. Hall & Co, New York.
- Arocena, J., Masiglia, J., Rebollo, E. y Capandeguy, D. 2006. *La Paloma, Departamento de Rocha: Una sociedad en busca de sí misma*. Instituto de Estudios del Desarrollo Regional y Local, Montevideo.
- Ayres, L. 2008. Semi-structured interview. En: Given, L. M., Editor. *The SAGE encyclopedia of Qualitative Research Methods* Vols. 1 & 2. Sage Publications Inc, London.
- Beck, U. 2002. *La sociedad del riesgo*. Siglo XXI de España Editores S.A, Madrid.
- Bidegain, M., Caffera, R. M., Blixen, F., Pshennikov, V., Lagomarsino, J. J., Forbes, E. A. y Nagy, G. J. 2005. Tendencias climáticas, hidrológicas, y oceanográficas en el Río de la Plata y Costa Uruguaya. En: Barros, V., Menéndez, A., Nagy, G. J., Editores. *El cambio climático en el Río de la Plata*. CIMA, Buenos Aires.
- Bidegain, M., Crisci, C., del Puerto, L., Inda, H., Mazzeo, M., Taks, J. y Terra, R. 2013. *Clima de Cambios. Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Volumen I: Variabilidad climática de importancia para el sector productivo*. Instituto de Estudios de Sostenibilidad y Resiliencia de América del Sur, Montevideo.
- Brugnoli, E., Clemente, J., Riestra, G., Boccardi, L. y Borthagaray, A. 2006. Especies acuáticas exóticas en Uruguay: situación, problemática y manejo. En: Menafrá, R. L., Rodríguez-Gallego, Scarabino, F. y Conde, D. Editores. *Bases para la conservación y el manejo de la costa*. Graphis Ltda, Montevideo.
- Bryant, E. 2005. *Natural Hazards*. Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Carlton, J. T. 1985. Transoceanic and Interoceanic dispersal of coastal marine organism: the biology of ballast water. *Oceanography and Marine Biological Review* 23: 313-317.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2000. *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial: actividad portuaria*. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago.
- Cutter, S. L. 1996. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in human geography* 20 (4): 529-539.
- Cutter, S. L. y Finch, C. 2008. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (7): 2301-2306.
- Delfino, E., Faiano, G. y Santana, O. 2001. Desembarques industriales y flota pesquera en el puerto de la paloma. Periodo 1998-julio 2000. *Boletín del Instituto de Investigaciones Pesqueras* 21: 21-47.
- Demicheli, M. y Scarabino, F. 2006. Invertebrados bentónicos de La Paloma (Rocha, Uruguay). En: Menafrá, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F. y Conde, D., Editores. *Bases para la conservación y el manejo de la costa Uruguaya*. Graphis Ltda, Montevideo.
- Elsaeed, G. H. 2011. The impact of dredging on coastal environments. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(2): 74-81.
- Etkin, D., Higuchi, K. y Platsis, G. 2012. Thunderstorm and tornado. In: Wisner, B., Gaillard, J. C., y Kelman, I. Editor. *The routledge handbook of hazards and disaster risk reduction*. Taylor & Francis, New York: Routledge.
- Feagin, R. A., Sherman, D. J., y Grant, W. E. 2005. Coastal erosion, global sea-level rise, and the loss of sand dune plant habitats. *Frontiers in ecology and the environment* 3 (7): 359-364.
- Fondo de Prevención y atención de emergencias FOPAE. 2012. *Metodologías de análisis de riesgo. Documento*

soporte. *Guía para elaborar planes de emergencia y contingencias*. Alcaldía de Bogotá, Bogotá.

Glavovic, B. 2015. On the frontline in the Anthropocene: Adapting to climate change through deliberative coastal governance. En: Glavovic, B. C., Kelly, P. M., Kay, R. y Travers, A., Editor. *Climate change and the coast: Building resilient communities*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis, New York.

Gorgon Report. 2005. *Risk Assessment Process. Draft Environmental Impact Statement/Environmental Review and Management Programme for the Gorgon Development*. Chevron Australia Pty Limited, Sidney.

Goyos F., Lagos X., Marchesse L., Rossi, R. y Verrastro N. 2011. La Paloma- Costa de Oro. En: Conde D., Editor. *Manejo Costero Integrado en Uruguay: ocho ensayos interdisciplinarios*. Centro Interdisciplinario para el Manejo Costero Integrado del Cono Sur, Montevideo.

Instituto Nacional de Estadística. 2011. Censo 2011. URL: <http://www.ine.gub.uy/censos2011/resultadosfinales/rocha.html>. Consultado: 20 de mayo 2016.

Knutson, T. R., McBride, J. L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J. P., Srivastava, A. K. y Sugí, M. 2010. Tropical cyclones and climate change. *Nature geoscience* 3:157-163.

Lavell, A. 2003. *Gestión Local del riesgo, nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. CEPREDENAC, Ciudad Guatemala.

Leatherman, S. P., Zhang, K. y Douglas, B. C. 2000. Sea level rise shown to drive coastal erosion. *Earth and space science news* 81 (6): 55-57.

Lozoya, J. P., Sardá, R. y Jiménez, J. A. 2011. A Methodological framework for multi-hazard risk assessment in beaches. *Environmental Science & Policy* 14:685-696.

Luedeling, E., Muthuri, C. y Kindt, R. 2013. *Ecosystem vulnerability to climate change: a literature review*. World Agroforestry Centre, Nairobi.

Mach, K. J., Planton, S. y Von Stechow C. 2014: Annex II: Glossary. En: Pachauri, R. K. y Meyer, L. A., Editor. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva.

McGranahan, G., Balk, D. y Anderson, B. 2007. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization* 19(1): 17-37.

Morgan, D. L. 2008. Snowball sampling. En: Given, L. M., Editor. *The SAGE encyclopedia of Qualitative Research Methods Vols. 1 & 2*. Sage Publications Inc., London.

Morrow, B. H. 2009. Risk behavior and risk communication: synthesis and expert interviews. En: *Final Report for the NOAA Coastal Services Center*. NOAA, Miami.

Nicholls, R. J. y Cazenave, A. 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science* 328 (5985): 1517-1520.

Oliver-Smith, A. 2002. Theorizing disasters: Nature, power, and culture. En: Hoffman, S. M. y Oliver-Smith, A., Editor. *Catastrophe & culture: The anthropology of disaster*. Santa Fe, New México.

Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., van der Linden, P. y Hanson, C. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: Cambridge University Press, Cambridge.

Phillips, B. D. y Fordham, M. 2010. Introduction. En: Phillips, B. D., Thomas D. S. K., Fothergill, A. y Blinn-Pike, L., Editores. *Social vulnerability to disasters*. Boca Ratón: CRC Press, Davos.

Piedra, M., Costa, P., Franco, P. y Álvarez, R. 2006. Ballena franca (*Eubalaeana australis*) en la costa atlántica uruguaya. En: Menafra, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F. y Conde, D., Editores *Bases para la conservación y el manejo de la costa Uruguaya*. Graphis Ltda, Montevideo.

Ruíz, G. M., Fofonoff, P. W., Carlton, J. T., Wonham, M. J. y Hines, A. H. 2000. Invasion of coastal marine communities in North America: apparent patterns, processes, and biases. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31: 481-531.

Sánchez, M. 2012. La Paloma. *De paseo por el Cabo de Santa María*. Torre del Viga ediciones, La Paloma, Rocha.

Silva, J.S.V., Da Costa, F., Correa, R.C., Sampaio, K.T. y Danelon O.M. 2004. Água de lastro e bioinvasão. En: Silva, J.S.V y Souza R.C.C.L., Editores. *Água de lastro e bioinvasão*. *Interciencia*, Rio de Janeiro.

Stansbury, J., Bogardi, I. y Stakhiv, E. 1999. Risk-Cost Optimization Under Uncertainty for Dredged Material Disposal. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 6:342-351.

Taubenbock, H., Post, J., Roth, A., Kosseder, K., Strunz, G., y Dech, S. 2008. A conceptual vulnerability and risk framework as outline to identify capabilities of remote sensing. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8:409-420.

UN Atlas of the Oceans. 2014. Human settlements on the coast. URL: <http://www.oceansatlas.org/servlet/CDSServlet?status¼ND0xODc3JyY9ZW4mMzM9KiYzNz1rb3M>. Consultado: 05de junio 2016.

Varese, J. A. 1993. *De naufragios y leyendas en las costas de Rocha*. Editorial Fin de Siglo, Montevideo.

Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A. y Chang, H. R. 2005. Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. *Science* 309(5742):1844-1846.

Whomersley, P., Ware, S., Rees, H. L., Mason, C., Bolam, T., Huxham, M. y Bates, H. 2008. Biological indicators of disturbance at a dredged-material disposal site in Liverpool Bay, UK: an assessment using time-series data. *ICES Journal of Marine Science* 65: 1414-1420.

Wisner, B., Blaikie, P. M., Cannon, T. y Davis, I. 2003. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Second Edition. Taylor & Francis, Routledge, London.

World Water Assessment Programme. 2009. *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Paris: UNESCO, and London. Earthscan, London.

Woth, K., Weisse, R. y Storch, H. V. 2006. Climate change and North Sea storm surge extremes: an ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models. *Ocean Dynamics* 56(1): 3-15.

Zhang, K., Douglas, B. C. y Leatherman, S. P. 2004. Global warming and coastal erosion. *Climate Change* 64 (41-58).

**Fecha de recepción:** 23/07/2017

**Fecha de aceptación:** 8/09/2017

**Publicado en línea:** 14/09/2017

**Para citar este artículo:** Para citar este artículo: García, M., Longarete, C., Cancela, C., Sanguinetti, M., Silveira, S., De Alava, D., Roche, I. y Inda, H. 2017. Aproximación al desarrollo de herramientas para un manejo costero integrado: análisis de riesgo del puerto de La Paloma (Uruguay). *Intropica* 12(2): 131-142. DOI: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2323>

## APORTACIONES SOBRE EL CAMPO MAGNÉTICO: HISTORIA E INFLUENCIA EN SISTEMAS BIOLÓGICOS

### CONTRIBUTIONS TO THE MAGNETIC FIELD: HISTORY AND INFLUENCE ON BIOLOGICAL SYSTEMS

María Victoria Carbonell , Mercedes Flórez, Elvira Martínez y José Álvarez

#### RESUMEN

Este artículo repasa la historia del magnetismo siguiendo un orden cronológico que comienza con la evolución del conocimiento científico en las primeras civilizaciones, después en Egipto y China, seguido de la antigua Grecia y Roma. Por último, se describen también la Edad Media y la Edad Moderna. Posteriormente, se comentan los hallazgos de los investigadores más importantes en el campo del electromagnetismo como son Oersted, Biot y Savart, Ampère, Sturgeon, Faraday, Lenz, Maxwell y Coulomb. Se resumen los principios básicos del electromagnetismo, con especial énfasis en la relación entre carga eléctrica y magnetismo. Asimismo, es parte esencial la relación entre campos magnéticos y sistemas biológicos, sobre todo semillas y plantas. Con la ayuda de una minuciosa recopilación de bibliografía, se tratan en detalle los efectos sobre diversas especies de plantas que tiene el campo magnético natural de la Tierra, como magnetismo natural, y de los causados por la aplicación de campos magnéticos estacionarios.

**PALABRAS CLAVE:** electricidad; magnetismo; germinación; tratamiento magnético

#### ABSTRACT

This article reviews the history of magnetism following a chronological order, starting with the evolution of scientific knowledge regarding the topic in earlier civilizations, then moving to Egypt and China, later on to Ancient Greece and Rome, and ending at the Middle Ages and Early Modern period. The findings of prominent theoretical contributors to electromagnetism such as Oersted, Biot and Savart, Ampère, Sturgeon, Faraday, Lenz, Maxwell and Coulomb are discussed. The basics of magnetism --especially its relationship to electrical load-- are summarized. The interaction between magnetic fields and biological systems, plants and seeds above all, is highlighted as well. Based on an exhaustive bibliographic review, the effects of the magnetic field of the Earth as natural magnetism and those caused by the application of stationary magnetic fields on plant species are described in detail.

**KEY WORDS:** electricity; magnetism; germination; magnetic treatment

---

#### Dirección de los autores:

Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n 28040 Madrid, España, Departamento de Ingeniería Agroforestal. ETS Ingeniería Agraria, Alimentaria y de Biosistemas; e-mail: victoria.carbonell@upm.es, **ORCID:** 0000-0002-8211-353X (M.V.C); e-mail: mercedesflorez@upm.es, (M. F); e-mail: elvira.martinez@upm.es, (E.M); e-mail: jose.alvarez.sanchez@upm.es, (J.A).

## INTRODUCCIÓN

El interés del ser humano por el fenómeno del magnetismo se remonta a las primeras civilizaciones; hay registros de por lo menos 600 años a.C. que evidencian el conocimiento de la electricidad estática (Buck y Hayt, 2006). El campo magnético que protege a la Tierra de la radiación y los vientos solares se formó hace 3450 millones de años, promoviendo la aparición de actividad biológica en el planeta (Tarduno et al., 2010). La intensidad del campo magnético terrestre es bastante débil y oscila entre 0,4 - 0,6 Gauss, dependiendo de la latitud (Álvarez, 2011).

Los campos magnéticos afectan a todos los seres vivos, motivo por el cual son objeto de investigación a nivel mundial. Por ejemplo, la orientación animal ha sido uno de los grandes misterios de la naturaleza. Una evidencia directa del mencionado efecto del magnetismo terrestre sobre los seres vivos es la existencia de ciertas algas y bacterias que utilizan el geomagnetismo (poseen cristales de magnetita alineados en largas cadenas llamadas magnetosomas) para orientarse. Igualmente, el comportamiento magnético de las bacterias que fue descubierto por Blakemore (1975). También se ha encontrado magnetita en el abdomen de abejas vivas y en el cráneo de pichones. Recientemente, al estudiar los mecanismos de migración de peces, se encontraron respuestas condicionadas por el campo magnético terrestre en el atún de aleta amarilla y se detectaron y caracterizaron cristales de magnetita provenientes de un tejido que se encuentra ligado a un hueso del cráneo (Tagüeña y Martina, 1997). Además, se cree que la magnetorrecepción pudo haber sido uno de los primeros sistemas sensoriales en evolucionar en el reino animal (Kirschvink y Walker, 2001) y ha servido de influencia para el diseño de dispositivos en el campo de la robótica (Mouritsen, 2001).

En los humanos, los campos magnéticos gobiernan ciertos aspectos del funcionamiento de las neuronas, y existe una controversia importante en cuanto a su influencia en la salud ante la posibilidad de que puedan existir consecuencias nocivas: los producidos por las líneas de alta tensión, las antenas de telefonía móvil, la tecnología o los electrodomésticos. Sin embargo, las aplicaciones controladas de estos campos son muy variadas y la ciencia del magnetismo resulta esencial en nuestra tecnología como medio ideal de almacenamiento de datos en cintas magnéticas, discos magnéticos y burbujas magnéticas, además de sus aplicaciones médicas: equipos de radiodiagnóstico, magnetoterapia

o el diseño de equipos de radioterapia de alta energía para el tratamiento de enfermedades oncológicas (Pérez y Brady, 1998).

Desde un enfoque estrictamente agrícola, en el siglo pasado se comenzaron a realizar investigaciones con el fin de determinar si un campo magnético cambia la velocidad de germinación y desarrollo de las plantas; en la bibliografía se encuentran casos tanto de estimulación como de inhibición de crecimiento al aplicar campos magnéticos sobre semillas de diversas familias. Esto se justifica por el amplio rango de condiciones en las que puede aplicarse el campo magnético, dependiendo de que sea estacionario o variable, de la intensidad del mismo, del tiempo de exposición o de la especie vegetal tratada (Maqueda, 2005). Los campos magnéticos estacionarios se generan mediante un imán (Figura 1a) o mediante cargas que se mueven como un flujo constante. Por otro lado, los campos magnéticos alternos o también llamados variables, invierten su sentido con una frecuencia regular y se producen por medio de dispositivos, por ejemplo, bobinas (Figura 1b) que usan corriente alterna.

El presente trabajo contempla la evolución histórica y los fundamentos básicos del magnetismo y del electromagnetismo, y una revisión bibliográfica sobre la aplicación de campos magnéticos en la agricultura.

### Historia del magnetismo

**Primeras civilizaciones.** Se han de considerar como punto de partida dos fenómenos aislados que legaron las primeras civilizaciones que poblaron el planeta, despertando el interés por los efectos del magnetismo y el electromagnetismo: la atracción de los cuerpos ligeros por el ámbar frotado y la atracción del hierro por un mineral llamado piedra imán, conocido desde tiempos remotos en Magnesia (Asia Menor).

**Civilización egipcia.** El papiro de Ebers, que data del año 3600 a.C., relata cómo los egipcios utilizaban la magnetita en preparaciones médicas, sobre todo para heridas ocasionadas en la cabeza y también como amuleto. El interés de los egipcios por los animales de su entorno provocó que se interesaran por los fenómenos eléctricos asociados al pez gato eléctrico y a la anguila eléctrica. Este hecho se refleja en textos de 2750 a.C., que no solo describen estas especies como “truenos del Nilo” sino que los consideran protectores de los demás animales acuáticos.

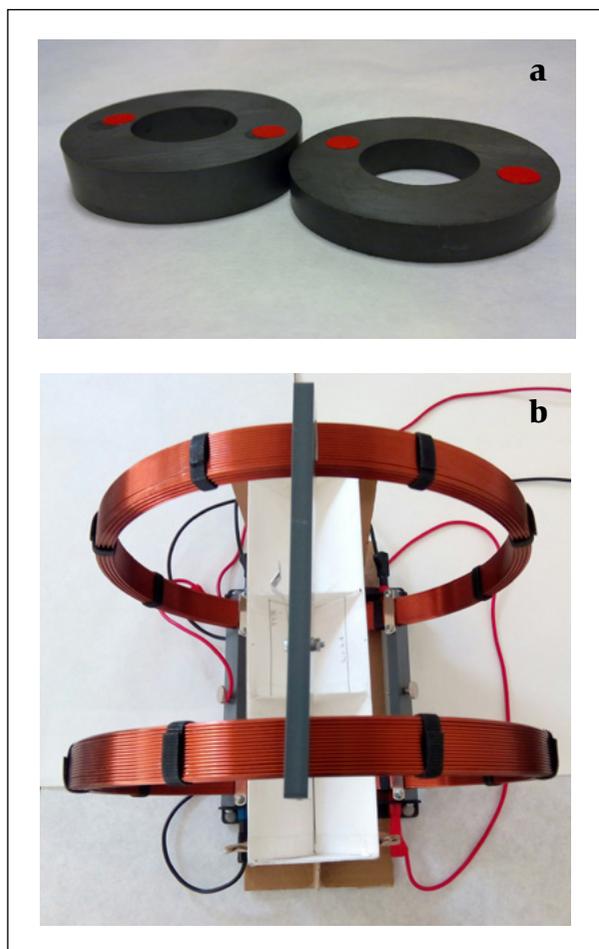


Figura 1 a. Los imanes generan campos magnéticos estacionarios. Imán de 250 mT (izquierda) e imán de 125 mT (derecha). b. Las bobinas generan campos magnéticos alternos. Bobina de Helmholtz. Fuente: Álvarez, J.

**Civilización china.** La literatura china refleja el descubrimiento del magnetismo en un escrito del siglo IV a.C. llamado , en el que se dice que “el imán hace venir al hierro o se atrae a sí mismo”. El general Haung Ti fue el primero en emplear la piedra imán como brújula en el año 376 a.C., aunque la primera referencia del uso de la brújula por parte de los chinos data del año 83 de nuestra era (Arnáldez y Beaujeu, 1973).

**Civilización griega.** Se calcula que los antiguos griegos sabían, aproximadamente desde el año 800 a.C., que la magnetita ( $Fe_3O_4$ ) atrae trozos de hierro. Se atribuye a Tales de Mileto (640-546 a.C.) haber sido el primero en llamar la atención sobre la electricidad y el magnetismo. Realizó la experiencia de frotar el ámbar con una pieza de lana o de piel y comprobó después que, al aproximarla a un objeto ligero, como

una pluma, esta se desplaza hasta quedar adherida a él. Sus manuscritos no perduraron, pero Aristóteles (384-322 a.C.), razonando acerca de las propiedades del ámbar y el imán, y basándose en la lectura de los manuscritos de Tales de Mileto, afirmó que él atribuyó vida a lo inanimado, que “la piedra imán tiene alma porque atrae al hierro” y también que “todas las cosas están llenas de los dioses” (Lozano, 1995). Pitágoras de Samos (560-480 a.C.) describió la piritita magnética (Díaz-González, 1950), y más tarde Anaxágoras (499-428 a.C.) la magnetita; Hipócrates (460-370 a.C.) usó la piritita magnética en medicina; Platón (428-348 a.C.) la llama piedra Magnesia, de donde procede el término de magnético, en referencia a la ciudad de la región histórica de Lidia, con gran cantidad de minas; Teofastro (371-287 a.C.) realizó en el 310 a.C. un estudio de los materiales que eran capaces de producir fenómenos eléctricos y escribió el primer tratado sobre la electricidad. Por último, cabría mencionar a Aristóteles (384-322 a.C.), que registró la imantación del hierro dulce bajo la acción de los imanes naturales.

**Civilización romana.** También los romanos cuentan sobre fenómenos magnéticos que no son atribuidos a otra cosa que al poder del magnetismo. El naturalista romano Plinio el Viejo lo atribuye a un pastor llamado Magnes, que se asombró de que la piedra imán atrajera los clavos de hierro de sus zapatos; en cambio, el poeta romano Lucrecio dice que el vocablo se deriva de Magnesia, nombre del viejo país donde se encontró la primera piedra imán (Lozano, 1995).

**Época medieval.** Durante siglos no se añadió nada nuevo al conocimiento de la electricidad y el magnetismo hasta que a finales del siglo XII llegó a occidente la brújula. En el siglo XIII, Pierre Pelerín de Maricourt, en su tratado “Epístola de Magnete” (1269), presenta por primera vez la aplicación de técnicas experimentales para la interpretación del fenómeno magnético. En la epístola describió la existencia de dos polos magnéticos en la piedra imán y sus interacciones, así como la propiedad de que, al partir un imán, aparecen dos imanes, cada uno de ellos con sus dos polos (Papp, 1961). También afirmó que la orientación de la aguja de una brújula se podía explicar con la existencia de yacimientos magnéticos en el Polo Norte (Arnáldez y Beaujeu, 1973).

**Edad moderna.** En los siglos siguientes, los principales descubrimientos sobre magnetismo fueron debidos a marinos y navegantes que utilizaban la brújula: Cristóbal Colón descubrió en 1492 la declinación magnética; Alonso de Santa Cruz fue el primero en

idear la cartografía magnética en 1533; Robert Norman, un constructor de instrumentos para barcos, publicó hacia 1581 sus descubrimientos sobre la inclinación magnética y las variaciones locales en el libro “The New Attractive”; William Bourgh, en 1585, dio la definición de meridiano magnético (Lozano, 1995).

### El electromagnetismo

El año 1820 resultó crucial en la historia de la ciencia del electromagnetismo. En 1813, Hans Christian Oersted (1777-1851) ya intuyó la existencia de fenómenos electromagnéticos. La descubrió en 1819, cuando observó cómo la aguja de una brújula colocada accidentalmente cerca de la corriente eléctrica se desviaba, constituyendo esta la primera evidencia que relacionaba la electricidad con el magnetismo.

Por cada punto de la Tierra pasan dos meridianos: el geográfico y el magnético. Ambos forman un cierto ángulo llamado declinación magnética, característico del lugar. La aguja magnética, al orientarse, queda en una posición que forma un cierto ángulo con el plano horizontal llamado de inclinación magnética. Jean Baptiste Biot (1779-1862) y Félix Savart (1791-1841) describieron, tan solo un mes después de los hallazgos de Oersted, los resultados de sus medidas del momento de fuerza que actúa sobre un imán próximo a un conductor largo por el que circula una corriente. También, en 1820, André-Marie Ampère (1775-1836) publicó sus primeras observaciones sobre las acciones magnéticas de las corrientes. En particular, demostró que dos corrientes eléctricas se ejercen fuerza entre sí, de atracción en el caso de los alambres paralelos que transportan corriente en el mismo sentido, o de repulsión si los sentidos de las dos corrientes son contrarios. Basándose en sus experiencias, Ampère formuló la hipótesis de que los imanes deben sus propiedades magnéticas a corrientes eléctricas microscópicas: el campo magnético es algo invariablemente unido a la corriente eléctrica (Bru, 1975).

William Sturgeon (1783-1850) inventó en 1825 el primer electroimán: imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica y desaparece en cuanto cesa dicha corriente. Michael Faraday (1791-1867), pionero de la física moderna y “padre de la electrotecnia”, elaboró una teoría completa sobre la electricidad que incluía el avance de la teoría electromagnética de la luz. En 1821, Faraday inventó un aparato para producir lo que llamaría . En realidad se trataba de un motor electromagnético en el que la

energía eléctrica podía convertirse en mecánica a través del magnetismo. En 1831 descubrió el fenómeno de la inducción magnética y la electrodinámica, con base en los cuales inventó el generador eléctrico y redactó las leyes de la inducción magnética. Fue el primero en descubrir la existencia de las líneas de fuerza al colocar limaduras de hierro en las proximidades de los polos de un imán y ver cómo se disponían a lo largo de las líneas imaginarias que unían los dos polos. En 1846 anunció que el magnetismo era una propiedad de la materia y clasificó los materiales en ferromagnéticos, diamagnéticos y paramagnéticos (Gamow, 2001). Con ayuda de su famosa jaula descubrió experimentalmente el principio de las pantallas eléctricas, ya demostrado teóricamente por Green. También, 50 años después de Cavendish, midió los poderes de inducción específicos, constantes dieléctricas, de diversos cuerpos aisladores (Abeles y Allard, 1973). El faradio, unidad del Sistema Internacional para la capacidad eléctrica, se denominó así en su honor.

Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865) enunció en 1833 la ley que explica el sentido de las corrientes inducidas. Joseph Henry (1799-1878) perfeccionó el electroimán y descubrió los cambios de polaridad al variar la dirección del flujo. Trabajó mucho en autoinducción, por lo cual la unidad de medida del Sistema Internacional, , fue nombrada así en su honor (Wood, 1991). En el año 1873, James Clerk Maxwell (1831-1879) dio una formulación matemática cuantitativa a las ideas de Faraday, relativas a la naturaleza y las leyes del campo magnético. De las ecuaciones de Maxwell se desprendió la existencia de ondas electromagnéticas que transportan energía. La existencia de estas ondas fue demostrada experimentalmente en 1888 por el físico alemán Henrich Hertz y condujo al desarrollo de la técnica de la radiocomunicación (Gamow, 2001).

Desde los trabajos de Oersted se sabe que una corriente eléctrica induce un campo magnético. Desde los trabajos de Faraday se sabe que, si un campo magnético cambia con el tiempo, se induce un campo eléctrico. De la hipótesis lanzada por Maxwell sobre la existencia de la corriente de desplazamiento se desprende que, si un campo eléctrico varía con el tiempo, se induce un campo magnético. Por tanto, si en una región del espacio existe un campo eléctrico que varíe con el tiempo, tiene que existir simultáneamente el magnético; los dos campos deben existir al mismo tiempo, es decir, debe existir el campo electromagnético. No puede existir un campo variable en el tiempo sin la existencia del otro. Sin embargo, en el caso estacionario (sin variación en el tiempo) sí es posible la existencia de uno solo de los

campos. Por ejemplo, el campo magnético producido por un imán es constante en el tiempo y no lleva asociado un campo eléctrico. Por consiguiente, los campos eléctricos y magnéticos se propagan en el espacio y, como no pueden existir separadamente, es el campo electromagnético el que se propaga.

Maxwell encontró también que sus ecuaciones predecían el valor de la velocidad con que se propaga el campo electromagnético, que resultó ser igual a la velocidad de la luz. Para Maxwell esto no podía ser una casualidad y concluyó que “la luz es una perturbación electromagnética en forma de ondas que se propagan a través del campo electromagnético de acuerdo con las leyes del electromagnetismo”.

A partir de la teoría de Maxwell se produjo un rápido progreso en el conocimiento del campo magnético y sus relaciones con la materia. Pierre Curie (1859-1906) estableció el comportamiento magnético de la materia con las variaciones de temperatura. Con la aparición de la Mecánica Cuántica surgió una nueva concepción del universo, aumentando rápidamente el conocimiento íntimo de la materia y el magnetismo. Langevin (1872-1946) formuló las leyes del magnetismo creado por la materia. Weiss (1865-1940) desarrolló las ideas de Langevin, estableciendo la existencia de dominios magnéticos y enunció la teoría del magnetón. Goudsmit (1902-1978) y Uhlenbeck (1900-1988) asignaron momento magnético propio al electrón, conocido como espín. Brillouin (1889-1988), Van Vleck (1889-1980) y Heisenberg (1901-1976) desarrollaron la teoría cuántica del diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo. En el momento actual, el magnetismo está estrechamente ligado a la estructura íntima de la materia.

William Gilbert de Colchester (1544-1603), médico de la Reina Isabel I de Inglaterra, recopiló todos los conocimientos que sobre el magnetismo existían en su época y los enriqueció con más de 50 experimentos propios. Con toda esta información, en 1600 publicó en Londres un tratado sobre magnetismo, el primer estudio sistemático del magnetismo y la electricidad, debido al cual sus contemporáneos le dieron el nombre de “padre de la filosofía magnética” (Laín, 1973). Con Gilbert se inició el estudio de la electrostática y el magnetismo (Stern, 2001), y en su honor se nombró la unidad magnetomotriz en el sistema CGS: Gilbert.

Durante la segunda mitad del siglo XVIII, físicos de muchos países se dedicaron al estudio cuantitativo de las fuerzas eléctricas y magnéticas. Uno de los

descubrimientos más importantes de esta época fue el realizado por el francés Charles Agustín de Coulomb (1736-1806), que ideó la llamada “balanza de torsión” para medir la fuerza de repulsión o atracción que ejercen entre sí dos cargas eléctricas. Coulomb estableció la relación de esta fuerza con la distancia mediante la ley que se lleva su nombre (Gamow, 2001).

### Fundamentos básicos del magnetismo

El magnetismo es la parte de la física que estudia los fenómenos relativos a los imanes y al campo magnético creado por estos, así como el comportamiento de los diferentes materiales sometidos a la acción de dicho campo. Un imán consta de tres partes:

- Polos: Son los dos extremos del imán en los cuales las fuerzas de atracción son más intensas. Estos polos son el polo norte (N) y el polo sur (S), también denominados polo positivo y negativo respectivamente. Polos del mismo tipo (combinaciones N-N y S-S) se repelen y los polos de distinto tipo (combinaciones N-S y S-N) se atraen.
- Eje magnético: Línea imaginaria que une los dos polos del imán.
- Línea neutral: Línea imaginaria que separa las dos zonas polarizadas.

Las corrientes eléctricas y, en general, las cargas en movimiento, se comportan como imanes o, lo que es lo mismo, producen campos magnéticos. Aunque las cargas eléctricas y los polos magnéticos de un imán son semejantes en muchos aspectos, hay una diferencia importante: los polos magnéticos siempre se presentan por parejas. Si se rompe un imán por la mitad, vuelven a aparecer los polos N y S en cada una de las mitades. La mayoría de los metales (hierro, acero...) son atraídos por los imanes; sin embargo, en algunos, como el oro o la plata, no tiene lugar este suceso. En el caso de la Tierra se pueden observar los polos magnéticos en oposición a los polos geográficos, tal como se refleja en la figura 2.

Se considera por convenio que las líneas de campo salen del polo magnético norte y entran en el polo magnético sur, pero carecen de principio y fin, ya que no existen polos magnéticos aislados y, por lo tanto, las líneas continúan por el interior de la Tierra. El polo sur magnético se encuentra a 1800 kilómetros del polo norte geográfico; esta diferencia, medida en grados, se denomina declinación magnética (Tipler, 2008).

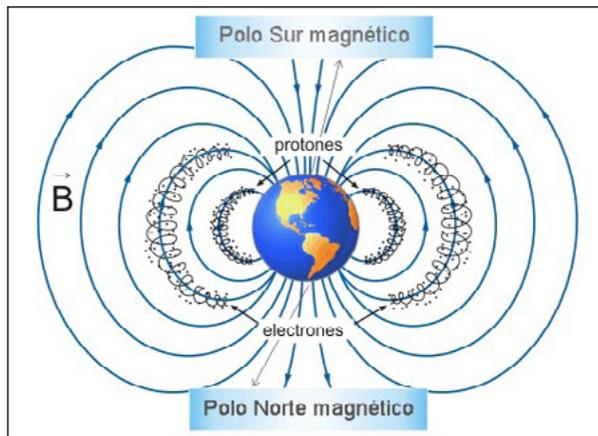


Figura 2. Líneas de campo magnético de la Tierra. Las partículas cargadas (protones y electrones) que provienen de las radiaciones solares se quedan atrapadas en las líneas de campo formando los cinturones de Van Allen. Fuente: Tipler y Mosca (2008).

### Carga eléctrica y campo magnético.

La carga eléctrica es una propiedad fundamental de la materia y únicamente existe en múltiplos enteros positivos o negativos. La carga de un electrón es  $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$  culombios (Cheng, 1997). En un punto existe un campo magnético si una carga eléctrica móvil que pasa por dicho punto, además de sufrir una fuerza de carácter eléctrico, sufre otra fuerza. Los campos magnéticos pueden representarse por líneas de campo cuya dirección en cada punto puede representarse por un vector  $\vec{B}$ , que recibe el nombre de campo magnético. El número de líneas de fuerza que atraviesan una superficie se denomina “flujo magnético a través de la superficie” y se representa por  $\Phi$ . Su expresión matemática corresponde a la ecuación (1):

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int B \cdot \cos\varphi \cdot dS \quad (1)$$

Siendo  $\vec{B}$  el vector campo magnético y S la superficie; el valor de  $\varphi$  en un punto de la superficie S es el ángulo de los vectores  $\vec{B}$  y  $d\vec{S}$  en dicho punto.

En el caso de flujo uniforme y normal a la superficie (2) se obtiene el producto escalar del campo B y la superficie S:

$$\Phi = B \cdot S \quad (2)$$

### Fuerza ejercida por un campo magnético sobre una carga puntual

Si en una región del espacio en la que existe campo magnético  $\vec{B}$  se introduce una carga  $q$  que posee una velocidad  $\vec{v}$  sufre una fuerza  $\vec{F}$  que es proporcional a  $q$  y a  $\vec{v}$  y al seno del ángulo  $\alpha$  que forman  $\vec{B}$  y  $\vec{v}$ . Por tanto,

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (3)$$

La existencia de un campo magnético  $\vec{B}$  en un punto del espacio puede demostrarse con una brújula. Si existe un campo magnético, la aguja se alineará en la dirección de este campo  $\vec{B}$ . La unidad del Sistema Internacional del campo magnético es el tesla (T). Una carga de un culombio que se mueve con una velocidad de un metro por segundo perpendicular a un campo magnético de un tesla, experimenta una fuerza de un newton:  $1 \text{ T} = 1 \text{ N/A} \cdot \text{m}$ .

El campo magnético terrestre tiene un valor de aproximadamente  $4 \cdot 10^{-4} \text{ T}$  en la superficie de la Tierra. Los campos magnéticos cercanos a imanes industriales de gran tamaño son de 2 T. La magnitud de estas cifras implica que sea de gran utilidad manejar una unidad más pequeña que el tesla, como el gauss (G) siendo la equivalencia entre ambas:  $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$  del sistema CGS.

En general, los materiales se pueden clasificar de acuerdo con su comportamiento magnético en *diamagnéticos*, *paramagnéticos*, *ferromagnéticos*, *antiferromagnéticos*, *ferromagnéticos* y *superparamagnéticos*. En los materiales diamagnéticos los efectos magnéticos son débiles. Por consiguiente, si un material diamagnético se coloca cerca de cualquier polo de un imán fuerte de barra, será *repelido*: un efecto descubierto por Michael Faraday en 1846. El material de Faraday era una porción de bismuto, una sustancia que presenta el diamagnetismo más fuerte que la mayoría de los materiales.

Los efectos magnéticos pueden ser significantes de modo que estas sustancias se denominan *paramagnéticas*. Cuando una sustancia paramagnética se coloca cerca del polo de una barra de imán, se atrae hacia el imán. En varios materiales, especialmente en el hierro, níquel y cobalto, ocurre un fenómeno especial que facilita enormemente el proceso de alineación. En estas sustancias denominadas *ferromagnéticas*, y

en los materiales *antiferromagnéticos*, los momentos magnéticos de los átomos adyacentes se alinean en direcciones opuestas de manera que el momento magnético neto de un material es cero, aun en la presencia de un campo aplicado. A pesar de los efectos magnéticos más débiles, algunos de estos materiales ferromagnéticos, conocidos como *ferritas*, tienen una baja conductividad eléctrica que los hace útiles en los núcleos de inductores y transformadores, ya que las corrientes parásitas son menores y las pérdidas óhmicas, en forma de calor, se reducen. Un material *superparamagnético* consta de partículas ferromagnéticas suspendidas en una malla o matriz dieléctrica. Cada partícula puede contener muchos dominios magnéticos; con las partículas suspendidas en una cinta plástica delgada es posible cambiar el estado de magnetización abruptamente en una distancia muy pequeña de la cinta, de manera que puede almacenar grandes cantidades de información en forma magnética en longitudes convenientes. Tales cintas son muy usadas en audio, vídeo y sistemas de grabación de información.

## BIOELECTROMAGNETISMO

Sobre la Tierra se pueden considerar campos magnéticos y eléctricos naturales (a los que permanentemente están sometidos los seres que viven sobre ella), y otros campos artificiales generados por el hombre. El campo eléctrico natural es el que denominamos campo eléctrico terrestre. Los campos electromagnéticos artificiales generados por el ser humano pueden ser de carácter magnético, eléctrico o de ondas electromagnéticas. Proceden de las líneas que transportan la energía eléctrica desde los centros de producción a los de consumo, de las instalaciones industriales y domésticas, de los sistemas de comunicaciones: radio, televisión, teléfonos móviles o fijos. Como estos medios generadores de campos electromagnéticos están creciendo con gran rapidez, la contaminación electromagnética asociada también está creciendo, al mismo ritmo que la preocupación de la población terrestre.

El bioelectromagnetismo es el estudio de los efectos de los campos electromagnéticos sobre los sistemas biológicos y sus interacciones con los campos naturales y artificiales. Bajo determinadas condiciones de laboratorio, han aparecido ciertos efectos biológicos asociados a estos campos que dependen de muchos factores: intensidad de los campos, tiempo de exposición y tipo de célula.

## Efectos del magnetismo natural en las especies vegetales

Numerosos estudios han demostrado que los organismos se ven influenciados por el campo magnético de la Tierra, que oscila entre los 0,4 - 0,6 Gauss (Álvarez, 2011). Las fluctuaciones naturales de los campos magnéticos poseen un amplio espectro de efectos biológicos: pueden influir en la velocidad de reacciones bioquímicas, en las condiciones fisiológicas de los organismos, en su tasa de crecimiento e incluso su muerte (Novak y Valek, 1965; Es'kov et al., 2005). De hecho, para dichos autores el crecimiento está relacionado con la susceptibilidad magnética que presentan las semillas al campo magnético natural. Por otra parte, las fluctuaciones naturales del campo magnético han llevado a numerosos científicos a intentar simular esas condiciones en laboratorio y poder observar los resultados sobre determinadas especies vegetales. Es'kov y Radionov (2010) llevaron a cabo investigaciones con semillas de guisante y trigo de invierno; se simulaban anomalías de campo magnético terrestre: el campo magnético terrestre circundante a las semillas era fortalecido o debilitado con un imán permanente. Para fortalecer este campo, las semillas se colocaron entre polos distintos de un imán y la localización del imán era coincidente con el vector del campo magnético de la Tierra. Para debilitar la influencia del campo magnético terrestre, las semillas se dispusieron entre polos iguales de un imán, se incluía un control.

La máxima longitud de plántulas y raíces se observó en semillas que germinaron en campos magnéticos fortalecidos. En el caso del guisante, las raíces y las plántulas llegaron a tener longitudes de un 10 % y un 39 % superiores al control, respectivamente. Las radículas solían mostrar magnetotropismo, como se aprecia al comprobar que estas radículas, que tienen la propiedad de tener un crecimiento inicial muy fuerte, se orientaron a lo largo del eje magnético de la Tierra; las adaptaciones de los organismos a los campos magnéticos están relacionadas con la presencia de cobalto, hierro y otros materiales (Kirschvink et al., 1985), pudiendo ser la causa de la susceptibilidad a los campos magnéticos que presentan algunas especies de plantas. Dayal y Singh (1986) observaron que algunas variedades de tomate que habían sido sometidas a campos magnéticos de 125 mT, durante diversos periodos de tiempo aumentaron su longitud, especialmente si el tratamiento se prolongaba durante 15 minutos. También observaron que maduraron más rápido.

Los efectos de los campos magnéticos sobre la germinación de semillas dependen de su orientación con respecto al vector del campo magnético terrestre (Pittman, 1963; Gorya, 1969; Travkin, 1969). De hecho, el rendimiento de las plantas varía con ella (Vetrov et al., 1989). Al colgar semillas de un hilo orientado en la dirección del vector del campo magnético de la Tierra, las líneas de campo atraviesan las semillas perpendicularmente, y por tanto el flujo de campo magnético al que se ven expuestas es el máximo posible (Es'kov y Darkov, 2003). El efecto biológico provocado por el campo magnético terrestre sobre las semillas depende también de la influencia de otros factores, entre los cuales se encuentran la humedad que presenten y la luz incidente (Jristova, 1986). En esta línea se destaca el trabajo de Matía et al. (2009) del Centro de Investigaciones Biológicas (CSIC) de Madrid, que centraron su estudio en los mecanismos moleculares de fenómenos biofísicos que tienen lugar en semillas expuestas a un entorno microgravitatorio. Para ello, enviaron al espacio semillas de *Arabidopsis thaliana* para estudiar su germinación en la órbita terrestre y su crecimiento: las plántulas crecieron durante 4 días y se fijaron en para-formaldehído; el experimento se repitió en la superficie terrestre en una máquina de posicionamiento al azar (un simulador de microgravedad efectivo). El crecimiento de las plántulas que habían sido expuestas a un entorno microgravitatorio fue significativamente superior que el crecimiento del control terrestre sometido a la gravedad; el crecimiento celular se incrementó mediante la sobreproducción de ribosomas, determinada por los parámetros morfológicos del nucléolo y por los niveles de la proteína nucleolar "nucleolin".

Como se ha indicado, se conoce la existencia de muchos factores que pueden intervenir en los resultados que se obtienen tras exponer a las plantas a diferentes campos magnéticos. Muchos de los efectos de estos campos han sido publicados, pero cabe preguntarse por las causas. Está demostrado que las plantas perciben los campos magnéticos, pero poco se sabe acerca de la naturaleza a nivel molecular y del grado de implicación de los diferentes órganos de la planta: ¿qué órganos son?, ¿qué naturaleza molecular y funcional tienen los receptores del campo?, ¿cómo se activan estos receptores?, ¿qué señales emiten para producir los efectos anteriormente descritos? Las investigaciones de ingenieros, físicos y biólogos en este campo se encaminan a dar respuestas a estas preguntas, intentando conocer los mecanismos con los que las plantas perciben estos campos y cómo responden a ellos.

Se describen a continuación algunos tipos de procesos físicos o modelos que hipotéticamente tienen lugar en los mecanismos de interacción de los campos magnéticos con los sistemas biológicos de los seres vivos:

- Modelos de oscilación clásico y cuántico.
- Modelo de resonancia del ciclotrón.
- Interferencia de los estados cuánticos de los iones frontera y electrones.
- Efectos magnéticos de los momentos de torsión debidos a los campos magnéticos débiles.
- Estados metaestables biológicamente activos del agua líquida.
- Modelos de resonancia paramétricos.

Muchas de las investigaciones actuales consideran que los campos magnéticos cambian los niveles intracelulares de los iones  $\text{Ca}^{2+}$ , iones que controlan un número importante de procesos en las plantas. Smith et al. (1993) relacionaron los efectos de los campos magnéticos variables sobre las plantas con los iones de  $\text{Ca}^{2+}$ , llegando al resultado de que se estimulaba el crecimiento de las plantas cuando la frecuencia del campo coincidía con la del ion de  $\text{Ca}^{2+}$ . Sin embargo, la planta inhibía su crecimiento cuando la frecuencia del campo coincidía con la frecuencia del ion de  $\text{K}^+$ . Este crecimiento de los niveles está en consonancia con el modelo de resonancia paramétrica que había anunciado Lebenev en 1977, quien consideró que los campos eléctricos y magnéticos ejercen fuerzas oscilantes sobre los iones que se encuentran a ambos lados de las membranas plasmáticas de las células y que se pueden mover a través de ellas; cuando estas oscilaciones superan un cierto valor crítico, pueden afectar la función de la célula. Ruzic y Jerman (1998) estudiaron el efecto directo del campo magnético y el efecto indirecto a través del agua tratada magnéticamente mediante un campo magnético de extremada baja frecuencia (de 50 Hz y 105  $\mu\text{T}$ ), en el crecimiento de plántulas: las semillas se humedecieron con agua destilada y con disoluciones de  $\text{Ca}^{2+}$ . El tratamiento magnético directo produjo un efecto significativamente inhibitorio con disoluciones 0,5 mM de  $\text{Ca}^{2+}$  y el tratamiento indirecto produjo efecto significativamente inhibitorio del crecimiento con 0,25 mM de  $\text{Ca}^{2+}$ .

La estimulación de la germinación de la semilla en campos magnéticos estacionarios la explicaron Aladjadjian y Ylieva (2003), quienes asumieron la hipótesis de que algunos órganos de las células de las plantas (por ejemplo, las mitocondrias) poseen propiedades paramagnéticas.

## Efectos de la aplicación de campos magnéticos estacionarios

Los primeros estudios de aplicación de campos magnéticos a especies vegetales comenzaron con Savostin (1930), que observó un incremento en la tasa de crecimiento de las plántulas procedentes de semillas de trigo tratadas con campos magnéticos estacionarios (Carbonell et al., 2013). Pittman (1963) expuso semillas de cebada, lino, avena y centeno a un campo magnético estacionario de intensidad 254 mT durante 48 horas; concluyó que la presencia del campo magnético y la orientación del eje longitudinal de las semillas respecto a las líneas de fuerza de dicho campo aumentaban la velocidad de germinación de las semillas. Campbell et al. (1964) sometieron semillas de cebada a un campo de 120 mT y observaron diferencias de crecimiento de las plántulas obtenidas a partir de semillas tratadas respecto a las no tratadas; los tallos también mostraban una velocidad de crecimiento superior a las de control. Pittman (1965) realizó el estudio con maíz y judías, y observó que se produce un incremento en la velocidad de germinación y en el crecimiento, junto a una mayor pigmentación. Dycus et al. (1966) sugirieron que la orientación de los polos magnéticos podía actuar de diferente forma en la actividad de las enzimas de las plantas, así las semillas de cebada, maíz, pepino, veza y rábano aumentaban su crecimiento cuando sus raíces eran orientadas hacia el sur magnético.

Chao y Walker (1967) estudiaron la germinación de semillas de manzana, albaricoque y melocotón tratadas con un electroimán de 60 mT de intensidad. Las semillas de manzana tratadas comenzaron a germinar en diez días: cinco días antes que las no tratadas. En albaricoque, las semillas tratadas empezaron a germinar pasados cuatro días de la siembra y completaron la germinación en diez días frente a los siete y veinte días respectivamente de las no tratadas; el porcentaje de semillas germinadas fue de 72-87 % y 55 % en el control. Por el contrario, no hubo diferencias entre semillas tratadas y no tratadas en melocotón.

Chausav (1967) fue uno de los investigadores que quiso conocer si el campo magnético terrestre tenía alguna influencia en la germinación de las semillas. Comprobó que cuando las semillas de trigo y maíz se orientaban en la dirección norte-sur del campo geomagnético, las plántulas mejoraban su crecimiento. Pittman y Ormrod (1971) sometieron semillas de cebada cervecera a un tratamiento magnético antes de su germinación y observaron que germinaban de ocho a doce horas antes que las semillas no tratadas.

Observaron también que las semillas tratadas tenían mayor nivel de azúcar que los controles. En un laboratorio, Pittman (1972) sometió tubérculos de patatas a un tratamiento de campo magnético y luego los sembró, observando que el tratamiento había influido en su cosecha. El tratamiento duró 240 horas y el campo magnético estacionario era de 115 mT. Obtuvo, como resultados más relevantes, un 14 % más de producción de tubérculos comerciales por parte de las yemas u ojos de tubérculos tratados, así como un aumento del peso de la cosecha en un 38,5 %. Chauhan y Agrawall (1977), siguiendo los pasos de Chauvasv, orientaron semillas de trigo de la variedad *Solanika* en la dirección norte-sur del campo geomagnético y observaron que las semillas orientadas germinaban antes y las raíces laterales derechas crecieron más.

Lebedev et al. (1977) expusieron la cebada durante tres semanas a campos magnéticos estacionarios de 10 nT y comprobaron un decrecimiento de hasta un 12 % del peso fresco de los primeros brotes y de un 35 % de las raíces, así como de 19 % y 48 % del peso seco respectivamente. Además, aprobaron un desarrollo más lento de las plantas ya que solo el 50 % desarrollaron una tercera hoja, comparado con el 87 % de las de control. Concluyó que los campos magnéticos débiles eran capaces de retrasar la formación del órgano y su desarrollo. Bhatnagar y Deb (1977) expusieron semillas de trigo a campos magnéticos de intensidades comprendidas entre 50 y 300 mT; la velocidad de germinación, longitud de raíz y tallo fueron significativamente mayores para las distintas intensidades de campo comparadas con el control: el máximo efecto se observó para 150 mT, seguido por 100 mT. Bogatina et al. (1978) observaron que las plántulas de trigo (*Triticum aestivum* L.) crecían más lentamente que las de control cuando las semillas se exponían a campos magnéticos estacionarios con un rango de 20 nT a 0,1 mT durante tres a cinco días. Igualmente, un año más tarde, observaron que las plántulas de guisantes expuestas durante tiempos de entre tres y cinco días a campos de intensidad 40  $\mu$ T y 0,5  $\mu$ T crecían de forma más lenta, e incluso para una exposición de 2  $\mu$ T, pero sin variar el peso seco en este último caso. Kursevich y Travkhin (1973) observaron una inhibición del crecimiento de las raíces de veza (*Vicia villosa*), mijo (*Panicum miliare* L.), cebada (*Hordeum sativum* L.) y guisantes cuando se exponían durante 48 y 72 horas a un campo magnético estacionario de 50 nT.

Gusta et al. (1978) trataron semillas de trigo, avena y cebada a cinco intensidades de campo magnético: 0, 25,

50, 100 y 150 mT. Realizaron un seguimiento del proceso de germinación bajo dos condiciones de temperatura: 16°C y 21°C; el ensayo tuvo una duración de 48 horas y realizaron conteos de las semillas germinadas cada 12 horas. Mientras que a 21°C no se observó efecto significativo sobre el proceso de germinación, tras 48 horas y a 16°C las semillas de trigo tratadas con 150 mT mostraron mayor velocidad de germinación, comparado con el control. Esto sugiere que cuando las semillas se embebieron a baja temperatura, el efecto del campo magnético resultó más pronunciado. Shiyan (1978) comprobó que las semillas de los guisantes tenían un retraso en su germinación con campos estacionarios de 10 nT. Gubbels en 1982 expuso lotes de semillas de lino, maíz, girasol y guisantes a la acción de un campo magnético estacionario durante un tiempo muy corto, 10 segundos, y observó que un pequeño número de ellas dio lugar a plántulas con un crecimiento más temprano y vigoroso. Dayal y Singh (1986) observaron que algunas variedades de tomate que habían sido sometidas a campos magnéticos de 125 mT, aumentaban su longitud especialmente si el tratamiento se prolongaba durante quince minutos; también observaron que maduraban más rápido.

Kato et al. (1989) encontraron que las raíces secundarias de las semillas de maíz (*Zea mays* L. cv *Golden Cross Bantam 70*) a las que se había inoculado *Agrobacterium rizhogenes* y expuestas, durante 12 horas en oscuridad a un campo magnético estacionario de 50 nT, tenían un crecimiento mayor que las de control. Vakharia et al. (1991) realizaron un tratamiento magnético de semillas de cacahuate previo a su siembra en macetas. Se utilizaron imanes permanentes de 10 mT durante quince días y electroimanes de 24V y 75A durante 1 minuto. En las plantas procedentes de las semillas tratadas se observó, comparando con un control, un aumento en la longitud de las plantas, el número de brotes y el peso de hojillas por planta. La emergencia de las plántulas fue del 14 % y 25 % con imanes permanentes y electroimanes respectivamente. También aumentó el peso de materia fresca, materia seca, longitud y vigor de las plántulas. La influencia de un electroimán fue mayor que la de un imán permanente. También realizaron un estudio con semillas de tabaco con exposición a imanes de 50 y 100 mT durante 30 y 60 minutos. Al comparar con un control, observaron un incremento en el contenido de clorofila del 16 % y observaron también mayor longitud y anchura de las hojas, y mayor altura de la planta.

Como conclusión, en este periodo de tiempo que abarca desde la primera referencia citada correspondiente

a 1930 hasta principios de los años noventa, la investigación científica giraba en líneas generales en torno a los mismos parámetros como son el porcentaje de semillas germinadas, la velocidad de germinación o el crecimiento de plántulas. Por otro lado, aunque existe una gran variedad de especies vegetales citadas, los cereales cobraron mayor importancia debido posiblemente a su interés agronómico. A partir de este momento, aunque es cierto que se siguió mayoritariamente esta línea, se aprecian cambios sobre todo en los parámetros estudiados, introduciendo otros a nivel celular.

Pietruszewski (1993), trabajando con campos magnéticos de pequeña intensidad (comprendidos entre 10 y 30 mT), estudió el efecto en las propiedades biofísicas en cosechas de trigo; encontró un efecto positivo dependiendo del tiempo de exposición y del año de cultivo dado que el tratamiento magnético no solo incrementó la producción sino también el porcentaje de albúmina, gluten y almidón. Azanza y del Moral (1994) consideran este ion como modulador implicado en la interacción del campo magnético con la membrana plasmática. Namba et al. (1995) utilizaron campos magnéticos alternos que variaban de 1 a 1000 Hz, con una intensidad de 4 - 5 gauss, para estudiar la germinación y el crecimiento de plantas de Komatsuna; los resultados mostraron máxima velocidad de germinación (20 % superior al control) para frecuencia de 10 Hz y 5 gauss, lo que a la vez produjo mayor crecimiento de las plantas, evaluado por el área foliar. Algunos autores implican al ion  $Ca^{+2}$  y otros iones con la acción del campo magnético variable; Phirke et al. (1996 a,b) estudiaron el efecto de la intensidad del campo magnético y del tiempo de exposición en la producción de granos de soja, algodón y trigo. Se utilizó un rango de intensidades de campo magnético de 72-128 mT y tiempos de exposición comprendidos entre 13 y 27 minutos. Las dosis óptimas que permitieron obtener las máximas cosechas respecto al control fueron, para soja y algodón, de 100 mT y 27 minutos, y para trigo de 100 mT y 13 minutos, con aumentos en la producción de 46,14 %, 31,98 % y 35,01 % respectivamente. Singh et al. (1998) obtuvieron un incremento en la longitud del tallo y el número de brotes en las plántulas de mostaza (*Brassica juncea* L.), cuando las semillas se someten a un tratamiento de 30 mT durante 6 horas. De Souza et al. (1999) realizaron un pretratamiento de semillas de tomate con campo magnético estacionario de 80, 100 y 170 mT, durante diferentes tiempos de exposición: 1, 3, 5, 10, 15, 20,

y 25 minutos. El tratamiento magnético provocó un aumento significativo con respecto al control en el porcentaje de semillas germinadas a los cinco y siete días; en la medición de tallo y raíz, a los catorce días obtuvieron un incremento significativo. Picazo et al. (1999) observaron la inhibición del crecimiento de plantas de cardo y lenteja que fueron sometidas a tratamiento magnético de 50 Hz y 15  $\mu$ T durante las primeras semanas de su desarrollo.

Carbonell et al. (2000) investigaron los efectos de campos magnéticos de 125 y 250 mT sobre la germinación de semillas de arroz. Con el tratamiento crónico de 125 mT se incrementó en un 18 % el porcentaje de germinación. Con una exposición a 250 mT durante 20 minutos el incremento fue del 12 %. Belyavskaya (2004) expuso semillas de guisantes (*Pisum sativum* L.) durante 3 días a un campo magnético variable de baja frecuencia y de intensidades entre 0,5 y 2 nT; observó que las raíces de las células del meristemo expuestas al campo experimentaban algunos cambios estructurales tales como la acumulación de cuerpos lipídicos y que las mitocondrias fueron los órganos más sensibles al campo magnético.

Novitsky et al. (2001) comprobaron que campos estacionarios de 0,5 mT estimulaban de forma apreciable el crecimiento de las plántulas de rábano. Harichand et al. (2002) observaron que el tratamiento con 10 mT durante cuarenta horas hacía incrementar la altura de la plántula, el peso de la semilla y el rendimiento en el cultivo de trigo. Ruzic y Jerman (2002) comprobaron que campos electromagnéticos de 100 nT no afectaban al crecimiento del mastuerzo (*Lepidium sativum* L.) después del estrés causado por el calor; sin embargo, disminuía el efecto inhibitorio si el tratamiento era anterior.

Panagopulos et al. (2002) desarrollaron un modelo biofísico para explicar la acción biológica de los campos eléctricos y magnéticos variables de baja frecuencia. Su teoría se basa en la hipótesis de que los campos externos ejercen fuerzas oscilantes sobre los iones libres que se encuentran a ambos lados de todas las membranas plasmáticas, y que se pueden mover a través de ellas por medio de las membranas de proteínas. Estas fuerzas externas obligan a estos iones a oscilar de manera que, cuando la amplitud de estas oscilaciones sobrepasa un determinado valor crítico, los iones oscilantes pueden dar una falsa alarma a canales de cierre que son eléctrica o mecánicamente sensibles, desordenando, de esta forma, el balance

electromecánico de la membrana plasmática y, por consiguiente, toda la función de la célula. Martínez et al. (2003) observaron que las semillas de trigo sometidas a campos magnéticos estacionarios de 125 y 250 mT mostraban un crecimiento más temprano en las plántulas que las semillas no tratadas magnéticamente. Aladjadjian e Ylieva (2003) estudiaron la influencia de los campos magnéticos estacionarios en los primeros estados de desarrollo de tabaco (*Nicotiana Tabacum* L.), con el fin de aplicarlo posteriormente a la agricultura práctica. Comprobaron que la germinación y la energía de germinación de las semillas aumentaban de forma lineal con el tiempo de exposición al campo magnético. De la misma forma, demostraron que el aumento en la germinación era mayor cuando la semilla había sido empapada de agua previamente.

Albertini et al. (2003) estudiaron “in vitro” los efectos de los campos magnéticos sobre el hongo *Fusarium*. Su objeto era estudiar si estos campos podían disminuir o anular los efectos dañinos de estos hongos en los cereales que son fuente de micotoxinas y que afectan a la salud de personas y animales. Comprobaron, entre otros efectos, la inhibición del crecimiento de las micelas, cambios bioquímicos y morfológicos, así como la influencia sobre los iones de  $Ca^{+2}$ . Algunos de los cambios morfológicos eran similares a los obtenidos anteriormente mediante fungicidas.

Dini y Abbro (2004) hacen referencia a los innumerables efectos de los campos magnéticos sobre la estructura y las funciones de la célula: reorientación de los dominios diamagnéticos moleculares, transporte de iones de calcio ( $Ca^{+2}$ ) a través de las membranas celulares, cambios en la forma de la célula, etc. Belyavskaya (2004) comprobó que las semillas de trigo, sometidas a 30 mT durante quince minutos, presentaban una formación del número de raíces un 25 % superior al control.

Flórez (2004) investigó los efectos que producen en la germinación y en las primeras etapas de desarrollo de las plantas, la aplicación de campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT y diferentes periodos de exposición: 1, 10 y 20 minutos, una hora, 24 horas y exposición crónica. Las semillas tratadas fueron trigo, cebada, maíz, arroz, lentejas, alfalfa, girasol, tomate y cardo. En todas las especies seleccionadas, la velocidad de germinación aumentó con la exposición a un campo magnético estacionario de 125 mT o 250 mT de forma continua durante todo el proceso de germinación, y con la exposición durante 24 horas. Las plántulas que se

desarrollaron bajo la presencia continuada de un campo magnético de 125 o 250 mT, o durante 24 horas, mostraron un crecimiento más rápido o más temprano que plántulas desarrolladas en las mismas condiciones ambientales sin ser sometidas a la presencia del campo magnético.

Maqueda (2005) investigó el efecto que se produce en la germinación y en las primeras etapas del crecimiento del guisante al exponerlo a campos magnéticos estacionarios, descrito por Flórez. Las semillas expuestas mostraron, para todos los tiempos, una velocidad de germinación superior a la de las semillas de los controles, y también mostraron un crecimiento significativamente más temprano. Alcázar (2005) investigó los efectos que produce, en la germinación de semillas de avena loca y cardo de Castilla, la aplicación de las mismas dosis magnéticas estacionarias; para ambas especies, los resultados obtenidos en cuanto al desarrollo de la plántula ofrecen siempre diferencias muy significativas frente al control. Los estudios desarrollados por Flórez et al. (2007) con maíz de la variedad Ramda también resultaron muy favorables a los tratamientos magnéticos descritos.

Torres et al. (2008) realizaron un pretratamiento magnético a semillas de arroz y tomate con dos niveles de intensidad de campo magnético estacionario (5 y 10 mT) durante diferentes tiempos de exposición: 1, 10, 20, 60 minutos, 24 y 48 horas, resultando que el número de semillas germinadas era significativamente mayor que el control para ambos cultivos y se dio también un incremento de la biomasa en las plantas de tomate.

Vashisth y Nagarajan (2010) estudiaron los efectos del pretratamiento sobre las semillas de girasol. Los resultados indicaron que el incremento en la velocidad de germinación, la longitud de las plantas y su peso, al mes resultaron significativamente mayores a los del control en todos los tratamientos. Cakmak et al. (2010) estudiaron la aceleración de la germinación y las primeras etapas de crecimiento de semillas de trigo y judía bajo el efecto de distintos campos magnéticos estacionarios. Los porcentajes de germinación de las semillas tratadas fueron mayores que los de las semillas sin tratar (control) y las mejores tasas de germinación y crecimiento, en ambos casos, se dieron en campos magnéticos estacionarios de 7 mT.

Hajnrouzi et al. (2011) estudiaron el crecimiento y estrés oxidativo de plántulas de maíz mediante una combinación de campos electromagnéticos y geomagnéticos. Este equipo sugiere que la combinación

apropiada de estos campos promueve la germinación y el crecimiento del maíz por una disminución de la producción excesiva de especies reactivas al oxígeno. La conservación de la integridad de la membrana y la disminución del contenido en hierro de las plántulas tratadas bajo campo magnético, parecen sugerir que esta combinación promueve el crecimiento.

Álvarez (2011) investigó el efecto que se produce en la germinación y en las primeras etapas de crecimiento del cereal triticale al exponerlo, después de su siembra (tratamiento en húmedo), a campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT durante diferentes periodos de exposición: 1, 10 y 20 minutos, 1 hora, 24 horas y exposición crónica. Los resultados indicaron un aumento en la velocidad de germinación tras exposiciones durante 24 horas y de forma permanente. En las semillas de triticale expuestas antes de su siembra (pretratamiento o tratamiento en seco) se observó también un aumento en su velocidad de germinación. Shine et al. (2011) estudiaron el efecto de campos magnéticos estacionarios (usando campos desde 0 hasta 300 mT, de 50 mT en 50 mT) en semillas de soja (*Glycine max L. Mer. Var: JS-335*) expuestas durante 30, 60 y 90 minutos. Las mejoras respecto al control fueron del 5 - 42 % para la velocidad de germinación, del 4 - 73 % para la longitud de la plántula, del 9 - 53 % para el peso húmedo (5 - 16 % en seco) y del 3 al 88 % en cuanto a vigor.

Carbonell et al. (2011) expusieron semillas de guisante (*Pisum sativum L.*) a campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT, y estudiaron los efectos en los estados iniciales de crecimiento. La longitud y el peso de las plántulas a las que se había aplicado dicho tratamiento magnético fueron superiores a los de control en todos los tiempos de evaluación. Los mejores resultados se obtuvieron para exposición continua. Flórez et al. (2012) estudiaron el efecto que tiene el tratamiento magnético en la germinación de semillas de *Salvia officinalis L.* y *Calendula officinalis L.* Los parámetros de germinación en cada tratamiento y pretratamiento resultaron más bajos que el control. Los mejores resultados se obtuvieron para la exposición crónica a campos de 125 mT.

Gutiérrez et al. (2014) determinaron el efecto de la exposición a campos magnéticos sobre los parámetros germinación, crecimiento y flora microbiana asociada a semillas y plántulas de *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum* y *Zea mais* (Poaceae). Los resultados

mostraron un efecto positivo sobre la germinación, especialmente para *Brachiaria humidicola*, ayudando con creces a superar el periodo de latencia que presenta esta especie. Por otro lado, una prolongada exposición de 48 horas reflejó una pequeña reducción en la población de microorganismos asociados, en especial hongos, en las diferentes especies estudiadas.

En la década actual, continúa la tendencia iniciada a principios de los años 90, apareciendo cada vez más artículos en los que se exponen estudios que constituyen una mezcla de investigaciones clásicas basadas en efectos de campos magnéticos sobre parámetros de germinación y crecimiento, complementándose con el estudio de otros aspectos relacionados con procesos celulares o la fotosíntesis. Tomando como referencia este segundo carácter, destacan:

Radhakrishnan y Kumari (2012) han publicado que la aplicación de campos magnéticos pulsátiles durante 20 días sobre semillas de soja, aparte de incrementar la altura de las plántulas correspondientes y el peso en fresco y seco, aumenta el contenido en proteína y la actividad de las enzimas  $\beta$ -amilasa, fosfatasa ácida, polifenol oxidasa y catalasa. También aumenta la concentración de los elementos Fe, Cu, Mn, Zn, Mg, K y Na. Sin embargo, la actividad de otras enzimas se ve reducida, como es el caso de la  $\alpha$ -amilasa, fosfatasa alcalina, proteasa y nitrato reductasa, así como la de Ca. Siguiendo esta línea, Bhardwaj et al. (2012) también han descubierto un aumento de las enzimas hidrolíticas, amilasa y proteasa en semillas de pepino para diferentes tiempos y tratamientos de 100 y 250 mT.

Hozayn et al. (2015) han observado un incremento significativo en la actividad mitótica de las células de plántulas de cebolla, con tan sólo 30 minutos de tratamiento con 0,03 T y 0,06 T. Por otro lado, también se presentaron más casos de aberración cromosómica y anormalidades en la mitosis.

Baghel et al. (2016) han descubierto que la aplicación de campos magnéticos estacionarios de 200 mT durante tan solo una hora, consigue mitigar los efectos adversos de la salinidad en el medio de las plantas de soja o, lo que es lo mismo, evitar disminuciones en el rendimiento, crecimiento y otros parámetros fisiológicos. Además, la tasa fotosintética neta, la actividad de la enzima nitrato reductasa y de los pigmentos fotosintéticos, todas ellas relacionadas con el funcionamiento celular y la fotosíntesis, son mayores debido a estos campos.

En este periodo también encontramos nuevas revisiones bibliográficas que actualizan y complementan teorías y principios conocidos de hace tiempo, como es el caso de Maffei (2014), que se centra en la fuerte influencia del campo magnético natural de la tierra sobre el movimiento o comportamiento de seres vivos, como bacterias magnetotácticas, insectos, anfibios, peces y mamíferos. Por otro lado, el gran número de efectos positivos que se observan en las especies vegetales, bajo aplicaciones breves de campos magnéticos, nos indica la capacidad de estas especies para responder rápidamente a este tipo de estímulo, sobre todo a través de la alteración de su expresión génica y su fenotipo. Por su parte, Zúñiga et al. (2016a) hacen una revisión acerca del agua tratada magnéticamente y sus efectos a nivel molecular, relacionados con una mayor eficiencia en el riego y el uso del agua. También resalta que, a pesar del evidente efecto que tienen los campos magnéticos sobre el mayor rendimiento de germinación de semillas y crecimiento de plántulas, se carece de un procedimiento estandarizado del tratamiento sobre especies vegetales, lo que facilitaría su aplicación a gran escala. Además, medioambientalmente constituye una técnica mucho menos contaminante y agresiva que otras.

Un enfoque diferente resulta de las investigaciones de Zúñiga et al. (2016b), quienes han aplicado una estimulación electromagnética, gracias a un solenoide, sobre un bio-fertilizante que posibilitaría una mejora gradual en la población microbiana benéfica del suelo y en consecuencia en la producción vegetal.

## CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVA DE FUTURO

La corriente investigadora de aplicación de campos magnéticos sobre especies vegetales, que comenzó a principios del siglo XX y que perdura hasta nuestros días, ofrece como conclusión mayoritaria que los campos magnéticos estacionarios y alternos favorecen la germinación de semillas y el crecimiento de plantas de un gran número de especies. Más recientemente, los análisis en este campo se han dirigido hacia el estudio de los efectos de campos magnéticos, pero esta vez sobre parámetros o fenómenos fisiológicos a nivel celular, con resultados interesantes.

Llegados a este punto, y como perspectiva de futuro, sería necesario estandarizar unas condiciones de aplicación de los campos magnéticos, factor que

ya un gran número de autores vienen reclamando. Asimismo, podría ser de gran valor establecer si es rentable la aplicación de campos magnéticos a gran escala para obtener un incremento en el rendimiento de los cultivos o un adelanto en las cosechas. El estudio económico debería desarrollarse en forma paralela a la realización de estudios de seguridad alimentaria para ver la posible influencia que puedan causar especies vegetales tratadas sobre la salud humana o animal.

### AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Universidad Politécnica de Madrid por financiar el grupo de Investigación "Bioelectromagnetismo aplicado a la Ingeniería Agroforestal" que ha permitido realizar investigaciones mediante la aplicación de campos magnéticos estacionarios en distintas especies vegetales.

### BIBLIOGRAFÍA

Abeles, F. y Allard, G. 1973. *La Ciencia Contemporánea. El siglo XIX*. Editorial Destino, Barcelona.

Aladjadjiyan, A. y Ylieva, T. 2003. Influence of stationary magnetic field on the early stages of development of tobacco seeds (*Nicotina tabacum*, L.). *Journal of Central European Agriculture* 4(2): 132-136.

Albertini, M.C., Accorsi, A., Citterio, B., Burattini, S., Piacentini, M.P., Ugucioni, F. y Piatti, E. 2003. Morphological and biochemical modifications induced by a static magnetic field on *Fusarium culmorum*. *Biochimie* 85(10): 963-70.

Alcázar, S. 2005. Efecto de campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT en la germinación de semillas de avena loca y cardo de castilla. Trabajo Fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Álvarez, J. 2011. Exposición de semillas de *Triticale* a campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT. Efectos en la velocidad de germinación y primeras etapas de desarrollo. Trabajo Fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Arnáldez, R. y Beaujeu, J. 1973. *La Ciencia Antigua y Medieval*. Editorial Destino, Barcelona.

Azanza, M.J. y Del Moral, A. 1994. Cell membrane biochemistry and neurobiological approach to biomagnetism. *Progress in Neurobiology* 44: 517-601.

Baghel, L., Kataria, S. y Guruprasad, K.N. 2016. Static magnetic field treatment of seeds improves carbon and nitrogen metabolism under salinity stress in soybean. *Bioelectromagnetics* 37(7): 455-70.

Bhardwaj, J., Anand, A. y Nagarajan, S. 2012. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. *Plant Physiology and Biochemistry* 57: 67-73.

Belyavskaya, N.A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. Original Research Article *Advances in Space Research* 34(7): 1566-1574.

Bhatnagar, D. y Dev, A.R. 1977. Some effect of pre-germination exposure of wheat seeds to magnetic fields. Effect on some physiological process. *Seed Research* 5(2): 129-137.

Blakemore, R. 1975. Magnetotactic bacteria. *Science* 190: 377-379.

Bogatina, N.I., Verkin, B.I., Kordyum, V.A. 1978. Effect of permanent magnetic fields with different intensities on wheat growth rate. *Doklady Akademii Nauk Ukrainkoj SSR Serija A, Russian B* (4): 352-356.

Braun, E. 2003. *Electromagnetismo de la ciencia y la tecnología*. Fondo de cultura económica, México D.F.

Bru, L. 1975. *Física*. Librería Internacional de Romo S.L, Madrid.

Buck, J.A. y Hayt, W.H. 2006. *Engineering Electromagnetics*. McGraw-Hill, New York.

Cakmak, T., Dumlupinar, R. y Erdal, S. 2010. Acceleration of Germination and Early Growth of Wheat and Bean Seedlings Grown Under Various Magnetic Field and Osmotic Conditions. *Bioelectromagnetics* 31: 120-129.

Campbell, W.F., Mericle, L.W., Mericle, R.P., Montgomery, D.J. y Smith, A.E. 1964. *Plant Growth responses, Biological effects of Magnetic Fields*. Plenum Press, New York.

Carbonell, M.V., Martínez, E. y Amaya, J.M. 2000. Stimulation of germination in rice (*Oryza sativa* L.) by a static magnetic field. *Electromagnetic Biology and Medicine* 19(1): 115-120.

Carbonell, M.V., Flórez, M., Martínez, E., Maqueda, R. y Amaya, J.M. 2011. Study of stationary magnetic fields on

- initial growth of pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Seed Science and Technology* 39: 673-679.
- Carbonell, M.V., Martínez, E. y Flórez M. 2013. Tratamiento magnético como técnica estimulante de la germinación de semillas de Soja. *Revista Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR* 12: 119- 127.
- Chao, L. y Walker, D. 1967. Effects of magnetic field on the germination of apple, apricot and peach seeds. *Horticulturae science* 2(4): 152-153.
- Chauhan, T.S. y Agrawal, A.S. 1977. Effect of magnetism on germination of Sonalika wheat. *Acta Botanica (India)* 5: 66-68.
- Chausav, R.P. 1967. Effect of magnetic field and rotation of the Earth on seed germination and shoot growth. *Fizologiya Rast* 14: 540-543.
- Cheng, D.K. 1997. *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería*. Addison-Wesley Iberoamericana, México D.F.
- Dayal, S. y Singh, N. 1986. Effect of seed exposure to magnetic field on the height of tomato plants. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 56 (6): 483-487.
- De Souza, A., Porras, E. y Casate, R. 1999. Efecto del tratamiento magnético de las semillas de tomate sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas. *Investigación agraria, producción y protección vegetales* 14(3): 437-444.
- Díaz-González, J. 1950. *Historia de la Medicina en la Antigüedad*. Editorial Barna, Barcelona.
- Dini, L. y Abbro, L. 2004. Bioeffects of moderate-intensity static magnetic fields on cell cultures. *Micron* 36: 195-217.
- Dycus, A.M., Shultz, A. y Smith, P. 1966. Effect on early plant growth of nulled and directional magnetic field environment. *3<sup>rd</sup> International Biomagnetic Symposium*. Universidad de Illinois, Chicago.
- Es'kov, E.K. y Darkov, V.A. 2003. Consequences of high intensity magnetic effects on the early growth Processes in plant seeds and the development of honeybees. *Biology Bulletin* 30(5): 617-622.
- Es'kov, E.K., Darkov, A.V. y Shvetsov, G.A. 2005. Dependence of the magnetic susceptibility of biological objects on their physiological state and viability. *Biofizika* 50(2): 357-389.
- Es'kov, E.K., Radionov, A. y Yu, A. 2010. Initial growth processes in seeds in magnetic fields, strengthened or weakened in relation to the geomagnetic field. *Biology Bulletin* 37(1): 49-55.
- Flórez, M. 2004. Efecto de campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT en la germinación de semillas y desarrollo de plántulas. Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Flórez, M., Carbonell, V. y Martínez, E. 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: effects on germination and early growth. *Environmental and Experimental Botany* 59(1): 68-75.
- Flórez, M., Martínez, E. y Carbonell, M.V. 2012. Effect of magnetic field treatment on germination of medicinal plants *Salvia officinalis* L. and *Calendula officinalis* L. *Polish Journal of Environmental Studies* 21: 57-63.
- Gamow, G. 2001. *Biografía de la Física*. Alianza Editorial, Madrid.
- Gorya, V.S. 1969. The effect of seeds orientation in soil relative to geomagnetic pole on the growth and development of Maize. *Brief results of work Moldavian Institute of Plant and Seed Breeding and Agrotechnology of Field Crops*, Chisinau.
- Gubbels, G.H. 1982. Seedling growth and yield response of flax, buckwheat, sunflower and field pie after pre seedling magnetic treatment. *Canadian Journal of Plant Science* 62: 61-64.
- Gusta, L.V., Kirkland, K.J. y Austenson, H.M. 1978. Effects of brief magnetic exposure on cereal germination and seedling growth. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 79-86.
- Gutiérrez, A.M., Torres, C. y Díaz, J.E. 2014. Effect of magnetic fields in germination, growth, and microbial flourishing in seedlings of *Brachiaria humidicola*, *Panicum maximum*, and *Zea mays* (Poaceae). *Revista de Ciencias* 18(1): 9-17.
- Hajnorouzi, A., Vaezzadeha, M., Ghanatib, F., Jamnezhada, H. y Nahidianb, B. 2011. Growth promotion and a decrease of oxidative stress in maize seedlings by a combination of geomagnetic and weak electromagnetic fields. *Journal of Plant Physiology* 168: 1123-1128.
- Harichand, K.S., Narula, V. y Raj, D. 2002. Effect of magnetic fields on germination, vigour and seed yield of wheat. *Seed Research* 30(2): 289-293.

- Hozayn, M. Amal, A.A. y Abdel-Rahman, H.M.H. 2015. Effect of magnetic field on germination, seedling growth and cytogenetic of onion (*Allium cepa* L.). *African Journal of Agricultural Research* 10(8): 849-857.
- Jristova, M. 1986. *Técnicas de Irradiación en la Agricultura y la Industria Alimenticia*. Memorias escuela para los problemas actuales de las ciencias nucleares, La Habana.
- Kato, R., Kamada, H. y Aashima, M. 1989. Effects of high and very low magnetic field on the growth of hairy roots of *Daucus carota* and *Atropa beladonna*. *Plant Cell Physiology* 30: 605-608.
- Kirschvink, J.L., Jones, D.S. y McFadden, B.J. 1985. *Magnetite Biomineralization and Magnetoreception in Organisms: A New Biomagnetism*. Ed. Plenum Press, New York.
- Kirschvink, J. y Walker, M. 2001. Magnetic-based magnetoreception. *Current Opinion in Neurobiology* 11: 462-467.
- Kursevich, N.V. y Travkin, M.P. 1973. Effects of magnetic fields with different intensities on some enzymes activities in barely seedlings. En: Belgorod Teacher's Training College Publishing Co. *Effects of Natural and Weak Artificial Magnetic Fields on Biological Objects*. Training College Publishing Co, Belgorod.
- Laín Entralgo, P. 1973. *Historia Universal de la Medicina*. Editorial Salvat. Barcelona. España.
- Lebedev, S.I., Baranskiy, P.I., Litvinenko, L.G., Shiyani, L.T. 1977. Barley growth in superweak magnetic field. *Electronic Treatment of Materials* 3: 71-73.
- Lozano, E. 1995. Historia de la electricidad y el magnetismo. Su aplicación en medicina. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España.
- Maffei, M.E. 2014. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science* 5: 445.
- Maqueda, M.R. 2005. Efecto de la exposición a campos magnéticos de 125 mT y 250 mT en la germinación y primeras etapas de crecimiento del guisante. Trabajo fin de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Matía, I., González-Camacho, F., Herranz, R., Kiss, J.Z., Gasset, G., J.W.A. van Loon, J., Marco, R. y Medina, F.J. 2009. Plant cell proliferation and growth are altered by microgravity conditions in spaceflight. *Journal of Plant Physiology* 167: 184-193.
- Martínez, E., Carbonell, M.V. y Flórez, M. 2003. Magnetic biostimulation of initial growth stages of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Electromagnetic Biology and Medicine* 21(1): 43-53.
- Mouritsen, H. 2001. Navigation in birds and others animals. *Image and Vision Computing* 19(11): 713-731.
- Namba, K., Sasao, A. y Shibusawa, S. 1995. Effect of magnetic field on germination and plant growth. *Acta horticulturae* 399: 143-147.
- Novak, J. y Valeck, L. 1965. Attempt of Demonstrating the Effect of Weak Magnetic Field on *Taraxacum officinale*. *Biologia Plantarum* 7(6): 469.
- Novitsky, G. V. A., Tserenova, O. A., Kocheshkova, T. K. y Novitskii Yu, I. 2001. The effect of weak permanent magnetic field on cotyledon emergence and neutral lipid content in 5-day-old radish seedlings. Plant under Environmental Stress. University of Russia, Moscú.
- Panagopoulos, D.J., Karabarbounis, A. y Margaritis, L.H. 2002. Mechanism for action of electromagnetic fields on cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 298: 95-102.
- Papp, D. 1961. *Historia de la Física*. Editorial Espasa Calpe, Madrid.
- Pérez, C. y Brady, L. 1998. *Principles and Practice of Radiation Oncology*. 3ª ed. Editorial Lippincott-Raven, New York.
- Phirke, P.S., Patil, M.N., Umbakar, S.P. y Dudhe, Y.H. 1996a. The application of magnetic treatment to seeds: methods and responses. *Seed Science and Technology* 24: 365-373.
- Phirke, P.S., Kubde, A.B. y Umbakar, S.P. 1996b. The influence of field on plant growth. *Seed Science and Technology* 21: 621-626.
- Picazo, M.L., Martínez, E., Carbonell, M.V., Raya, A., Amaya, M. y Bardasano, J.L. 1999. Inhibition in the growth of thistles (*Cynara cardunculus*, L.) and Lentils (*Lens culinaris*, L) due to chronic exposure to 50 Hz and 15  $\mu$ T electromagnetic fields. *Electro- and Magnetobiology* 18 (2): 147-156.
- Pietruszewski, S. 1993. Effect of magnetic seed treatment on yields of wheat. *Seed and Technology* 21: 621-626.

- Pittman, U. 1963. Effects of Magnetism of Cereal Plants. *Biomedical Science Instrum* 1:117-123.
- Pittman, U.J. 1965. Magnetism and growth III. Effect on germination and early growth of corn and beans. *Canadian Journal of Plant Science* 45: 549-555.
- Pittman, U.J. y Omrod, D.P. 1971. Biomagnetic responses in germinating malting barley. *Canadian Journal of Plant Science* 51: 64-65.
- Pittman, U.J. 1972. Biomagnetic responses in potatoes. *Canadian Journal of Plant Science* 52: 727-733.
- Radhakrishnan, R. y Kumari, B.D.R. 2012. Pulsed magnetic field: A contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean. *Plant Physiology and Biochemistry* 51: 139-144.
- Ruzic, R. y Jerman, I. 1998. Influence of Ca<sup>+2</sup> in biological effect of direct and indirect ELF magnetic field simulation. *Electro-and magnetobiology* 17(2): 205-216.
- Ruzic, R. y Jerman, I. 2002. Weak magnetic field decreases heat stress in cress seedlings. *Electromagnetic Biology and Medicine* 21: 69-80.
- Savostin, P.W. 1930. Magnetic growth relations in plants. *Planta* 12: 327.
- Shine, M.B., Guruprasad, K.N. y Anand, A. 2011. Enhancement of Germination, Growth, and Photosynthesis in Soybean by Pre-Treatment of Seeds with Magnetic Field. *Bioelectromagnetics* 32: 474-484.
- Shiyan, L.T. 1978. Study on the ecological significance geomagnetic fields as an example of plants. *SCI. Trans Kursk Teacher's Training College* 191: 82-83.
- Singh, P., Rai, K. y Rai, S. 1998. A short note on seedborne magnetic field on mustard (*Brassica juncea*, L.) crop. *Electro- and Magnetobiology* 17(a): 99-102.
- Smith, S.D., McLeod, B.R. y Liboff, A.R. 1993. Effects of CR-tuned 60 Hz magnetic fields on sprouting and early growth of *Raphanus sativus*. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics Journal* 32: 67-76.
- Stern, D.P. 2001. *La Tierra, el gran imán*. <http://www.phy6.org/earthmag/Mdmglst.htm>. Consultado: 1 mayo de 2016.
- Tagüeña, J. y Martina, E. 1997. *La ciencia para todos*. Editorial FCE, México D.F.
- Tarduno, J.A., Cottrell, R.D., Watkeys, M.K., Hofmann, A., Doubrovine, P.V., E.E. Mamajek, D. Liu, D.G. Sibeck, L.P. Neukirch y Usui, Y. 2010. Geodynamo, solar wind, and magnetopause 3.4 to 3.45 billion years ago. *Science* 327: 1238-1240.
- Tipler, P. y Mosca, G. 2008. *Electricidad y magnetismo. Luz. Física moderna*. Reverté, Barcelona.
- Torres, C., Díaz, J.E. y Cabal, P.A. 2008. Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía colombiana* 26(2): 177-185.
- Travkin, M.P. 1969. The Effect of Weak Magnetic Field on Seed Germination and Root Orientation. *Proceedings Science Practice Conference. Belgorod Pedagogical Institute* 5: 28-30.
- Vakharia, D.N., Davariya, R.L. y Parameswaran, M. 1991. Influence of magnetic treatment on groundnut yield and yield attributes. *Indian Journal of Plant Physiology* 34(2): 131-136.
- Vashisth, A. y Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology* 167(2): 149-156.
- Vetrov, V.S., Gorbatshevich, N.A. y Stratskevich, L.K. 1989. Results of the use of growth simulating factors of plants in cultivation of maize in Belarus. *Abstracts Conference The Use of Low Power Physical Factors in Biology and Agriculture* 1:104-105.
- Wood, R. 1991. *Magnetismo. De la brújula a los imanes superconductores*. Editorial McGraw-Hill, Serie de divulgación científica, Madrid.
- Zúñiga, O., Benavides, J.A., Ospina-Salazar D.I., Jiménez, C.O. y Gutiérrez, M.A. 2016a. Tratamiento magnético de agua de riego y semillas en agricultura. *Ingeniería y Competitividad* 18 (2):217 - 232.
- Zúñiga, O., Jiménez, C.O., Benavides, J.A. y Torres, C. 2016b. Effect of Electromagnetic Fields on Microbial Activity of a Bio-Fertilizer. *Revista de Ciencias* 20 (1):27-40.

**Fecha de recepción:** 18/02/2017  
**Fecha de aceptación:** 05/09/2017  
**Publicado en línea:** 14/09/2017

**Para citar este artículo:** Carbonell, M.V., Flórez, M., Martínez, E. y Álvarez, J. 2017. Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos. *Intropica* 12(2): 143-159. DOI: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2282>

---

## GUÍA PARA AUTORES

---

**INTROPICA** es una revista científica de publicación semestral (a partir del año 2017), arbitrada por evaluadores nacionales e internacionales que provee un espacio para la publicación de contribuciones originales e inéditas que estudien e interpreten de manera integrada los ecosistemas tropicales así como los problemas ambientales derivados de la intervención antropogénica sobre el territorio.

La revista INTROPICA está disponible en versión digital con acceso libre (<http://intropica.unimagdalena.edu.co>) y en versión impresa (ISSN 1794-161X), la cual se distribuye en bibliotecas especializadas de instituciones académicas, gubernamentales y no gubernamentales.

### Envío:

Los manuscritos pueden ingresar al proceso editorial a través de la plataforma *Open Journal System* de la revista (<http://intropica.unimagdalena.edu.co>) o a través del correo electrónico [revistaintropica@unimagdalena.edu.co](mailto:revistaintropica@unimagdalena.edu.co). La recepción de manuscritos es permanente. En el envío se deberán adjuntar las figuras en archivos independientes y una carta de aprobación de todos los autores, certificando su originalidad y que no ha sido remitida ni se ha publicado en otra revista. En la carta también deberá indicarse el tipo de contribución (artículo, artículo de revisión, artículo de reflexión o nota científica) y dos posibles evaluadores con sus respectivos datos de contacto. Aunque todas las contribuciones estarán sujetas a revisión previa, la responsabilidad por el contenido de las mismas recae sobre los autores y no sobre el editor, el Comité Editorial o la Universidad del Magdalena. El formato para elaborar esta carta remisoría puede descargarse del sitio de Internet de la revista.

### Tipos de contribuciones:

**a) Artículo de investigación científica y tecnológica.** Corresponden a resultados completos de estudios realizados sobre las temáticas que aborda la revista. Los manuscritos tendrán un máximo de 30 páginas, incluyendo las tablas y las figuras. El artículo de investigación deberá seguir el siguiente orden: Título, Autor (es), Dirección postal del (de los) autor (es), Resumen, Palabras claves, Abstract, Key words, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones (opcional), Agradecimientos (opcional), Bibliografía, Tabla/s con su/s correspondiente/s leyenda/s, Lista de las leyendas de las figuras. Las figuras deben ser enviadas en archivos independientes en formato gráfico (tif, gif, eps).

**b) Artículo de revisión.** Se refieren a trabajos de revisión crítica que compilan y resumen adecuadamente el grado de avance o del conocimiento y señalan líneas de investigación a seguir. La extensión máxima del manuscrito será de cuarenta páginas, incluyendo tablas y figuras. Deben contener al menos cincuenta referencias bibliográficas. El artículo de revisión puede escribirse en un estilo libre, sin embargo, deberá incluir resumen, palabras clave, abstract, key words, agradecimientos (opcional) y bibliografía.

**c) Artículo de reflexión.** Presenta la perspectiva del autor, fundamentada en literatura científica, como aporte al conocimiento de los temas propios de la revista. Los manuscritos tendrán un máximo de treinta páginas, incluyendo las tablas y las figuras. Se deberá incluir resumen, palabras clave, abstract, key words, agradecimientos (opcional) y bibliografía.

**d) Nota científica.** Son descripciones breves de investigaciones limitadas, procedimientos experimentales, operaciones técnicas o aplicadas. En cualquier caso, tienen que ser completamente documentadas, con referencia a la literatura, e indicando los procedimientos experimentales empleados. El manuscrito puede ocupar un máximo de 10 páginas, incluyendo las tablas y las figuras. La nota científica no debe llevar subtítulos pero sí resumen, palabras clave, abstract y key words, agradecimientos (opcional) y bibliografía.

e) **Editorial.** Documento escrito por el editor, un miembro del Comité Editorial o un investigador invitado sobre orientaciones en el dominio temático de la revista. Corresponde a un documento corto con pocas referencias.

### Procedimiento de evaluación/arbitraje de los manuscritos

Los editores realizarán una primera evaluación del manuscrito, conceptuando la pertinencia e idoneidad del mismo y lo someterán al proceso de arbitraje doble ciego de por lo menos dos especialistas en el tema. En caso de controversia entre los evaluadores se recurrirá a un tercero. Estos especialistas actuarán como revisores del manuscrito, emitirán su concepto y podrán realizar recomendaciones o solicitar aclaraciones en un tiempo máximo de un mes. Posteriormente, las sugerencias de los editores y revisores serán comunicadas a los autores, quienes tendrán un plazo de un mes para responder dichas sugerencias. En caso contrario, el manuscrito será dado de baja y de ser remitido nuevamente se iniciará el proceso editorial desde el principio con un nuevo arbitraje. Los editores tomarán la decisión final de aceptar o no los manuscritos para su publicación. Para estas tareas los editores podrán apoyarse en el Comité Editorial, cuando así lo estimen pertinente.

Previo a la impresión final de los manuscritos aceptados para publicación, los editores enviarán las pruebas de galera al autor de correspondencia para que efectúe correcciones por errores de digitación únicamente. No se permiten mayores cambios o adiciones al manuscrito editado en esta fase.

En caso de comprobación de plagio o de violación de derechos de autor, los editores ordenarán cancelar el proceso editorial. Para mayor información consulte la guía de ética y buenas prácticas editoriales:  
<http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/about/editorialPolicies#custom-3>

### Formato del manuscrito:

El texto se debe enviar como documento en formato Word o RTF con un nombre corto que identifique al manuscrito y al primer autor (e.g. Hifomicetos\_López.doc). El texto debe estar interlineado a doble espacio y numeradas las líneas a lo largo del texto (incluyendo tablas), con letra Times New Roman de 12 puntos y con todos los márgenes de 2 cm. Se aceptan manuscritos en español o en inglés. Las páginas deben numerarse consecutivamente. Las tablas se incluirán en formato tabla (no pegarlas como imagen) al final del texto del manuscrito. Las figuras no deben incluirse en el documento del manuscrito.

Para los nombres científicos y las locuciones latinas se utilizará cursiva. No incluya palabras subrayadas ni sangrías. En el caso de citar un taxón de nivel específico o inferior, se debe citar su nombre científico incluyendo el autor. Tanto los autores como los editores se guiarán por las reglas que gobiernan la nomenclatura biológica, de acuerdo a lo acordado en el “International Code of Botanical Nomenclature”, en el “International Code of Nomenclature of Bacteria” y en el “International Code of Zoological Nomenclature”. Se enfatiza que el autor del nombre y el año de publicación de cada taxón solo deberán aparecer una vez, la primera vez que se mencione.

**1. Título.** Claro, descriptivo y no demasiado largo. Se solicita en español e inglés. El título del trabajo y los títulos de las secciones principales del manuscrito debe ubicarse en posición central y en mayúsculas; los títulos de segundo rango deben ubicarse en posición central en minúsculas y los de tercer rango alineados a la izquierda. Todos los títulos y subtítulos deben ir en negrita. Adicionalmente, debe suministrarse un título abreviado de máximo ochenta caracteres incluyendo espacios.

**2. Nombre(s) del (de los) autor(es).** Los nombres se deben escribir en mayúsculas y minúsculas. En el caso de varios autores, el primer nombre debe ser el del autor principal.

**3. Dirección del (de los) autor(es).** Se deberá anotar institución a la que pertenecen, dirección postal y teléfono de todos los autores. Se deberá agregar el correo electrónico para correspondencia.

**4. Resumen y Abstract.** Deberá escribirse un resumen en español y otro en inglés. En ambos casos, no deberá exceder las 300 palabras. El resumen debe contener de manera sintética los objetivos del trabajo, una descripción concisa de la parte experimental (incluyendo los tamaños de muestra), principales resultados y conclusiones generadas en el proceso de discusión de los mismos. En el resumen, no se debe incluir referencias bibliográficas y debe escribirse en un solo párrafo. El Abstract debe ser una traducción fiel del Resumen.

**5. Palabras clave y key words.** Después del Resumen y del Abstract, deberán incluirse en español e inglés, respectivamente, 3 a 6 palabras clave que identifiquen el manuscrito.

**6. Introducción.** Se debe presentar una revisión actualizada de la bibliografía pertinente al trabajo (fuentes adecuadamente referenciadas), para fundamentar la hipótesis de trabajo y mostrar el o los objetivos propuestos.

**7. Materiales y métodos.** Se deberá incluir, en forma clara y concisa, los principales materiales, así como también los métodos aplicados, de modo que, con esa información, otro investigador pudiese repetir la experiencia. Pueden utilizarse apartados diferentes bajo subtítulos adecuados. No debe describirse un método si ya está descrito en la bibliografía; basta con presentar la cita bibliográfica. Si utiliza un método modificado, debe señalarse claramente la modificación.

**8. Resultados.** Los resultados deben presentarse en forma clara y precisa, incluyendo tablas, figuras y, en caso necesario, análisis estadísticos.

**9. Discusión.** Los resultados deben ser contrastados con el conocimiento registrado en la literatura, destacando el aporte del artículo para el entendimiento del tema tratado. Las conclusiones que se extraigan del trabajo deberán ser consecuentes y relacionadas con los resultados expuestos. Los resultados y discusión pueden conformar una sección.

**10. Agradecimientos.** De ser considerado necesario por los autores, se puede incluir algún agradecimiento por contribuciones económicas, asesorías, donaciones u otro tipo de colaboración que haya hecho posible el trabajo.

**11. Referencias.** Se debe listar la información completa de todas las referencias bibliográficas, las cuáles serán ordenadas alfabéticamente por el apellido del primer autor de cada cita del documento. La exactitud de las referencias bibliográficas es responsabilidad de los autores. INTROPICA utiliza el sistema Harvard de citación. Es necesario tener en cuenta el siguiente estilo de escritura:

- Debe revisarse cuidadosamente el manuscrito para verificar que el deletreado de los nombres de los autores y el año sean exactamente iguales en el texto y en la lista de referencias.
- En el texto se debe referir al (los) apellido(s) del (los) autor(es) y al año de publicación. Por ejemplo, “Rodríguez (1998) encontró que.....”. “Una técnica multinomial ha sido descrita para estimar la varianza asociada con proporciones (Kent y Lane, 2004)”.
- Cuando en el texto se citan publicaciones escritas por más de dos autores, se escribirá el nombre del primer autor seguido por “et al.” sin cursiva. En la Bibliografía deben mencionarse los nombres de todos los autores.
- Si hay varios trabajos de un autor(es) en un mismo año, se citará con una letra en secuencia adosada al año (ejemplo: García et al., 1998a, b, c).
- Las citas en una misma frase del texto deben ser ordenadas cronológicamente. Por ejemplo, “Los indicadores biológicos son ampliamente usados para análisis ambientales (Platt, 1964; Arias y Pérez, 1980; Klimm et al., 2000)”.
- El nombre de las revistas científicas debe estar completo, no abreviado y en cursiva.
- El título de las referencias debe conservar el idioma original.
- Referencias concernientes a datos no publicados (doc. ined.) y “comunicaciones personales” (com. pers.) no deben ser incluidas en la lista de referencias pero si pueden ser citados en el texto.

Use el siguiente formato en la bibliografía para citar las referencias:

- Publicaciones periódicas o revistas:

Pérez, R., Condit, R., Aguilar, S., Hernández, A. y Villareal, A. 1996. Inventario de la vegetación de la isla de Coiba, Panamá: Composición Florística. *Revista de Biología Tropical* 44: 31-40.

Cubides-Guerrero, P.A. y Ramírez-Franco, J.H. 2014. Adsorción de Cr VI sobre residuos de café. *Revista Mutis* 4(2): 18-25 <http://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/953/992>. Consultado: 2 de enero de 2015

- Libros:

Longhurst, A. y Pauly, D. 1987. *Ecology of tropical oceans*. Academic Press, San Diego.

- Capítulos de libro:

Bucker, D. 1989. Histology. En: Austri, D., Editor. *Methods for the Microbiological Examination of Fish and Shellfish*. Wiley, New York.

- Tesis:

Gil, A. 2000. Evolución bioquímica de los endosimbiontes en insectos asociados con el maíz en el sur de México. Tesis de Doctorado, Universidad Agrícola, Mérida, Yucatán, México.

- Sitios de Internet:

Alexander, J. y M.A. Tate. 2001. *Evaluando las Fuentes Electrónicas*. Widener University. URL: <http://www2.widener.edu/Wolfgram-MemorialLibrary/webevaluation/webeval.htm>. Consultado: 9 de octubre 2012.

## 12. Tablas

- Deben elaborarse en procesador de tablas de MS Word. No utilice la barra espaciadora o la tecla de tabulación.
- Las tablas deberán ser numeradas de acuerdo a su secuencia en el texto, en orden correlativo con números arábigos y llevarán una leyenda descriptiva y breve en la parte superior, que será la referencia de la tabla. Se recomienda que la leyenda sea clara e informativa, de manera que se evite consultar el texto para entender la tabla.
- Cada tabla debe presentarse en una página separada del manuscrito. Nunca deben ser incluidas en el texto, sino presentadas al final del texto del manuscrito y antes de la lista de las leyendas de las figuras.
- La información presentada en las tablas no debe aparecer repetida en las figuras.
- Los encabezados de las columnas deben ser breves, pero explicativos. No usar negrillas. Las abreviaturas estándar de las unidades de medida deben colocarse entre paréntesis.
- No deben usarse líneas verticales para separar las columnas. En lugar de ello, deje espacio extra entre ellas.
- Cualquier explicación adicional para el entendimiento de la tabla debe suministrarse como una nota de pie de tabla.

## 13. Lista de las leyendas de las figuras

- Al final del texto del documento y en hoja aparte se hará una lista con el texto de las leyendas de las figuras.
- No deben utilizarse negrillas y se acentuarán tanto las minúsculas como las mayúsculas.
- Se recomienda que las leyendas sean informativas para que el lector no necesite consultar el texto para entender lo que muestra la figura.
- Se recomienda que las explicaciones o las descripciones que se consideran necesarias se escriban en la misma leyenda para evitar texto dentro de las figuras.

#### 14. Figuras

- Las figuras (dibujos, mapas, láminas, esquemas, gráficas de computador y fotografías) deben ser enviadas en archivos independientes, en formato digital gráfico de alta calidad (tiff, bmp, jpg o gif), con una resolución mínima de 300 dpi. De ser posible, se recomienda enviar archivos gráficos de tipo vectorial.
- El nombre del archivo correspondiente a la figura será el del primer autor seguido por el número de la figura, e.g. López fig.1.jpg.
- Las figuras serán enumeradas con números arábigos de acuerdo a su secuencia de aparición en el texto.
- Las figuras deben diseñarse teniendo en cuenta el formato de la página de la revista. Su tamaño original debe permitir una reducción del 50%, sin pérdida de claridad.
- Las figuras compuestas con varias imágenes, se enumeraran correlativamente. Ej. Figura 1a, 1b, 1c, etc. Los dibujos deben tener una escala comparativa para determinar el aumento.
- Use la misma clase de letra en todas las ilustraciones y siga el estilo de la revista.

#### 15. Unidades

Las medidas se deben expresar en unidades del sistema métrico decimal; se deja un espacio entre el número y la unidad de medida y no debe ir punto después de la abreviatura (15 m, 10 %, 20 °C, 7 kg). Las unidades de medidas abreviadas únicamente deben ser usadas cuando van precedidas de números. Los valores de salinidad deben expresarse sin unidades o símbolos.

#### 16. Fórmulas

- Las ecuaciones matemáticas deben escribirse como texto editable y no como imágenes.
- Dé el significado de todos los símbolos inmediatamente después de la ecuación en la que son usados por primera vez.
- Para fracciones simples use el símbolo “/” en lugar de la línea horizontal; por ejemplo:  $Sy/Xm$  en lugar de  $\frac{Sy}{Xm}$
- Las ecuaciones explícitamente referenciadas en el texto deben numerarse consecutivamente al lado derecho, entre paréntesis.
- El nivel de significancia estadística debe indicarse con la letra “p” minúscula y sin espacio entre el signo y el valor de significancia. Ejemplo:  $p < 0,05$ .

#### 17. Cifras decimales

En lo que respecta a las cifras decimales, se deberá usar coma (,) en el caso de las contribuciones redactadas en español y punto (.) en aquellas redactadas en inglés.

#### Lista de comprobación de preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos:

1. El manuscrito no ha sido publicado previamente, ni se ha presentado a otra revista.
2. El archivo está en formato OpenOffice, Microsoft Word, RTF, o WordPerfect.
3. El texto tiene interlineado doble; el tamaño de fuente es 12 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado y todas las tablas están al final del texto. Las figuras están en archivos aparte en los formatos apropiados.
4. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las instrucciones para los autores, que se pueden encontrar en Acerca de la revista. (Ver: <http://intropica.unimagdalena.edu.co>)
5. Se han añadido direcciones web para las referencias donde ha sido posible.

## Derechos de Autor



INTROPICA de la Universidad del Magdalena se encuentra bajo licencia Creative Commons 4.0 de Colombia: Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual. Cuando el autor cite el trabajo de otro o reproduzca una figura o una tabla de un libro o un artículo de revista, debe asegurarse que no está violando derechos de producción.

Aunque en general un autor puede reproducir tablas, fotografías u otras ilustraciones deberá obtener permiso del propietario de los derechos. Si el propietario de los derechos no es el autor del material citado o reproducido, se recomienda obtener también el permiso del autor. El material extraído de cartas y manuscritos no publicados no será aceptado a menos que se obtenga el permiso correspondiente. El autor siempre debe hacer un reconocimiento apropiado de cualquier material que le sea suministrado.

## Declaración de privacidad

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

---

## GUIDE FOR AUTHORS

---

**INTROPICA** is a scientific peer-reviewed journal published three times per year (from the year 2017) that provides a space for the publication of original and unpublished contributions that study and interpret, in an integrated way, tropical ecosystems and the environmental problems arising from the anthropogenic intervention on the territory.

INTROPICA is available for free on digital version (<http://intropica.unimagdalena.edu.co>) and in printed version (ISSN 1794-161X) and it is distributed to specialized libraries from academic, governmental and non-governmental institutions.

### Submission:

Authors should register to submit manuscripts online in the website <http://intropica.unimagdalena.edu.co> or can submit their electronic manuscripts by email to [revistaintropica@unimagdalena.edu.co](mailto:revistaintropica@unimagdalena.edu.co). Receipt of manuscripts is permanent. The submission must include figures-graphs in separate files, and a letter of approval signed by all the authors certifying its originality and that it has not been submitted or been published elsewhere. The letter must indicate the type of contribution (Scientific article, Review article, Reflection article or scientific note) and two potential reviewers with the contact information. While all contribution are subject to prior review, the responsibility for its content lies with the authors and not on the editors, editorial advisory committee or the University of Magdalena. The format of the submission letter can be downloaded from the Journal website.

### Types of contributions:

**a) Scientific and technological research article.** Corresponds to full results from studies on the topics addressed by the journal. Manuscripts should have a maximum of 30 pages, including tables and figures. The research paper should follow the following order: Title, Author (s), mailing address, Abstract and Keywords both in Spanish and English, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusions (optional), Acknowledgements (optional), References, table(s) with relevant legend (s), list of figures legend. Figures should be submitted in separate files in a graphical format (tif, gif, eps).

**b) Review article.** Refers to critical summaries of recent insights in specific research areas that provide systematic and substantial coverage of subjects, and point out research lines to follow. The maximum length of the manuscript is 40 pages, including tables and figures. They must contain at least 50 references. Review articles can be written in a free style, however they should include Abstract, Keywords, Acknowledgements (optional), and References.

**c) Reflection article.** It presents the author's perspective, based on scientific literature, as a contribution to the knowledge on topics published by the journal. Manuscripts must have a maximum of 30 pages, including tables and figures. It must include Abstract and Key words in Spanish and in English, Acknowledgements (optional), and References.

**d) Scientific note.** Includes brief descriptions of limited research, experimental procedures, and technical or applied operations. In any case, they must be fully documented with reference to the literature, and indicating the experimental procedures used. This type of manuscript should have a maximum of 10 pages, including tables and figures. The Scientific Note should not have subtitles, but must include Abstract and Keywords both in Spanish and English, Acknowledgements (optional), and References.

**e) Editorial.** Document written by the editor, an editorial board member or a guest researcher in the thematic domain guidelines of the journal. Corresponds to a short document with few references.

## Evaluation procedure/Peer review process

The editorial board will make a first evaluation of the manuscript, conceptualizing its relevance and adequacy and it will be submitted for evaluation by at least two specialists in the field (double-blind review process). In case of controversy between the evaluators, a third peer will be resorted. These specialists will act as reviewers of the manuscript, they may make recommendations or request clarification and will have a maximum of one month to issue a concept on the manuscript. Subsequently, the suggestions of the editors and reviewers will be communicated to the authors, who have a one month to respond the suggestions. After that deadline, they will be treated as newly submitted manuscripts. The editors will decide whether to accept the manuscript for publication or not. The editors can be supported by the editorial advisory committee, when considered pertinent.

Prior to the final printing of manuscripts accepted for publication, the editors will send to the corresponding author (principal author) so that they perform the revision of galley proof, in order to make corrections for typing errors only. Major changes or additions to the edited manuscript are not allowed.

In case plagiarism is proved or the copyright violation, publishers will order the cancellation of the editorial process. For further information refer to the editorial best practice guidelines:

<http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/about/editorialPolicies#custom-3>

## Manuscript format:

The text should be in Word or RTF format with a short name to identify the manuscript and the first author (eg Hifomicetos\_López.doc). You must use double-spaced and the lines numbered through the text (including tables), Times New Roman font, size 12 and 2 cm margins on all four sides. Manuscripts in Spanish or English are accepted. All pages must be numbered consecutively. Tables are included in word format at the end of the manuscript (not paste them as pictures). Figures should be included in a separate document.

Scientific names and Latin phrases should be italicized. Do not include underlined words or indentation. In case of citation of a specific taxon or lower level, you must cite the scientific name including the author. Both authors and publishers shall be guided by the rules governing biological nomenclature, as agreed in the “International Code of Botanical Nomenclature,” the “International Code of Nomenclature of Bacteria” and the “International Code of Zoological Nomenclature “. The author and year of publication of taxa are given only the first time the taxon is cited in the main text.

**1. Title.** Concise and informative. It must be provided in Spanish and English. Both the title of the manuscript and the titles of their main sections (rank one headings) should be capitalized and centrally placed. Rank two headings should be in lower-case and centrally placed. Ranked three should also be in lower-case but left-aligned. All titles and subtitles must be in boldface. In addition, the authors must provide an abbreviated title of maximum 80 characters including spaces.

**2. Name (s) of the Author (s).** Name each author in upper and lower case. For multi-authored papers, the main author’s name should be placed at first.

**3. Author (s) addresses.** Provide the authors’s affiliation, the full postal address of each affiliation, including phone numbers, and the e-mail address of the corresponding author.

**4. Abstract and “Resumen”.** The abstract must be written in Spanish (Summary) and English and should not exceed 300 words. The abstract should state briefly the objectives of the research, the experimental design (including sample

sizes), the principal results and major conclusions that can be drawn from the findings. References should not be included in the abstract and this should be written in a single paragraph. The Abstract should be a faithful translation of the “Resumen”.

**5. Keywords.** Immediately after the Summary and the Abstract, 3 to 6 keywords must be provided in Spanish and English, respectively, for indexing purposes.

**6. Introduction.** A revision of the updated references related to the work must be submitted (properly referenced sources), to support the hypothesis and show the objectives proposed.

**7. Materials and Methods.** The main materials must be included, in a clear and concise manner, as well as the methods used, so that another researcher can replicate the experiment. This section may be further divided into subsections, each with a concise subheading, as appropriate. Do not describe a method if it is already published; indicate the respective reference in that case and only relevant modifications should be described.

**8. Results.** This section should be clearly and concisely presented, including tables, figures, and statistical analysis, if necessary.

**9. Discussion.** The results should be contrasted with the background knowledge, highlighting the contribution of the article to the understanding of the subject addressed. The conclusions drawn from the work should be consistent and related to the results presented. A combined Results and Discussion section can be presented.

**10. Acknowledgements.** If deemed necessary by the authors, appreciation for financial contributions, advisories, donations or another type of collaboration relevant to the work may be included.

**11. References.** Any references cited in the text must be given in full and should be in alphabetical order according to the first author’s last name. Authors are responsible for the accuracy of references. INTROPICA follows the Harvard style citation system, so that we encourage you to consider the following guidelines:

- The manuscript should be carefully checked to ensure that the spelling of authors’ names and years are exactly the same in the text as in the reference list.
- The references cited in the text should refer to the name(s) of author(s) and publication year. For example, “Rodríguez (1998) found that ...” “A multinomial technique is described for estimating the variance associated with proportions (Kent and Lane, 2004)”.
- If a work has more than two authors, cite the first author’s name only, followed by “et al.” without italics. In the reference list, the names of all authors must be mentioned.
- More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by consecutive letters placed after the respective year of publication. If there are several works by the author (s) in the same year, it will be cited with a letter to identify the respective year (example: García et al., 1998a, b, c).
- Citations in the same sentence should be arranged chronologically. For example, “Biological indicators are widely used for environmental analysis (Platt, 1964; Arias and Pérez, 1980; Klimm et al., 2000).”
- The scientific journal titles should be complete, not abbreviated and italicized.
- The title of the references must retain the original language.
- “Unpublished results” and “personal communication” are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text.

Use the following format in the References section:

- Periodical publications or journals:

Pérez, R., Condit, R., Aguilar, S., Hernández, A. and Villareal, A. 1996. Inventario de la vegetación de la isla de Coiba, Panamá: Composición Florística. *Revista de Biología Tropical* 44: 31-40.

Cubides-Guerrero, P.A. and Ramírez-Franco, J.H. 2014. Adsorción de Cr VI sobre residuos de café. *Revista Mutis* 4(2): 18-25 <http://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/953/992>. Accessed January 2, 2015

- Books

Longhurst, A. and Pauly, D. 1987. *Ecology of tropical oceans*. Academic Press, San Diego.

- Book chapters:

Bucker, D. 1989. Histology. En: Austri, D., Editor. *Methods for the Microbiological Examination of Fish and Shellfish*. Wiley, New York.

- Thesis

Gil, A. 2000. Evolución bioquímica de los endosimbiontes en insectos asociados con el maíz en el sur de México. Doctoral thesis, Universidad Agrícola, Mérida, Yucatán, México.

- Websites

Alexander, J. and M.A. Tate. 2001. *Evaluando las Fuentes Electrónicas*. Widener University. URL: <http://www2.widener.edu/Wolfgram-MemorialLibrary/webevaluation/webeval.htm>. Accessed October 9, 2012.

## 12. Tables

- Do not embed “graphically designed” tables, but prepare these using the wordprocessor’s facility.
- Tables should be numbered according to their sequence in the text with Arabic numerals including a brief and descriptive caption at the top. It is recommended to use clear and informative table captions, avoiding consulting the text to understand the table.
- Each table should appear on a separate page at the end of the text and before the figure legends.
- Information showed in the tables should not appear repeatedly in the figures.
- The column headings should be brief but explanatory.
- Do not use bold fonts.
- Write in parentheses the standard abbreviations of measurement units.
- Do not use vertical lines to separate columns; instead, include extra spaces between them.
- Any additional explanation for the understanding of the table should be supplied as a table footnote.

## 13. Figure captions

- Include at the end of the text, in a separate page, a list with the figure captions.
- Do not use bold fonts.
- It is recommended that the legends be informative, so the reader does not need to search in the text what the figure shows.
- It is recommended that required explanations be written in the legend to prevent text inside the figures.

#### 14. Figures

- Figures (drawings, maps, films, photographs and computer graphics) should be sent in separate files, graphic high quality digital format (tiff, bmp, jpg or gif), with a minimum resolution of 300 dpi. If possible, we recommend sending vectorial graphics files.
- Figure files should be named using the first author name followed by the figure number. Example: López fig.1.jpg.
- Figures shall be numbered with Arabic numerals according to their sequence of appearance in the text.
- The original size of the figure should allow a reduction of 50% without loss of clarity.
- Composite figures with multiple images are listed consecutively. Example: Figure 1a, 1b, 1c, etc.
- Use the same kind of letter for all the illustrations and follow the style of the journal.

#### 15. Units

The measures must be expressed in units of the international system, a space between the number and the unit of measurement is allowed and must not use full stop following the abbreviation (15 m, 10 %, 20 °C, 7 kg). The abbreviation of units of measurements should be used only if they are preceded by numbers. Salinity values should be expressed without units or symbols.

#### 16. Formulas

- Mathematical equation must be written as a editable text and not as an images
- Provide the meaning of all symbols immediately after the equation in which they are first used.
- For simple fraction used the symbol “/” instead of the horizontal line, Example:  $Sy/Xm$  instead of  $\frac{Sy}{Xm}$
- Equations referenced in the text must be numbered on the right side in parenthesis.
- The statistical significance must be indicated with the letter “p” in lowercase and without no space between the sig and the value of significance

#### 17. Decimals

The authors must use a comma (,) in the case of contribution written in Spanish and dot (.) when the manuscript is submitted in English.

#### Submission preparation Checklist

As part of the submission process, authors are required to check the following items:

1. The manuscript has not been previously published, nor has been submitted to another journal.
2. The file is sent in Open Office, Microsoft Word, RTF, or WordPerfect format.
3. The text is double-spaced; the font size is 12 points; employs italics, rather than underlining and all tables are at the end of the text. Figures are in separate files in the appropriate formats.
4. The text follows to the style and bibliographic requirements outlined in the Author Guidelines which can be found in the Journal webpage. (See: <http://intropica.unimagdalena.edu.co>).
5. Web addresses have been added for the references if possible.

## Copyright Notice



INTROPICA by Universidad del Magdalena is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License. When the author cites the work of another author or uses a figure or table from a book or journal article, he/she must make sure that they are not violating production rights (Copyright).

Although in general an author may reproduce tables, photographs or other illustrations must obtain permission from the copyright holder. If the copyright owner is not the author of the quoted or reproduced material, it is also recommended to obtain permission from the author. The material extracted from unpublished letters and manuscripts will not be accepted unless a permit is obtained. The author should always make a proper acknowledgment of any material that will be provided to him/her.

## Privacy Statement

The names and email addresses entered in this journal will be used exclusively for the stated purposes of this journal and will not be available for any other purpose or used by another person.

---

## ÍNDICE PERIÓDICO POR VOLUMEN

---

### Volumen 12, No. 1, enero – junio 2017

#### EDITORIAL

Jean R. Linero-Cueto

11

#### ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

##### **CÓDIGOS DE BARRAS GENÉTICOS EN UNA ESPECIE DE *Paramacrobrotus* (TARDIGRADA: PARACHELA) EN SANTA MARTA, COLOMBIA**

GENETIC BARCODING IN A *Paramacrobrotus* SPECIES (TARDIGRADA: PARACHELA) IN SANTA MARTA, COLOMBIA  
*Martín Caicedo, Moisés Arquez, Lyda R. Castro y Sigmer Quiroga*

15

##### **EFFECTO DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE SEMILLAS DE *Annona muricata* (GUANÁBANA) PARA EL CONTROL DE LARVAS DE MOSQUITOS *Culex quinquefasciatus***

EFFECT OF ETHANOL EXTRACT SEED *Annona muricata* (SOURSOP) FOR CONTROL OF MOSQUITO LARVAE *Culex quinquefasciatus*

*Gloria Lizeth Parra-Rodríguez, Katherinne Cortes-Daza y Diego Tomas Corradine-Mora*

23

##### **EVALUACIÓN DE TRES PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN EDÁFICA EN EL CULTIVO DE LA CEBOLLA DE RAMA EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO ÓTUN**

EVALUATION OF THREE SOIL FERTILIZATION PROGRAMS IN SCALLION CROPS IN THE MID BASIN OF OTUN RIVER

*Manuel Francisco Polanco-Puerta y Susana Gómez-Posada*

31

##### **MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DE DOS LAGOS DE ALTA MONTAÑA EN EL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO**

BENTHIC MACROINVERTEBRATES OF TWO HIGH MOUNTAIN LAKES IN THE STATE OF MORELOS, MEXICO

*José Guadalupe Granados-Ramírez, Petra Barragán-Zaragoza, Roberto Trejo-Albarrán y Maribel Martínez-Alaníz*

41

#### NOTAS CIENTÍFICAS

##### **INFLUENCIA DEL CAUTIVERIO EN EL COMPORTAMIENTO Y EN LOS NIVELES DE CORTISOL DEL MONO TITI GRIS (*Saguinus leucopus*)**

INFLUENCE OF CAPTIVITY IN BEHAVIOR AND CORTISOL LEVELS OF TITI GREY MONKEY (*Saguinus leucopus*)

*Viviana Estefenn-Barbosa y Yeimi Yohana Gómez*

55

##### **CAPTURA, TRANSPORTE Y ACLIMATACIÓN DE JUVENILES Y ADULTOS DE RÓBALO *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792)**

CAPTURE, TRANSPORT AND ACCLIMATION OF JUVENILES AND ADULTS OF COMMON SNOOK *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792)

*Carmen Polonía-Rivera, Saeko Gaitán, Nicolás Chaparro-Muñoz y Natalia Villamizar*

61

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

- TAXOCENOSIS MOLLUSCA-CRUSTACEA EN RAÍCES DE *Rhizophora mangle*, DELTA DEL RÍO RANCHERÍA - LA GUAJIRA, COLOMBIA**  
MOLLUSCA-CRUSTACEA TAXOCENOSIS ON SUBMERGED ROOTS OF *Rhizophora mangle* IN THE ESTUARY OF THE RIVER RANCHERIA, LA GUAJIRA, COLOMBIAN CARIBBEAN  
Geomar Molina-Bolívar, Iris Agustina Jiménez-Pitre y Mario Lester Nava-Ferrer 87
- NEW RECORDS OF PREDATION ON EGGS OF *Bemisia tabaci* (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) BY *Chrysopodes (Chrysopodes) lineafrons* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) IN NORTHWESTERN ARGENTINA**  
NUEVOS REGISTROS SOBRE LA DEPREDACIÓN DE HUEVOS DE *Bemisia tabaci* (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) POR *Chrysopodes (Chrysopodes) lineafrons* (NEUROPTERA: CHRYSOPIDAE) EN EL NOROESTE DE LA ARGENTINA  
Eugenia Ortega, Cecilia A. Veggiani Aybar, Ana L. Ávila and Carmen Reguilón 101
- REGISTRO DE TERMITAS (ISOPTERA) ASOCIADAS A CULTIVOS DE MANGO (*Mangifera indica*) EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, COLOMBIA**  
RECORDS OF TERMITES (ISOPTERA) ASSOCIATED WITH MANGO CROPS (*Mangifera indica*) IN THE DEPARTMENT OF MAGDALENA, COLOMBIA  
Hafid Y. Hurtado, Diego A. Manga y Paula A. Sepúlveda-Cano 109
- EFFECTOS DE LA ENTRADA DE AGUA DEL RÍO MAGDALENA EN LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DEL FITOPLANCTON EN LA CIÉNAGA PAJARAL, CARIBE COLOMBIANO**  
EFFECTS OF THE WATER INLET FROM MAGDALENA RIVER ON THE PHYTOPLANKTONIC PRIMARY PRODUCTION IN THE CIÉNAGA PAJARAL, COLOMBIAN CARIBBEAN  
Carlos Augusto Hernández-Jiménez 117
- APROXIMACIÓN AL DESARROLLO DE HERRAMIENTAS PARA UN MANEJO COSTERO INTEGRADO: ANÁLISIS DE RIESGO DEL PUERTO DE LA PALOMA (URUGUAY)**  
RISK ASSESSMENT METHODOLOGICAL TRIAL: THE CASE OF LA PALOMA PORT, URUGUAY  
Martín García, Camila Longarete, Cristina Cancela, Martín Sanguinetti, Santiago Silveira, Daniel de Alava, Ingrid Roche y Hugo Inda 131
- ARTÍCULO DE REVISIÓN**
- APORTACIONES SOBRE EL CAMPO MAGNÉTICO: HISTORIA E INFLUENCIA EN SISTEMAS BIOLÓGICOS**  
CONTRIBUTIONS TO THE MAGNETIC FIELD: HISTORY AND INFLUENCE ON BIOLOGICAL SYSTEMS  
María Victoria Carbonell, Mercedes Flórez, Elvira Martínez y José Álvarez 143