

# SERVICIOS ECOSISTÉMICOS: UN ENFOQUE INTRODUCTORIO CON EXPERIENCIAS DEL OCCIDENTE COLOMBIANO

Compiladoras: Sandra P. Montenegro Gómez y Julialba Angel Osorio

e-ISBN 978-958-651-635-8



Grupos de Investigación  
CIAB, COBIDES, INYUMACIZO, GICAFAT, GIGASS, GIS



---

# **SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

## **Un enfoque introductorio con experiencias del occidente colombiano**

---

e-ISBN: 978-958-651-635-8

### **COMPILADORAS**

**Sandra P. Montenegro Gómez**  
**Julialba Angel Osorio**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD**

---

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Línea de Investigación: Desarrollo rural

**2019**





## **GRUPOS DE INVESTIGACIÓN**

**CIAB  
COBIDES  
INYUMACIZO  
GICAFAT  
GIGASS  
GIS**

---

**Colección: Desarrollo rural**  
**Serie: Discursos y prácticas del desarrollo**

---

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD**  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
Línea de Investigación: Desarrollo rural

**2019**



---

## UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

---

Rector

**Jaime Alberto Leal Afanador.**

Vicerrectora Académica y de Investigación

**Constanza Abadía García.**

Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

**Leonardo Yunda Perlaza.**

Vicerrector de Desarrollo Regional

y Proyección Comunitaria

**Leonardo Evementh Sánchez Torres.**

Vicerrector de Servicios a Aspirantes,

Estudiantes y Egresados

**Edgar Guillermo Rodríguez Díaz.**

Vicerrector de Relaciones Internacionales

**Luigi Humberto López Guzmán.**

Decana Escuela de Ciencias de la Salud

**Myriam Leonor Torres.**

Decana Escuela de Ciencias de la Educación

**Clara Esperanza Pedraza Goyeneche.**

Decana Escuela de Ciencias Jurídicas y Políticas

**Alba Luz Serrano Rubiano.**

Decana Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades

**Sandra Milena Morales Mantilla.**

Decano Escuela de Ciencias Básicas,

Tecnología e Ingeniería

**Claudio Camilo González Clavijo.**

Decana Escuela de Ciencias Agrícolas,

Pecuarías y del Medio Ambiente

**Julialba Ángel Osorio.**

Decana Escuela de Ciencias Administrativas,

Económicas, Contables y de Negocios

**Sandra Rocío Mondragón.**



---

## SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

**Un enfoque introductorio con experiencias  
del occidente colombiano**

---

Sandra Patricia Montenegro Gómez, Silva Eugenia Barrera Berdugo, Víctor Fabián Forero Ausique, Lina María Monsalve Castro, Francis Liliana Valencia Trujillo, Angélica Rocío Guzmán Lenis, Carlos Mario Duque Chaves, Diego Alejandro Pérez Giraldo, Kevin Alberto Berthi Mantilla, Ramón Antonio Mosquera Mena, Marta Elena Carmona Cadavid, Sandra Yamile Pulido Pulido, Marco Andrés Guevara Luna, Christian Felipe Valderrama López, Julián Andrés Castillo Vargas, José Camilo Torres Romero, Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego, Diana Marcela Fúquene, Andrea Yate-Segura, Mery Rocío Fonseca Lara, Juan Sebastián Chiriví Salomón, Juliana Moraes Boldini, Yolvi Prada Millán, Juan Carlos Padilla Osorio, Shirley Andrea Rodríguez Espinosa, Manuel Francisco Polanco Puerta, Martha Liliana Palomino Leiva, Cesar Augusto Victoria Arce, Martha Cecilia Vinasco Guzmán, Yenier Valencia Villegas.

Servicios ecosistémicos: un enfoque introductorio con experiencias del occidente colombiano / Montenegro Gómez, Sandra Patricia (Compilador) ... [et al.] -- [1.a. ed.]. Bogotá: Sello Editorial UNAD/2018. (Grupo de investigación CIAB – COBIDES – INYUMACIZO – GICAFAT – GIGASS – GIS. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente - ECAPMA)

333.7  
M777

ISBN: e-ISBN:978-958-651-635-8

1. RECURSOS NATURALES Y ENERGIA 2. MEDIOAMBIENTE 3. EDUCACIÓN AMBIENTAL I. Ángel Osorio, Julialba (Compilador) II. Forero Ausique, Víctor Fabian III. Monsalve Castro, Lina María IV. Valencia Trujillo, Francis Liliana V. Guzmán Lenis, Angélica Rocío VI. Duque Chaves, Carlos Mario [et. al]. VII. Título.

## Título de Libro

### **SERVICIOS ECOSISTÉMICOS: un enfoque introductorio con experiencias del occidente colombiano**

## Autores

Sandra Patricia Montenegro Gómez, Silva Eugenia Barrera Berdugo, Víctor Fabián Forero Ausique, Lina María Monsalve Castro, Francis Liliana Valencia Trujillo, Angélica Rocío Guzmán Lenis, Carlos Mario Duque Chaves, Diego Alejandro Pérez Giraldo, Kevin Alberto Berthi Mantilla, Ramón Antonio Mosquera Mena, Marta Elena Carmona Cadavid, Sandra Yamile Pulido Pulido, Shirley Andrea Rodríguez Espinosa, Marco Andrés Guevara Luna, Christian Felipe Valderrama López, Julián Andrés Castillo Vargas, José Camilo Torres Romero, Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego, Diana Marcela Fúquene, Andrea Yate-Segura, Mery Rocío Fonseca Lara, Juan Sebastián Chiriví Salomón, Juliana Moraes Boldini, Yolvi Prada Millán, Juan Carlos Padilla Osorio, Shirley Andrea Rodríguez Espinosa, Manuel Francisco Polanco Puerta, Martha Liliana Palomino Leiva, Cesar Augusto Victoria Arce, Martha Cecilia Vinasco Guzmán, Yenier Valencia Villegas.

## Grupos de Investigación

CIAB

COBIDES

INYUMACIZO

GICAFAT

GIGASS

GIS

e-ISBN: 978-958-651-635-8

## Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Fotografía de la portada tomada y cedida por **Jorge Hernandez**

©Editorial  
Sello Editorial UNAD  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Calle 14 Sur No. 14-23  
Bogotá D.C  
Enero de 2019



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons -  
Atribución – No comercial – Sin Derivar 4.0 internacional.  
[https://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](https://co.creativecommons.org/?page_id=13).

# Índice

---

Introducción.....	14
-------------------	----

## **CAPÍTULO 1** Introducción al estado del arte de los servicios ecosistémicos en la región occidental colombiana

Silvia Eugenia Barrera Berdugo, Sandra Patricia Montenegro Gómez, Víctor Fabián Forero Ausique, Sandra Yamile Pulido Pulido, Ramón Antonio Mosquera Mena, Martha Cecilia Vinasco Guzmán Martha Liliana, Palomino Leiva

**20**

<b>1.1.</b> Servicios ecosistémicos.....	20
<b>1.2.</b> Clasificación de los servicios ecosistémicos.....	22
<b>1.3.</b> Servicios ecosistémicos en Colombia.....	23
1.3.1. Servicios ecosistémicos en la costa Pacífica (Sistema marino-costero).....	24
1.3.2. Servicios ecosistémicos en la región Andina.....	25
1.3.3. Servicios ecosistémicos en el Chocó.....	26
<b>1.4.</b> Consideraciones finales.....	29
<b>1.5.</b> Estudio de caso.....	29
<b>1.6.</b> Evaluación del capítulo.....	30
Referencias.....	30

## » Servicios de Abastecimiento..... **34**

## **CAPÍTULO 2** Servicio ecosistémico de abastecimiento: alimentos

Lina María Monsalve Castro, Francis Liliana Valencia Trujillo, Angélica Rocío Guzmán Lenis, Carlos Mario Duque Chaves, Diego Alejandro Pérez Giraldo, Christian F. Valderrama L., Juliana Moraes Boldini, Manuel Francisco Polanco Puerta

**35**

<b>2.1.</b> Introducción.....	35
<b>2.2.</b> La producción de alimentos como servicio ecosistémico.....	36
2.2.1. El ordenamiento territorial y el mapeo de servicios ecosistémicos.....	41
2.2.2. Alimentos producto de actividades agrícolas.....	43
2.2.3. Alimentos producto de actividades pecuarias.....	44
<b>2.3.</b> Contexto agropecuario: El mercado de alimentos en Colombia.....	45

2.4. Políticas públicas y normatividad .....	47
2.5. Consideraciones finales .....	49
2.6. Estudio de caso: sostenibilidad y agricultura campesina en el corregimiento de San Isidro, municipio de Pradera, Valle del Cauca .....	50
2.6.1. Resumen de la investigación .....	50
2.7. Evaluación del capítulo .....	52
2.7.1. Actividades a realizar y cuestionario .....	52
Referencias .....	53

### **CAPÍTULO 3 Agua dulce: perspectiva de un servicio ecosistémico a partir de indicadores de sostenibilidad**

Carlos Mario Duque Chaves, Diego Alejandro Pérez Giraldo, Kevin Alberto Berthi Mantilla, Lina María Monsalve Castro, Víctor Fabián Forero Ausique, Diana Marcela Fúquene, Manuel Francisco Polanco Puerta

**57**

3.1. Introducción .....	57
3.2. Agua dulce y agricultura .....	58
3.3. Agua dulce y ganadería .....	60
3.4. Indicadores de sostenibilidad hídrica .....	61
3.5. Política de recurso hídrico .....	62
3.6. Consideraciones finales .....	65
3.7. Estudio de caso: Cuenca del Río Otún .....	66
3.8. Evaluación del capítulo .....	67
Referencias .....	67

### **CAPÍTULO 4 Recursos medicinales: la etnobotánica de plantas medicinales como alternativa de estudio de los servicios ecosistémicos en el occidente de Colombia**

Ramón Antonio Mosquera Mena, Marta Elena Carmona Cadavid, Sandra Yamile Pulido Pulido, Sandra Patricia Montenegro Gómez, Martha Cecilia Vinasco Guzmán, Juliana Moraes Boldini, Silvia Eugenia Barrera Berdugo

**70**

4.1. Introducción .....	70
4.2. La etnobotánica y la medicina tradicional .....	72
4.3. Historia de las plantas medicinales .....	73
4.4. Las plantas medicinales en el contexto nacional .....	74



4.5. Consideraciones finales .....	77
4.6. Estudio de caso: Estudio etnobotánico de plantas medicinales en 5 municipios de la zona de Urabá, Antioquia .....	77
4.7. Evaluación del capítulo .....	85
Referencias .....	86

## » Servicios de Regulación ..... 89

### CAPÍTULO 5 Clima local y calidad del aire

Víctor Fabián Forero Ausique, Marco Andrés Guevara Luna, Diego Alejandro Pérez Giraldo, Diana Marcela Fúquene, Juan Sebastián Chiriví Salomón, Christian Felipe Valderrama López, Julián Andrés Castillo Vargas

**90**

5.1. Introducción .....	90
5.2. Servicios de regulación y su función en la regulación del aire .....	91
5.2.1. ¿Qué es la calidad del aire y cómo influye en el clima local? .....	92
5.2.2. ¿Qué es la contaminación atmosférica y cuáles son sus efectos? .....	94
5.3. La importancia estratégica de los árboles y su función como reguladores del clima .....	98
5.4. Consideraciones finales .....	99
5.5. Estudio de caso: Valle de Aburrá .....	100
5.6. Evaluación del capítulo .....	103
Referencias .....	104

### CAPÍTULO 6 Secuestro y almacenamiento de carbono: capturas de carbono por pagos de servicios ambientales

Christian Felipe Valderrama López, Julián Andrés Castillo Vargas, José Camilo Torres Romero, Angélica Rocío Guzmán Lenis, Víctor Fabián Forero Ausique, Carlos Mario Duque Chaves, Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego, Sandra Patricia Montenegro Gómez

**106**

6.1. Introducción .....	106
6.2. ¿Qué es la captura de carbono? .....	107
6.3. ¿Cómo funcionan los servicios ambientales y la captura de carbono? .....	108
6.4. ¿Cómo funciona la captura de carbono? .....	108
6.5. Metodologías para estimar la captura de carbono .....	110

<b>6.6.</b> Comercio de los bonos de carbono .....	110
<b>6.7.</b> Experiencias de captura de carbono en el área agropecuaria, forestal y ambiental .....	111
<b>6.8.</b> Consideraciones finales .....	114
<b>6.9.</b> Estudio de caso: Proyecto forestal en la cuenca del río Chinchiná, para el desarrollo forestal sostenible y los servicios ambientales .....	114
6.9.1. Principales logros del proyecto .....	115
<b>6.10.</b> Evaluación del capítulo .....	115
Referencias .....	115

## **CAPÍTULO 7 Moderación de fenómenos extremos**

Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego, Víctor Fabián Forero Ausique, Christian Felipe Valderrama López, Sandra Patricia Montenegro Gómez, Diana Marcela Fúquene, Marco Andrés Guevara Luna, Martha Liliana Palomino Leiva

**118**

<b>7.1</b> Introducción .....	118
<b>7.2.</b> ¿Qué son los fenómenos climáticos extremos? .....	119
<b>7.3.</b> Organizaciones, programas y aplicaciones .....	121
<b>7.4.</b> Recursos informáticos para la modelación ambiental - SOFTWARE .....	140
<b>7.5.</b> La modelación ambiental al cumplimiento de la PNNC y la Gestión del Riesgo .....	141
<b>7.6.</b> Estudio de caso: a partir de un sistema de información de datos abiertos para uso de la comunidad científica .....	143
<b>7.7.</b> Evaluación del capítulo .....	144
Referencias .....	144

## **CAPÍTULO 8 Tratamiento de aguas residuales**

Diana Marcela Fúquene, Andrea Yate-Segura, Diego Alejandro Pérez, Carlos Mario Duque Chaves, Juan Sebastián Chiriví Salomón, Christian Felipe Valderrama López, Víctor Fabián Forero Ausique

**146**

<b>8.1.</b> Introducción .....	146
<b>8.2.</b> Seguridad hídrica .....	147
<b>8.3.</b> Aprovechamiento y regulación de agua de buena calidad .....	148
8.3.1. Índices de Calidad del Agua (ICA) .....	149

8.3.2. Índices de Contaminación (ICO) .....	152
<b>8.4. Sistemas de conducción de las aguas residuales</b> .....	<b>153</b>
8.4.1. Sistemas de conducción a flujo cerrado .....	153
8.4.2. Sistemas de conducción a flujo abierto .....	154
<b>8.5. Hidrodinámica de los sistemas de conducción de aguas residuales</b> .....	<b>155</b>
<b>8.6. Procesos unitarios para el tratamiento de aguas residuales</b> .....	<b>156</b>
8.6.1. Pretratamientos .....	156
8.6.2. Tratamientos primarios .....	158
8.6.3. Tratamientos secundarios .....	160
8.6.4. Tratamientos terciarios .....	161
<b>8.7. Consideraciones finales</b> .....	<b>163</b>
<b>8.8. Estudio de caso: contaminación por descargas de aguas residuales al río Consootá</b> .....	<b>164</b>
<b>8.9. Evaluación del capítulo</b> .....	<b>169</b>
Referencias .....	169

## **CAPÍTULO 9** Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo

Sandra Patricia Montenegro Gómez, Silvia Eugenia Barrera Berdugo, Juan  
Sebastián Chiriví Salomón, Sandra Yamile Pulido Pulido, Yulian Adalberto Sepúlveda  
Casadiego, Martha Cecilia Vinasco Guzmán, Martha Liliana Palomino Leiva

**172**

<b>9.1. Introducción</b> .....	<b>172</b>
<b>9.2. Servicios ecosistémicos y funciones del suelo</b> .....	<b>174</b>
9.2.1. ¿Qué es la erosión del suelo y cuáles son sus efectos? .....	177
9.2.2. ¿Cómo prevenir la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes? .....	178
9.2.3. ¿Cómo calcular las tasas de erosión? .....	180
<b>9.3. Efecto de la erosión y la fertilidad del suelo en las comunidades humanas</b> .....	<b>181</b>
<b>9.4. Consideraciones finales</b> .....	<b>182</b>
<b>9.5. Estudio de caso</b> .....	<b>183</b>
<b>9.6. Evaluación del capítulo</b> .....	<b>184</b>
Referencias .....	184

**CAPÍTULO 10 Polinización**

Mery Rocío Fonseca Lara, Juan Sebastián Chiriví Salomón, Angélica Rocío Guzmán  
Lenis, Yolvi Prada Millán, Juliana Moraes Boldini, Silvia Eugenia Barrera Berdugo **188**

<b>10.1.</b> Introducción .....	188
<b>10.2.</b> Polinización como servicio ecosistémico .....	189
<b>10.3.</b> Polinización y agricultura en Colombia .....	191
<b>10.4.</b> Polinización en ecosistemas urbanos en Colombia .....	193
<b>10.5.</b> ¿Qué problemáticas ambientales afectan el servicio ecosistémico de la polinización? .....	194
<b>10.6.</b> Consideraciones finales .....	195
<b>10.7.</b> Estudio de caso: abejas silvestres como polinizadoras en Colombia. Caso occidente .....	195
<b>10.8.</b> Evaluación del capítulo .....	196
Referencias .....	197

**CAPÍTULO 11 Control biológico**

Juliana Moraes Boldini, Yolvi Prada Millán, Juan Carlos Padilla Osorio, Sandra  
Patricia Montenegro Gómez, Mery Rocío Fonseca Lara, Ramón Antonio  
Mosquera Mena, Sandra Yamile Pulido Pulido **201**

<b>11.1.</b> Introducción .....	201
<b>11.2.</b> Tipos de control biológico .....	203
11.2.1. Control biológico clásico .....	203
11.2.2 Control biológico natural .....	203
11.2.3. Control biológico aplicado (CBA) .....	204
11.3. Enemigos naturales más utilizados en el control biológico .....	205
<b>11.4.</b> Control biológico en Manejo Integrado de Plagas (MIP) .....	206
<b>11.5.</b> Consideraciones finales .....	208
<b>11.6.</b> Estudio de caso .....	208
<b>11.7.</b> Evaluación del capítulo .....	210
Referencias .....	210

» **Servicios de apoyo** ..... 212

**CAPÍTULO 12 Hábitat para especies**

Sandra Yamile Pulido Pulido, Ramón Antonio Mosquera Mena, Shirley Andrea Rodríguez Espinosa, Mery Rocío Fonseca Lara, Sandra Patricia Montenegro Gómez, Francis Liliana Valencia Trujillo, Silvia Eugenia Barrera ..... **213**

12.1 Introducción .....	213
12.2. Servicios de apoyo dentro de los ecosistemas .....	214
12.3. Hábitat de especies definición, diversidad y sus características .....	215
12.4. Pérdida de hábitats causas y consecuencias .....	217
12.5. Consideraciones finales .....	221
12.6. Estudio de caso: aplicación del Enfoque Ecosistémico (EE) en el Corredor de Conservación Chocó – Manabí .....	223
12.7. Evaluación del capítulo .....	223

**CAPÍTULO 13 Conservación de la diversidad genética: un enfoque desde los recursos fitogenéticos**

Manuel Francisco Polanco Puerta, Sandra Patricia Montenegro Gómez, Juliana Moraes Boldini, Ramón Antonio Mosquera Mena, Martha Cecilia Vinasco Guzmán, Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego, Martha Liliana Palomino Leiva ..... **225**

13.1. Introducción .....	225
13.2. Biodiversidad en Colombia .....	227
13.3. Conservación de los recursos fitogenéticos .....	228
13.3.1. Algunas causales de la pérdida de biodiversidad vegetal .....	229
13.3.2. Agricultura y conservación de la diversidad en fitogenética .....	230
13.4. Consideraciones finales .....	231
13.5. Estudio de caso .....	231
13.6. Evaluación del capítulo .....	232
Referencias .....	232

» **Servicios culturales** ..... 235**CAPÍTULO 14 Los servicios ecosistémicos culturales**

Martha Liliana Palomino Leiva, Cesar Augusto Victoria Arce, Martha Cecilia Vinasco Guzmán, Sandra Patricia Montenegro Gómez, Víctor Fabián Forero Ausique, Christian Felipe Valderrama López, Silvia Eugenia Barrera Berdugo ..... **236**

14.1. Introducción .....	236
14.2. ¿Qué son los Servicios Ecosistémicos Culturales? .....	237
14.3. ¿Cuáles son los Servicios Ecosistémicos Culturales? .....	238
14.4. ¿Cuáles son los marcos conceptuales y metodológicos para el estudio de los Servicios Ecosistémicos Culturales? .....	241
14.5. Consideraciones finales .....	245
14.6. Estudio de caso: el Paisaje Cultural Cafetero de Colombia (PCCC) .....	245
14.7. Evaluación del capítulo .....	248
Referencias .....	248

**CAPÍTULO 15 Turismo: modelos de turismo sostenible comunitario**

Martha Cecilia Vinasco Guzmán, Martha Liliana Palomino Leiva, Yenier Valencia Villegas, Sandra Patricia Montenegro Gómez, Ramón Antonio Mosquera Mena, Mery Rocío Fonseca Lara, Andrea Yate-Segura ..... **251**

15.1. Introducción .....	251
15.2. Gestión de los recursos patrimoniales comunitarios .....	252
15.3 Modelos de gestión de recursos .....	253
15.4. Lineamientos de política de turismo comunitario .....	254
15.5. Modelos de turismo comunitario .....	256
15.6. Modelo de Agroturismo Sostenible .....	258
15.7. Consideraciones finales .....	261
15.8. Estudio de caso: validación del Modelo de Agroturismo Sostenible en Comunidades del Parque Natural Regional Cueva de los Guácharos, Puracé .....	261
15.9. Evaluación del capítulo .....	266
Referencias .....	266

# Introducción

---

Los grupos de investigación CIAB, COBIDES, INYUMACIZO, GICAFAT, GIGASS, GIS, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, entregan en este libro el acumulado de saberes adquiridos en diversas investigaciones de las ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente, que confluyen en el reconocimiento y protección de los servicios ecosistémicos.

Actualmente, de manera cotidiana y generalizada se habla sobre la protección de los servicios ecosistémicos; sin embargo, este tipo de conceptualización aún no se refleja en el comportamiento cotidiano de cada individuo, expresado en el respeto por los ecosistemas, como un todo del cual depende la vida universal, ligada al aire que respiramos, al suelo que pisamos, al agua que bebemos, a los alimentos que ingerimos, los medicamentos, las fibras, la inspiración y la recreación. Un todo que pareciera un tema que compete solo a los estudiosos de las ciencias agropecuarias y/o ambientales.

Con el interés de transmitir y apropiar diversas comunidades en temáticas asociadas a los servicios ecosistémicos, el presente libro entrega 15 capítulos que aproximarán al lector hacia la conceptualización y apropiación de conocimientos básicos, asociados a los diversos servicios ecosistémicos brindados generosamente por la naturaleza. El capítulo 1, *Introducción al estado del arte de los servicios ecosistémicos en la región occidental colombiana*, introduce al lector hacia la apropiación conceptual de los servicios ecosistémicos, contando experiencias relevantes del contexto colombiano. Los 14 capítulos posteriores también tendrán una fase introductoria, estudios de caso basados en experiencias del occidente colombiano y resultados de investigaciones realizadas por los autores. En estos capítulos, el lector encontrará información relevante sobre cuatro grupos de servicios ecosistémicos: abastecimiento, regulación, apoyo y culturales.

El grupo de servicios de abastecimiento hace referencia a beneficios materiales que la humanidad obtiene de los ecosistemas y que pueden ser comercializados. Estos servicios se abordan en los capítulos 2, 3 y 4, titulados respectivamente: *Alimentos*; *Agua dulce: perspectiva de un servicio ecosistémico a partir de indicadores de sostenibilidad y recursos medicinales* y, *La etnobotánica de plantas medicinales como alternativa de estudio de los servicios ecosistémicos en el occidente de Colombia*.

Los servicios de regulación son beneficios obtenidos a partir del mantenimiento de la calidad funcional de factores bióticos y abióticos y se abordan en los capítulos 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 titulados: *Clima local y calidad del aire*; *Secuestro y almacenamiento de carbono: capturas de carbono por pagos de servicios ambientales*; *Moderación de fenómenos extremos*; *Tratamiento de aguas residuales*; *Preservación de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo*; *Polinización y control biológico de plagas*, respectivamente.

Los servicios de apoyo, necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos, por ejemplo, *Hábitat para especies y Conservación de la diversidad genética*, son tratados en los capítulos 12 y 13, así titulados respectivamente; siendo el capítulo 13 abordado con un enfoque desde los recursos fitogenéticos.

Los servicios culturales, abordados al final del libro, corresponden a los capítulos 14, *Los servicios ecosistémicos culturales* y, 15, *Turismo: modelos de turismo sostenible y comunitario*, haciendo referencia a beneficios inmateriales que la humanidad obtiene de los ecosistemas, basados en la inspiración estética, la identidad cultural, el sentimiento de apego territorial y la experiencia espiritual relacionada con el entorno natural.

Este libro es el resultado del arduo trabajo consolidado por un equipo interdisciplinario que, a partir de la integración de saberes y resultados de investigación, logró construir un material de lenguaje sencillo que se espera sea de gran utilidad para diversos lectores interesados en apropiarse del conocimiento básico, orientado hacia la familiarización y el compromiso con la protección de los ecosistemas y sus servicios.

### **Sandra Patricia Montenegro Gómez**

Doctora en Ciencias, área de concentración Microbiología Agrícola, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Brasil. Magister en Ciencias Agrarias, énfasis Suelos, Especialista en Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira. Licenciada en Biología y Química, Universidad Santiago de Cali. Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD, Dosquebradas-Colombia. Investigador Grupo CIAB. [sandra.montenegro@unad.edu.co](mailto:sandra.montenegro@unad.edu.co)

### **Silvia Eugenia Barrera Berdugo**

Doctora en Ciencias, área de concentración Suelos y Nutrición de Plantas Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, Brasil. Magister en Ciencias, área de concentración Suelos y Nutrición de Plantas Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, Brasil. Bióloga, Universidad Industrial de Santander - UIS, Investigadora Universidad Industrial de Santander - UIS, Bucaramanga, Santander. Investigadora Grupo CIAB. [silviaebarrera@ciencias.uis.edu.co](mailto:silviaebarrera@ciencias.uis.edu.co)



### **Lina María Monsalve Castro**

Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en Producción Animal de la Universidad Nacional de Colombia, Zootecnista Universidad Santa Rosa de Cabal. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, CCAV Eje Cafetero, Dosquebradas Risaralda. Grupo CIAB [lina.monsalve@unad.edu.co](mailto:lina.monsalve@unad.edu.co)

### **Carlos Mario Duque Chaves**

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiental, Universidad de Manizales, Caldas. Master en Tecnología Ambiental, Universidad Internacional de Andalucía, España. Ingeniero Ambiental, Universidad Libre, Pereira, Risaralda. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, CCAV Eje Cafetero, Dosquebradas Risaralda. Grupo CIAB. [carlos.duque@unad.edu.co](mailto:carlos.duque@unad.edu.co)

### **Ramón Antonio Mosquera Mena**

Doctor en Desarrollo Sostenible, área de concentración Biodiversidad, Universidad Católica de Ávila, España. Magister en educación con énfasis en Educación Virtual, UNAD - Florida E.U, Especialista en pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo, UNAD - Colombia. Ingeniero Agroforestal, Universidad Tecnológica del Chocó. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Turbo Antioquia. Investigador Grupo CIAB. [ramon.mosquera@unad.edu.co](mailto:ramon.mosquera@unad.edu.co)

### **Victor Fabián Forero Ausique**

Magister en Gestión Ambiental, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Especialización en Gerencia de la Salud Ocupacional, Colegio Mayor de Nuestra señora del Rosario, Ingeniero Ambiental y Sanitario, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Sede Nacional José Celestino Mutis, Bogotá-Colombia. Investigador del Grupo COBIDES. [victor.forero@unad.edu.co](mailto:victor.forero@unad.edu.co)

### **Christian Felipe Valderrama López**

Magister en Higiene y Seguridad Industrial, Universidad Autónoma de Occidente, Magister en Gestión de la calidad, ambiente y prevención de riesgos laborales, Universidad Internacional de la Rioja (UNIR). Especialista en Gerencia para el manejo de los recursos naturales, Universidad Sergio Arboleda, Ingeniero Ambiental y Sanitario, Universidad de la Salle. Docente UNIVERSIDAD Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, CCAV Neiva, Investigador del Grupo COBIDES. [christian.valderrama@unad.edu.co](mailto:christian.valderrama@unad.edu.co)

### **Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego**

Magister en Master of Arts in Education Specialization in Online Education de la UNAD Florida Estados Unidos de América. Ingeniero de sistemas de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, CCAV Eje Cafetero. Grupo CIAB. [yulian.casadiego@unad.edu.co](mailto:yulian.casadiego@unad.edu.co)

### **Diana Marcela Fúquene**

Magister en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Especialista en ingeniería ambiental - área sanitaria. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Ingeniera química. Fundación Universidad de América, Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. [diana.fuquene@unad.edu.co](mailto:diana.fuquene@unad.edu.co)

### **Mery Rocío Fonseca Lara**

Candidata a Magister en Gestión Ambiental, Especialista en Ingeniería Ambiental. Pontificia Universidad Javeriana. Bióloga de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. [mery.fonseca@unad.edu.co](mailto:mery.fonseca@unad.edu.co)

### **Juliana Moraes Boldini**

Doctora en Genética y Mejoramiento de Plantas con énfasis en Fitomejoramiento, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Magister en Fitopatología con énfasis en Epidemiología, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil. Especialista en Poscosecha de frutas y hortalizas, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil. Ingeniera Agrónoma, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil. Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) CCAV Eje Cafetero, Dosquebradas, Risaralda. [juliana.moraes@unad.edu.co](mailto:juliana.moraes@unad.edu.co)

### **Yolvi Prada Millán**

Magister en Desarrollo sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Colombia. Ingeniera Agrónoma. Universidad de Cundinamarca, Colombia. Líder de Investigación de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. [yolvi.prada@unad.edu.co](mailto:yolvi.prada@unad.edu.co)

### **Shirley Andrea Rodríguez Espinosa**

Magister en Educación con énfasis en Educación Superior, UNAD - Florida E.U, Especialista en Educación Superior a Distancia, UNAD - Colombia, Ingeniero Forestal de la Universidad del Tolima. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. ECAPMA - Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - CEAD Palmira, investigadora del grupo de investigación Producción Sostenible. [shirley.rodriguez@unad.edu.co](mailto:shirley.rodriguez@unad.edu.co)

### **Manuel Francisco Polanco Puerta**

Doctor en Desarrollo Sostenible, Universidad Católica Santa Teresa de Ávila (España), Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira; Especialista Internacional en Fruticultura, Universidad Politécnica de Valencia (España); Ingeniero Agrónomo Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, CCAV Dosquebradas Risaralda. [manuel.polanco@unad.edu.co](mailto:manuel.polanco@unad.edu.co)

### **Martha Liliana Palomino Leiva**

Magister en Intervención Social en las Sociedades del Conocimiento de la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR). Magister en Educación Superior en Línea de la UNAD - Florida. Especialización en Gerencia Educativa con énfasis en Gestión de Proyectos de la Universidad de Manizales. Profesional en Psicóloga Social Comunitaria de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Docente Ocasional de la Escuela Ciencias Sociales, Artes y Humanidades - ECSAH. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. CCAV Eje Cafetero. Investigadora del Grupo de Investigación Social GIS. [martha.palomino@unad.edu.co](mailto:martha.palomino@unad.edu.co)

### **Yenier Valencia Villegas**

Especialista en educación superior a distancia de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Colombia. Ingeniero en mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira - UTP, Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD - CCAV Eje Cafetero. [yenier.valencia@unad.edu.co](mailto:yenier.valencia@unad.edu.co)

### **Marco Andrés Guevara Luna**

Magister en ingeniería. Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia en Bogotá. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD. [marco.guevara@unad.edu.co](mailto:marco.guevara@unad.edu.co)

### **Francis Liliana Valencia Trujillo**

Magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en producción animal tropical de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Zootecnista, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Docente Asistente de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA de la UNAD, Palmira, e investigadora del Grupo Producción Sostenible. francis.valencia@unad.edu.co

### **Angélica Rocío Guzmán Lenis**

Magíster en Desarrollo Rural de la Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Magíster en Administración de Empresas con especialidad en Dirección de Proyectos de la Universidad Viña del Mar, Chile. Bióloga de la Universidad Nacional de Colombia. Docente ocasional de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA de la UNAD, CEAD Acacías, e investigadora del Grupo COBIDES. angelica.guzman@unad.edu.co

### **Diego Alejandro Pérez Giraldo**

Magister Universitario en Eficiencia Energética y Cambio Climático de la Universidad Complutense de Madrid, Especialización en Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad Nacional, M.Sc. (c) en Tecnología Ambiental de la Universidad Internacional de Andalucía - Universidad de Huelva, M. Sc. (c) en Ingeniería - Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional. Docente Escuela Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA de la UNAD - CCAV Eje Cafetero. diego.perez@unad.edu.co

### **Kevin Alberto Berthi Mantilla**

Magister en Ingeniería con énfasis en ingeniería Ambiental, Universidad de Antioquia. Ingeniero Sanitario, Universidad de Antioquia. Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA – Medellín, Antioquia – Colombia. Investigador, Grupo CIAB. kevin.berthi@unad.edu.co

### **Marta Elena Carmona Cadavid**

Magister en Educación con énfasis en Educación virtual, UNAD - Florida E.U, Especialista en pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo, UNAD - Colombia, Químico Farmacéutico de la Universidad de Antioquia. Docente de ECISALUD. Grupo TECNOSALUD. marta.carmona@unad.edu.co

### **Sandra Yamilé Pulido Pulido**

Doctora en Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Magister en Ciencias Biológicas Universidad del Valle Cali Colombia, Ingeniera Agrónoma, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja Colombia. Investigadora del grupo CIAB docente ocasional UNAD. sandra.pulido@unad.edu.co

### **Julián Andrés Castillo Vargas**

Doctor en Zootecnia, con énfasis en Nutrición, Estadística y Bioquímica Aplicadas a la Producción Animal, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Brasil. Magister en Producción Animal, con énfasis en Nutrición y Bioquímica Animal, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. Químico, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA – Medellín, Antioquia – Colombia. Investigador, Grupo CIAB. andres.castillo@unad.edu.co

### **José Camilo Torres Romero**

Doctor en Bioquímica de la Universidade Federal do Ceará - Brasil. Magister en Ciencias - Bioquímica de la Universidad Nacional de Colombia. Licenciado en Biología. Universidad Pedagógica Nacional, Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Grupo de investigación CIAB. jose.torres@unad.edu.co

### **Andrea Yate Segura**

Magister en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniería Química, Fundación Universidad de América. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Grupo de investigación GEAA [andrea.yate@unad.edu.co](mailto:andrea.yate@unad.edu.co)

### **Juan Carlos Padilla Osorio**

Especialista en pedagogía. Ingeniero Agrónomo. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. UNAD CCAV Eje Cafetero [juan.padilla@unad.edu.co](mailto:juan.padilla@unad.edu.co)

### **Cesar Augusto Victoria Arce**

Licenciado en Filosofía y Psicólogo de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Grupo de Investigación Social – GIS [cesar.victoria@unad.edu.co](mailto:cesar.victoria@unad.edu.co)

### **Martha Cecilia Vinasco Guzmán**

Doctora en Desarrollo Sostenible de la Universidad Católica de Ávila. Magister en Administración de Organizaciones de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Especialista en Gerencia Estratégica de Mercadeo de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Ingeniera Química de la Universidad Nacional de Colombia. Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. UNAD – CCAV Pitalito. Investigadora del grupo Inyumacizo. [marta.vinasco@unad.edu.co](mailto:marta.vinasco@unad.edu.co)

### **Juan S. Chiriví-Salomón**

Magister en Ciencias Biológicas, área Microbiología, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Ingeniero químico y microbiólogo, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Líder de grupo de investigación en Conservación, Bioprospección y Desarrollo Sostenible –COBIDES, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Sede Nacional José Celestino Mutis, Bogotá-Colombia. [juan.chirivi@unad.edu.co](mailto:juan.chirivi@unad.edu.co)



# CAPÍTULO 1

---

## INTRODUCCIÓN AL ESTADO DEL ARTE DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA REGIÓN OCCIDENTAL COLOMBIANA

Silvia Eugenia Barrera Berdugo<sup>1</sup>  
Sandra Patricia Montenegro Gómez  
Víctor Fabián Forero Ausique  
Sandra Yamile Pulido Pulido  
Ramón Antonio Mosquera Mena  
Martha Cecilia Vinasco Guzmán<sup>2</sup>  
Martha Liliana Palomino Leiva<sup>3</sup>

### 1.1. Servicios ecosistémicos

La interacción dinámica entre la sociedad y los ecosistemas da lugar a lo que se conoce como servicios ecosistémicos (Balvanera *et al.*, 2009), los cuales son beneficios directos o indirectos que las personas obtienen de los ecosistemas, ya sean estos económicos o culturales y que se ven representados en un incremento de la calidad de vida (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Sin embargo, es común ver que la provisión de estos servicios sea ignorada al tomar decisiones que afectan los sistemas naturales, llevando al deterioro del medio ambiente y a un empobrecimiento de la sociedad (Polasky, 2008). Las decisiones tomadas por las personas impactan de tal forma los ecosistemas, que modifican sus estructuras y funciones generando cambios en la provisión de los servicios ecosistémicos, afectando el bienestar humano (Daily *et al.*, 2009). La pérdida de servicios ecosistémicos que dependen de la biodiversidad podrían evitar el acceso a los productos básicos para una vida saludable, al resaltar la desigualdad en los sectores más vulnerables de la sociedad (Díaz *et al.*, 2006).

---

<sup>1</sup> Investigadora Universidad Industrial de Santander, Correo electrónico: silviaebarrera@ciencias.uis.edu.co

<sup>2</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Correo electrónico: sandra.montenegro@unad.edu.co, victor.forero@unad.edu.co

<sup>3</sup> Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades.

Si un ecosistema es la unidad funcional básica de la naturaleza, donde interactúan el componente biótico, conformado por microorganismos, plantas y animales, y el componente abiótico, conformado por la atmósfera, el agua, suelos, nutrientes, entre otros (Balvanera *et al.*, 2009), los servicios ecosistémicos son el resultado de un complejo proceso de interacciones entre estos factores, bióticos y abióticos, generando múltiples funciones ecológicas que se identifican como beneficios tangibles que generan bienestar, como por ejemplo el alimento o la producción de madera (de Groot *et al.*, 2002; MADS & Instituto Humboldt, 2017). Integrando los servicios que prestan los ecosistemas junto con la toma de decisiones de los actores involucrados en la conservación de la biodiversidad, tenemos que es importante comprender y cuantificar la forma en que los ecosistemas proporcionan los servicios, valorar esos servicios, incorporar los servicios ecosistémicos en la planeación y el manejo de la conservación y financiar el uso sostenible de los servicios que prestan los ecosistemas (de Groot *et al.*, 2002; Polasky, 2008; Caro & Torres, 2015). Un aspecto importante sobre el estudio de los servicios ecosistémicos es que muchas personas se benefician de ellos sin darse cuenta, esto se debe al poco conocimiento de cómo se producen, mantienen y se ven afectados por los cambios abióticos y cómo se relacionan con los niveles de biodiversidad (Fisher & Christie, 2010).

Desde las ciencias naturales, sociales y ambientales se ha venido observando un incremento en el interés por los servicios ecosistémicos con el fin de aplicarlos en decisiones tanto políticas como de gestión ambiental (Troy & Wilson, 2006). Por lo tanto, la integración desde un enfoque ecológico, social y económico a través del concepto de servicios ecosistémicos, nos permite entender mejor el vínculo entre las sociedades que demandan el servicio para su bienestar y el funcionamiento del ecosistema como proveedor del servicio (Caro & Torres, 2015). Por medio de una valoración sociocultural pueden identificarse los beneficiarios de los servicios ecosistémicos, la importancia que las personas le dan a los servicios ecosistémicos y quiénes habitan los espacios que los proveen (Cowling *et al.*, 2008). Si se reconoce y se valora a los ecosistemas como activos proveedores de servicios a la población, buscando asegurar que su contribución al bienestar sea registrada por indicadores económicos, la contabilización de los ecosistemas se puede ofrecer junto con información geográfica y datos socio-económicos, como un marco útil para coleccionar y analizar datos que apoyen la evaluación en la producción y uso de sus servicios (Tamayo, 2014).

## 1.2. Clasificación de los servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos se clasifican en cuatro categorías (FAO, s.f.; CIFOR, 2006; Balvanera *et al.*, 2009; IDEAM, 2011; Instituto Humboldt, 2014; Rincón-Ruíz *et al.*, 2014; Alcaldía de Medellín, 2015; Caro & Torres, 2015), que son:

- **Servicios de abastecimiento o provisión:** Cuyos bienes y materiales son obtenidos directamente de los ecosistemas, proporcionando el sustento básico de las personas. Ejemplos de servicios de abastecimiento son los alimentos, el agua, la madera, las fibras, el suelo, los recursos genéticos, etc. (Balvanera *et al.*, 2009; Rincón-Ruíz *et al.*, 2014; Alcaldía de Medellín, 2015).
- **Servicios de regulación:** Cuyos beneficios resultan de la regulación de procesos ambientales, donde las personas realizan sus actividades productivas. Como por ejemplo, la regulación de la erosión del suelo, la purificación del agua, la regulación climática, el mantenimiento de la calidad del agua o la regulación de los vectores de enfermedades, entre otros. (Balvanera *et al.*, 2009; Rincón-Ruíz *et al.*, 2014; Alcaldía de Medellín, 2015).
- **Servicios de apoyo:** Cuyos procesos y funciones proveen otros servicios ecosistémicos, ocurren debido a procesos ecológicos que mantienen el adecuado funcionamiento del ecosistema. En esta categoría se encuentran la producción primaria, el ciclo de nutrientes, el secuestro de carbono y el mantenimiento de la biodiversidad (Balvanera *et al.*, 2009; Rincón-Ruíz *et al.*, 2014; Alcaldía de Medellín, 2015).
- **Servicios culturales:** beneficios no materiales como mantenimiento de lo que sirve como fuente de inspiración, cultura, espiritualidad y la comercialización en forma de ecoturismo. (Balvanera *et al.*, 2009; Rincón-Ruíz *et al.*, 2014; Alcaldía de Medellín, 2015).

Las interacciones entre los servicios ecosistémicos son consideradas como “*trade-offs*” y sinergias. En el primer caso la promoción de un servicio reduce la oferta del otro, puede ser en el tiempo, donde ahora se obtienen los beneficios que acarrearán costos en el futuro, y espaciales, beneficios en un lugar acarrearán costos en otro; mientras que en el segundo caso el aumento en el suministro de uno de los servicios implica el aumento del otro u otros (Rincón-Ruíz *et al.*, 2014; Caro & Torres, 2015). A partir de factores tales como la condición de la biodiversidad,

el agua, el cambio en la cobertura vegetal, la sostenibilidad, la agricultura, entre otros, viene la información de cómo se gestionan y evalúan los servicios ecosistémicos de buena calidad para la sociedad (Balvanera *et al.*, 2014).

En las áreas urbanas y suburbanas, la seguridad alimentaria, la prevención y mitigación de desastres, la provisión y regulación del agua, la calidad del aire, el bienestar mental y la recreación, son servicios esenciales para la sostenibilidad social, económica y ambiental, por lo que la pérdida y la transformación de los ecosistemas naturales y la biodiversidad, causada por la creciente expansión de estas áreas es preocupante considerando lo que representan para la calidad de vida de los habitantes (MADS & Instituto Humboldt, 2017).

### **1.3. Servicios ecosistémicos en Colombia**

Desde finales de 2013 el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), han asumido el liderazgo de la red de servicios ecosistémicos (ESP, del inglés Ecosystem Services Partnership) en la región de Latinoamérica y el Caribe y han creado una interfaz ciencia-política, con el objetivo de estimular o buscar espacios para el debate, la reflexión y la cooperación sobre la investigación y el manejo de los servicios ecosistémicos en la región, como estrategia hacia el desarrollo sostenible, el uso razonable de recursos y una gobernanza incluyente, legítima y justa (Instituto Humboldt, 2014).

En la región, Colombia es un país con una gran riqueza natural que, por sus características biogeográficas y su ubicación, brinda una extensa gama de bienes y servicios ecosistémicos que deben ser preservados ya que representan importantes beneficios económicos para la sociedad. Entiéndase estos bienes ambientales, como recursos naturales críticos para el bienestar y el desarrollo de cualquier nación, los cuales se categorizan en renovables y no renovables, a los primeros hacen parte los seres vivos, a los segundos la materia inerte como minerales, energía solar, etcétera (Pérez-Torres, 2016).

El país está dividido en dos regiones marino-costeras que son las zonas del océano pacífico y del mar caribe y cuatro ecorregiones terrestres las cuales son la región Andina, el Chocó biogeográfico, la Amazonía y la Orinoquía (Hernández *et al.*, 1992). Se cuenta con una oferta de agua de más de 2 billones de metros cúbicos



anuales, entre el 10 y el 14% de la biodiversidad mundial y más del 50% del territorio colombiano está cubierto de bosques naturales (MAVDT, 2008). Cada región ofrece a partir de sus ecosistemas estratégicos, ya sean manglares, páramos, zonas secas, humedales, llanuras, etc., una serie de bienes y servicios ecosistémicos a los diferentes sectores productivos del país: el sector agropecuario, pesquero, generador de electricidad e infraestructuras, forestal y turístico (MADS, 2014; MADS, 2018). (Tabla 1.1), Del mismo modo, las comunidades asentadas alrededor de estos ecosistemas estratégicos se benefician de un programa de generación de ingresos (Díaz, 2014).

Por su parte, el sector de la agroindustria considerado como un soporte de desarrollo requiere de un manejo equilibrado, ya que la respuesta de los ecosistemas a la intensificación agrícola puede reflejarse en el desbalanceamiento de los servicios ecosistémicos de regulación y culturales, a través de acumulación de procesos de transformación en la escala del paisaje y por cambios en el territorio de comunidades humanas, por lo que se ha propuesto un modelo de adaptación de la agricultura al sistema ecológico a través de un equilibrio tanto económico como ecológico (Andrade *et al.*, 2013). Sin embargo, este patrimonio ha venido sufriendo un proceso de deterioro debido al crecimiento poblacional y a las actividades económicas que generan la degradación de los ecosistemas (Polasky, 2008). Ejemplos de degradación de los servicios ecosistémicos son los casos de reducción en la calidad y cantidad del agua para uso humano y productivo, convertir bosques, selvas y pastizales naturales en sistemas agropecuarios para la producción de alimentos (Balvanera *et al.*, 2009; Mora-Fernández & Peñuela-Rico, 2013a), reducción de la vida útil de hidroeléctricas por procesos de sedimentación, pérdida de especies únicas en el mundo, limitación de la navegabilidad de ríos como el Magdalena, aumento en los índices de morbilidad y mortalidad asociados a contaminación hídrica y atmosférica, inundaciones, sequías y desastres naturales, todos ellos significando grandes pérdidas económicas (MAVDT, 2008).

En lo que se refiere a los servicios ecosistémicos proporcionados por los sistemas naturales colombianos, nos referiremos a aquellos que cuentan con más información disponible en la región occidental de Colombia, resumidos en la tabla 1.1.

### **1.3.1. Servicios ecosistémicos en la costa Pacífica (Sistema marino-costero)**

Entre los servicios que presta este ecosistema está la purificación el agua del mar transformando materiales tóxicos debido a la comunidad microbiana que

alberga, fija CO<sub>2</sub> del ambiente (Carbal-Herrera, 2009), depura el aire que se desplaza hacia suelos agrícolas, filtrándolo de la sal que acarrearán las brisas marinas, así como la desalinización del suelo a nivel subterráneo a través del intercambio de agua (IIAP, 2013). El 80% de las especies marinas dependen del manglar para su subsistencia, por lo que su destrucción incide de manera negativa en la pesca artesanal, a la que se dedican miles de familias (IIAP, 2013). Es una barrera física natural contra las mareas, ciclones y huracanes reduciendo el impacto en las costas, sirve como estabilizador de la línea costera ayudando en el control de erosión y prevención de inundaciones (UNEP-WCMC, 2005). Muchas comunidades costeras se benefician económicamente del manglar obteniendo además de la pesca, alcohol, papel para envolver cigarrillos, colorantes, fibras sintéticas, incienso, palos de fósforos, pegamentos etc. (IIAP, 2013; MADS, 2018). En el año 2002, el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible formuló el Programa Nacional para el Uso Sostenible, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Manglar (PNM) con el objetivo de hacer, junto con las comunidades, uso sostenible del ecosistema y asegurar el manejo eficiente de los recursos que proporciona (MADS, 2018). Áreas naturales como el ecosistema de manglar se han visto afectadas negativamente por actividades extractivas como la minería, así como por actividades agrícolas y pecuarias (Peña & Palacios, 2013), por la ampliación de la frontera urbana, la deficiente planeación de las obras de estructura vial y la contaminación y la tala indiscriminada del mangle, que han llevado a una significativa destrucción y disminución de la biodiversidad (MADS, 2018).

Los humedales costeros en la región pacífica se caracterizan por su elevada productividad, además de proporcionar numerosos servicios, tales como fuente de alimento, materia prima para distintos usos, agua para el consumo doméstico, medio de transporte, mitigación de los efectos del cambio global y turismo y recreación (IIAP, 2013). El humedal Concepción en el Pacífico, presenta una alta riqueza íctica que es de gran importancia para las comunidades aledañas debido a que sustenta la alimentación familiar y el comercio, aportando proteína animal consumida por la población y necesaria para el bienestar nutricional (IIAP, 2013).

### **1.3.2. Servicios ecosistémicos en la región Andina**

Los páramos son importantes ecosistemas ya que es allí donde nacen los principales recursos hídricos del mundo, debido a los grandes volúmenes de agua que se pueden retener en el suelo (MADS, 2018). La recuperación y preservación de los páramos, junto con otros ecosistemas hidrobiológicos, son importantes como

abastecedores de recursos hídricos de la región urbano-rural en Santander, además de tener un uso condicionado para la pesca y el ecoturismo (CDMB, 2011). Los páramos son ecosistemas estratégicos, ya que además de su gran importancia en la provisión y regulación hídrica de las ciudades cercanas, también provee otros servicios ecosistémicos como captura de carbono y recreación (FEDESARROLLO, 2013). Las bajas tasas de mineralización de la materia orgánica debido a las bajas temperaturas y el reciclaje de nutrientes, favorecen una continua absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico, fijándolo en el suelo por largos periodos de tiempo (FEDESARROLLO, 2013). Debido también a su belleza paisajística, los páramos reciben un importante flujo de visitantes por año (FEDESARROLLO, 2013). Las partes más altas del ecosistema, son muy utilizadas para la producción agrícola, especialmente para la siembra de cultivos de papa y cebolla (MADS, 2014).

El Macizo Colombiano, considerado la estrella fluvial del país, es un punto montañoso que da origen a una gran cantidad de fuentes hídricas que benefician la región Caribe (Ríos Cauca y Magdalena), la región Pacífica (Río Patía) y la cuenca Amazónica (Ríos Putumayo y Caquetá) (IDEAM, 1999). La fuente básica de suministro de agua en la zona influenciada por el Macizo Colombiano se da a partir del recurso hídrico superficial, que suple las necesidades de consumo humano a través del abastecimiento a acueductos municipales. El aprovechamiento del agua con fines agrícolas pecuarios e industriales es alto en departamentos bajo la influencia de esta zona, por ejemplo, Cauca, Huila, Nariño, Putumayo, Tolima, entre otros (IDEAM, 1999).

Los bosques andinos ofrecen bienes y servicios de los que se benefician aproximadamente unas 40 millones de personas, debido a su alta producción de agua, regulación hídrica y del clima y a que disminuyen o previenen la sedimentación, atenúan las inundaciones y las sequías y mitigan la producción de gases efecto invernadero ([www.bosquesandinos.org](http://www.bosquesandinos.org), 2015). La mitigación del cambio climático se observa a través de los gradientes de elevación cubiertos por los bosques andinos, con una importante contribución de carbono orgánico en los suelos (Girardin *et al.* 2014).

### **1.3.3. Servicios ecosistémicos en el Chocó**

El Chocó Biogeográfico ofrece varios corredores biológicos que albergan una gran diversidad de flora y fauna endémicas y amenazadas, así como rutas de aves migratorias (IIAP, 2014). Uno de estos es el corredor biológico Torrá-Inglés-Galápagos,

que ayuda a mantener servicios ecosistémicos en áreas aledañas, entre ellos servicios de agua para numerosos acueductos municipales, regulación del clima y la humedad que garantiza las condiciones ambientales óptimas para la producción cafetera del norte del Valle del Cauca (MAVDT & IIAP, 2010). En el corredor biológico Complejos Cenagosos del Medio Atrato, se encuentran localizados los humedales del medio Atrato que hacen parte del segundo sistema de ciénagas más grande de Colombia (Mojica *et al.*, 2002) y representan el diario sustento de las comunidades aledañas por medio de actividades como la agricultura, la pesca, la caza y la extracción de madera (MAVDT & IIAP, 2010).

Las fuentes hídricas en el Chocó Biogeográfico son abundantes y muchas veces representan la única vía de transporte o comunicación con otras localidades para las comunidades allí asentadas, urbanas o rurales, por lo que la estructura ecológica principal en esta región debe incluir áreas actuales y potenciales que cumplan con la provisión de movilidad y transporte, como corredores viales, y que a su vez aseguren el funcionamiento del ecosistema (IIAP, 2014). Bajo este criterio de provisión se constituyó una red con 22 importantes fuentes hídricas distribuidas por el departamento y que logran que a través de su conexión natural se asocien áreas de interés biológico, productivo y cultural (MAVDT & IIAP, 2010). Varios de los ríos que hacen parte de esta red hídrica de transporte en la región también prestan servicios básicos a la población humana ya que proporcionan agua para sus prácticas productivas como la agricultura, avicultura y han llegado a ser explotados para la obtención de energía eléctrica en represas. (MAVDT & IIAP, 2010)

**Tabla 1.1.** Servicios ecosistémicos asociados con algunos modos de vida de comunidades humanas.

Categoría de Servicios Ecosistémicos y Modos de Vida Asociados					
Ecorregión	Grupo humano	Soporte	Regulación	Provisión	Culturales
<b>Pacífico: Marino-Costero</b>	Afrodescendientes en zonas de la selva húmeda tropical	Hábitat para especies pesqueras, provisión de suelo para agricultura	Reg. climática-hidrológica; control erosión-remociones en masa	Proteína a partir de especies pesqueras; agua	Identidad cultural asociada al bosque húmedo y los ecosistemas marino-costeros
	Grupos de la cultura anfibia de zonas ribereñas de la cuenca del Magdalena	Hábitat para especies pesqueras	Reg. climática-hidrológica ecosistemas páramo; control de erosión-remociones en masa-bosque andino	Proteína a partir de especies pesqueras	Identidad cultural asociada a los pulsos de inundación del río
<b>Andina</b>	Grupos campesinos asociados al cultivo del café	Formación de suelo-retención de humedad; ciclado de nutrientes, polinización		Agua	Cultura cafetera, turismo
	Grupo campesinos región alto andina	Formación de suelo-retención de humedad; ciclado de nutrientes, polinización		Semillas, agua, leña	Identidad cultural asociada a los ambientes de páramo de alta montaña
<b>Chocó</b>	Colonos campesinos	Formación de suelo-retención de humedad; ciclado de nutrientes, polinización	Reg. climática-hidrológica; control erosión-remociones en masa; protección aumento del nivel del mar por el manglar	Madera; leña; productos no maderables del bosque	Turismo en belleza escénica y procesos ecológicos
	Comunidades indígenas	Formación de suelo-retención de humedad; ciclado de nutrientes, polinización	Reg. climática-bosque	Proteína especies pesqueras; agua	Identidad cultural asociada al bosque húmedo

Fuente: V Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia, 2014.

## 1.4. Consideraciones finales

Aunque Colombia tenga una política que reconozca la importancia de la gestión de la biodiversidad como base para lograr el flujo de los servicios ecosistémicos y cuente con una metodología de valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos vinculados a aspectos ecológicos, sociales y culturales (Rincón-Ruiz *et al.*, 2014), se observan debilidades en la gestión sostenible de sistemas naturales que tienen que ver con la interpretación y apropiación del concepto a un contexto, escala y tiempo determinados (Caro & Torres, 2015). El bajo presupuesto asignado, las políticas sectoriales contradictorias y la falta de estudios, estrategias y políticas ambientales para gestionar la diversidad y los servicios ecosistémicos, como fue mencionado anteriormente, están aún en proceso de construcción y adopción (MADS, 2014). Pensando en el desarrollo del país, se puede motivar a personas y empresas para que comiencen a implementar prácticas de uso y producción enfocadas a la conservación de la biodiversidad y que sea reconocido e incorporado el pago por los servicios ambientales (PSA), haciendo una correcta valoración de los servicios ecosistémicos, así como de los incentivos por estos servicios en la economía (Mora-Fernández & Peñuela-Rico, 2013b).

## 1.5. Estudio de caso

En Colombia existen 113 grupos de investigación reconocidos por Colciencias trabajando en temas relacionados con biodiversidad y servicios ecosistémicos, lo que constituye un activo muy importante en la gestión del conocimiento pertinente para la toma de las decisiones (Alcaldía de Medellín, 2015). En el ámbito académico y la toma de decisiones, el auge del concepto de servicios ecosistémicos ha podido definir nuevas estrategias de investigación relacionadas a la gestión de los sistemas naturales y la biodiversidad (Restrepo, 2014), que le ofrecen a la sociedad numerosos beneficios que son intercambiados por sistemas de producción intensiva de bienes (Balvanera *et al.*, 2009). El proyecto Colombia Bio, por medio de Colciencias y junto con el programa Colombia científica, que tiene como objetivo “fomentar el conocimiento, conservación, manejo y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad en los territorios Colombianos”, busca a través del conocimiento científico de la biodiversidad, comprender usos y aplicaciones, así como tomar decisiones de orden económico y social en alianza con instituciones de Orden Nacional y Departamental, pensando en construir estrategias que integren la biodiversidad y los servicios que presta para el aprovechamiento de los mismos.

La importancia de la biodiversidad como soporte y requisito para mantener la capacidad de nuestros ecosistemas y que estos puedan proveer bienes y servicios (Peña & Palacio, 2013), radica en que es necesario que se mantenga como premisa el “Manejo Sustentable de nuestros Ecosistemas” y para ello se debe asegurar tanto la viabilidad de los ecosistemas, a largo plazo, como satisfacer las necesidades básicas de las personas (Balvanera *et al.*, 2009). Colombia está en proceso de adoptar los servicios ecosistémicos dentro del capital de la nación, lo que llevaría al país a ser uno de los más ricos en términos naturales por su diversidad biológica y de hábitats (Tamayo, 2014). Actualmente, el Gobierno Nacional junto con la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), reconoce el componente social, la necesidad de evaluar los beneficios aportados por los ecosistemas y el costo que suponen la pérdida de los mismos, buscando mejorar la percepción del valor de la biodiversidad, de sus servicios ecosistémicos y aumentando la participación y la corresponsabilidad de los diferentes actores involucrados en su conservación (MADS, 2012; 2014).

## 1.6. Evaluación del capítulo

Realice un ensayo basado en la proyección de un inventario nacional de recursos ecosistémicos de acuerdo a cada modalidad de clasificación de la FAO, es decir: Abastecimiento, regulación, apoyo y cultural.

---

## Referencias

- Alcaldía de Medellín. (2015). *Propuesta para la gestión integral de Medellín la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en Medellín*. Medellín, Colombia: Parque Expoflora.
- Andrade, G.I., Romero, M., & Delgado, J. (2013). Diseño adaptativo de un paisaje agroindustrial. Una propuesta para la transformación agrícola de la altillanura colombiana. *Ambiente y Desarrollo*, 17(33), 29-40.
- Balvanera, P., Cotler, *et al.* (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En *Capital Natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (pp. 185-245). México: CONABIO.
- Balvanera, P., Siddique, I., Dee, L., Paquette, A., Isbell, F., González, A., Byrnes, J., O’Connor, M.I., Hungate, B.A., & Griffin, J. (2014). Linking Biodiversity and Ecosystem Services: Current Uncertainties and the Necessary Next Steps. *BioScience*, 64(1), 49-57.
- Bosques Andinos. (2015). *Los Bosques Andinos y el Cambio Climático*. Recuperado de: <http://www.bosquesandinos.org/los-bosques-andinos/>

- Caro-Caro, C.I., & Torres-Mora, M.A. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Orinoquía*, 19(2), 237-252.
- Carbal-Herrera, A. (2009). *La valoración económica de bienes y servicios ambientales como herramienta estratégica para la conservación y uso sostenible de los ecosistemas: Caso Ciénaga la Caimanera Coveñas-Sucre Colombia* (Tesis de maestría). Universidad Libre, Cundinamarca, Bogotá.
- CIFOR. (2006). *Ecosystem Services*. Center for International Forestry Research. Recuperado de: [https://www.cifor.org/pes/\\_ref/sp/sobre/ecosystem\\_services.htm](https://www.cifor.org/pes/_ref/sp/sobre/ecosystem_services.htm)
- CDMB. (2011). *Áreas protegidas en la jurisdicción de la CDMB, Santander, Colombia*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.
- Cowling, R.M., Egoh, B., Knight, A.T., O'Farrell, P.J., Reyers, B., Rouget, M., Roux, D.J., Welz, A., & Wilhelm-Rechman, A. (2008). An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 9483-9488.
- Daily, G., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P.M., & Mooney, H.A. (2009). Ecosystem services in decision-making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 21-28.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., & Boumans, R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F.S. III & Tilman, D. (2006). Biodiversity Loss Threatens Human Well-Being. *PLoS Biology*, 4(8), e277. doi: 10.1371/journal.pbio.0040277
- Díaz, D. (2014). Reflexiones sobre gestión de servicios ecosistémicos en un bosque seco tropical del Caribe colombiano. En J. Aldana-Domínguez (Ed). *Biodiversidad Caribe y Servicios Ecosistémicos* (pp. 27-28). Barranquilla, Atlántico: Universidad del Norte.
- FAO. (s.f.). *Ecosystem Services*. Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/es/>
- Fisher, B., & Christie, M. (2010). Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In P. Kumar (Ed). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The Ecological and Economic Foundations* (pp. 1-40). London, England: Earthscan. Recuperado de: <http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2013/04/D0-Chapter-1-Integrating-the-ecological-and-economic-dimensions-in-biodiversity-and-ecosystem-service-valuation.pdf>
- Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (Fedesarrollo). (2013). Valoración de los bienes y servicios ambientales provistos por el Páramo de Santurbán. Bogotá D.C.: Centro de Investigación Económica y Social.
- Girardin, M.P., Bernier, P.Y., Raulier, F., Tardif, J.C., Conciatori, F., & Guo, X.J. (2011). Testing for a CO<sub>2</sub> fertilization effect on growth of Canadian boreal forests. *Journal Geophysical Research*, 116, G01012.
- Hernández, J.I., Hurtado, G.A., Ortiz, R., & Walsburguer, T. (1992). Unidades biogeográficas de Colombia. En G. Halfter (Ed.). *La Diversidad Biológica en Iberoamérica. Acta Zoológica Mexicana*. (pp. 105-152). Veracruz, México: Volumen especial, Instituto de Ecología.



- IDEAM. (1999). *Recurso Hídrico Macizo Colombiano*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/macizo/pdf/capitulo3.pdf>
- IDEAM. (2011). *Aportes del IDEAM para la definición y aplicación de la Estructura Ecológica Nacional*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM. Recuperado de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/estructura-ecologica-principal-ideam.pdf>
- IIPA. (2013). *Caracterización ecológica del humedal costero Concepción como sitio sagrado de la Comunidades Indígenas de Ozbescac, Timbiquí, Cauca*. Quibdó, Chocó: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John Von Neumann”.
- IIPA. (2014). *Programas del plan institucional cuatrienal de investigación ambiental – Picia (2015-2018)*. Quibdó, Chocó: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John Von Neumann”.
- Instituto Humboldt. (2014). *Investigación en biodiversidad y servicios ecosistémicos para la toma de decisiones: La biodiversidad y los servicios ecosistémicos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado de: <http://www.humboldt.org.co/es/biodiversidad/que-es-la-biodiversidad>
- MAVDT, Parques Nacionales Naturales, WWF, Conservación Internacional y The Nature Conservancy. (2008). *Reconocimiento de los Servicios Ambientales: Una Oportunidad para la Gestión de los Recursos Naturales en Colombia*. S.C. Ortega (Ed). Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado de: [http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/Books/BWunder0801.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BWunder0801.pdf)
- MAVDT - IIPA. (2010). *Definición participativa de la zonificación, el ordenamiento y los lineamientos de manejo ambiental de la reserva forestal del Pacífico, creada mediante Ley 2 de 1959*. Quibdó, Chocó: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John Von Neumann”.
- MADS. (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos* (PNGIBSE). Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto Humboldt, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- MADS, PNUD. (2014). *Quinto Informe de Biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica*. Bogotá, D.C.: Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo.
- MADS e Instituto Humboldt. (2017). *Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental urbana*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- MADS. (2018). *Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos*. Bogotá D.C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos>
- Millennium Ecosystem Assessment – MEA. (2005). *Ecosystem and human well-being: A framework for assessment*. Washington. D.C., United States: Island Press. Recuperado de: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Mojica, J., Castellanos, L., Usma, S., & Álvarez, R. (Eds.). (2002). *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. La serie de libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente.

- Mora-Fernández, C. & Peñuela-Recio, L. (2013a). (Eds) *Salud Ecosistémica de las sabanas inundables asociadas a la cuenca del río Pauto, Casanare, Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Yoluka ONG, fundación de investigación en biodiversidad y conservación, Fundación Horizonte Verde – FHV y Ecopetrol S.A.
- Mora-Fernández, C., & González, J.C. (2013b). Capítulo 5. Identificación de bienes y servicios ambientales de las sabanas inundables asociadas a la cuenca media y baja del Río Pauto. En C. Mora-Fernández, L. Peñuela-Recio (Eds). *Salud Ecosistémica de las sabanas inundables asociadas a la cuenca del río Pauto, Casanare, Colombia* (pp. 55-60). Bogotá D.C., Colombia: Yoluka ONG, Fundación de investigación en Biodiversidad y Conservación, Fundación Horizonte Verde (FHV) y Ecopetrol S.A.
- Peña, E.J. & Palacios, M.L. (2013). La biodiversidad como estrategia para el desarrollo sustentable en el pacífico colombiano: algunos enfoques para su gestión. *Ambiente y Sostenibilidad*, 3, 37-43.
- Pérez-Torres, F.J. (2016). Medio ambiente, bienes ambientales y métodos de valoración. *Equidad & Desarrollo*, (25), 119-158.
- Polasky, S. (2008). La incorporación de los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones. En *Reconocimiento de los Servicios Ambientales: Una Oportunidad para la Gestión de los Recursos Naturales en Colombia* (pp. 31-40). Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Unidad Administrativa del Sistema de Parques Nacionales Naturales, WWF, Conservación Internacional y The Nature Conservancy.
- Restrepo, S. (2014). Entre la novedad y la acción: retos y perspectivas de trabajo alrededor servicios ecosistémicos y la gestión de la biodiversidad. En J. Aldana-Domínguez (Ed). *Biodiversidad Caribe y Servicios Ecosistémicos* (pp. 57-59). Barranquilla, Atlántico: Universidad del Norte.
- Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A.M., Tapia, C.H., David, A., Arias-Arévalo, P., & Zuluaga, P.A. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos*. Bogotá, D.C. Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Tamayo, E. (2014). Importancia de la valoración de servicios ecosistémicos y biodiversidad para la toma de decisiones Apuntes desde la ingeniería. *Revista Ciencias Ambientales y Sostenibilidad CAS*, 1(1), 16-28.
- Troy A., & Wilson M. (2006). Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics*, 60, 435-449.
- UNEP-WCMC, (2005). In the front line: shoreline protection and other ecosystems services from mangroves and coral reefs. UNEP-WCMC, 33p.



# Servicios de abastecimiento

---

1. Alimentos
2. Agua dulce
3. Recursos medicinales



# CAPÍTULO 2

---

## SERVICIO ECOSISTÉMICO DE ABASTECIMIENTO: ALIMENTOS

Lina María Monsalve Castro  
Francis Liliana Valencia Trujillo  
Angélica Rocío Guzmán Lenis  
Carlos Mario Duque Chaves  
Diego Alejandro Pérez Giraldo  
Christian F. Valderrama L.  
Juliana Moraes Boldini  
Manuel Francisco Polanco Puerta<sup>4</sup>

### 2.1. Introducción

Los servicios ecosistémicos de suministro, son igualmente llamados de abastecimiento o provisión, y son productos adquiridos de los ecosistemas, tales como el agua, los recursos alimenticios, los recursos genéticos y las medicinas naturales, entre otros (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Balvanera, 2012).

Los vínculos entre el servicio ecosistémico de abastecimiento de alimentos y el bienestar humano, han sido estudiados a través de temas como la seguridad alimentaria, la conservación de la cultura y agrobiodiversidad; elementos dinámicos y localmente específicos (Nautiyal *et al.*, 2008; Moreira, 2014).

Los productos obtenidos por medio de la producción agraria son accesibles por medio de la creciente acción del hombre, fundamentada en una sucesión de funcionalidades y servicios de abastecimiento y sustento, ofrecidos por los ecosistemas. A partir de la década de los 60, la revolución verde empezó a promover la intensificación de la producción agraria, dirigida a obtener el mayor retorno económico en un corto período de tiempo, ocasionando un deterioro paulatino de los

---

<sup>4</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Correos electrónicos de contacto: lina.monsalve@unad.edu.co, francis.valencia@unad.edu.co, angelica.guzman@unad.edu.co.

recursos naturales, amenazando así, la oferta e interrelación de las funcionalidades y servicios ofrecidos (Corrales & Forero, 1992; Valcárcel, 2007; Rey-Benayas, 2012; Acevedo y Martínez, 2016; Cárdenas-Pinzón & Vallejo-Zamudio, 2016).

A partir del efecto negativo del modelo de producción de la revolución verde sobre los ecosistemas, surgen diversos modelos de producción que pretenden mejorar las interacciones al interior de los agroecosistemas, con el fin de lograr cumplir con la demanda de productos agrícolas; al mismo tiempo en que se mantiene (o restaura) la biodiversidad nativa de una región entera y los servicios que provee (Balmford *et al.*, 2012).

Es así, que se suman esfuerzos para fomentar la sustentabilidad de las prácticas productivas, a través del fortalecimiento de la agricultura familiar, en donde los productores puedan mantener sus medios de vida sin intensificar sus prácticas de producción, aportando a la seguridad alimentaria y a la conservación de la agrobiodiversidad y de las prácticas culturales y tradicionales relacionadas a ésta (Nautiyal *et al.*, 2008; Sayer *et al.*, 2013; Nahuelhual *et al.*, 2014).

Así mismo, se trabaja activamente en la construcción de modelos a partir del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que faciliten la ordenación del territorio, con el fin de mapear los ecosistemas y sus servicios, y así facilitar la toma de decisiones respecto a la protección de ecosistemas estratégicos y zonificación para el manejo sostenible de los recursos (Hauck *et al.*, 2013; Kandziora *et al.*, 2013; Sayer *et al.*, 2013; Nahuelhual *et al.*, 2014).

En el presente capítulo se conceptualiza la producción de alimentos como servicio ecosistémico, visualizando limitantes y oportunidades para la utilización de acciones encaminadas a una agricultura sostenible que genere beneficios en los componentes económicos, sociales y ecológicos del sistema de producción familiar. Se presenta, además, una revisión del marco normativo y de las políticas públicas en Colombia, las cuales pueden favorecer u obstaculizar el desarrollo de las estrategias para alcanzar una agricultura sostenible. Finalmente, se presenta un estudio de caso en el corregimiento de San Isidro, del municipio de Pradera, Valle del Cauca.

## **2.2. La producción de alimentos como servicio ecosistémico**

Un ecosistema es un sistema dinámico en donde se relacionan la biocenosis, es decir plantas, animales y microorganismos, y el biotopo, es decir, el ambiente

físico en el que se encuentran. La relación es en ambas vías: el ambiente determina y moldea las especies que se encuentran en el lugar, al tiempo que las especies modifican su entorno favoreciendo no sólo su permanencia, sino la de varias especies más. Los ecosistemas, como todos los niveles de organización de la vida, son considerados sistemas abiertos termodinámicamente, en donde se intercambia materia, energía e información.

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que los humanos obtienen de los ecosistemas, y son producto de las interacciones que se generan dentro de los mismos. Cada ecosistema provee diferentes servicios a la sociedad, relacionados con el nivel de intervención humana en el mismo: desde bosques, humedales y páramos, hasta ecosistemas agrarios y áreas urbanas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). La clasificación más aceptada de los servicios ecosistémicos se basa en la función de los mismos: provisión, que implica recursos tangibles como alimento, agua y fibras; regulación, que incluye procesos complejos que regulan las condiciones del ambiente, como el clima, la erosión de los suelos y las plagas; culturales, que implican beneficios que abarcan las construcciones sociales de relación con su entorno, como beneficios espirituales, recreativos y de conocimiento; y los servicios de sustento o soporte, los cuales no afectan directamente a la sociedad, pero que son importantes para mantener los demás servicios, como la biodiversidad, la producción primaria, el ciclado de nutrientes y la formación de suelo (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Balvanera *et al.*, 2009; Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, 2012).

La producción de alimentos es un servicio ecosistémico fundamental para el mantenimiento de la población humana, la cual ha venido transformando su ambiente para la consecución de una mejor calidad de vida, lo que implica un aumento de su bienestar. Sin embargo, es importante aclarar que este servicio ecosistémico se fundamenta en servicios no visibles para los seres humanos, como lo son la formación del suelo, del cual depende la productividad agrícola; el ciclado de nutrientes, que afecta su biodisponibilidad para los cultivos; la producción primaria, en donde los organismos autótrofos transforman la energía del sol en materia orgánica, y de la cual obtienen los organismos heterótrofos la energía necesaria para su sustento; y la polinización, sustancial para la producción de frutos, entre otros (Díaz *et al.*, 2005). La agricultura es entendida como el proceso de modificación de los ecosistemas naturales con propósitos productivos, para proveer a los humanos productos con finalidades alimenticias, de vestimenta, de

supervivencia o de paisaje, entre otros. Por tanto, es un proceso de alteración del ecosistema natural con un objetivo específico, en el cual se involucran actores, naturaleza y tecnología (Gastó *et al.*, 2012).

En sus inicios evolutivos, los primeros humanos eran cazadores y recolectores para satisfacer sus necesidades alimentarias. Luego, al hacerse sedentarios, no sólo domesticaron especies animales y vegetales, sino que también domesticaron ecosistemas enteros, seleccionando atributos esenciales que los hicieran más productivos; de ahí nació la hoy conocida como agricultura tradicional (Kandziora *et al.*, 2013). En este sentido, el proceso de adaptación humana a los diversos ambientes que ha colonizado, ha venido acompañada de un proceso de domesticación de plantas, animales y microorganismos, que han acompañado el proceso de reproducción y enriquecimiento cultural, a través de la tradición (Nautiyal *et al.*, 2008; Nahuelhual *et al.*, 2014).

En la agricultura tradicional se mantienen policultivos de composición específica, que favorecen la interacción positiva entre las especies sembradas, controlando naturalmente las plagas, y aprovechando los procesos del ecosistema base, como el ciclado de nutrientes y la fijación de nitrógeno de ciertas plantas (leguminosas), para favorecer la fertilidad del suelo. De igual importancia es el mantenimiento de múltiples variedades de cada planta, así como la tradición cultural del intercambio de semillas, lo cual aumenta la diversidad genética de los cultivos, incrementando su resiliencia y adaptabilidad. Así mismo, la diversidad de especies sembradas repercute en el enriquecimiento gastronómico de la región (Nautiyal *et al.*, 2008).

El modelo de producción agrícola tradicional se mantuvo hasta la década de los 60, en donde se inicia en el mundo la promoción del modelo de producción denominado como “revolución verde”, en donde predomina el enfoque agronómico de eficiencia productiva, bajo una racionalidad económica y tecnológica. Este modelo favorece el uso de cultivos con una sola especie (monocultivos), seleccionando variedades específicas, e incluso modificándolas genéticamente, disminuyendo así su variabilidad genética y volviéndolas más vulnerables a cambios en el entorno; y subsidiándose con productos externos como fertilizantes, plaguicidas y maquinaria, para aumentar la productividad, que no sólo afectan considerablemente a los ecosistemas, sino que además, genera diversos efectos sobre la sociedad rural. Este modelo aún prevalece en la mayoría de los países en desarrollo (Corrales & Forero, 1992; Casanova *et al.*, 2016).

Debido a la revolución verde, la agricultura es actualmente la actividad humana que más impactos genera sobre la diversidad biológica, es la causa principal de deforestación en los trópicos, las enmiendas inorgánicas son la causa principal de haber duplicado las tasas de fijación de nitrógeno en un siglo, es responsable del 70% de los usos de agua dulce y alrededor de 1/3 de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), y ha puesto más especies en peligro de extinción que cualquier otra actividad humana (Balmford *et al.*, 2012).

A partir de esta problemática, se despierta el interés mundial de lograr suplir la demanda de alimentos y al mismo tiempo, mantener o restaurar la biodiversidad nativa de una región y los servicios que provee. Como principales elementos a estudiar para aportar a la solución de la problemática, se encuentran el análisis de la demanda futura de alimentos, previendo las proyecciones de crecimiento poblacional de nueve mil millones de personas al año 2050; la cuantificación de compensaciones y sinergias de los diferentes modelos de agricultura sostenible, y la integración de las políticas ambientales y agrarias (Balmford *et al.*, 2012).

Dentro de los enfoques que promueven la agricultura sostenible, se encuentra la conceptualización de la agricultura como parte de un ecosistema, con el fin de analizar integralmente las interacciones entre el servicio de provisión de alimentos y los servicios ecosistémicos de soporte que lo mantienen, así como el agente social que interviene en él. Es así que nace el concepto de agroecosistema, definido como el ecosistema que el hombre interviene selectivamente, manejando los componentes bióticos y abióticos para obtener beneficios productivos (Stupino *et al.*, 2014; Casanova *et al.*, 2016).

En otras palabras, los agroecosistemas son las interacciones que se producen entre plantas y animales domesticados (producción agropecuaria), con el agua, suelo, plantas, animales y microorganismos del ecosistema base; contando con diferentes niveles tróficos, establecidos en un ambiente geográfico específico, y condicionados a la administración humana para su producción. Los agroecosistemas tienen como características la inclusión de poblaciones humanas, el estar alterados intencionalmente, y ser frecuentemente administrados intensivamente, con el fin de suministrar alimentos y otros beneficios (Conway, 1987; Stupino *et al.*, 2014; Casanova *et al.*, 2016).

Por su parte, la agrobiodiversidad se refiere a la diversidad biológica dentro de



los agroecosistemas, que incluye no sólo las especies del ecosistema base, sino también las especies domesticadas por el hombre. La conservación *in situ* de la agrobiodiversidad no sólo aporta a la alimentación, salud y bienestar de quienes la cultivan, sino también a la conservación de la cultura local, y al equilibrio y estabilidad de los ecosistemas (Nautiyal *et al.*, 2008; Stupino *et al.*, 2014).

Para el mantenimiento de la agrobiodiversidad, y lograr una agricultura sostenible en todas sus dimensiones, es fundamental la conservación y el fortalecimiento de la agricultura familiar, entendida como el modelo de producción en donde se utiliza mano de obra familiar, incluyendo a la llamada economía campesina, y otras actividades agrícolas a pequeña y mediana escala; diferenciándose de los agricultores empresariales por el uso exclusivo que éstos hacen de la mano de obra asalariada en la producción (FIDA, 2011; Machado & Botello, 2013; Niño-Martínez, 2015; Fonseca *et al.*, 2014; Stupino *et al.*, 2014;).

Los agricultores familiares, en su mayoría, tienen sistemas de producción en donde combinan áreas de monocultivo, o cultivo comercial, con áreas de policultivos, o cultivos tradicionales. Esto significa que han adoptado prácticas propias del modelo de producción de la revolución verde, sin perder por completo las prácticas tradicionales. Esta combinación requiere de un esfuerzo para lograr la reconversión total de los sistemas a agricultura sostenible, bajo el modelo agroecológico (FIDA, 2011; Fonseca *et al.*, 2014; Acevedo & Martínez, 2016).

La necesidad de lograr una agricultura sostenible, se fundamenta adicionalmente, en la denominada seguridad alimentaria, entendida como la producción suficiente de alimentos inocuos y nutricionalmente ricos, manteniendo la salud de la población humana que los consume y de los ecosistemas que los producen, elementos difíciles de lograr con el modelo de producción intensiva de la revolución verde (Acevedo & Martínez, 2016; FAO, 2016)

La agricultura brinda seguridad alimentaria a más de seis mil millones de personas, presentando recientemente significativos incrementos en la productividad con la introducción de nuevas variedades y métodos de producción (Hodson de Jaramillo *et al.*, 2017). Si bien se espera que la población aumente a nueve mil millones para el año 2050, el buen manejo del servicio ecosistémico de aprovisionamiento de alimentos se hace muy importante para conseguir la meta de la seguridad alimentaria, en un mundo bajo los efectos del cambio climático.

### 2.2.1. El ordenamiento territorial y el mapeo de servicios ecosistémicos

En términos de agricultura sostenible y seguridad alimentaria, la mayoría de los análisis que se han realizado, concuerdan en que al aumento de la producción agrícola no deberá ser realizada a costa de la pérdida de más áreas de biodiversidad. Los modelos de agricultura sostenible construidos hasta el momento se dirigen hacia dos vertientes (Balmford *et al.*, 2012):

- **“Land Sharing”** o tierra compartida, modelo desarrollado en Europa, en donde se integra la conservación y la producción de alimentos, a partir de policultivos y fundamentado en la agricultura familiar. En pocas palabras, es hacer la tierra agrícola más amigable para la vida silvestre, a costa de una menor productividad específica por área.
- **“Land Sparing”** o ahorro de tierras, modelo desarrollado en USA, en donde se determinan áreas específicas para agricultura intensiva (monocultivos), mientras que se preservan áreas protegidas para un futuro.

Existe un intermedio entre ambas vertientes (Balmford *et al.*, 2012), que consiste en tener áreas protegidas, áreas para producción agrícola intensiva, y áreas para producción agrícola familiar, para lo cual es indispensable elaborar modelos de zonificación, que permitan la delimitación de ecosistemas estratégicos, para su protección, y de agroecosistemas de tipo familiar o agroindustrial, para su apropiada gestión, aportando información valiosa para el ordenamiento territorial.

Un ecosistema es estratégico cuando dentro del territorio, cumple “funciones naturales de las cuales dependen, de manera especial y significativa, bienes y servicios ecológicos vitales para el mantenimiento de la sociedad y de la naturaleza” (Márquez, 2003, p. 88). Dicho así, se han elaborado diferentes modelos para valorar y zonificar los servicios ecosistémicos tangibles e intangibles, siguiendo diez principios básicos para su formulación (Sayer *et al.*, 2013):

- **Aprendizaje continuo y manejo adaptativo:** Los cambios en los atributos del paisaje deben ser informados a los tomadores de decisiones. Los modelos deben ser dinámicos, y adaptarse a los aprendizajes obtenidos en experiencias anteriores.
- **Entradas de interés común:** La información incluida en los modelos debe representar a todos los interesados en el área.

- **Múltiples escalas:** Las salidas de una escala deben alimentar otras superiores. Debe existir entre escalas la realimentación, análisis de sinergias, flujos, interacciones y elementos externos.
- **Multifuncionalidad:** El paisaje y sus componentes tienen múltiples usos y propósitos, cada uno de los cuales es valorado de diferente forma por cada interesado.
- **Múltiples interesados:** Todos los interesados deben ser reconocidos, aunque es claro que será difícil llegar a un común acuerdo. Las soluciones a estas discrepancias deben generar una distribución justa de beneficios e incentivos.
- **Transparencia y negociación:** Toda la información debe ser compartida a los interesados, con el fin de que la negociación sea justa.
- **Aclaración de derechos y responsabilidades:** La reglamentación del acceso a los recursos y al uso de la tierra moldea los resultados de conservación y participación social. Los derechos y responsabilidades de los diferentes actores deben ser claros, y aceptados por todos los interesados.
- **Monitoreo participativo:** Para facilitar el aprendizaje, la información debe ser ampliamente accesible a todos los interesados. Esto implica que ellos deben poder realizar el levantamiento de la información, así como interpretarla, para la toma de acciones, y revisión de progresos y amenazas.
- **Resiliencia:** Debe existir un reconocimiento activo de amenazas y vulnerabilidades.
- **Fortalecimiento de la capacidad de los interesados:** Para lograr una participación activa y efectiva, que converja en la apropiación por parte de los interesados.

La construcción de los modelos de zonificación debe incluir información local, que represente las necesidades de los actores involucrados, y que contribuya adecuadamente a la consecución de los objetivos para una agricultura sostenible en todas sus dimensiones, encontrando la mejor forma para que la provisión de alimentos se realice de forma más ajustada a los servicios ecosistémicos que brinda el territorio (Anderson *et al.*, 2009; Kandziora *et al.*, 2013; Hauck *et al.*, 2013; Moreira, 2014; Nahuelhual *et al.*, 2014).

### 2.2.2. Alimentos producto de actividades agrícolas

La agricultura tiene como primordial funcionalidad la producción de comestibles a partir del uso directo de la tierra, adicionando, en la mayoría de los casos, materias primas externas para aumentar la productividad (Anderson *et al.*, 2009). Lo anterior se encuentra relacionado con el tamaño del área de explotación, el tipo de producción (intensivo, semi-intensivo, extensivo) y el paquete tecnológico aplicado, lo cual ocasiona que las contribuciones en cuantía y calidad de los alimentos, varíe para cada región, al igual que su contribución a la sustentabilidad ambiental.

La alimentación en el mundo se encuentra fundamentada en veinte cultivos primordiales, lo que revela la dañina homogeneidad productiva y su concentración en superficies distintas, lo que supone que el abastecimiento alimentario exige, bajo el modelo de la revolución verde, grandes costos ambientales (Verdaguer, 2014). La producción primaria agrícola proporciona un porcentaje elevado de la proteína que es consumida por las personas, pero esta proteína, en la mayoría de los casos, se encuentra asociada a una gran transformación de los ecosistemas por el decrecimiento de la biodiversidad, por el deterioro de los suelos y la contaminación ambiental por la emisión de gases, entre otras características (FAO, 2009; Power, 2010).

En Colombia, la agricultura se caracteriza por tener dos tipos de producción, la agroindustrial y la agricultura familiar. Dentro de la producción agroindustrial, se encuentran monocultivos tecnificados de caña de azúcar, palma africana, flores, café, algodón, plátano, banano, arroz, maíz, sorgo, papa y yuca, principalmente, distribuidos en las diferentes regiones del país, según sus condiciones de mayor productividad. Parte de esta producción se consume internamente, y la gran mayoría es para exportación. En este sentido, la agricultura podrá verse fuertemente afectada por el cambio climático, debido a la poca variabilidad presente dentro de estos cultivos (Hodson de Jaramillo *et al.*, 2017).

Dentro de la producción agrícola familiar, se encuentra el suministro del 65% de la producción agrícola nacional, representado fundamentalmente en alimentos para el consumo directo: panela, maíz, plátano, papa, yuca, fríjol, verduras y frutas. En este sentido, el fortalecimiento de la agricultura familiar promoverá la seguridad alimentaria nacional, teniendo en cuenta que los agricultores familiares han demostrado ser más resilientes y adaptables a los cambios ambientales que

se presentan (Corrales & Forero, 1992; Forero-Álvarez, 2010; Machado & Botello, 2013; Niño-Martínez, 2015).

### **2.2.3. Alimentos producto de actividades pecuarias**

Como en la producción agrícola, Colombia presenta en la producción pecuaria dos tipos de producciones marcadas: la agroindustrial y la agricultura familiar. La producción agroindustrial es intensiva, y está destinada principalmente a la exportación, mientras que la producción agrícola familiar varía de intensiva a extensiva, supliendo escalonadamente el mercado local, regional y nacional.

La producción pecuaria es vital para la seguridad alimentaria, no sólo de las comunidades en las zonas rurales, que dependen directamente de la producción avícola, porcina, ganadera y piscícola para adquirir alimentos, servicios e ingresos, sino también para las comunidades urbanas, que pueden adquirir alimentos de los animales a precios asequibles (Niño-Martínez, 2015). A través de la producción pecuaria se cumplen las principales dimensiones de la seguridad alimentaria como son, la estabilidad, el acceso, la disponibilidad y la utilización. Así pues, la producción ganadera contribuye en la estabilidad de la seguridad alimentaria de las comunidades en las zonas rurales dado que actúa como un producto con alto valor comercial. El ganado también sirve como aval o prenda para adquirir financiación crediticia ante entidades bancarias, a la vez que también se puede vender para percibir ingresos o como alimento directo al consumirse en tiempos de crisis (Acevedo & Martínez, 2016).

En una investigación de la FAO, enmarcada en el proyecto de Actividades Generadoras de Ingreso Rural (RIGA), realizado en 14 países del mundo, se concluyó que el 60% de las familias de las zonas rurales poseen ganado; pese a que la cantidad de animales por familia es muy baja, esta actividad contribuye notoriamente al aumento de los ingresos familiares. Se estableció, además, que esta actividad productiva es un punto de inicio en busca de la seguridad alimentaria (FAO, 2009).

En relación a la pesca, las masas de agua salvaguardan una elevada biodiversidad, además de regular la temperatura y el clima a nivel general; igualmente intervienen en el sostenimiento del ciclo de los nutrientes, no obstante, la capacidad de estos sistemas acuáticos para suministrar alimentos ha disminuido por la explotación exagerada, ocasionando un detrimento en los ecosistemas acuáticos (Smith, 2013).

Los peces tienen la tasa más eficiente de conversión alimenticia, generando alimento de alta calidad nutricional, y contando con una baja huella de carbono, en comparación con los demás animales. Además, la piscicultura ha sido utilizada como estrategia para la mitigación de la pobreza rural, aumentando la seguridad alimentaria de las poblaciones menos favorecidas. Recientemente, se ha promovido la llamada “revolución azul”, que implica el aumento sostenible de la productividad acuícola, a partir de su alta eficiencia productiva, esperando suplir ampliamente las necesidades de alimento para la población al año 2050 (Rice & Garcia, 2011; Béné *et al.*, 2015). Uno de los principales retos para lograr suplir la demanda futura de alimento se fundamenta en una correcta zonificación de los ecosistemas marinos y dulces, así como de las áreas para ubicar estanques de acuicultura, utilizando especies nativas y eligiendo áreas donde el impacto a los ecosistemas sea mínimo (Rice & Garcia, 2011).

Integración de prácticas agropecuarias y aprovechamiento de recursos de los bosques, la cacería y la pesca son las fuentes habituales de proteína en las dietas de las comunidades rurales, siendo uno de los productos más representativos de las economías locales, es así como la carne producto de la cacería es reconocida como un recurso determinante en las condiciones de seguridad alimentaria de comunidades rurales (Baptiste *et al.*, 2012). Es de aclarar que ésta no sólo se percibe a través de la extracción directa (como la cacería), sino también por medio de actividades comerciales, siendo fuente importante de ingresos económicos para los habitantes de los bosques y de los territorios selváticos tropicales (Quiceno *et al.*, 2015).

Es importante mencionar que la producción de proteína animal es mucho menos eficiente que la producción agrícola, y los impactos que ha generado sobre los ecosistemas han sido altos, como deforestación, emisión de GEI, compactación de suelos y contaminación de recursos hídricos, entre otros, por tanto es prioritaria la apropiación de prácticas de agricultura sostenible en su producción, para la minimización de impactos.

### **2.3. Contexto agropecuario: el mercado de alimentos en Colombia**

Aunque en la última década, el sector agrícola, el sector ganadero, la caza, la silvicultura y la pesca han sostenido su participación en el PIB del país, éste ha tenido un incremento significativo de 9,0% en las exportaciones, al pasar de \$566,8 millones FOB en el mes de Febrero de 2017 a \$617,7 millones FOB en el mes Febrero

del 2018 (DANE, 2018). Esta conducta se interpretó fundamentalmente por el aumento significativo en las exportaciones de aceite de palma, reportando un crecimiento cerca del 98,0%, al igual que el crecimiento del azúcar sin refinar, con cerca de un 308,8%; favoreciendo en conjunto, 5,4 puntos porcentuales a la variación del grupo. Al examinar las oscilaciones porcentuales al año del valor agregado del sector agrícola, el sector ganadero, la caza, la silvicultura y la pesca, se advierte que el incremento más alto lo presentó el cultivo de café (13,3%). Los demás sectores aumentaron históricamente alrededor del 2,3% (Beltrán-Fonseca & Piñeros-Muñoz, 2013).

Históricamente en Colombia la producción agropecuaria de alimentos ha venido en aumento. Actualmente, los productos para la exportación son el café, banana, piña y aguacate *hass*. De la superficie cultivada, exceptuando el café, el 75% se dedica a alimentos, aportando en volumen el 76,6%. Desde la década de los 90, con la apertura comercial y las políticas neoliberales, las importaciones de alimentos aumentaron significativamente, particularmente en cereales y granos (Cárdenas *et al.*, 2016).

Una de las particularidades del sistema alimentario en Colombia es la de ofrecer permanentemente una amplia gama de alimentos producidos en todos los climas existentes en el país, donde se involucran gran cantidad de productores agropecuarios, mediante una producción atomizada, y una infraestructura vial precaria en la mayoría de los casos (Hodson de Jaramillo *et al.*, 2017). Lo anterior permite la integración entre los diversos comercios de productos agrícolas, conformando un comercio nacional que tiene variación en los precios y pone en marcha la circulación de los productos agropecuarios. En las grandes ciudades, las centrales de abastos y algunos centros de acopio regionales, llevan a cabo la función de distribuir la oferta de alimentos a nivel regional y nacional. En estos términos el consumo de alimento fresco es muy significativo en el mercado nacional, y constituye un beneficio insuperable para las comunidades rurales de bajos recursos y para los consumidores finales, teniendo así, un acceso permanente de alimentos frescos, con una mejor calidad nutricional que los alimentos manufacturados (Forero-Álvarez, 2010; Hodson de Jaramillo *et al.*, 2017).

En Colombia, la producción agrícola tiende a concentrarse en la región Andina, con un 64,8% del área cosechada en los departamentos de Antioquia y el eje cafetero y se observa mayoritariamente la economía familiar dedicada al cultivo del

café. En la producción de otros productos diferentes al café se destacan, los departamentos de Norte de Santander, Boyacá, Cundinamarca y Santander, que participan con un 35% de la producción total de los otros productos agrícolas. La producción agrícola familiar se distribuye en casi todo el territorio nacional a diferencia de la producción intensiva capitalista, ya que ésta última se concentra en ciertas áreas específicas del país (Forero-Álvarez, 2010; Acevedo & Martínez, 2016).

- La producción agrícola en las comunidades rurales de Colombia se organiza en el sistema agroalimentario en diversos ámbitos (Forero-Álvarez, 2010; Machado & Botello, 2013; Acevedo & Martínez, 2016):
- Autoconsumo familiar y local por medio de sistemas de comercialización solidario de alimentos agropecuarios.
- Comercialización directa de los productos agrícolas en mercados locales por medio de intermediarios minoristas.
- Abastecimiento intensivo en grandes cantidades a las ciudades a través de una vasta red de intermediarios.

También se hace visible la articulación de la agricultura familiar a las cadenas agroindustriales, en donde se encuentran casos como el café y la leche; también se han gestionado sistemas de agricultura por contrato, en cultivos como la palma africana, algunas frutas y tabaco. Así mismo, se aprecian nuevas relaciones agroindustriales denominadas “integradas” en las que se realiza una unificación de la cadena productiva, como estrategia de articulación de agricultores familiares a la cadena de producción, encontrando casos de integración a cadenas agroexportadoras como la hortícola y frutícola. Adicionalmente, se agregan eslabones de transformación a la cadena, en los casos de carnes y pescado (Forero-Álvarez, 2010).

## **2.4. Políticas públicas y normatividad**

Colombia ha suscrito alrededor de 18 convenios internacionales para proteger la biodiversidad, toda vez que se ha tenido acceso indiscriminado a recursos genéticos que son patrimonio del país, se ha comercializado de forma ilegal fauna y flora, y se han intervenido diversos ecosistemas estratégicos, entre otras acciones



que degradan la biodiversidad del país y sus servicios ecosistémicos; con estos convenios se busca la consecución de objetivos para disminuir la pobreza y legitimar el derecho a un ambiente sano y sustentable para los colombianos (MADS, 2012).

La política pública para la protección de la biodiversidad se fundamenta en más de 24 instrumentos nacionales de planificación, entre los que se encuentran políticas, planes y programas, que contribuyen a orientar el manejo y uso sostenible de la biodiversidad del país. Dentro de ellos, se encuentra la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), como una política estatutaria que busca impulsar la gestión integral de la biodiversidad, de tal manera que se sustente y optimice la resiliencia de los sistemas sociales y ecológicos, a nivel regional y nacional, suponiendo contextos de evolución a través de la acción colectiva y pactada con el estado, el sector productivo y la sociedad civil (MADS, 2012).

Dentro de las normas vigentes importantes para el uso sostenible de la biodiversidad, se encuentra la ley 388 de 1997, de ordenamiento territorial y su decreto reglamentario 3.600 de 2007, que establece la importancia de precisar en el ordenamiento del territorio una Estructura Ecológica Principal definida como el “conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales del territorio, cuya finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, los cuales brindan la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones” (República de Colombia, 2007, p. 1).

A partir de la zonificación y consecuente ordenación del territorio, se busca definir las áreas que deben ser conservadas, por ser estratégicas para mantener los servicios ecosistémicos que dan sustento al territorio, así como las áreas apropiadas para la producción agropecuaria y forestal, además de las zonas urbanas e industriales.

En cuanto a las políticas rurales, en Colombia se ha implantado un modelo económico que favorece la agroindustria, a costa de la agricultura familiar, dejando a esta última atendida por políticas asistencialistas y desarticuladas, que no abarcan la integralidad del desarrollo rural. La instauración del modelo neoliberal en el país, a partir de la década de los 90, con la política de apertura económica, encaminada hacia la producción agroindustrial y la exportación, ha generado

efectos adversos sobre la agricultura familiar, y por ende, en los sistemas agro-ecosociológicos. Esto, debido a que la agricultura familiar no se debe ver únicamente como un proveedor de bienes y servicios, sino también, se debe analizar su ámbito natural, social y cultural, dentro de un contexto territorial específico, que permita el fortalecimiento de este grupo importante en la economía nacional, que representa el 87% de las explotaciones agrícolas, el 57% del empleo agrícola del país y más del 65% de la producción nacional de alimentos (Forero-Álvarez, 2010; Machado & Botello, 2013; Niño-Martínez, 2015; Cárdenas *et al.*, 2016).

Es así, que se hace importante generar políticas diferenciadas que favorezcan el fortalecimiento de la agricultura familiar, que contribuyan a superar la invisibilización que ha tenido en los últimos treinta años, y que favorezca la superación de los diversos obstáculos estructurales que los afectan (Torres-Salcido *et al.*, 2015).

Finalmente, es necesario realizar una integración o como mínimo, una coordinación de las políticas rurales y ambientales, que permitan la aplicación de las metas de conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos en la producción agropecuaria. Así mismo, es importante valerse de herramientas como la educación ambiental y la extensión rural, para que los productores logren apropiar prácticas sostenibles de producción (Durán, 2000; Rengifo *et al.*, 2012; Sandoval, 2012).

## 2.5. Consideraciones finales

Las actividades agropecuarias deben tener un cambio significativo, disminuyendo la utilización de recursos energéticos de alto valor para la optimización de los rendimientos; éstas deben encontrar la mejor forma para que la provisión de alimentos se realice mediante la maximización de los servicios ecosistémicos en el territorio.

El desafío es acrecentar la producción de alimentos sobre una base continua, sin afectar negativamente la biodiversidad, utilizando mejores técnicas de cultivo, y prácticas que protejan los recursos naturales. Es así, que se hace indispensable la aplicación de modelos de agricultura sostenible, ajustados a las características de cada territorio, que incluyan procesos de extensión agrícola y educación ambiental, para que las comunidades rurales puedan apropiar prácticas productivas que favorezcan el manejo sostenible de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en su territorio. Por tanto, es imprescindible la zonificación y ordenación de

los territorios, que permita una eficiente administración de los recursos naturales que se encuentran en su interior, para obtener el máximo provecho de éstos, sin afectar la continuidad y calidad de los servicios ecosistémicos que brinda.

Finalmente, conviene constituir un marco tanto nacional como regional que concrete conceptualmente los servicios ecosistémicos, y proporcione mecanismos de producción agropecuaria sustentable, que incluyan los derechos de comunidades rurales, así como sus deberes de conservación. Así mismo, es necesaria la formulación de nuevas políticas que regulen el acceso a la oferta de servicios ecosistémicos, y fortalezcan la agricultura familiar como estrategia para alcanzar la agricultura sostenible. Estas políticas deben ser formuladas con la participación de las comunidades rurales, y deben integrar las dimensiones económico-productivas, ambientales y socio-culturales del servicio ecosistémico de provisión de alimentos.

## **2.6. Estudio de caso: sostenibilidad y agricultura campesina en el corregimiento de San Isidro, municipio de Pradera, Valle del Cauca**

Como estudio de caso se toma la investigación “Sostenibilidad y agricultura campesina: la producción animal en el corregimiento San Isidro Municipio de pradera, Valle”, cuyo objetivo principal fue evaluar la sustentabilidad de los sistemas de producción animal de los campesinos de San Isidro, Pradera, analizando tanto el ecosistema, como la magnitud de los distintos factores que se involucran en la producción animal, con el fin de caracterizar los sistemas de producción animal (Guiral, 2013).

### **2.6.1. Resumen de la investigación**

Como consecuencia del acelerado proceso de globalización que vive el planeta se han establecido nuevas tecnologías, así como cambios sociales, culturales y ambientales que ponen en riesgo los sistemas de producción campesinos de bajos recursos, manteniendo una desproporción entre los sectores productivos del país.

Lo anterior evidencia la necesidad de realizar un estudio que evalúe la sustentabilidad de los sistemas de producción pecuarios de la comunidad rural del Corregimiento de San Isidro, municipio de Pradera Valle del Cauca, para conocer la situación actual de sus sistemas de producción, llevar a cabo acciones de mejora en esos sistemas de producción, aumentando sus ingresos y así fortalecer su soberanía alimentaria, salvaguardando el ecosistema de la zona.

El estudio se llevó a cabo utilizando el Marco de Evaluación (MESMIS), que evalúa los sistemas de manejo de los recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad. Se escogieron veinticuatro indicadores asociados en un grupo de atributos: resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad, productividad, equidad estabilidad y autogestión. Se compararon dos sistemas de producción, en el primero se integran los subsistemas agrícola, pecuario, forestal y se hace un mejor aprovechamiento de productos locales, procurando la seguridad alimentaria y la autogestión de ingresos, mientras que en el otro sistema la generación de ingresos es mínima, no hay producción agrícola y pecuaria, no existe seguridad alimentaria.

El análisis de los resultados se realizó por medio de un diagrama tipo ameba que agilizó la comparación y la interpretación de los indicadores. La metodología utilizada permitió evaluar los sistemas de producción familiar en diversos contextos, la caracterización permitió identificar los subsistemas que componen el sistema productivo y mostrar algunas interacciones presentes, entradas y salidas, además la identificación de los puntos críticos con la participación de la comunidad, facilitó el análisis de la sustentabilidad de los sistemas de producción familiar rural. Éstos aprovechan en su mayoría todos los recursos locales tanto para alimentación de los animales como para la elaboración de compostaje, reduciendo el uso de insumos externos. La integración de varios cultivos, la crianza de animales criollos, el uso y manejo de conocimientos locales, son la base de la supervivencia de las familias campesinas.

En conclusión, en los sistemas de producción agropecuaria rural, la mujer tiene un papel fundamental; no solo se dedican a las actividades del hogar, son las encargadas de la seguridad alimentaria de la familia, son las que siembran y mantienen los productos de la huerta, las plantas medicinales y la crianza de los animales, que contribuye principalmente a la alimentación de la familia.

La intensificación de prácticas culturales autóctonas, facilita a los pequeños agricultores fortalecer sus sistemas de producción mejorando así la sustentabilidad, porque la subsistencia no sólo depende de lo que están en capacidad de sembrar y que genere ingresos, sino que está muy relacionada con el manejo y uso de técnicas que contribuyan a la sostenibilidad a través del tiempo de los sistemas de producción.

## 2.7. Evaluación del capítulo

Objetivos de la evaluación del capítulo:

- Analizar las interacciones que suceden dentro del agroecosistema para lograr el servicio ecosistémico de aprovisionamiento de alimentos.
- Establecer diferencias entre los modelos de producción agropecuaria que se implementan y sus efectos sobre los ecosistemas.
- Reconocer la importancia de la agricultura familiar y la ordenación del territorio, para alcanzar las metas de conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos.

### 2.7.1. Actividades a realizar y cuestionario:

1. Represente mediante un diagrama, la estructura y los flujos de un agroecosistema, al producir alimento como servicio ecosistémico de provisión.
2. Realice un cuadro comparativo de los posibles impactos generados en los ecosistemas al obtener alimento como un servicio ecosistémico, comparando el modelo de producción de la revolución verde y el modelo de producción de agricultura tradicional o agroecológica.
3. Escriba un ensayo donde argumente la necesidad de generar una política pública diferenciada para la agricultura familiar en Colombia.
4. Mencione por lo menos cinco razones por la que es importante zonificar y ordenar el territorio para alcanzar el logro de la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales en su interior.
5. A las siguientes afirmaciones marcar falso o verdadero según sea el caso:
  - a. Los alimentos producidos en los cultivos son considerados un servicio ecosistémico de abastecimiento.
  - b. La seguridad alimentaria no está vinculada a los servicios ecosistémicos de abastecimiento de alimentos.
  - c. Los agroecosistemas no contienen poblaciones humanas y se diferencian de los ecosistemas naturales o no intervenidos en que están alterados intencionalmente por los humanos.
  - d. Los bienes generados como producto alimenticio en un ecosistema pueden ser indirectos como la polinización ya que de ésta depende la producción de frutos.

- e. Una de las principales características del sistema alimentario en Colombia es que se aprovisiona por un gran número de pequeños productores en una producción fragmentada a pequeña escala.
- f. La agricultura tiene como principal función la obtención de alimentos partiendo del uso directo de la naturaleza, comúnmente agregando materias primas externas para aumentar la producción.
- g. Un agroecosistema es un ecosistema en el que el hombre ha intervenido selectivamente agrupando los componentes bióticos para sacar beneficios productivos. La cacería y la pesca son las fuentes más usuales de proteína animal en la dieta alimenticia de las poblaciones rurales en Colombia.
- h. La intensificación de prácticas culturales autóctonas, facilita a los pequeños agricultores el fortalecimiento de sus sistemas de producción mejorando así la sustentabilidad.
- i. La principal alternativa para disminuir el impacto ambiental que ocasiona la agricultura en los ecosistemas, es el modelo de producción de la revolución verde.

---

## Referencias

- Acevedo, Á., & Martínez, J. (2016). *La agricultura familiar en Colombia. Estudios de caso desde la multifuncionalidad y su aporte a la paz*. Bogotá D. C., Colombia: Fondo Editorial Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. doi: 10.16925/9789587600476.
- Anderson, B.J., Armsworth, P.R., Eigenbrod, F., Thomas, C.D., Gillings, S., Heinemeyer, A., & Gaston, K.J. (2009). Spatial covariance between biodiversity and other ecosystem service priorities. *Journal of Applied Ecology*, 46(4), 888–896. doi: 10.1111/j.1365-2664.2009.01666.x.
- Balvanera, P., Cotler, et al. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En *Capital Natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (pp. 185–245). México: CONABIO.
- Balmford, A., Green, R., & Phalan, B. (2012). What conservationists need to know about farming? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1739), 2714–2724. doi: 10.1098/rspb.2012.0515.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(1–2), 136–147. doi: 10.1016/j.tree.2012.06.003.
- Baptiste, M.P., Lasso, C.A., Matallana, C.L., Moreno, R., Negrete, R., & Vargas-Tovar, N. (2012). *Carne de monte y seguridad alimentaria. Bases técnicas para una gestión integral en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Beltrán-Fonseca, J.A., & Piñeros-Muñoz, A. (2013). *Sector agropecuario colombiano: su realidad económica y perspectiva* (Tesis de pregrado). Universidad EAN. Bogotá D. C., Colombia.
- Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Pinstrup-Andersen, P., Merino, G., Hemre, G.I., & Williams, M. (2015). Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu. *Food Security*, 7(2), 261–274. doi: 10.1007/s12571-015-0427-z.
- Camacho-Valdez, V., & Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista BioCiencias*, 1(4), 3–15. doi: 10.15741/rev.biociencias.v1i4.19.
- Cárdenas-Pinzón, J.I., & Vallejo-Zamudio, L.E. (2016). Agricultura y desarrollo rural en Colombia 2011–2013: una aproximación. *Apuntes Del Cenes*, 35(62), 87–123.
- Casanova, L., Martínez, J., López, S., & López, G. (2016). De von Bertalanffy a Luhmann: Deconstrucción del concepto “agroecosistema” a través de las generaciones sistémicas. *Revista Mad*, 0(35), 60–74. doi: 10.5354/0718-0527.2016.42797.
- Conway, G. R. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems*, 24(2): 95–117. doi: 10.1016/0308-521X(87)90056-4.
- Corrales, E., & Forero, J. (1992). La economía campesina y la sociedad rural en el modelo neoliberal de desarrollo. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, (29), 55–71.
- DANE. (2018). Boletín Técnico Exportaciones (Expo) Febrero 2018. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones>.
- Díaz, S., Tilman, D., Fargione, J., Chapin III, F.S., Dirzo, R., Kitzberger, T., & Eardley, C. (2005). Biodiversity Regulation of Ecosystem Services. En N. Ash, R. Hassan & R. Schloles (Eds). *Ecosystems and human well-being: Current state and trends Volume 1* (pp. 297–329). Washington D.C., United States: Island Press.
- Durán, G. (2000). *Medir la sostenibilidad: indicadores económicos, ecológicos y sociales*. Jornadas de Economía Crítica, Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias Económicas, 1–19.
- FAO. (2009). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La ganadería, a examen*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. doi: ISBN 978-92-5-306215-7.
- FAO. (2016). *Agricultura sostenible: Una herramienta para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i5754s.pdf>
- FIDA. (2011). *La agricultura sostenible en pequeña escala: alimentar al mundo, proteger el planeta*. Roma: Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Recuperado de: <http://santic.rds.hn/wp-content/uploads/2013/06/La-agricultura-sostenible-en-pequena-escala.pdf>
- Fonseca, J. Jarma, A., & Cleves, J. (2014). La Ecoagricultura y la Agroecología como estrategia tecnológica que potencia los servicios ecosistémicos. Una revisión. *Temas Agrarios*, 19(2), 10.
- Forero-Álvarez, J. (2010). Economía campesina, pobreza, tierra y desplazamiento en Colombia. En J. Forero (Ed). *El campesino colombiano. Entre el protagonismo económico y el desconocimiento de la sociedad* (pp. 62–124). Bogotá D. C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

- Gastó, J., Subercaseaux, D., Vera, L., & Tomic, T. (2012). Agriculture and Rurality as Constructor of Sustainable Cultural Landscape. In M. Ozyavuz (Ed). *Landscape Planning* (pp. 151–176). Rijeka, Croacia: INTECH. Recuperado de: <https://www.intechopen.com/books/landscape-planning/agriculture-and-rurality-as-constructor-of-sustainable-cultural-landscape>
- Guiral, N.M. (2013). *Sostenibilidad y agricultura campesina: la producción animal en el corregimiento San Isidro, Pradera: Valle* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Valle del Cauca.
- Hauck, J., Görg, C., Varjopuro, R., Ratamáki, O., Maes, J., Wittmer, H., Jax, K. (2013). “Maps have an air of authority”: Potential benefits and challenges of ecosystem service maps at different levels of decision making. *Ecosystem Services*, 4, 25–32. doi: 10.1016/j.ecoser.2012.11.003.
- Hodson de Jaramillo, E., Castaño, J., Poveda, G., Roldán, G., Chavarriga, P. (2017). Seguridad alimentaria y nutricional en Colombia. En IANAS (Ed). *Retos y oportunidades de la seguridad alimentaria y nutricional en las Américas: El punto de vista de las Academias de Ciencias* (pp. 221–251). Ciudad de México: La Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS).
- Kandziora, M., Burkhard, B., & Müller, F. (2013). Mapping provisioning ecosystem services at the local scale using data of varying spatial and temporal resolution. *Ecosystem Services*, 4, 47–59. doi: 10.1016/j.ecoser.2013.04.001.
- Machado, A., & Botello, S. (2013). *La Agricultura Familiar en Colombia. Informe del Proyecto Análisis de la Pobreza y de la Desigualdad en América Latina Rural*. Serie Documentos de Trabajo N° 146. Santiago, Chile: Grupo de Trabajo: Desarrollo con Cohesión Territorial. Programa Cohesión Territorial para el Desarrollo. RIMISP.
- MADS. (2012). Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Márquez, G. (2003). Ecosistemas estratégicos de Colombia. *Revista de La Sociedad Geográfica de Colombia*, 133, 87–103.
- Millennium Ecosystem Assessment - MEA. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being. Opportunities and Challenges for Business and Industry*. Washington. D.C., United States: Island Press. Recuperado de: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Moreira, P.B. (2014). *Mapeo de servicios ecosistémicos de aprovisionamiento: el caso de la provisión de forraje en el paisaje rural del sur de Chile* (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Nahuelhual, L., Carmona, A., Lattera, P., Barrera, J., & Aguayo, M. (2014). A mapping approach to assess intangible cultural ecosystem services: The case of agriculture heritage in Southern Chile, *Ecological Indicators*, 40, 90–101. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.01.005.
- Nautiyal, S., Bisht, V., Rao, K.S., & Maikhuri, R.K. (2008). The Role of Cultural Values in Agrobiodiversity Conservation: A Case Study from Uttarakhand, Himalaya, *Journal of Human Ecology*, 23(1), 1–6.
- Niño-Martínez, C. (2015). Aproximación teórica de la categoría agricultura familiar como contribución al análisis conceptual en la política pública de desarrollo rural en Colombia (Documento de trabajo. Reportes de investigación. No. 10). Documento de trabajo. Bogotá. <https://doi.org/10.16925/greylit.1089>.



- Power, A.G. (2010). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2959–2971. doi: 10.1098/rstb.2010.0143.
- Quiceno, M., Vliet, N. van, Moreno, J., & Cruz, D. (2015). Diagnóstico sobre el comercio de carne de monte en las ciudades de Colombia (CIFOR Occasional Paper No. 136). Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR). doi: 10.17528/cifor/005740.
- Rengifo, B.A., Quitiaquez-Segura, L., & Mora-Córdoba, F.J. (2012). La educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia. *XII Coloquio Internacional de Geocrítica*, 1–16. <http://www.ub.edu/geocrit/coloquio2012/actas/06-B-Rengifo.pdf>.
- República de Colombia. (2007). Decreto 3600 de 2007 Nivel Nacional, 16.
- Rey-Benayas, J.M. (2012). Restauración de campos agrícolas sin competir por el uso de la tierra para aumentar su biodiversidad y servicios ecosistémicos. *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública*, 4(2), 101–110.
- Rice, J.C., & Garcia, S.M. (2011). Fisheries, food security, climate change and biodiversity, characteristics of the sector and perspectives on emerging issues. *ICES Journal of Marine Science*, 68(6), 1343–1353. doi: 10.1093/icesjms/fsr041
- Sandoval, M. (2012). Comportamiento sustentable y educación ambiental: Una visión desde las prácticas culturales. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 44(1): 181–196.
- Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J.L., Sheil, D., Meijaard, E., & Buck, L.E. (2013). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), 8349–8356. doi: 10.1073/pnas.1210595110.
- Smith, P. (2013). Delivering food security without increasing pressure on land. *Global Food Security*, 2(1): 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2012.11.008>.
- Stupino, S.A., Lermanó, M.J., Gargoloff, N.A., & Bonicatto, M.M. (2014). La biodiversidad en los agroecosistemas. En S.J. Sarandón & C.C Flores (Eds). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (pp. 131–158). Buenos aires, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de: <http://www.mec.gub.uy/innovaportal/file/75868/1/agroecologia.pdf>
- Torres-Salcido, G., Meiners-Mandujano, R., Morales-Córdova, D.A., Marina-Carral, V., & Alonso-Torres, G. (2015). Agricultura Familiar y Sistema Agroalimentario Localizado. Políticas Locales para la Producción de Cuitlacoche (*Ustilago Maydis* sp.). *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 12(2): 199–218. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360540278005%5Cn>.
- Valcárcel, M. (2007). *Desarrollo y Desarrollo Rural. Enfoques y reflexiones*. Pontificia Universidad Católica del Perú - Departamento de Ciencias Sociales.
- Verdaguer, C. (2014). Vías para la sostenibilidad urbana en los inicios del siglo XXI. Málaga, España: Agenda 21 Málaga. Recuperado de: [http://www.omaui-malaga.com/agenda21/subidas/archivos/arc\\_87.pdf](http://www.omaui-malaga.com/agenda21/subidas/archivos/arc_87.pdf)



# CAPÍTULO 3

---

## AGUA DULCE: PERSPECTIVA DE UN SERVICIO ECOSISTÉMICO A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD

Carlos Mario Duque Chaves  
Diego Alejandro Pérez Giraldo  
Kevin Alberto Berthi Mantilla  
Lina María Monsalve Castro  
Víctor Fabián Forero Ausique  
Diana Marcela Fúquene  
Manuel Francisco Polanco Puerta<sup>5</sup>

### 3.1. Introducción

Las dinámicas de crecimiento poblacional, asociadas a la diversificación de sistemas productivos y las modificaciones antrópicas de la biocenosis, han conducido a un deterioro de los diversos ecosistemas y por consiguiente, una disminución de los diferentes servicios que ofrecen. El agua dulce, como servicio ecosistémico de abastecimiento, (conocido igualmente como suministro o aprovisionamiento), ha permitido a las sociedades evolucionar y crecer en torno a un recurso natural intrínsecamente ligado a su desarrollo, siendo un componente obligatorio para la producción de alimentos, energía, servicios y crucial en la supervivencia de los seres humanos.

La función de suministro de agua se refiere al filtrado, retención y almacenamiento de agua principalmente en arroyos, lagos y acuíferos, lo cual también depende del papel de los ecosistemas en los ciclos hidrológicos (de Groot *et al.*, 2002), siendo utilizada en diversas actividades productivas, industriales, recreativas, sociales, entre otras. La gestión de este recurso se ha visto condicionada en diferentes aspectos, principalmente en el acceso y distribución a nivel mundial medida a partir de la disponibilidad, seguido por la afectación en términos de calidad.

---

<sup>5</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente. Correos electrónicos de contacto: carlos.duque@unad.edu.co, diego.perez@unad.edu.co, kevin.berthi@unad.edu.co

De acuerdo con el Programa Hidrológico Internacional adscrito a la UNESCO, los retos mundiales frente a la gestión de este recurso contempla en 2030 reducir el uso del agua tanto para el riego agrícola como la industria en un 20%, y uso doméstico en un 15%, al igual que el incremento de la productividad de agua en todos los sectores en un 50%, acogiendo el enfoque de gestión de la demanda hídrica, el cual busca menos demanda de agua para los cultivos, mayor número de tecnologías de ahorro de agua y reutilización segura de aguas residuales.

El uso ineficiente y la escasez de agua, amenazan la futura producción de alimentos en el mundo y consecuentemente la seguridad alimentaria y el sustento de millones de productores y consumidores (IICA, 2017), lo cual ha quedado en manifiesto debido a los diferentes cambios ambientales característicos del antropoceno, que han llevado a definir acciones enfocadas en la adaptación más que en la prevención.

El sector académico cumple un papel importante en la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el agua. Abordar estos retos desde la ciencia requiere igualmente la articulación con el gobierno y la sociedad civil, por consiguiente, los aportes en términos de información, evaluación de fenómenos y proyecciones en diferentes horizontes, permiten aportar en la comprensión de recursos así como su dinámica en proyecciones futuras.

Fortalecer la gestión del agua constituye una necesidad para los gobiernos locales, regionales y sobre todo nacionales, lo cual ha posibilitado la implementación de instrumentos de gestión y planificación orientados, no solo a racionalizar el recurso, sino a brindar estrategias para su conservación. El presente capítulo se orienta principalmente en brindar una visión del agua dulce como servicio ecosistémico a partir de un enfoque de indicadores de sostenibilidad, profundizando principalmente en el agrícola debido a la presión que genera sobre los ecosistemas y requerimientos debido a su dinámica nacional.

### **3.2. Agua dulce y agricultura**

En Colombia, al igual que en muchos países, el sector agropecuario se presenta como el principal usuario de agua en el mundo (IDEAM, 2015). Los requerimientos del recurso para suplir las necesidades de cultivos y procesos productivos asociados a estos, se encuentran sobre el 50% de la demanda total nacional. De acuerdo a las estimaciones realizadas para la formulación de la Política Nacional

de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIHR), la demanda de agua por parte del sector agrícola en el año 2010 representó el 54% del total de los recursos demandados a nivel nacional, estando por encima del uso doméstico, industrial, pecuario y de servicios.

En un estudio más reciente (IDEAM, 2015) la estimación del consumo de agua para este sector fue de 16.760 millones de metros cúbicos ( $\text{Mm}^3$ ) encontrándose por debajo de las cifras presentadas en el año 2010. Las diferencias se fundamentan a partir de aspectos metodológicos e incertidumbres generadas entre otros aspectos, por la estimación de consumo en cultivos de pastos y de forraje de zonas geográficas como Orinoco y Amazonia. A pesar de lo anterior, es evidente el requerimiento predominante del sector agrícola frente a la utilización del recurso hídrico, por consiguiente, la presión ejercida puede suponer afectaciones sobre los recursos ecosistémicos, no solo asociados al agua, sino relacionados con coberturas boscosas, generación de residuos sólidos y residuos peligrosos, salud pública y socio-económicos.

A partir de los aportes realizados por Arévalo & colaboradores (2014), se tiene que Colombia puede ofrecer la cantidad suficiente de agua para satisfacer los requerimientos de los sectores económicos, como lo son el agrícola, pecuario, doméstico, energético y minero-energético, así como de la población. Sin embargo, existen 22 subzonas hidrográficas llamadas “críticas” debido a la competencia entre los agricultores en unión con el sector pecuario y las áreas protegidas.

Las proyecciones de demanda hídrica total para Colombia al 2022, elaboradas en el marco del ENA por el MADS y el IDEAM, en el año 2014, ubican al sector agrícola con los requerimientos más altos en comparación con los demás sectores socioeconómicos, proyectándose un uso de agua total de  $39.526 \text{ Mm}^3$ , representando un incremento del 135,8% en comparación con la información disponible para año 2012. Igualmente, los resultados descritos en el ENA (estudio realizado cada cuatro años), en demanda anual ubica al área hidrográfica Magdalena – Cauca con un requerimiento de  $20.247,23 \text{ Mm}^3$  seguida del área Caribe ( $4.904,88 \text{ Mm}^3$ ), Orinoco ( $3.624,49 \text{ Mm}^3$ ), Pacífico ( $1.281,22 \text{ Mm}^3$ ) y Amazonas ( $162,93 \text{ Mm}^3$ ). Las dinámicas de uso de agua para el sector agrícola son relativas a las características y condiciones naturales de cada área hidrográfica, es decir, si bien para Magdalena – Cauca la distribución porcentual para el uso agrícola es del 46,2%, el área hidrográfica Caribe presenta un requerimiento superior con respecto a los demás usos, siendo este del 54,5%. Para el área hidrográfica del Amazonas, el

sector agrícola representa únicamente el 19,8% de la distribución porcentual con respecto a otros usos, encontrándose por debajo del uso doméstico y pecuario.

En estudios realizados a nivel de cuencas hidrográficas como áreas donde confluyen diferentes aspectos ambientales, sociales, económicos y culturales, han permitido conocer la dinámica del recurso hídrico para los diferentes sistemas productivos allí presentes (Fonseca & Cleves, 2018).

### 3.3. Agua dulce y ganadería

Los requerimientos de agua para el sector ganadero se encuentran relacionados no solo con la utilización del recurso para los animales en los diferentes ciclos de producción, sino también para garantizar el crecimiento de los forrajes requeridos para las dietas y producción de alimentos. En la búsqueda por minimizar los impactos ambientales generados por esta actividad productiva, la ganadería sostenible ha surgido como una herramienta para fortalecer, entre otros aspectos, el uso del recurso hídrico (Corredor, 2018). La apuesta de este enfoque de producción sostenible se orienta en garantizar los corredores ribereños con franjas de vegetación nativa que permita la protección de quebradas, lagos, humedales y arroyos.

De acuerdo con Ran & colaboradores (2017), para prevenir el uso no sostenible y la gestión de los recursos hídricos, es necesario describir los vínculos entre la producción pecuaria y el uso de agua dulce. Lo anterior analizado desde un enfoque de indicadores de sostenibilidad, se relaciona principalmente con la identificación y cuantificación del recurso requerido en la cadena de producción, tanto utilizado directamente por los animales como de forma indirecta para aspectos de suministro de alimentos.

Bajo los criterios de la huella hídrica para el sector ganadero en Colombia, es necesario considerar que esta corresponde de manera indirecta a la alimentación del ganado, el cual consume pasto como fin económico asociado a la producción de leche o carne. Se estima en Colombia un requerimiento de agua para el sector pecuario de un total de 245.536 Mm<sup>3</sup>/año, el cual se encuentra representado en pastos que sirven de alimento en la ganadería extensiva (sistemas silvopastoriles, pastos naturales y mejorados).

De acuerdo con los anteriores resultados, la presión sobre los recursos hídricos a partir de los requerimientos del sector ganadero debe ser evaluada desde su utilización en los diferentes ciclos de producción, así como los impactos ambientales

derivados del desarrollo de la actividad, lo cual permita valorar de forma integral las afectaciones del sector.

### 3.4. Indicadores de sostenibilidad hídrica

Diferentes metodologías han surgido como herramienta para evaluar el desempeño en la gestión del recurso hídrico, así como la calidad del agua principalmente para consumo humano. A nivel nacional, se incorporó en el ENA 2014 la huella hídrica como instrumento de evaluación, la cual es aplicable a una unidad de análisis tan amplia como el territorio nacional, más específico como una cuenca hidrográfica o tan puntual como un producto o servicio.

Bajo un contexto nacional, la evaluación multisectorial de la Huella Hídrica (HH) permitió incorporar una nueva herramienta de análisis con aplicación a nivel mundial, logrando presentar nuevos indicadores de acuerdo y conceptos poco utilizados en un estudio de orden nacional. La introducción de esta herramienta de análisis en el contexto académico hace parte de los trabajos realizados por Hoekstra & Hung (2002), Chapagain & Hoekstra (2003), Hoekstra (2003), Oki & colaboradores (2003), Zimmer & Renault (2003) y Fraiture & colaboradores (2004). El marco de referencia para la aplicación de la HH se ha fortalecido en los últimos años, existiendo actualmente dos metodologías utilizadas para el cálculo (Vanham & Bidoglio, 2013):

- **El enfoque volumétrico de la Red de Huella Hídrica (WFN):** Es el enfoque original desarrollado según Hoekstra & Hung (2002) y se refiere a la cuantificación de los contenidos de agua requiriendo definir: A. Objetivos y alcance, B. Contabilidad, C. Evaluación de sostenibilidad, D. Respuestas.
- **El enfoque de Análisis del Ciclo de Vida (LCA):** Está de acuerdo con la reciente norma ISO 14046 y de manera similar a los estudios de ACV, debe llevarse a cabo de la siguiente manera: A. Definición de objetivo y alcance, B. Evaluación de inventario, C. Impacto, D. Interpretación (Páez, 2018).

De acuerdo con el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable - CADIS, la Embajada de Suiza en Colombia y la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo - COSUDE (2016), el enfoque presentado por la WFN busca cuantificar la cantidad de agua requerida por un consumidor, un producto, una empresa o una región geográfica dividida en componentes azul, verde y gris. El enfoque de LCA busca cuantificar los impactos potenciales relacionados con el uso de agua en el ciclo de vida del producto, considerando impactos en el ecosistema, la salud humana y los recursos.

En este sentido, el IICA (2017) define la evaluación de HH como una metodología que promueve y apoya el uso sostenible del recurso hídrico a través de información transparente y completa sobre el consumo y la contaminación del agua, en relación con la disponibilidad de esta. Lo anterior permite identificar de forma puntual el estado actual de procesos productivos, servicios, personas, áreas geográficas, hasta los requerimientos en términos del recurso para países.

En contexto nacional, se destacan estudios realizados por Arévalo & colaboradores (2011), con aplicación al sector agrícola, WWF (2012), enfocado en la agricultura, CTA (2013), para la cuenca del río Porce, así como la introducción de la HH como herramienta de evaluación en el Estudio Nacional de Agua ENA elaborado en el año 2014. La articulación de esta herramienta se ha extrapolado a otros sectores como el energético, existiendo actualmente lineamientos puntuales para su aplicación en actividades productivas como la minería (UPME, 2016), en cuencas hidrográficas (CTA, 2013).

Adoptar nuevos enfoques para la evaluación del recurso hídrico a partir de indicadores de sostenibilidad ha permitido avanzar en la construcción de información orientada tanto a la calidad como en la cantidad (Fonseca, 2018). En este sentido, la aplicación de indicadores hídricos para evaluar el régimen natural y la intervención antrópica ha sido incluida en estudios de diferentes instituciones a nivel nacional, principalmente los desarrollados por el IDEAM. La tabla 3.1 relaciona los estudios desarrollados a nivel Latinoamericano para diferentes áreas de estudios, encontrándose elaborados principalmente para el campo agropecuario.

### **3.5. Política de recurso hídrico**

La gestión orientada al recurso hídrico debe incluir lineamientos que integren diferentes componentes de índole no solo ambiental, sino social, económico y cultural. Bajo ese enfoque, el concepto de integralidad ha sido incluido como componente fundamental en los diferentes instrumentos de planificación que han sido definidos a nivel nacional.

De acuerdo con González (2017), el término “integrada” pasa a referirse a la gestión colectiva del recurso, ya que resalta la existencia de los diferentes valores que el agua representa para una multiplicidad de actores, llamando la atención sobre la importancia de definir espacios que promuevan la participación de diferentes actores que hacen parte de esta gestión.

**Tabla 3.1.** Estudios de HH en Latinoamérica utilizando las metodologías Water Footprint Network - WFN y Life Cycle Assessment - LCA.

Autor(es)	País	Área de estudio	Metodología*
Arena <i>et al.</i> , (2011)	Argentina	Soya	WFN
Valenzuela (2011)	Chile	Producción de cobre	WFN
Arévalo <i>et al.</i> , (2011)	Colombia	Producción agrícola nacional	WFN
Güereca <i>et al.</i> , (2011)	Latinoamérica y el Caribe	Tratamiento de aguas residuales	LCA
Farell <i>et al.</i> , (2011)	México	Trigo	LCA
Arévalo (2012)	Colombia	Productos agrícolas relevantes	WFN
Vásquez y Buenfil (2012)	Latinoamérica	Diferentes sectores socioeconómicos	WFN
Franke y Castro (2012)	Brasil	Productos cosméticos	WFN
Farell <i>et al.</i> , (2013)	México	Agua de uso público	LCA
Farell (2013)	México	Diferentes sectores socioeconómicos	LCA
CTA, Suiza, Agua Colombia y Cosude (2013)	Colombia	Cuencas hídricas	WFN
Gobierno de la provincia de San Luis (2013)	Argentina	Agrícola y pecuaria	WFN
Ran <i>et al.</i> , (2013)	Uruguay	Ganadería	WFN
Peña <i>et al.</i> , (2013)	Chile	Producción de cobre	WFN
Vanegas <i>et al.</i> , (2013)	Colombia	Producción de Lirio Japonés	WFN
Servicios Ambientales S.A. - (2013)	Quito	Embotellado de bebidas	WFN
Fernanda França Ferreira (2014)	Brasil	Energía eléctrica	WFN
Ximena Vanessa Echeverri Bedoya (2014)	Colombia	Piedra caliza	WFN
Sánchez., <i>et al.</i> , (2014)	Colombia	Pitahaya Amarilla	WFN
Moyano Salcedo <i>et al.</i> , (2015)	Argentina	Leche	WFN
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA (2015)	Argentina	Leche	WFN
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA (2015)	Argentina	Maní	WFN
Universidad de Pamplona. GAIA Servicios Ambientales (2015)	Colombia	Cacao	WFN
Díaz <i>et al.</i> , (2016)	Colombia	Algodón	WFN

Fuente: autor a partir de CADIS (2016).



Para el caso colombiano, la PNGIHR tiene una meta a 12 años, en los cuales se desarrollarán las líneas de acción estratégicas de acuerdo con lo planteado a corto (2014), mediano (2018) y largo plazo (2022), a través del Plan Hídrico Nacional. Bajo el objetivo general (MAVDT 2010), el MAVDT plantea diferentes objetivos desde diferentes escenarios de gestión, definiendo acciones puntuales para aspectos como la oferta, demanda, calidad, riesgo, fortalecimiento institucional y gobernabilidad. Puntualmente, los objetivos definidos en el PNGIRH se orientan en:

- a. **Objetivo 1. OFERTA:** Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.
- b. **Objetivo 2. DEMANDA:** Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.
- c. **Objetivo 3. CALIDAD:** Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.
- d. **Objetivo 4. RIESGO:** Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.
- e. **Objetivo 5. FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL:** Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico.
- f. **Objetivo 6. GOBERNABILIDAD:** Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.

Un aspecto importante contenido en esta política se relaciona con el componente inmerso en los cuatro primeros objetivos y que se orienta en garantizar la planificación del recurso a partir de los diferentes componentes de los ecosistemas, tales como suelo, fauna, flora, consumo y uso del agua. Bajo los objetivos 5 y 6, se orienta un componente de planeación a partir del fortalecimiento de las capacidades institucionales y principalmente la gobernabilidad.

Posterior a la formulación e implementación de la PNGIHR, se han definido otros instrumentos en la búsqueda de garantizar el cumplimiento de los objetivos propuestos. Uno de los más importantes se ha relacionado con los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) con aplicación en las subzonas hidrográficas, el cual define criterios y lineamientos puntuales para ser implementados de acuerdo a las dinámicas del recurso hídrico.

### 3.6. Consideraciones finales

Es evidente que la gestión de los recursos hídricos requiere soluciones puntuales y dinámicas, que articulen nuevos enfoques y que permitan abordar los desafíos que conlleva la seguridad hídrica producto del incremento de la población y de los sistemas productivos, así como los cambios en la sociedad derivados de la adaptación al cambio climático. Bajo esta perspectiva, soluciones basadas en conceptos biomiméticos como propuesta para afrontar los retos tanto de disponibilidad, calidad y riesgos relacionados con el agua, surgen como una alternativa en la búsqueda de alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible ODS 6, en relación a la gestión sostenible de estos recursos, así como el saneamiento.

El programa de la WWAP (2018), adscrito a ONU-Agua presenta en el Informe Mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos una nueva propuesta de soluciones basadas en la naturaleza (SbN), las cuales imitan los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua.

Los retos que trae consigo la adaptación al cambio climático conllevan a implementar acciones desde diferentes enfoques, en caso puntual de la gestión hídrica, nuevos paradigmas han comenzado a orientar el énfasis dejando a un lado la observación de los impactos en los ecosistemas y coincidiendo con la gestión de los mismos ecosistemas con el fin de alcanzar los beneficios ambientales.

Estrategias como la implementación de las SbN a escala de cuencas hidrográficas y estrategias como el Pago por Servicios Ambientales – PSA mediante incentivos, asistencias y materiales, permiten a las comunidades ubicadas tanto aguas arriba como aguas abajo, poder obtener beneficios como purificación del agua, reducción en los riesgos de inundación y reducción de la erosión a raíz de la no ampliación de la frontera agrícola. Acciones puntuales de la SbN como gestión de cuencas hidrográficas, agricultura de conservación, infraestructura verde urbana, humedales construidos, protección y restauración de ecosistemas, entre otros, posibilitan alcanzar las metas del ODS 6 en relación al agua y saneamiento.

Finalmente, avanzar en la construcción de una gestión orientada en la resiliencia del agua a través del Antropoceno requiere re-definir la relación entre los ecosistemas, la hidrogeología y las necesidades humanas, en este sentido, los instrumentos de planificación que se articulen a los ODS, deben partir de la integración de estrategias y nuevos enfoques que puedan posicionar al agua como eje articulador del Desarrollo Sostenible.

### 3.7. Estudio de caso: Cuenca del Río Otún

La cuenca hidrográfica como espacio de interacción socioecológica, en la cual confluyen una diversidad de actores, sirve como soporte para las relaciones entre el aprovisionamiento de los servicios ecosistémicos y las interacciones sociales, propias de los procesos de desarrollo que dan lugar a los diferentes cambios en las coberturas y usos del suelo. Estas dinámicas requieren a corto y mediano plazo acciones puntuales de planificación, orientadas no solo a la gestión de los recursos hídricos, sino a garantizar un equilibrio entre el componente social y económico, representado en el aprovechamiento de los recursos naturales existentes en estos territorios.

El río Otún constituye la principal fuente abastecedora de agua para la ciudad de Pereira (Risaralda) y es un territorio estratégico por los diferentes servicios ecosistémicos que allí se desarrollan. Las dinámicas naturales, económicas y sociales presentes en la cuenca media y alta del río Otún, han generado el desarrollo de proyectos de investigación orientados a fortalecer la Gestión Integral de Recurso Hídrico –GIRH, así como procesos enfocados a su planificación mediante la formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas, el cual se encuentra en desarrollo.

De acuerdo con CTA & colaboradores (2015), la subzona hidrográfica perteneciente al río Otún y otros directos al Cauca (área hidrográfica Magdalena-Cauca) presenta un Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas –IPHE<sup>6</sup> en una categoría “crítica” (Tabla 3.2), siendo una cuenca con competencia entre el sector agropecuario y los ecosistemas estratégicos para la provisión de servicios ecosistémicos, principalmente asociado a la ampliación de la frontera agrícola.

De acuerdo con los resultados de la Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia (CTA *et al.*, 2015), es necesario continuar con los procesos de aplicación de las áreas protegidas, fortalecer los procesos de planeación de actividades productivas como la expansión ganadera y agrícola, así como la articulación con las estrategias de adaptación al cambio climático que se implementen tanto a nivel regional como nacional.

<sup>6</sup> Indicador incluido en el ENA, 2014 el cual se relaciona con la fracción de apropiación de los recursos de agua verde disponibles.

**Tabla 3.2.** Subzonas hidrográficas con IPHE crítico.

SZH	Subzona hidrográfica	Área hidrográfica	IPHE
3501	Río Metica (Guamal-Humadea)	Orinoco (3)	1,77
4505	Río Luisa	Amazonas (4)	1,47
2634	Río Cali	Magdalena Cauca (2)	1,44
2405	Río Sogamoso	Magdalena Cauca (2)	1,34
2314	Río Opón	Magdalena Cauca (2)	1,26
2903	Canal del Dique margen derecho	Magdalena Cauca (2)	1,22
1204	Río Canalete y otros Arroyos Directos al Caribe	Caribe (1)	1,21
2613	Río Otún y otros directos al Cauca	Magdalena Cauca (2)	1,21
2303	Directos al Magdalena entre ríos Seco y Negro (md)	Magdalena Cauca (2)	1,20
130	Bajo Sinú	Caribe (1)	1,19

Fuente: CTA *et al.*, (2015).

### 3.8. Evaluación del capítulo

1. ¿La aplicación de la Huella Hídrica como herramienta de análisis permite evaluar la sostenibilidad en diferentes sistemas de producción?
2. ¿Cuáles son los criterios conceptuales necesarios para proponer la evaluación del recurso hídrico mediante indicadores de sostenibilidad?
3. ¿Cuáles son las estrategias que se pueden aplicar a nivel de cuenca hidrográfica que puedan permitir la disminución del Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas IPHE?

### Referencias

- Arévalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2014). Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 6, 101-126.
- CADIS, Embajada de Suiza en Colombia, COSUDE. (2016). *Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina, análisis y recomendaciones para una coherencia regional*. Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable - Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo.
- Corredor, E. S. (2018). Huella hídrica. En Fonseca, J. A., Páez, E.M. y Corredor, E. S. *Metodologías para la estimación de sostenibilidad agropecuaria*. (pp: 93-114). Colombia. Sello editorial UNAD

- CTA. (2013). *Evaluación de la Huella Hídrica en la cuenca del río Ponce*. Medellín: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.
- Chapagain, A.K., & Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water trade. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. In: Hoekstra, A.Y. (Ed). *Virtual Water Trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* (pp. 49-76). IHE Delft, The Netherlands: Research Report Series No. 12.
- CTA, GSI-LAC, COSUDE, IDEAM, (2015). *Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014*. Medellín, Colombia: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, GSI-LAC, Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
- De Fraiture, C., Cai, X., Amarasinghe, U., Rosegrant, M., & Molden, D. (2004). Does international cereal trade savewater? The impact of virtual water trade on global water use. *Comprehensive Assessment Research Report*, vol. 4.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., & Boumans, R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Fonseca, J.A. (2018). Evaluación de Agroecosistemas Familiares Campesinos Mediante Indicadores de Sustentabilidad. En Fonseca, J. A., Páez, E.M. y Corredor, E. S. *Metodologías para la estimación de sostenibilidad agropecuaria*. (pp: 93-114). Colombia. Sello editorial UNAD.
- Fonseca, J.A. y Cleves, J.A. (2018). Evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas familiares campesinos en zonas de páramo en Colombia. En Astier, M y Arnes, E.(Ed.). (2018). *Sostenibilidad en sistemas de manejo de recursos naturales en países andinos*. (pp; 79 – 122). Ciudad de México. México. Editorial libros UNAM.
- González, N. (2017). Desafíos de la gobernanza ambiental: una aproximación a las implicaciones de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico en Colombia. *Ciencia Política*, 12(23), 205-229.
- Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water trade. Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade. In: Hoekstra, A.Y. (Ed). *Virtual Water Trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* (pp. 13-23). IHE Delft, The Netherlands: Research Report Series No. 12.
- Hoekstra, A.Y., & Hung, P.Q. (2002). Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade. In: Hoekstra, A.Y. (Ed). *Virtual Water Trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* (pp. 25-47). IHE Delft, The Netherlands: Research Report Series No. 12. IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá., D. C., Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IICA. (2017) *Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica*. Unión Europea – San José, C.R.: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- MAVDT. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Oki, T., Sato, M., & Kawamura, A. (2003). Virtual water trade to Japan and in the world. In: A.Y. Hoekstra (Ed). *Virtual Water Trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* (pp. 221-235). IHE Delft, The Netherlands: Research Report Series No. 12.

- Páez, E. M. (2018). Huella de carbono. En Fonseca, J. A., Páez, E.M. y Corredor, E. S. Metodologías para la estimación de sostenibilidad agropecuaria. (pp: 48-92). Colombia. Sello editorial UNAD.
- Ran, Y., van Middelaar, C.E., Lannerstad, M., Herrero, M., & de Boer, I.J.M. (2017). Freshwater use in livestock production—to be used for food crops or livestock feed? *Agricultural Systems*, 155, 1-8.
- UNESCO. (2014). *International Hydrological Programme (2014) Water in the Post-2015 Development Agenda and Sustainable Development Goal*. Paris, France: United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.
- UPME. (2016). *Guía metodológica para evaluación de la Huella Hídrica del sector minero Colombiano*. Bogotá D. C., Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética.
- Vanham, D., & Bidoglio, G. (2013). A review on the indicator water footprint for the EU28. *Ecological Indicators*, 26, 61-75.
- WWF. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica*. Bogotá D. C., Colombia: Reporte Colombia World Wildlife Fund. Recuperado de: <http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf>
- WWAP/ONU-Agua (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. París, Francia: UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf>
- Zimmer, D., Renault, D. (2003). Virtual water in food production and global trade: review of methodological issues and preliminary results. In: A.Y. Hoekstra (Ed). *Virtual Water Trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* (pp. 93-109). IHE Delft, The Netherlands: Research Report Series No. 12.



# CAPÍTULO 4

## RECURSOS MEDICINALES: LA ETNOBOTÁNICA DE PLANTAS MEDICINALES COMO ALTERNATIVA DE ESTUDIO DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL OCCIDENTE DE COLOMBIA

Ramón Antonio Mosquera Mena  
Marta Elena Carmona Cadavid  
Sandra Yamile Pulido Pulido  
Sandra Patricia Montenegro Gómez  
Martha Cecilia Vinasco Guzmán  
Juliana Moraes Boldini,<sup>7</sup>  
Silvia Eugenia Barrera Berdugo<sup>8</sup>

### 4.1. Introducción

La biodiversidad ha sido fuente de innumerables servicios para las sociedades desde el comienzo de los tiempos, por tanto, los ecosistemas juegan un papel decisivo en el aprovisionamiento de bienes y servicios necesarios para mantener la vida humana y animal, los cuales de manera permanente se ven sometidos a cambios principalmente de fuente antrópica que son justificados para adaptarlos a una mayor prestación de estos servicios, siendo definidos como la capacidad de los ecosistemas para proporcionar productos y/o servicios al hombre entre los que se pueden encontrar una amplia gama.

Pese a lo anterior, el conocimiento sobre los servicios que presta el ecosistema son antiguos ya que desde épocas de Platón, se tiene referencia de que la deforestación puede causar erosión (Cornejo-Latorre *et al.*, 2014), pero fue solo hasta finales de los años 60 cuando se hizo referencia a la definición del concepto “servicio” asociado al ecosistema, esto producto de movilizaciones de carácter ambientalistas que por dicha época visibilizaron una crisis ambiental que originó

<sup>7</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente. Correos electrónicos de contacto: ramon.mosquera@unad.edu.co, marta.carmona@unad.edu.co, sandra.pulido@unad.edu.co

<sup>8</sup> Investigadora Universidad Industrial de Santander.

la reflexión sobre los efectos futuros que tendría la alteración de los ecosistemas, como fuente de suministro de productos y servicios para la sociedad, y se adelantó la estructuración de un listado que describió las problemáticas ambientales más representativas (Mooney & Ehrlich, 1997).

En el 2001, el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) comenzó el proyecto “The Millennium Ecosystem Assessment” - MEA, que tenía como objetivo evaluar la forma en que los cambios realizados por el hombre a los ecosistemas pueden afectar el bienestar de la especie humana. Los resultados sirvieron para desarrollar varias investigaciones relacionadas con los servicios ambientales y se espera se utilicen para establecer mejores políticas relacionadas con el medio ambiente (MEA, 2005). Así mismo es importante mencionar que en los últimos 10 años se ha producido una cantidad de referencias relevantes derivadas de trabajos de investigación relacionada con los servicios ambientales y los servicios ecosistémicos, lo que se puede evidenciar mediante la búsqueda en bases de datos como EBSCOhost donde utilizando como palabra clave “Ecosystem Services” (Servicios ecosistémicos) se pueden encontrar 8681 documentos completos y si se utiliza la palabra clave “Environmental Services” (Servicios ambientales) se pueden localizar 62.943, lo que indica una buena cantidad de referencias para entrar a estudiar los servicios ecosistémicos en sus diferentes aplicaciones.

Efectivamente, una de esas aplicaciones la constituye el servicio ambiental de proporcionar plantas con algún efecto curativo para diferentes dolencias que pueden sentir tanto humanos como animales (Mendoza & Figueroa-Hernández, 2006), en ese contexto, comprender la medicina alternativa basada en el uso de plantas medicinales ha sido objeto de estudio de la etnobotánica, etnobiología y etnofarmacología (Pabón *et al.*, 2017), buscando identificar principios activos (Pino & Valois, 2004) para la síntesis de fármacos.

Por lo tanto, en este capítulo se mostrará la variedad de plantas medicinales, especialmente, las que se comercializan en las plazas de mercado de diferentes municipios del país (Toscano-González, 2006; Lagos-López, 2007; Giraldo *et al.*, 2015; Martínez & Montes, 2017; Pabón *et al.*, 2017), teniendo en cuenta que desde los tiempos más antiguos, el hombre ha transmitido de generación en generación el conocimiento de este tipo de plantas y ha aprendido a utilizar las que pueden servir para curar las heridas, las indisposiciones o las enfermedades ayudando a mejorar la salud.



## 4.2. La etnobotánica y la medicina tradicional

La etnobotánica se encarga de estudiar las relaciones entre los recursos naturales, especialmente las plantas y las poblaciones humanas (Pino & Valois, 2004; Ramos-Hernández *et al.*, 2007), en diferentes ambientes y a través del tiempo (Hernández, 1979; Monroy & Quezada, 2010), convirtiéndose en una importante herramienta para los investigadores, a la hora de hacer el registro y la clasificación de las plantas y relacionarlo con el conocimiento tradicional de una comunidad (Lagos-López, 2007; Carreño, 2016). La etnobotánica, ha trabajado en favor de la relación de la población humana con el medio ambiente, direccionando sus esfuerzos a los diferentes usos y el manejo de la biodiversidad por parte de las poblaciones, enfocándose en el uso medicinal de las plantas (Martínez & Montes, 2017). Harold Conklin, por ejemplo, pionero de la etnoecología, y quien en los años 50 del siglo pasado estuvo estudiando a los *Hanunoo* de Filipinas, planteó que algunos pueblos que desarrollaron la horticultura tradicional, demuestran un conocimiento profundamente detallado de su entorno natural, aunque dependiente de unos sistemas de conocimiento y de clasificación del modelo científico occidental (Conklin, s.f.).

Por otro lado, la medicina tradicional es todo el conjunto de conocimientos, aptitudes y prácticas basada en teorías, creencias y experiencias indígenas, campesinas y afrodescendientes y sus diferentes culturas, sean o no explicables, usados para el mantenimiento de la salud, así como para la prevención, el diagnóstico, la mejora o el tratamiento de enfermedades físicas o mentales (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2002), criterio que abarca las diferentes partes de las plantas que son utilizadas como medicamento, ya sea raíces, tallos, hojas, flores y frutos, y que comúnmente son comercializados en diferentes lugares de los pueblos y ciudades y cuyo conocimiento es difundido especialmente de manera oral, autoaprendizaje y de generación en generación (Giraldo *et al.*, 2015).

Esto puede ocurrir debido a que como afirma Reyes-Valerio (2000), el uso de plantas medicinales tiene antecedentes prehispánicos y con el tiempo se ha venido perfeccionando, ya que con la agricultura se produce también la organización y clasificación de las plantas y sus usos, produciendo un conocimiento tradicional que es difundido de generación en generación en ocasiones con poca tecnología pero, que le permite a las comunidades la satisfacción de necesidades de salud, por lo que se desarrolló un gran interés del conocimiento tradicional en esta materia.

### 4.3. Historia de las plantas medicinales

El surgimiento del hombre, especialmente con la terminación del nomadismo, implicó también la generación de condiciones para la satisfacción de necesidades las cuales, además de la alimentación, abrigo y hospedaje, cubrió también las necesidades de sanación de las afecciones que debieron ser comunes para las condiciones reinantes, por lo tanto mediante un proceso de ensayo-error se estableció el conocimiento sobre las plantas y sin calificar por usos, se realizó una clasificación de ellas buscando la preservación de las plantas medicinales al mismo tiempo que se difundió su conocimiento.

En este sentido se denominan como plantas medicinales a aquellas cuyas partes o extractos se utilizan como drogas o medicamentos para el tratamiento de alguna afección o enfermedad que padece un individuo o animal (Garcés & Cruz, 1987). En un concepto más elaborado, son definidas como aquellas plantas que contienen en uno o más de sus órganos, sustancias o compuestos químicos que en suficientes dosis y al entrar en contacto con el organismo (humano o animal) son capaces de actuar sobre determinados procesos produciendo un efecto curativo (Cosme-Pérez 2008), o bien sirviendo como materia prima en la producción de medicamentos semisintéticos (Akerelle, 1993) y nuevos fármacos (Maregesi *et al.*, 2007).

Sin embargo, para estudiar las plantas medicinales hay que hacer un viaje al pasado bastante remoto, al punto que hoy es difícil establecer el momento de partida que con exactitud muestre el tiempo en el cual esta práctica comenzó, pero podría ser que el interés por las plantas medicinales surgió por ensayo al consumir alguna planta que luego de ser ingerida y no matar a quien la consumió, terminó curando alguna afección y al repetir dicha acción el resultado siguió siendo positivo para el consumidor. Más recientemente, se estimó el uso de plantas medicinales en el 80% de la población mundial, mientras que un 30% de los fármacos que son comercializados se consideran como medicamentos de origen vegetal (Oliveira *et al.*, 2012).

En la actualidad, la etnobotánica se ocupa no solo del conocimiento tradicional de las plantas medicinales, sino que también plantea alternativas para que los conocimientos tradicionales beneficien a las comunidades que poseen ese conocimiento (Martin, 2001), que en muchas oportunidades llega a grandes empresas farmacéuticas que lo aprovechan, obteniendo cantidades importantes de dinero, mientras las comunidades poseedoras del conocimiento tradicional no obtienen

ningún tipo de contraprestación. A su vez, la destrucción de los hábitats naturales que genera reducción o pérdida de especies medicinales, y la pérdida del conocimiento tradicional en las comunidades, han hecho que el estudio de la etnobotánica adquiera mayor importancia (Reyes *et al.*, 2014).

La investigación etnobotánica debe ser desarrollada y no quedarse enmarcada en usos tradicionales, así como también debe mostrar resultados que coincidan con los intereses de las comunidades para que estén más dispuestos a colaborar, por lo que se recomienda que los estudios etnobotánicos cumplan los siguientes parámetros (Martin, 2001):

- Que los datos registrados deben ser de plantas medicinales importantes utilizadas y trabajadas en la comunidad donde se realice el trabajo.
- La importancia cultural o nivel de uso de diferentes especies en la localidad seleccionada debe establecerse cuantitativamente.
- Realizar un estudio socioeconómico relacionado con el patrón de variación del conocimiento tradicional en la comunidad estudiada.
- Estudiar la etnoecología empleada por la comunidad estudiada para el aprovechamiento de plantas medicinales.
- Determinar abundancia, distribución y diversidad de las plantas medicinales usadas por la comunidad estudiada en los ambientes naturales y cultivados, objeto de explotación.
- Evaluar el impacto de la extracción de plantas medicinales sobre la estructura y diversidad de los ecosistemas naturales.
- Diseñar proyectos de aprovechamiento sostenible o estrategias de conservación de los recursos y los ecosistemas naturales, que tomen en cuenta los conocimientos y tecnologías tradicionales, en las comunidades locales.
- Desarrollar mecanismos para el reconocimiento público de los derechos intelectuales sobre el conocimiento tradicional en el contexto estudiado.
- Desarrollar estrategias para compensar a la población de las comunidades por su participación en las investigaciones.

#### **4.4. Las plantas medicinales en el contexto nacional**

Colombia ocupa el segundo lugar en diversidad de especies vegetales y al menos 6.000 de estas especies poseen propiedades medicinales, las cuales son utilizadas tradicionalmente por diferentes comunidades para curar enfermedades

(Giraldo *et al.*, 2015). En Colombia, para el 2011 se identificaron 1.966 especies medicinales nativas y 399 foráneas, todas del neotrópico. Entre las nativas del neotrópico, 214 especies son exclusivas de Colombia y 1.442 especies son nativas no exclusivas; también se reportaron 310 especies nativas del Neotrópico sin presencia en Colombia, pero accesibles desde países vecinos, mientras que 42 especies de plantas foráneas de uso medicinal en Colombia son introducidas y han logrado adaptarse a diversas zonas del país, llegando a ser consideradas invasivas (Bernal *et al.*, 2011). El hecho de que solo 12,5% de esas plantas hayan sido referenciadas como terapéuticas refleja el escaso conocimiento científico que se tiene sobre las aplicaciones de las plantas medicinales (Ram *et al.*, 2004). Las familias que han sido reportadas con el mayor número de especies de plantas medicinales en Colombia son *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Rubiaceae*, *Solanaceae*, y *Lamiaceae*, siendo la familia *Asteraceae* la más abundante con un total de 41 especies (Bernal *et al.*, 2011).

En tal sentido, en Colombia se ha presentado un interés importante por conocer la etnobotánica de las plantas medicinales y se cuenta con una buena producción de información levantada hasta el momento (Pino & Valois 2004; Toscano-González, 2006; Lagos-López, 2007; Giraldo *et al.*, 2015; Martínez & Montes, 2017; Pabón *et al.*, 2017), sin embargo, sigue siendo insuficiente comparada con la gran biodiversidad del país y de la diversidad de ecosistemas que posee.

Pino & Valois (2004), reportaron las potencialidades de las plantas y la contribución de los conocimientos ancestrales que usan las comunidades afrodescendientes de Pacurita, Guayabal, La Variante en el Río Cabí y Avenida Bahía Solano en el Río Atrato-Quibdó, pacífico colombiano. 248 especies distribuidas en 85 familias y 216 géneros, siendo la familia *Arecaceae* (7,2%), la de mayor representación. Las categorías con mayor representación de especies fueron: medicinal (135), alimenticia (97), construcción (85), artesanal (83), combustible (82), mágico-religiosa (53), ornamental (42), colorante (23) y cebadero de fauna (16), aromática (15) e indicadora de suelo fértil (7).

Toscano-González (2006), documentaron la importancia relativa de las plantas medicinales y se estima cual es el conocimiento que tienen los campesinos, en la vereda San Isidro, municipio de San José de Pare, Boyacá. Esta evaluación se realizó cuantitativamente, a través de encuestas, donde se obtuvo como resultado un registro de 42 familias, 78 géneros y 84 especies entre plantas medicinales,

aromáticas y mágico religiosas. Este registro de usos en la zona de estudio, muestra que está muy arraigado el conocimiento tradicional en la comunidad y lo mantienen los curanderos y madres cabeza de familia.

Lagos-López (2007), recogió información de 600 personas de Tunja, Chíquiza, Cómbita, Oicata, Sora y Soracá, las cuales mencionaron usar 45 especies de plantas con propiedades medicinales distribuidas en 24 familias y 40 géneros. El 76% de las personas informó que utiliza plantas medicinales y un 24% que no las usa. Las familias botánicas Asteraceae y Lamiaceae fueron las más abundantes y reconocidas por su uso en la medicina local, mientras que *Calendula officinalis*, con un 90%, fue la más usada seguida de *Cymbopogon citratus* y *Physalis peruviana* con 85% y 80%, respectivamente. De cada planta medicinal se obtuvo también la información sobre que parte de ella es usada, enfermedad que trata y la manera de prepararla para su consumo.

De otro lado, el estudio realizado por Giraldo & colaboradores (2015), en plazas de mercado de Bogotá, mostró los resultados de la aplicación de encuestas semiestructuradas en 8 plazas de mercado, donde posteriormente se realizó la identificación de las plantas de mayor frecuencia de citación por los vendedores y su uso tradicional, el cual se comparó con los reportes del Vademécum Colombiano de Plantas Medicinales (Ministerio de Protección Social, 2008), donde se citan con mayor frecuencia cedrón (*Aloysia citriodora*), caléndula (*Calendula officinalis*) y manzanilla (*Matricaria chamomilla*) y se reportan al menos tres veces cola de caballo (*Equisetum bogotense*), ruda (*Ruta graveolens*) y albahaca (*Ocimum americanum*). De igual manera este estudio mostró que plantas de paico, chitato, alfalfa, laurel y suelda consuela no estaban reportadas en este “Vademécum”, que los vendedores tenían poco conocimiento sobre contraindicaciones y efectos adversos y por esto no son bien utilizadas por la comunidad y existe un desconocimiento de las diferencias entre las formas de preparación, infusión y de cocción. Plantas de caléndula (*C. officinalis*), manzanilla (*M. chamomilla*), cola de caballo (*E. bogotense*), diente de león (*Taraxacum officinale*), hierbabuena (*Mentha spicata*), ajeno (*Artemisia absinthium*) y parietaria, reportadas hasta en un 30%, fueron las más citadas por Pabón & colaboradores (2017), también en plazas de mercado en Bogotá.

En Colombia no existe un profundo conocimiento sobre los usos terapéuticos tradicionales de las plantas medicinales, debido al insuficiente desarrollo de investigaciones etnobotánicas, de bioprospección de compuestos con actividad

biológica, y a la escasa valoración terapéutica, lo que puede llevar a la extinción de muchas especies de plantas medicinales y de sus recursos terapéuticos (Ram *et al.*, 2004; Bernal *et al.*, 2011; Pabón *et al.*, 2017). Cuando se recoge información sobre los usos de las plantas, permanecen como herencia los conocimientos obtenidos de su observación y experimentación, transformándose en una forma de vida, donde lo aprendido se debe practicar.

#### **4.5. Consideraciones finales**

El interés por las plantas medicinales, continúa siendo de gran importancia para las comunidades ya que su uso es permanente y la transmisión del conocimiento ocurre de generación en generación Cabrera, Nieto y Giraldo (2018a), principalmente de manera oral, pero también mediante la utilización de medios tecnológicos que permiten mayor acceso a la información.

La etnobotánica, es un aliado importante para contribuir con la sistematización del conocimiento tradicional, el cual para el caso de las plantas medicinales no solo permite el conocimiento sobre estas y el ecosistema del cual son extraídas, si no que adicionalmente permite la sistematización de aspectos como su prelación conservación y de esta manera aproximar la planta al reconocimiento en la prestación del servicio ecosistémico que presta. En materia de servicios ecosistémicos, las plantas medicinales que se consiguen con frecuencia en los mercados populares han sido poco valoradas, aún cuando es estimado por la población, que no las deja de usar especialmente porque consideran que su uso es benéfico para la salud.

#### **4.6. Estudio de caso: Estudio etnobotánico de plantas medicinales en 5 municipios de la zona de Urabá, Antioquia**

Martinez & Montes (2017), realizaron el estudio con el fin de identificar las plantas medicinales comercializadas en 5 municipios (Turbo, Apartadó, Carepa, Chigorodó y Mutatá) de la región de Urabá, departamento de Antioquia, y en plazas de mercado, para verificar que se encuentren en el vademécum de plantas medicinales; además, para determinar el tratamiento poscosecha. La preventa de las plantas y el almacenamiento en el expendio, y conocer características de los vendedores y sus conocimientos sobre las plantas, poniendo a disposición de la comunidad los resultados de estos estudios para una mejor sistematización de los conocimientos etnobotánicos de la población.

#### **4.6.1. Principales resultados del estudio etnobotánico de plantas medicinales**

Después de visitar los puestos de venta de plantas medicinales en los municipios seleccionados, fueron encontrados 24 puestos que cumplen las características para ser incluidos en el estudio, los cuales se caracterizan por su organización en cuanto al tipo de expendio de las plantas en un 93% por locales comerciales y un 7%, representado por vendedor en parcela; locales que son atendidos por hombres en un 67% y el 33% por mujeres que presentan edades que fluctúan entre los 29 y 84 años siendo las mujeres más jóvenes entre 29 y 42 años y los hombres mayores con edades de 60 hasta los 84 años.

El estudio mostró que la procedencia de los vendedores de plantas medicinales de la región es Medellín, San Bernardo del Viento, Putumayo, Turbo, Montería y Urrao en el departamento de Antioquia, siendo las principales etnias: mestiza (33%), afrodescendientes (33%) e indígenas (33%). Los grupos indígenas en Colombia cuentan con conocimiento tradicional y experiencias importantes en la gestión de la biodiversidad (naturaleza, vida, territorio y salud), siendo diferente al de las comunidades mestizas o afrodescendientes (Bernal *et al.*, 2011). De otro lado, al indagar sobre la escolaridad de los vendedores el 33% no ha realizado ningún nivel de estudios, el 33% ha realizado estudios hasta el 3° de escolaridad, el 18% ha realizado estudios hasta el grado 10° y el 18% ha realizado estudios técnicos. 83% de los encuestados son vendedores de plantas y el 17%, recolectores y vendedores de las mismas. De igual manera al consultar a los vendedores sobre si venden plantas en otros municipios se encontró que el 93% solo vende en el municipio donde fue entrevistado mientras el 7% vende en otros municipios, mostrando arraigo y consolidación del proceso en el municipio de residencia. Por otra parte, al consultar a los encuestados sobre la cantidad de años de experiencia que tienen en el ejercicio de venta de plantas medicinales en el municipio, se encontró que este aspecto varía entre los 4 y 42 años de experiencia siendo menor para las mujeres con 4 y 10 años y mayor para los hombres que registraron 15, 30, 35 y 42 años de experiencia.

En cuanto al registro de plantas medicinales, fueron encontradas 67 especies, sobre las cuales, manifiestan los vendedores, que la transmisión del conocimiento del 40% de las plantas registradas fue realizada por el padre del vendedor, el 25% de las plantas registradas por la madre del vendedor, el 20% por amigos y el 15% restante por abuelos. Según los conocimientos sobre partes de la planta usadas,

fue establecido que de 6 plantas se emplea como medicina la raíz, de 9 plantas se usa el tallo, de 37 plantas se usan las hojas, de 3 plantas se usa el fruto, de 2 plantas se usa la semilla, de 6 plantas se usa la flor y son usadas 11 plantas de manera completa en la preparación del medicamento.

En cuanto a los usos, el estudio muestra que para limpieza en diferentes partes son usadas 20 especies, para diferentes dolores 16 plantas, para diabetes 7 plantas, para la caída del cabello 6 plantas, para inflamaciones 4 plantas, 3 plantas se usan para el colon, colesterol, cólicos y el asma, 2 para enfermedades venéreas y para la caspa y 1 planta se usa como adelgazante, como antibiótico, como aromática, para la digestión, para el azúcar, para la bronquitis, el chicunguña y como cicatrizante.

Finalmente sobre las formas de preparación de las plantas para su consumo se encontró que 63 registros son sugeridos como infusión y 5 registros son sugeridos como emplasto, entre tanto, cuando se indagó sobre si los participantes conocen las posibles contraindicaciones que tienen las plantas medicinales se encontró que 81% de los vendedores admiten no conocer contraindicaciones de uso. En lo que se refiere a costos y formas de comercialización se encontró que es vendida en unidad de ramita 1 planta, en manajo 36 registros y unidades de peso 27 registros, en precios que varían entre los 500 y los 5000 pesos, siendo los más comunes 1000 pesos con un total de 31 registros seguido de 500 pesos con 6 registros. En la tabla 4.2, se muestra el inventario de estas plantas comercializadas en los 5 municipios donde se llevaron a cabo las encuestas.



Tabla 4.2. Inventario de las plantas medicinales reportadas en los 5 municipios.

Nombre común	Nombre científico	*FT	Familia
Caléndula	<i>Calendula arvensis</i> L.	14	Asteraceae
Moringa	<i>Moringa oleifera</i> L.	12	Moringaceae
Sábila	<i>Aloe vera</i>	12	Xanthorrhoeaceae
Eucalipto	<i>Eucalyptus platyphylla</i> L.	11	Myrtaceae
Ruda	<i>Ruta graveolens</i> L.	11	Rutaceae
Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	10	Lamiaceae
Manzanilla	<i>Chamaemelum nobile</i> L.	10	Asteraceae
Vira vira	<i>Achyrocline satureioides</i> L.	10	Asteraceae
Cola de Caballo	<i>Equisetum arvense</i> L.	9	Equisetaceae
Boldo	<i>Peumus boldus</i> L.	7	Monimiaceae
Chaparro	<i>Quercus ilex</i> L.	7	Fagaceae
Paico	<i>Dysphania ambrosioides</i>	7	Amaranthaceae
Llantén	<i>Plantago major</i> L.	6	Plantaginaceae
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i> L.	5	Lamiaceae
Acacia	<i>Acacia</i> MiLL.	5	Fabaceae
Cardamomo	<i>Elettaria cardamomum</i> L.	5	Zingiberaceae
Estevia	<i>Stevia rebaudiana</i> L.	5	Asteraceae
Sen	<i>Senna aculeata</i> L.	5	Fabaceae
Alcachofa	<i>Cynara scolymus</i> L.	4	Asteraceae
Jengibre	<i>Zingiber officinale</i> Rosc.	4	Zingiberaceae
Toronjil	<i>Melissa officinalis</i> L.	4	Lamiaceae
Apio	<i>Apium graveolens</i> L.	3	Apiaceae
Azafrán	<i>Crocus sativus</i> L.	3	Iridaceae
Flor de Jamaica	<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	3	Malvaceae
Mosquita	<i>Azolla caroliniana</i>	3	Azollaceae
Perejil	<i>Petroselinum crispum</i> L.	3	Apiaceae
Salvia	<i>Salvia officinalis</i> L.	3	Lamiaceae
Sauco	<i>Sambucus nigra</i> L.	3	Adoxaceae
Valeriana	<i>Valeriana officinalis</i> L.	3	Caprifoliaceae
Achicoria	<i>Chicorium intybus</i> L.	2	Asteraceae
Alhucema	<i>Alhucema lavandula</i> L.	2	Lamiaceae
Altamisa	<i>Artemisia absinthium</i> L.	2	Asteraceae
Anamú	<i>Petiveria alliacea</i> L.	2	Phytolaccaceae
Gualanday	<i>Jacaranda cuacana</i> Pittier.	2	Bignoniaceae
Hierbabuena	<i>Mentha spicata</i> L.	2	Lamiaceae
Malva	<i>Malva sylvestris</i> L.	2	Malvaceae
Mejorana	<i>Origanum majorana</i> L.	2	Lamiaceae
Naranja agrio	<i>Citrus aurantium</i>	2	Rutaceae

&gt; Continuación Tabla 4.2

Nombre común	Nombre científico	*FT	Familia
Quina	<i>Cinchona officinalis</i>	2	Rubiaceae
Singa mochila	<i>Justicia segunga Vahl.</i>	2	Acanthaceae
Zarzaparrilla	<i>Smilax aspera L.</i>	2	Smilacaceae
Achiote	<i>Bixa orellana L.</i>	1	Bixaceae
Ajenjo	<i>Artemisia absinthium L.</i>	1	Asteraceae
Amoxicilina	<i>Artemisia absinthium L.</i>	1	Asteraceae
Azahar de la india	<i>Murraya paniculata L.</i>	1	Rutaceae
Bejuco de cadena	<i>Bauhinia guianensis L.</i>	1	Leguminosae
Botón de oro	<i>Ranunculus acris L.</i>	1	Ranunculaceae
Caña Agria	<i>Costus spicatus L.</i>	1	Zingiberaceae
Capitana	<i>Salsola kali L.</i>	1	Amaranthaceae
Cardo Santo	<i>Cnicus benedictus L.</i>	1	Asteraceae
Cedrón	<i>Aloysia citriodora L.</i>	1	Verbenaceae
Chía	<i>Salvia hispanica L.</i>	1	Lamiaceae
Citronela	<i>Cymbopogon citratus</i>	1	Poaceae
Corteza de roble	<i>Quercus petraea L.</i>	1	Fagaceae
Corteza del árbol de la cruz	<i>Bursera simaruba L.</i>	1	Burseraceae
Diente de león	<i>Taraxacum officinale L.</i>	1	Asteraceae
Hierba anís	<i>Pimpinella anisum L.</i>	1	Apiaceae
Hierba limón	<i>Cymbopogon citratus L.</i>	1	Poaceae
Hinojo	<i>Foeniculum vulgare L.</i>	1	Apiaceae
Marrubio	<i>Marrubium vulgare L.</i>	1	Lamiaceae
Nogal	<i>Juglans regia L.</i>	1	Juglandaceae
Pepinillo	<i>Cucumis sativus L.</i>	1	Cucurbitaceae
Quiebra barriga	<i>Trichanthera gigantea L.</i>	1	Acantaceidae
Siempreviva	<i>Sempervivum arachnoideum</i>	1	Crassulaceae
Suelda con suelda	<i>Symphytum officinale L.</i>	1	Boraginaceae
Té verde	<i>Camellia sinensis L.</i>	1	Theaceae
Tilo	<i>Tilia platyphyllos L.</i>	1	Malvaceae
Uña de gato	<i>Uncaria tomentosa L.</i>	1	Rubiaceae
Vende agua	<i>Eichhornia crassipes L.</i>	1	Pontederiaceae
Ampicilina 1000*	-----	1	
Desvanecedora*	-----	2	
Gallinaza*	-----	2	
Pitamoreal*	-----	2	
Penicilina*	-----	1	
Tres bolas*	-----	1	
<b>75 especies</b>	-----	<b>248</b>	

Fuente: Martínez y Montes 2017. \*FT: Frecuencia total.

#### 4.6.2. Descripción de las principales plantas del estudio.

Conforme a lo anterior, se realiza a continuación una presentación de las seis especies con mayor frecuencia (Figura 4.2 (A-H)), encontradas en el estudio y que se encuentran registradas con amplia información en el vademécum de plantas medicinales de Colombia, a excepción de *A. satureioides* (Tabla 4.3).

**Tabla 4.3.** Composición química y farmacología de las 6 especies más frecuentes en este estudio.

Planta	Descripción
<p><b>C arvensis - Asteraceae (Caléndula)</b></p>	<p><b>Composición química:</b> Principales componentes del aceite esencial son los monos y sesquiterpenos oxigenados como carvona ionona, geranilacetonas, mentona, isomentona, cariofilencetona, terti-pineno, flavonoides y ácido oleanólico, ácidos fenólicos, taninos y calendulosidos. Las xantofilas y el aceite esencial son los principios activos de esta planta y además el aceite esencial tiene aplicabilidad en la elaboración de perfumes de aroma silvestre.</p> <p><b>Propiedades farmacológicas:</b> Su uso tópico tiene cierta contraindicación en pacientes sensibles a los principios activos de las plantas pertenecientes a la familia de las asterales. La caléndula esta difundida en muchas partes del mundo donde se aprovechan las especialidades farmacéuticas de uso tópico en las preparaciones de fórmulas magistrales como cremas dermatológicas y en cremas espasmolíticas para el tratamiento de espasmos del tubo digestivo, gastritis entre otras.</p>
<p><b>M. oleifera - Moringaceae (Moringa)</b></p>	<p><b>Composición química:</b> La hoja posee un porcentaje superior al 25% de proteínas, esto es equivalente al huevo o dos veces la leche de vaca; cuatro veces la cantidad de vitamina A que tienen las zanahorias; cuatro veces la cantidad de calcio de la leche; siete veces la cantidad de vitamina C de las naranjas; tres veces más potasio que el plátano; y cantidades significativas de P, Fe, K, Ca, Mg y Zn. También presenta un alto contenido de ácido ascórbico y ácidos grasos insaturados en las semillas, vitamina A, C y E y proteínas en semillas y frutos.</p> <p><b>Propiedades farmacológicas:</b> En las distintas partes del árbol se ha encontrado la presencia abundante de flavonoides con un alto valor antioxidante, importantes para tratar las enfermedades cardiovasculares y del sistema inmunitario. El ácido clorogénico actúa como respuesta al estrés ambiental y como antioxidante y antiinflamatorio. Este árbol, por el contenido de compuestos polifenólicos como el kaempferol y los ácidos gálico y elágico presentan actividad antioxidante (por actividad de captación de radicales libres), antiinflamatoria y antiséptica. Los resultados derivados de la química y la farmacología asociados a sus atributos terapéuticos, continúan siendo recientes y en desarrollo.</p>

Planta	Descripción
<p><b>A. vera - Xanthorrhoeaceae (Sábila)</b></p>	<p><b>Composición química:</b> Antraquinonas: ácido aloético, emodina, aloína, antraceno. Vitaminas: ácido fólico, vitaminas B1, B2, B3 y E, betacaroteno. Minerales: K, P, Ca, Mg, Zn, Na, Fe y Cu. Carbohidratos: arabinosa, celulosa, glucosa, xilosa, manosa, glucomanosa, fructosa y galactosa. Enzimas: carboxipeptidasa, lipasa, catalasa, oxidasa, fosfatasa alcalina, cicloxigenasa. Aminoácidos: arginina, alanina, glicina, lisina, prolina, tirosina, treonina, valina, metionina, ácido glutámico, ácido aspártico. Fenoles clasificados en dos grupos: cromonas, y antraquinonas que se encuentran en la capa interna de las células epidérmicas.</p> <p><b>Propiedades farmacológicas:</b> La aloína es un componente del acíbar, que la planta secreta y utiliza como defensa contra depredadores, esta tiene un desagradable olor y sabor, interviene en el control de la transpiración en elevada insolación, confiere propiedades laxantes, se utiliza en preparados farmacéuticos produciendo en ocasiones alergias. El gel o pulpa es constituido principalmente por agua, mucílagos y otros carbohidratos, enzimas, saponinas, taninos, heteróxidos antracénicos, esteroides, triacilglicéridos, aminoácidos, ARN, trazas de alcaloides, vitaminas, diversos minerales, ácidos, sales orgánicas y demás sustancias que le atribuyen efectos terapéuticos y proliferación de colágeno a partir de la actividad fibroblástica.</p>
<p><b>E. platyphylla - Mirtaceae (Eucalipto)</b></p>	<p><b>Composición química:</b> Aceite esencial (0,5-3.5%), alcoholes enfáticos y monoterpénicos y sesquiterpenoles, óxidos terpénicos: eucaliptol (70-80%); entre los ácidos polifenólicos se tienen los siguientes: caféico, gálico, ferúlico y gentísico; flavonoides; taninos y elagitaninos; resina; triterpenos: ácido ursólico y derivados; el aceite esencial principal: Cineol (80%); entre los monoterpenos se tiene: pineno, cimeno, limoneno, felandreno; los aldehídos: butiraldehído, capronaldehído; azuleno; flavona: eucaliptina; triterpenos: derivados del ácido ursólico.</p> <p><b>Propiedades farmacológicas:</b> El Cineol (eucaliptol) es un aceite blanquecino, con un olor alcanforado, irritante, el cual ha sido utilizado como expectorante, antiséptico y también tiene propiedades antibióticas contra diferentes bacterias.</p>
<p><b>R. graveolens - Rutaceae (Ruda)</b></p>	<p><b>Composición química:</b> Aceite esencial constituido por ácidos anísico, caprílico y salicílico. También contiene los alcaloides totales: graveolina y graveolinina que ejerce una acción antiespasmódica en tejidos como el intestino y relajante del músculo en ratas; de otro lado, se encuentran taninos y cumarinas como el bergapteno.</p> <p><b>Propiedades farmacológicas:</b> El extracto de la hoja posee un efecto antihelmíntico. También tienen un efecto estimulante en tejidos como en el útero de animales tales como ratas y conejas preñadas. Los extractos obtenidos de las ramas tienen una acción relajante sobre los músculos y de anti implantación del óvulo fecundado. El extracto etanolito de las ramas tiene efecto anticonvulsivo y actividad antiespasmódica del aceite esencial y antibiótica de los extractos de las hojas y una actividad antibiótica del aceite esencial sobre diferentes bacterias. También extractos de la raíz presentan la misma actividad antibiótica sobre diferentes bacterias.</p>

Planta	Descripción
<p><b>R. officinalis - Lamiaceae (Romero)</b></p>	<p><b>Composición química:</b> Las ramas del romero están compuestas por un aceite esencial con gran cantidad de componentes como alcoholes triterpénicos, fenólicos, flavonoides, monoterpenos y diferentes ácidos triterpénicos. El aceite esencial contiene borneol, pineno, alcanfor, canfeno y cineol; ácido rosmarínico, rosmarina, ácido ursólico, principios amargos diterpénicos como el rosmanol, flavonoides y taninos.</p> <p><b>Propiedades farmacológicas:</b> Actividad antioxidante. Se reporta que el aceite esencial tiene efecto antiespasmódico, debido al cineol, borneol y acetato de bornilo, el aceite esencial y los diferentes ácidos que poseen actividad antilipoperoxidante. La actividad antibiótica sobre algunas bacterias se probó con el extracto alcohólico y el aceite esencial.</p>
<p><b>C. nobile - Asteraceae (Manzanilla)</b></p>	<p><b>Composición química:</b> Hidratos de carbono: fructuosa, galactosa (planta), glucosa (flor); mucílago, ácidos grasos, vitamina C. Ácidos orgánicos: salicílico, cafeico, péptico (planta); alcoholes: farnesol, geraniol, borneol (planta). Pigmentos.</p> <p><b>Propiedades farmacológicas:</b> Como antiséptico, cicatrizante, antiinflamatorio, digestivo, diurético, analgésico, expectorante; se utiliza para el tratamiento de eccemas, neuralgias, gastritis y para el lavado de úlceras y heridas. Actividades citotóxica y leishmanicida del aceite esencial de la manzanilla atribuyéndole una variedad de usos en la medicina tradicional.</p>
<p><b>A. saturoioides - Asteraceae (Vira-vira)</b></p>	<p><b>Composición química:</b> Hidrocarburos alifáticos, aromáticos y sesquiterpenos. Tetracontano, ácido tridecanoico, hexatriacontano.</p> <p><b>Propiedades farmacológicas:</b> El aceite obtenido por arrastre de esta planta, inhibe el crecimiento de las bacterias gram negativas como <i>Proteus mirabilis</i>, <i>Staphylococcus epidermidis</i> y <i>Escherichia coli</i>.</p>

Adaptada de: Vademécum de Plantas Medicinales de Colombia (2008) y Atti-Santos & colaboradores (2005); Ríos & colaboradores (2008); Tschingel & Bucar (2010); Ávila-Sosa (2011); Andrade (2015).



**Figura 4.2.** Seis de las plantas con mayor frecuencia encontradas en el estudio. A: Caléndula, B: Moringa, C: Sábila, D: Eucalipto, E: Ruda, F: Romero, G: Manzanilla, H: Vira-vira. Fuente: Martínez & Montes (2017).

#### 4.7. Evaluación del capítulo

Después de la revisión de conocimientos sobre los servicios ambientales que prestan las plantas medicinales, en general y en particular, según la información encontrada en el estudio de caso de los municipios de la zona de Urabá en el occidente de Colombia, se invita a los lectores a responder:

1. ¿Cómo se obtiene el conocimiento sobre plantas medicinales en el contexto donde vivo?
2. ¿Cuál es la principal fuente de consulta cuando requiero utilizar plantas medicinales para alguna dolencia o afección?
3. ¿Considera que el servicio ecosistémico que prestan las plantas medicinales es evidente en la región donde habita?

4. ¿Realice el listado de las principales plantas medicinales que se consumen en su casa indicando la forma de preparación y para cuales afecciones son utilizadas?
5. ¿Conoce contraindicaciones que se deben tener en cuenta para consumir las plantas que describió anteriormente y como se deben tratar los efectos negativos si los hay?

---

## Referencias

- Akerele, O. (1993). *Las plantas medicinales: un tesoro que no debemos desperdiciar*. Foro Mundial de la Salud, 14: 390-395.
- Andrade, W.A. (2015). *Composición de los aceites esenciales de las hojas de Conyza bonariensis, Gnaphalium pellitum y Achyrocline satureioides, por cg-em y evaluación de la actividad antibacteriana y antioxidante* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D. C., Colombia.
- Ávila-Sosa, R., Navarro-Cruz, A.R., Vera-López, O., Dávila-Márquez, R.M., Melgoza-Palma, N., & Meza-Pluma, R. (2011). Romero (*Rosmarinus officinalis* L.): una revisión de sus usos no culinarios. *Ciencia y Mar*, 15(43), 23-36.
- Atti-Santos, C., Rossato, M., & Fernandez, P. 2005. Physicochemical evaluation of *Rosmarinus officinalis* L. essential oils. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52(6), 1035-1039.
- Bernal, H.Y., García, M.H., & Quevedo, S.F. (2011). *Pautas para el conocimiento, conservación y uso sostenible de las plantas medicinales nativas en Colombia: Estrategia nacional para la conservación de plantas*. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Colombia.
- Cabrera, M., Nieto, L. y Giraldo, R. (2018a). Educaciones Propias y Etnoeducación en Colombia. En: Cabrera, M., Nieto, L., Palomino, M. y Giraldo, R. (2018). *La educación para la realización de lo comunal*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. Bogotá.
- Carreño, P.C. (2016). *La etnobotánica y su importancia como herramienta para la articulación entre conocimientos ancestrales y científicos* (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C., Colombia.
- Conklin, H. (s.f.). La agricultura migratoria practicada por los Hanunóo. *Unasylva*, 11(4). Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/x5385s/x5385s05.htm>
- Cornejo-Latorre, C., Calderón-Patrón, J.M., & Suarez-Ramírez, L. (2014). Los servicios ambientales y la biodiversidad. *Investigación ambiental*, 6(1): 53-60.
- Cosme-Pérez, I. El uso de las plantas medicinales. *Revista Intercultural*, Trabajo 6, 23-26.
- Garcés, M. & Cruz, R. (1987). *Medicina tradicional de Tabasco*. Villahermosa, Tabasco, México: Gobierno del Estado de Tabasco y DIF.
- Giraldo, S.E., Bernal, M.C., Morales A., Pardo, A.Z., Gamba, L. (2015). Descripción del uso tradicional de plantas medicinales en mercados populares de Bogotá, D.C. *NOVA*, 13(23), 73-80.

- Gómez, M., Reyes, S. (2015). La manzanilla y sus propiedades medicinales. *Revista de Investigación e Información en Salud*, 10(23), 54-58.
- Hernández, X.E. (1979). *La etnobotánica: tres puntos de vista y una perspectiva*. Xalapa, México: Editorial Alfredo Barrera. Instituto de investigaciones sobre recurso biótico.
- Lagos-López M. (2007). Estudio etnobotánico de especies vegetales con propiedades medicinales en seis municipios de Boyacá, Colombia. *Actualidades Biológicas*; 29(86), 87-96.
- Maregesi, S.M., Ngassapa, O.D., Pieters, L., & Vlietinck, A.J. (2007). Ethnopharmacological survey of the Bunda district, Tanzania: Plants used to treat infectious diseases. *Journal of Ethnopharmacology*, 113, 457 - 470.
- Martin, G. (2001). *Etnobotánica: Manual de métodos*. Montevideo, Uruguay: Editorial NORDAN-Comunidad.
- Martínez, C.A., & Montes, P.A. (2017). Determinación de la etnobotánica de las plantas medicinales comercializadas en las plazas de mercados de los municipios de Turbo, Apartado, Carepa, Chigorodó y Mutata, Antioquia, Colombia (Tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia Abierta y a Distancia. Turbo, Colombia.
- Mendoza, N., & Figueroa-Hernández, J.L. (2006). Herbolaria. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 48(6), 248-249.
- Millenium Ecosystem Aseessment – MEA. (2005). *Ecosystem and human well-being: A framework for assessment*. Washington. D.C., United States: Island Press. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09206-X.
- Ministerio de la Protección Social (2008). *Vademécum Colombiano de Plantas Medicinales*. Bogotá, Colombia: Arte y Sistemas Integrados. Recuperado de: <https://es.calameo.com/read/001236234130721a5ffac>
- Monroy, R. & Quezada, A. (2010). Estudio etnobotánico del frijol yepatlxtle (*Phaseolus coccineus* L.), en el área natural protegida Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *AIA: Avances en Investigación Agropecuaria*, 14(1), 23-34.
- Mooney, H.A & Ehrlich., P. R. (1997). Ecosystem services: a fragmentary history. En G.C. Daily (Ed). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (pp. 11-22.). Whashington, D. C., United States: Island Prees.
- Oliveira, S.G.D., De Moura, F.R.R., Demarco, F.F., Da Silva, P., Del Pino, F.A.B., & Lund, R.G. (2012). An ethnomedicinal survey on phytotherapy with professionals and patients from Basic Care Units in the Brazilian Unified Health System. *Journal of Ethnopharmacology*, 140, 428 - 437.
- OMS. (2012). 132.a Reunión del Consejo Ejecutivo de la OMS: Proyecto del Duodécimo Programa General de Trabajo. Organización Mundial de la Salud. EB132/26. Recuperado de: [http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/EB132/B132\\_26-en.pdf](http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB132/B132_26-en.pdf)
- Pino, N., & Valois, H. Ethnobotany of Four Black Communities of the Municipality of Quibdó, Chocó - Colombia. *Lyonia*, 7(2), 61-69.
- Pabón, L.C., Rodríguez, M.F., & Hernández-Rodríguez, P. (2017). Plantas medicinales que se comercializan en Bogotá (Colombia) para el tratamiento de enfermedades infecciosas. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 16 (6), 529 – 546.
- Ram, A.J., Bhakshu, L.M., & Raju, R.V. (2004). In vitro antimicrobial activity of certain medicinal plants from Eastern Ghats, India, used for skin diseases. *Journal of Ethnopharmacology*, 90, 353 - 357.



- Ramos-Hernández, M.; Ávila-Bello, C.H., & Morales-Mávil, J.E. (2007). Etnobotánica y ecología de plantas utilizadas por tres curanderos contra la mordedura de serpiente en la región de Acayucan, Veracruz. *México Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 81, 89-100.
- Reyes, A., Jaffe, K., & Ovido, M. (2014). La investigación y el uso de plantas medicinales visto a través de la escuela. *Infancias Imágenes*, 13(2), 91-110.
- Reyes-Valerio C., 2000. *Arte indocristiano*. México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Rios, Y.K., Otero, A.C., Muñoz, D.L., Echeverry, M., Robledo, S.M., & Yepes, M.A. (2008). Actividad citotóxica y leishmanicida in vitro del aceite esencial de manzanilla (*Matricaria chamomilla*). *Revista Colombiana de Ciencias Químicas y Farmacéuticas*, 37(2), 200-211.
- Toscano-González, J. (2006). Uso tradicional de plantas medicinales en la vereda San Isidro, municipio de San José de Pare-Boyacá: un estudio preliminar usando técnicas cuantitativas. *Acta Biológica Colombiana*, 11(2), 137-146.
- Tschinggerl, C. & Bucar, F. 2010. Investigation of the volatile faction of rosemary infusion extracts. *Scientia Pharmaceutica*, 1(4), 483-492.



# Servicios de Regulación

---

5. Clima local y calidad del aire
6. Secuestro y almacenamiento de carbono
7. Moderación de fenómenos extremos
8. Tratamiento de aguas residuales
9. Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo
10. Polinización
11. Control biológico de plagas



# CAPÍTULO 5

---

## CLIMA LOCAL Y CALIDAD DEL AIRE

Víctor Fabián Forero Ausique  
Marco Andrés Guevara Luna  
Diego Alejandro Pérez Giraldo  
Diana Marcela Fúquene  
Juan Sebastián Chiriví Salomón  
Christian Felipe Valderrama López  
Julián Andrés Castillo Vargas<sup>9</sup>

### 5.1. Introducción

La relación que existe entre las variables meteorológicas y la calidad del aire ha sido estudiada históricamente en todo el mundo. Esfuerzos por comprender la relación que existe entre estas, y como se interrelacionan para reproducir escenarios futuros y así mitigar impactos, son el objeto del estudio moderno de las ciencias ambientales aplicadas al aire como recurso vital (González *et al.*, 2018). Todo esto centrado en describir cuantitativamente, y con precisión, la afectación del clima, frente a un momento actual cercano al punto de no retorno en términos de variabilidad y cambio climático.

La regulación de la calidad del aire, junto con temáticas coyunturales como la conservación del suelo, el control de las inundaciones o avenidas torrenciales derivadas de las altas precipitaciones, agentes generadores de enfermedades, y la polinización de cultivos, representan solo algunos de los múltiples servicios a los que se les denominan “servicios de regulación”. Aunque estos servicios no se aprecian de manera tangible, o son poco perceptibles en las personas, son sensibles al desarrollo sostenible de una sociedad y su ausencia a través de procesos de deterioro o agotamiento representan un riesgo alto para los ecosistemas locales (Maass, 2016).

---

<sup>9</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.  
Correos electrónicos de contacto: victor.forero@unad.edu.co, marco.guevara@unad.edu.co, diego.perez@unad.edu.co

La falta de regulación en la afectación de la calidad del aire trae como consecuencias no solo problemas propios del ambiente, también implicaciones en la salud pública que han sido identificadas por estudios en todo el mundo (WHO, 2006). Adicionalmente el deterioro de la calidad del aire afecta negativamente los sistemas productivos que sustentan la economía para algunos grupos tales como los dedicados a la agricultura, la silvicultura y la pesca (TEEB, 2017).

Cabe destacar que una gran parte de las impurezas que se encuentran en el aire de los grandes centros urbanos obedecen a los gases producidos por los vehículos automotores (Madrazo & Clappier 2017). Los residuos que provienen de los gases de escape en forma de polvo y el aerosol son nocivos, además porque logran captar la radiación ultravioleta proveniente del sol haciendo que aumente la temperatura. (Tunarroza, 2002).

Cada uno de los elementos que conforman un ecosistema influyen de manera directa e indirecta en el clima local y en la calidad del aire, ya sea positiva o negativamente, ejemplo de ello son los árboles quienes juegan un papel esencial gracias a su estructura y sistema biológico, permitiendo que sean capaces de generar un efecto de sombra lo que permite mantener la humedad y de esta manera regular la temperatura, además de los efectos de su proceso de fotosíntesis (Daily, 1997). Son los árboles y las plantas en general, los que se encargan de regular el aire mediante la eliminación y remoción de contaminantes presentes en la atmósfera y que además son los precursores del calentamiento global y que se denominan gases de efecto invernadero (GEI).

Este capítulo deja de lado la complejidad numérica de las relaciones y modelos matemáticos que la ciencia ha planteado para describir la atmósfera y sus propiedades, por el contrario, se centra en una descripción conceptual y cualitativa de los fenómenos que se involucran en la dinámica atmosférica local, en este caso orientada a la zona centro-occidente de Colombia.

## **5.2. Servicios de regulación y su función en la regulación del aire**

El concepto de bienes y servicios ecosistémicos ha tomado mucha fuerza en los años recientes, puesto que la comunidad mundial ha tomado una mayor conciencia de la importancia que hay en la relación de dependencia entre el ser humano

y los ecosistemas. Estos ecosistemas, aunque actualmente locales, tienen la tendencia de deslocalizarse en un futuro, por efectos del fenómeno de la globalización, que a pesar de las políticas proteccionistas de las potencias económicas del norte ya ha tomado rumbo y no se detendrá en un futuro cercano.

Lo anterior, hace necesario entender el concepto de servicios ecosistémicos como aquellos beneficios que los ecosistemas brindan para suplir las necesidades de los seres humanos. (Daily, 1997; Piñeros & Baptiste, 2006). Conocer la oferta de bienes y servicios de los ecosistemas y la información a escala regional y local, sirve no solo como referente teórico, también científico y político para la toma de decisiones administrativas efectivas al integrarse como fundamento en la formulación de estrategias de desarrollo y explotación de recursos. Este conjunto de acciones en las que se enmarcan las políticas propende el uso de prácticas de manejo sostenibles, que garanticen la conservación y el incremento en la provisión que los servicios ecosistémicos brindan.

Por lo anterior se puede decir que los servicios ecosistémicos resultan de las funciones que un ecosistema genera si se entiende que las funciones ecosistémicas no son más que “la capacidad de los procesos naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas de manera directa e indirecta” (de Groot, 2002). Según la FAO, los servicios de regulación son aquellos que mantienen los procesos y funciones naturales de los ecosistemas, a través de las cuales se gestionan las condiciones del ambiente humano.

### **5.2.1. ¿Qué es la calidad del aire y cómo influye en el clima local?**

La calidad del aire es un concepto que se refiere a la composición del aire y de la idoneidad de éste para determinadas aplicaciones o usos, en años recientes involucrando sus efectos de salud pública para las sociedades tanto desarrolladas como en vía de desarrollo. En pocas palabras cuando se habla de “una buena calidad del aire” se está indicando que el aire esté exento de polución en la atmósfera, y por lo tanto puede ser apto para ser respirado. El aire tiene una composición compleja al contar con más de mil compuestos diferentes, sin embargo, los elementos que lo constituyen en su mayor concentración son el nitrógeno (78%), el oxígeno (21%) y el argón (casi 1%) (Sharp, 2017). Sin estos compuestos, el desarrollo de la vida en el planeta no tendría posibilidades, además son ellos los que le dan al aire sus propiedades macroscópicas, como viscosidad, densidad, peso molecular, etc. (OMS, 2018).

La calidad del aire está entonces determinada por su composición específica, por la presencia o no de sustancias y sus respectivas concentraciones. Se expresa también a través de las medidas de concentración e intensidad de contaminantes y a través de su apariencia física. Entre estas sustancias contaminantes se encuentran el ozono, metano, partículas en suspensión y óxido nitroso (Escudero & Scheelje, 2003). El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el mayor precursor del calentamiento global y de las variaciones climáticas puesto que influye en la cantidad de energía solar que retiene la Tierra y en la cantidad que refleja fuera al espacio exterior, aun cuando su composición media en la atmósfera es de tan sólo 387 ppm (Escudero & Scheelje, 2003).

Las partículas en suspensión son consideradas como un contaminante de alta complejidad de acuerdo con su composición, pueden afectar el calentamiento o enfriamiento del clima local y mundial. El carbono negro que es uno de los muchos componentes del material particulado (PM del inglés *Particular Material*) y se genera como resultado de la combustión incompleta de combustibles fósiles, absorbe la radiación solar e infrarroja proveniente la atmósfera y por consiguiente tiene un efecto de calentamiento terrestre (AIDA, 2015).

Según AIDA (2015), otros tipos de PM que contienen componentes de azufre o nitrógeno tienen el efecto contrario debido a que actúan como espejos que reflejan la energía solar y por consiguiente provocan un enfriamiento o descenso de la temperatura. En términos simples, todo depende de la composición de la partícula y como esta interactúa de forma diferente con las ondas electromagnéticas.

En algunas regiones del mundo se prevé que el cambio climático podría afectar las condiciones climáticas locales, como la frecuencia de las olas de calor y los periodos de aire estancado. Una mayor presencia de luz solar y temperaturas más altas prolongarían los períodos de tiempo en que suben los niveles de ozono y también pueden aumentar las concentraciones máximas de ozono (Lema, 2002).

En este orden de ideas es imposible no hablar de cambio climático (CC) si se habla de calidad del aire, y dinámica atmosférica. Los alcances de los impactos que se generan del cambio climático dependerán específicamente de las acciones de adaptación que se tomen en las diferentes regiones frente al calentamiento global. Plantar árboles y propiciar mayores espacios verdes a manera de senderos o alamedas en espacios urbanos disminuye los efectos provenientes de las olas de

calor, además de mejorar ostensiblemente la calidad del aire brindando bienestar a las personas. Finalmente, esto lleva a una reducción en costos de salud pública, y por lo tanto mayor capital de inversión para proyectos de desarrollo.

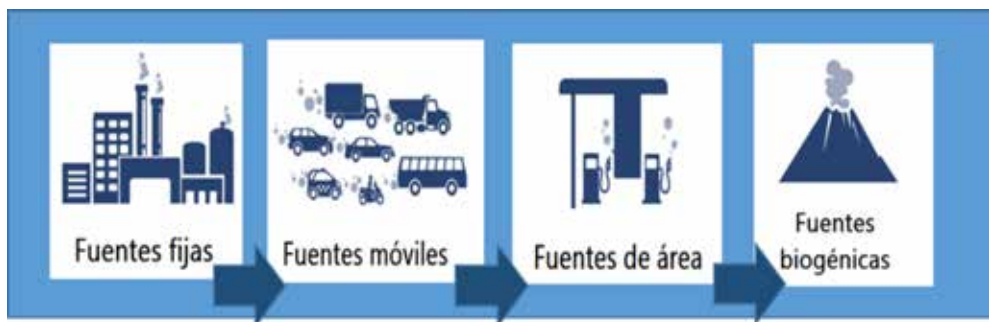
### 5.2.2. ¿Qué es la contaminación atmosférica y cuáles son sus efectos?

El aire que respiran los seres vivos se ve deteriorado cuando sustancias distintas a su composición natural se emiten al aire y cuando varían las cantidades o concentraciones de sus componentes, a este proceso se le denomina contaminación atmosférica. La contaminación puede ser producto de factores de tipo natural como también de tipo antropogénico. Las actividades volcánicas, la generación y propagación de incendios forestales entre otros constituyen las naturales; aquellas que se derivan de las actividades desarrolladas por el ser humano como el uso de vehículos, procesos industriales e incluso actividades domésticas como la calefacción, son las consideradas como antropogénicas, y se pueden clasificar de acuerdo a su fuente de emisión como:

- **Fuentes móviles:** cualquier fuente de contaminación atmosférica que se mueva en términos de su posición geográfica, como, por ejemplo: automóviles, camiones, motocicletas, autobuses, aviones y medios de transporte individuales y masivos que utilicen combustibles fósiles para su operación (Def. tomada de la EPA). La proporción o cantidad de emisión de estos contaminantes depende del tipo de motor, el combustible usado y el mantenimiento que se le brinde al vehículo (Figura 5.1).
- **Fuentes fijas:** aquellas que su ubicación se encuentra inmóvilizada o cuenta con una instalación fija de donde se generan los contaminantes a la atmósfera. Hace referencia a una fuente única y que además es identificable, por ejemplo: una tubería, zanja, o chimenea de una fábrica. (Def. tomada de la EPA- Figura 5.1).
- **Fuentes de área:** aquellas fuentes de generación de contaminantes que se dispersan sobre una pequeña área y no puede ser categorizada como una fuente fija. Se constituyen como fuentes pequeñas para ser consideradas individualmente, sin embargo, de forma colectiva sí representan una cantidad significativa en la emisión de uno o varios contaminantes (Figura 5.1).
- **Fuentes biogénicas:** no son directamente de origen antrópico, son propias de la naturaleza, pero de un modo u otro contaminan el aire. (Def. tomada de

la EPA) pueden provenir de la vegetación, animales o lugares como pantanos donde hay generación de gases producto de la degradación de la materia orgánica (Figura 5.1).

- **Fuentes antropogénicas:** fuentes de contaminantes directamente relacionadas con la actividad humana, como explotación de recursos, vivienda, transporte, etc. La mayoría de las fuentes móviles entran dentro de la categoría de fuentes antropogénicas también. Algunos autores hablan de emisiones antropogénicas para evitar confusiones (Figura 5.1).



**Figura 5.1.** Fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.

Fuente: Metropól (2015), adaptado por el autor.

Según la OMS (2018) y Bedoya & Martínez (2008), los principales contaminantes del aire en relación con su impacto en la salud humana son los siguientes:

- **PM2.5:** el PM2.5 es el contaminante que más deteriora la calidad del aire en los centros urbanos (Figura 5.2). Además, es el más dañino debido a su tamaño microscópico. Este material particulado se puede encontrar suspendido en el aire en forma de polvo, humo u otros aerosoles. Entre sus principales componentes están: sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro sódico, carbón, polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Las partículas PM2.5 tienen efectos más severos sobre la salud que las más grandes, PM10. Las partículas PM2.5 se pueden acumular en el sistema respiratorio y están asociadas con numerosos efectos negativos sobre la salud, como el aumento de las enfermedades respiratorias y la disminución del funcionamiento pulmonar (OMS, 2018).
- **Ozono troposférico (O<sub>3</sub>):** el O<sub>3</sub> (Figura 5.2), como tal puede ser beneficioso, pero también puede ser perjudicial, depende básicamente de la altura donde



se encuentre. El ozono beneficioso es el estratosférico es una forma natural de oxígeno que provee una capa protectora sobre la tierra que bloquea la radiación ultravioleta. El ozono “Perjudicial” o el ubicado en la tropósfera es un oxidante químico y el componente mayor de la niebla fotoquímica. Según la OMS 2018, puede deteriorar seriamente el sistema respiratorio, interfiriendo en las funciones respiratorias y actuando como agente de acentuación de enfermedades respiratorias como el asma, el enfisema y la bronquitis.

- **Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>):** el SO<sub>2</sub> es un gas tóxico (Figura 5.2) cuya característica se acentúa en su olor ocre e irritante, que se atribuye, en muchas ocasiones, a los procesos de combustión debido a los combustibles como el carbón, el petróleo, el diésel o el gas natural (OMS 2018).
- **Monóxido de Carbono (CO):** el CO se constituye como un gas sin presencia de olor y tampoco de color (Figura 5.2). Se origina por la combustión del gas, la gasolina, el petróleo, y elementos madereros. En el cuerpo humano puede reducir el transporte de oxígeno, lo que presenta una disminución de los reflejos, causa confusión y somnolencia. También puede generar dolor de cabeza, fatiga, e incluso, la muerte (OMS 2018).
- **Óxido de Nitrógeno (NOx):** el NOx es un gas tóxico de color pardo, formado como subproducto de los procesos de combustión a altas temperaturas, como en los vehículos motorizados y plantas eléctricas (Figura 5.2). Puede generar irritación al tracto superior del sistema respiratorio e incluso afectar los pulmones. En altas concentraciones puede provocar bronquitis y pulmonía (OMS 2018).



**Figura 5.2.** Principales contaminantes atmosféricos.

Fuente: Metropól (2015). Disponible en: [http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz\\_principales\\_contaminantes.aspx](http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_principales_contaminantes.aspx)

En síntesis, la contaminación del aire representa un importante riesgo para el ambiente y para la salud, por lo que, cuanto menores sean los niveles de contaminación en el aire, la salud cardiovascular y respiratoria de la población será mejor. Se prevé que la contaminación atmosférica tanto en zonas urbanas como rurales puede provocar cada año 3 millones de defunciones prematuras en todo el mundo; esta cifra se debe específicamente a la exposición a pequeñas partículas de 10 micrones de diámetro (PM10) o menos, que pueden causar cardiopatías, neuropatías y cáncer (OMS, 2011). Por lo general las mediciones de la calidad del aire se presentan como unidades de concentración, datos tomados con una frecuencia diaria y anual de partículas PM10 por metro cúbico ( $m^3$ ). Estas mediciones sistemáticas de la calidad del aire describen esas concentraciones de PM que se expresan en microgramos ( $\mu g$ ) / $m^3$ . Cuando se dispone de instrumentos de medición de mayor sensibilidad, se presentan además concentraciones de partículas más finas denominadas PM2.5.

Sobre los efectos en salud de la población se podría decir que existe una estrecha relación entre la exposición a altas concentraciones de material particulado PM10 y PM2.5 y el incremento en las cifras de mortalidad o morbilidad. Si el comportamiento en las concentraciones de partículas pequeñas y finas se muestra reducida, la mortalidad de manera proporcional disminuye. Esto permite a los sistemas de regulación o normativos efectuar proyecciones encaminadas al mejoramiento de la salud de la población (OMS, 2011).

La contaminación que se deriva a la generación de partículas conlleva efectos de tipo sanitario; aunque no hay evidencia científica de un umbral mínimo que refleje daños para la salud. Los límites de la directriz de la OMS, se basan en orientar la presencia de partículas en mínimas concentraciones. Las políticas e inversiones a medios de transporte menos contaminantes o responsables con el ambiente, además de viviendas sostenibles, la generación de electricidad y una mejor gestión de residuos, lograrán reducir de gran manera las fuentes de contaminación en el aire de los grandes centros urbanos.

La reducción de las emisiones domésticas derivadas de sistemas energéticos basados en el carbón y la biomasa, así como de la incineración de desechos agrícolas, permitirán limitar algunas fuentes de contaminación del aire en rurales y urbanas de las regiones o países en desarrollo (OMS, 2018).

### **5.3. La importancia estratégica de los árboles y su función como reguladores del clima**

Según la FAO (2007), de los servicios ambientales que se derivan de los bosques y en especial de las especies arbustivas, se destacan la conservación y el uso de la diversidad biológica, la captación y el almacenamiento de carbono, este último de gran utilidad para la mitigación de cara al calentamiento global, la conservación de suelos y de cuerpos de agua, y también para la generación de nuevas propuestas de empleo y ocupación además de mejorar los sistemas de producción agrícola. También trae consigo un mejoramiento en las condiciones de vida, a través de la conservación del patrimonio natural y cultural de una región. Muchos de estos servicios han sido aceptados por Colombia a través de acuerdos mundiales vinculantes en especial desde la celebración de la Cumbre de Rio de Janeiro en 1992.

Los servicios ecosistémicos provenientes de ecosistemas forestales y agroforestales se relacionan directamente con su carácter de regulación de fenómenos naturales, como lo son la oferta del recurso hídrico, la óptima calidad del aire, control de la erosión y afectación en la estructura del suelo, el acervo genético de la fauna y flora y como soporte esencial en la mitigación de riesgos naturales (CONAFOR, 2014). De acuerdo con la FAO (2007), los servicios ambientales de regulación que brindan los árboles específicamente en el sector urbano son: la captación y almacenamiento de carbono y la regulación climática. Las hojas filtran el aire que se respira, removiendo el polvo y el material particulado, además, absorben el CO<sub>2</sub> del aire para formar hidratos de carbono, los cuales son utilizados en el crecimiento estructural y desarrollo de la planta, estos absorben otros contaminantes del aire como lo son el O<sub>3</sub>, CO y SO<sub>2</sub>, y liberan O<sub>2</sub> a la atmosfera (ISA, 2007). Son reguladores del clima puesto que proporcionan sombra y resistencia contra las corrientes de aire. Mediante el uso de árboles específicamente en las ciudades, puede moderarse el efecto de isla de calor causado por el calentamiento excesivo de las superficies de asfalto (AMB, 2000), pavimento y edificios (ISA, 2007). Además, como se dijo anteriormente esto regula la humedad y la temperatura debido a los procesos de evapotranspiración, disminuyendo considerablemente los trastornos climáticos presentes en las grandes ciudades (AMB, 2000).

De acuerdo con lo anterior, son múltiples los servicios que los arboles ofrecen al ecosistema y al ser humano, en relación con el control del clima, se puede decir que estos moderan los efectos de la radiación solar, la velocidad del viento y la precipitación. Adicionalmente, la energía proveniente del sol se absorbe a través

de las hojas de los árboles en las épocas de verano cuando la radiación solar es directa y no difusa, lo que hace que se filtre por las ramas de esos mismos árboles en épocas de baja radiación. Cuanto más denso sea el follaje de los árboles, mayor será su función como cortavientos previniendo la erosión eólica. Algunos fenómenos naturales como la precipitación, la nieve o granizo se absorbe o se desvía por los árboles, dando protección a personas, animales y edificios” (ISA, 2007).

Desde el punto de vista económico el valor de los árboles varía en función de su tamaño, condición y función. Los beneficios económicos que proporcionan pueden ser directos o indirectos. Los directos se asocian con los costos energéticos, por ejemplo, el gasto en aire acondicionado es menor en un hogar sombreado por árboles que se encuentran dispuestos a la radiación directa del sol. Los árboles son una sabia inversión de capital, ya que los hogares con espacios verdes ya sean jardines horizontales, verticales o cubiertas verdes, tienen más valor que aquellos que no lo tienen (Ellis *et al.*, 2006).

#### **5.4. Consideraciones finales**

Los servicios ecosistémicos de regulación ofrecen dentro de su amplia oferta, una de las más importantes contribuciones para la conservación de los ecosistemas y el bienestar para el desarrollo de la humanidad, se relaciona con la regulación del clima local que incide directamente en la calidad del aire. El primer servicio hace referencia a la prevención del avance progresivo del calentamiento global a causa del efecto invernadero y de sus gases precursores y el segundo tiene que ver con las condiciones óptimas del aire para el cuidado y la salud de las personas.

Los gases y contaminantes que se arrojan al ambiente a través de los diferentes tipos de fuentes llámense fijas, móviles, de área y biogénicas pueden ser fuertemente tóxicos para el ambiente y para la salud de las personas teniendo en cuenta su capacidad de dispersión y su concentración en un área. Según la OMS los materiales particulados en especial el PM<sub>2.5</sub> es uno de los más peligrosos por su tamaño, sin desconocer los otros contaminantes tales como el O<sub>3</sub> troposférico, SO<sub>2</sub>, CO y el NO<sub>x</sub>.

En el caso específico de la calidad del aire, los árboles se relaciona con los servicios de regulación ya que pueden absorber CO<sub>2</sub>, además pueden brindar sombra a través de su estructura y de sus hojas para la retención de la humedad, sirven

como cortavientos para evitar erosiones o daños en un ecosistema y sirven como barrera frente a algunos fenómenos extremos como periodos de alta precipitación, movimientos en masa, ciclones o vórtices. Además, brindan una riqueza visual y paisajista que permite la relajación el espaciamento, a la admiración, el deporte la diversión y ara algunos grupos constituye símbolos o significados religiosos (Iragorri, 2001).

### 5.5. Estudio de caso: Valle de Aburrá

El valle de Aburrá, genera emisiones de contaminantes resultado de actividades antrópicas en masa, como el transporte automotor y la producción industrial. Según Metropól (2015), los 3 millones 866 mil habitantes que tiene el área metropolitana están ubicados en 1.157 kilómetros cuadrados. Antioquia tiene 6 millones 535 mil habitantes para una extensión de más de 63.600 kilómetros. Lo anterior quiere decir que el 58,5% de la población del Antioquia está ubicada en el 1,8% del área del departamento.

Debido a su ubicación geografía y condición topográfica, se genera una afectación en la dispersión de los gases y de las partículas generadas por la industria, el transporte y las actividades domésticas. Se concibe entonces que su ubicación de “u” dentro de un valle o cadena de montañas tiene un efecto negativo sobre la dispersión de contaminantes como es el caso del valle de Aburrá (Figura 5.3).



**Figura 5.3.** Configuración topográfica del valle de Aburrá.

Fuente: Metropól (2015) Disponible en: [http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz\\_condiciones\\_especiales.aspx](http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_condiciones_especiales.aspx)

La topografía del valle de Aburrá favorece la concentración de contaminantes atmosféricos, y además, las condiciones meteorológicas que son propias de una región tropical favorecen la ventilación escasa y la formación de nubes a una baja altura evitando así que los contaminantes se puedan dispersar en el ambiente de manera óptima. Otra circunstancia que afecta la calidad del aire es el fenómeno

de inversión térmica, proceso que tiene lugar cuando una capa de aire frío se ubica debajo de una capa de aire caliente, haciendo que los contaminantes queden estáticos como se puede apreciar en la figura 5.4.



**Figura 5.4.** Factores que incrementan la contaminación en el Valle de Aburrá.

Fuente: Metropól (2015) Disponible en: [http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz\\_condiciones\\_especiales.aspx](http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_condiciones_especiales.aspx)

En el valle de Aburrá es evidente que el comportamiento de la calidad del aire obedece directamente a los niveles de concentración de contaminantes presentes en el aire, además los fenómenos meteorológicos influyen en la generación de smog fotoquímico que se visualizan sobre el territorio. Según los datos reportados por el IDEAM, en el mes de marzo se presenta el cambio entre las épocas de ausencia de precipitación seca y la primera temporada de lluvias, caracterizándose por presentar una alta nubosidad lo que ocasiona acumulación de contaminantes en la atmósfera y producto de esto se confirman las concentraciones más altas de material particulado tanto de PM10 como de PM2.5 durante el año. Posteriormente, en el mes de noviembre se presenta una última temporada de lluvias, mes en el cual se incrementan las concentraciones de material particulado (Metropól, 2015).

El crecimiento de la población en el valle de Aburrá según en inventario de emisiones realizado como año base el 2013, indican que las fuentes móviles son consideradas como las precursoras de las emisiones de material particulado fino PM2.5 y constituyen el 79% del contaminante crítico, por esto se ha priorizado la gestión en el control y reducción de contaminantes, por su impacto relativo a la salud; en ese mismo inventario se identifica que el 91% de las

emisiones de óxidos de azufre, constituye un gas precursor en la formación de PM<sub>2.5</sub> en la atmósfera. (OMS, 2018).

Cuando se habla de calidad del aire en el valle de Aburrá se debe hablar del concepto de cuenca atmosférica, es decir un espacio geográfico delimitado parcial o totalmente por elevaciones naturales, el cual se encuentra ocupado por un volumen de aire que genera reacción de gases y partículas contaminantes. Por las características topográficas y climatológicas descritas anteriormente, el valle de Aburrá se constituye como una cuenca atmosférica, es decir que comparte el mismo suministro de aire en toda su extensión, lo que se refleja en los valores homogéneos de las concentraciones de partículas finas PM<sub>2.5</sub> registrados en las diferentes estaciones de monitoreo que indican la exposición a este contaminante (Metropol, 2015).

Frente a esta situación es importante reconocer los servicios de regulación y en especial el beneficio que nos presentan los árboles, frente a esta crisis ambiental que vive Medellín y la escasez de espacios verdes. Ante la falta de árboles se plantearon soluciones para compras de predios para convertir en bosques urbanos, ya que es necesario que haya más árboles por sus hojas, que funcionan como filtros que procesan los GEI. Además, los bosques urbanos cumplen otras funciones, como el embellecimiento, descanso y esparcimiento, y sirven de refugio a la fauna.

En las zonas urbanas de Medellín el arbolado lo interviene la Secretaría de Infraestructura, dependencia donde se lidera el Programa de Mantenimiento y Arborización y se reportan datos acerca de las especies sembradas tales como: laureles, falsos laureles, cauchos, urapanes, pinos y eucaliptos, que son de crecimiento muy rápido y de fácil mantenimiento. Actualmente el bosque urbano del valle de Aburrá (Figura 5.5) remueve 228 toneladas de contaminantes: 32 ton de PM<sub>2.5</sub>; 60,4 ton de PM<sub>10</sub>; 74,3 ton de O<sub>3</sub> superficial; 49 ton de NO<sub>x</sub>; y 12,3 ton de CO. Esta información fue obtenida por estudios realizados por la Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA). La remoción es mucho mayor en las fuentes fijas que en las móviles.



**Figura 5.5.** *Sistemas de bosques urbanos como servicios de regulación del clima.*

Fuente: Autopista Sur, Medellín, Parques del Río, Revista Semana, 08 de abril de 2016.

Los bosques urbanos no brindan solamente este beneficio, su efecto de regulación microclimática con diferencias de hasta 4 grados centígrados en sitios con árboles con respecto a los que no, sugieren, en conjunto, que se deben sembrar más especies arbóreas. Estos sistemas de bosques urbanos además de regular el clima local y mejorar la calidad del aire también, se constituyen como una estrategia sólida para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS, que Colombia suscribió en el marco de la Cumbre de París y que son de tipo vinculante.

## 5.6. Evaluación del capítulo

1. ¿Para usted qué son los servicios ecosistémicos de regulación? ¿Cómo usted clasifica o agrupa los servicios ecosistémicos de regulación?
2. ¿Qué servicios ecosistémicos brindan los árboles para la regulación del clima en su localidad o región? ¿Cómo se pueden valorar?
3. ¿Cómo influyen los contaminantes atmosféricos en la calidad del aire local de su región?
4. ¿Cuáles son los principales contaminantes atmosféricos y las fuentes de emisión que los generan en su región?



5. Mencione 5 estudios técnicos de calidad del aire recientes (de menos de 5 años), y por cada uno de ellos resuma la idea principal en un párrafo de 10 líneas. No olvide referenciar.
6. Realice un recorrido por la zona de mayor confluencia vehicular de su localidad o municipio y haga un inventario de los árboles encontrados en las zonas e identifique la importancia para la calidad del aire y para la salud de la comunidad.

---

## Referencias

- AIDA. (2015). *El Carbono Negro: Concepto, Efectos Climáticos y Oportunidades en su Control*. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente.
- Recuperado de: [https://aida-americas.org/sites/default/files/publication/AIDA\\_Carbono%20Negro%20FINAL.pdf](https://aida-americas.org/sites/default/files/publication/AIDA_Carbono%20Negro%20FINAL.pdf)
- AMB. 2000. Memorias del Foro Arborescencia urbana. Bogotá, D.C. Alcaldía de Bogotá. Recuperado de: <http://dianawiesner.com/publicaciones/delautor/Arborizacion-Urbana.pdf>
- Bedoya, J. & Martínez, E. (2009). *Calidad del aire en el valle de Aburrá*, Antioquia – Colombia. *Dyna*, 76(158), 7-15.
- CONAFOR. (2014). *Servicios Ambientales*. Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/servicios-ambientales/>
- Daily, G.C. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, D.C.: Island Press.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Escudero, M. & Scheelje M. (2003). *El cambio climático principales causantes, consecuencias y compromisos de los países involucrados*. XII World Forestry Congress, Quebec. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0523-B2.HTM>
- EPA. (2018). *Glossary*. Environmental Protection Agency. Recuperado de: <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/u.s.-environmental-protection-agency-epa.html>
- Ellis, C., Lee, S.W. & Kweon, B.S. (2006). Retail land use, neighborhood satisfaction and the urban forest: An investigation into the moderating and mediating effects of trees and shrubs. *Landscape and Urban Planning* 74(1), 70-78.
- FAO. (2007). *Servicios ambientales. Ecosistemas de Bosques*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: [www.fao.org/docrep/W9950S/w9950s04.htm](http://www.fao.org/docrep/W9950S/w9950s04.htm)
- González, C.M., Ynoue, R.Y., Vara-Vela, A., Rojas, N.Y., & Aristizábal, B.H. (2018). High-resolution air quality modeling in a medium-sized city in the tropical Andes: Assessment of local and global emissions in understanding ozone and PM 10 dynamics. *Atmospheric Pollution Research*. doi: 10.1016/j.apr.2018.03.003

- ISA (International Society of Arboriculture). (2007). *Beneficios de los Árboles*. Moreno & Chueca, Zaragoza (Traductores), España: Sociedad Internacional de Arboricultura.
- Iragorri, G. (2001). *Plan de arborización para el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.*, (Tesis de pregrado). Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá Colombia.
- Lema, I. (2002). El cambio climático y la salud humana. *Gaceta Ecológica*, 65, 43–52.
- Maass, M., Balvanera, P., Bourgeron, P., Equihua, M., Baudry, J., Dick, J.,... Vădineanu, A. (2016). Changes in biodiversity and trade-offs among ecosystem services stakeholders and components of well-being: The contribution of the International Long-Term Ecological Research network (ILTER) to Programme on Ecosystem Change and Society (PECS). *Ecology and Society*, 21(3), [31]. doi: 10.5751/ES-08587-210331
- Madrazo, J., & Clappier, A. (2017). Low-cost methodology to estimate vehicle emission factors. *Atmospheric Pollution Research*, 9(2), 322–332. doi: 10.1016/j.apr.2017.10.006
- Metropol (2015). *Calidad del aire en el Valle de Aburrá*. [http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz\\_condiciones\\_especiales.asp](http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_condiciones_especiales.asp)
- OMS. (2011). *Afrontar el reto mundial de garantizar un aire limpio*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: [http://www.who.int/mediacentre/news/releases/20.11/air\\_pollution\\_20110926/es/](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/20.11/air_pollution_20110926/es/)
- OMS. (2018). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Organización Mundial de la Salud Recuperado de: [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Piñeros, A.M. & Baptiste, L.G. (2006). *Protocolo para la identificación y proyección de bienes y servicios ecosistémicos proporcionados por la biodiversidad a los sistemas productivos*. Bogotá. D. D., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana y Colciencias.
- Sharp, T. (2017). Earth's Atmosphere: Composition, Climate & Weather. Space.com. Recuperado de: <https://www.space.com/17683-earth-atmosphere.html>
- TEEB. (2017). *Regulating Services*. The Economics of Ecosystems and Biodiversity Recuperado de: <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>
- Tunarroza, M. (2002). *Evaluación de la Calidad del Aire de la Pontificia Universidad Javeriana* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D. C., Colombia.
- WHO. (2006). Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. World Health Organization. Recuperado de: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf)



# CAPÍTULO 6

---

## SECUESTRO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO: CAPTURAS DE CARBONO POR PAGOS DE SERVICIOS AMBIENTALES

Christian Felipe Valderrama López

Julián Andrés Castillo Vargas

José Camilo Torres Romero

Angélica Rocío Guzmán Lenis

Víctor Fabián Forero Ausique

Carlos Mario Duque Chaves

Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego

Sandra Patricia Montenegro Gómez<sup>10</sup>

### 6.1. Introducción

De acuerdo al último reporte generado por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) en el Acuerdo de París, se hizo explícito el impacto de la alteración del ciclo del carbono sobre la temperatura y se acordó la meta global de controlar la emisión de carbono atmosférico para mitigar el impacto en la temperatura global (UN, 2015). Si bien, basados en los requerimientos energéticos del mundo se pronostica un incremento considerable de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), al comparar las emisiones del año 2015 con las de los siguientes años como resultado de esta tendencia, las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía aumentaron un 1,4% en 2017, después de tres años sin cambios.

Diferentes países están tomando medidas para mitigar el cambio climático a través de diferentes estrategias de participación, innovación e investigación para disminuir las emisiones de carbono conceptualizando los servicios ecosistémicos en algunos países más desarrollados que Colombia como Francia y España, que

---

<sup>10</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.

Correos electrónicos de contacto: christian.valderrama@unad.edu.co, andres.castillo@unad.edu.co, jose.torres@unad.edu.co.

desde el 2015 han disminuido sus emisiones de carbono. Sin embargo, países en vías de desarrollo a pesar de que emiten menos  $\text{CO}_2$  que los países industrializados, tampoco cuentan con políticas eficaces para la disminución del material particulado. En Colombia, ciudades como Bogotá padecen de una contaminación bastante más alta que ciudades con equivalentes poblacionales en países desarrollados como Londres, Nueva York o París. Por ejemplo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), tres de las principales ciudades de Colombia (Bogotá, Medellín y Cali) se destacan por estar entre las 20 ciudades más contaminadas de América Latina desde hace ya más de 5 años.

Este capítulo tiene como finalidad presentar los objetivos fundamentales que permiten teorizar el servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono mediante experiencias en países que poseen características similares a las de Colombia, y en ese sentido pueden ser entendidos como experiencias útiles que pueden contribuir para el acercamiento al concepto desde una perspectiva académica y significativa.

## 6.2. ¿Qué es la captura de carbono?

El  $\text{CO}_2$  es un Gas de Efecto Invernadero (GEI) al igual que el vapor de agua, el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y el ozono ( $\text{O}_3$ ), que se encuentra de forma natural en la atmósfera pero que aumentan en concentración por actividad antrópica. Grandes industrias están aumentando la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  y así aumentando el efecto invernadero. Las emisiones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$  se producen cuando se quema combustible para conseguir energía por combustión o prácticas no saludables para el ambiente como la quema de “maleza” para “limpiar” el suelo.

La captura y almacenamiento de  $\text{CO}_2$  es una de las técnicas utilizadas para reducir sus emisiones (IPCC & UNEP, 2005). La captura y almacenamiento de carbono, consiste en capturar el  $\text{CO}_2$  emitido por procesos de combustión controlada en industrias, transportarlo y someterlo a un ambiente subterráneo dentro de formaciones geológicas adecuadas con miras a su almacenamiento permanente. No se trata únicamente de almacenar el gas bajo la tierra, en galerías, se busca que las moléculas consigan asociarse a su medio de manera duradera por procesos de fijación o reacciones químicas favorables en los entornos que son colocados (Alenza-García, 2011)

### 6.3. ¿Cómo funcionan los servicios ambientales y la captura de carbono?

Durante la última década, se ha visto a nivel global un amplio surgimiento de la valoración de los bienes y servicios ecosistémicos, especialmente aquellos que están relacionados con la protección de los bosques y la regulación hidrológica de las cuencas, la conservación de la biodiversidad y las estrategias potenciales para la captura del carbono (González & Riascos, 2007).

Un servicio ambiental que es susceptible de incorporación en los esquemas de pagos por servicios ambientales, es la captura de carbono. El CO<sub>2</sub> es posiblemente uno de los GEI que mayor incidencia tiene en el cambio climático y el calentamiento global y ha sido considerado como uno de los principales gases a reducir desde el protocolo de Kioto (UN, 1998). Hoy día existen diferentes estrategias de captación, ya sea a través de la conservación de los bosques, la plantación de nuevos árboles (Ordoñez, 2008) o la aplicación de tecnologías para el sector agropecuario o industrial.

La implementación de diferentes estrategias y prácticas agropecuarias, pueden generar servicios ambientales que podrían cambiar la perspectiva hacia el uso del suelo y manejo de especies arbóreas, ya que la asociatividad con los bosques ofrece múltiples servicios. En algunos países latinoamericanos estas prácticas están adquiriendo importancia financiera de ciertos servicios vinculados con sus recursos naturales y ambientales (Azqueta & Sotelsek, 1999). En el caso de Colombia, en la última década, la Federación de Ganaderos de Colombia (FEDEGAN) y el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), han fomentado el establecimiento de sistemas silvopastoriles, buscando mejorar la productividad de los sistemas ganaderos y recuperar áreas de pasturas deterioradas a través de asociaciones entre pastos y especies forrajeras como la *Leucaena leucocephala*, entre otras, y pasturas mejoradas con alta densidad de árboles, generando el beneficio ambiental del almacenamiento del carbono y mejoramiento de los suelos, conservación de la biodiversidad y regulación hídrica (Zapata *et al.*, 2006).

### 6.4. ¿Cómo funciona la captura de carbono?

El carbono capturado bruto (el situado en el tronco de los árboles, y únicamente asociado al crecimiento de la masa), en parte, es fácilmente cuantificable y, por lo tanto, su valoración no resulta complicada, a diferencia de

otros servicios ambientales. Por otro lado, resulta evidente que esta función es universal a todos los sistemas forestales, ya que es inherente al crecimiento de los mismos.

A la hora de incluir en el análisis el carbono capturado, es necesario tener en cuenta diversos aspectos. En primer lugar, definir la forma que se elige para medir el incremento en la captura de carbono y cómo pueden contribuir los sistemas forestales a la fijación del carbono atmosférico. Por un lado, estaría el carbono capturado por los árboles en su proceso de crecimiento y después de almacenado, cuando las masas alcanzan edades en las cuales el crecimiento es muy pequeño. A este carbono se le suele denominar carbono bruto, y su dificultad en la medición radica en la precisión elegida en el análisis. Así, mientras que el carbono almacenado en los troncos es fácil de medir, no ocurre lo mismo con el carbono dispuesto en otros estratos (raíces, hojarasca, leñas, etc.).

Otro aspecto importante a considerar dentro de la eficiencia del proceso de acumulación de carbono, es el uso que se le da a la madera ya que, si se destina a productos que presenten una mayor vida útil, se logrará que la re-emisión de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera sea retardada. Es decir, en este caso se mediría no el carbono bruto, sino el carbono neto calculado. En efecto, en este sentido, tendríamos que tener en cuenta el carbono en los distintos productos obtenidos a partir de la madera, con independencia de su uso y de su cualidad de producto final o intermedio. También aquí habría que contabilizar los productos susceptibles de ser reciclados. Sirve aclarar que, en muchas ocasiones, la diferencia entre ambas formas de medir el carbono viene dada por la falta de integración a lo largo de la cadena de valor de la madera. Es decir, el carbono asociado al proceso de fabricación de los distintos productos derivados de la madera está englobado dentro del sector industrial, no del forestal.

De acuerdo a Balteiro & Romero (2004), la captura de carbono funciona de la siguiente manera, dividiendo su proceso en tres etapas:

- **Captura de  $\text{CO}_2$  en la fuente:** se separa de los otros gases que se generan en los procesos industriales y en las fuentes fijas se captura el gas con la tecnología actual. La mayoría de las emisiones proceden del sector industrial y de las centrales térmicas. La captura de  $\text{CO}_2$  puede realizarse antes, durante o después de la combustión.

- **Transporte de CO<sub>2</sub> capturado:** el carbono debe ser comprimido para reducir su volumen y obtener la presión necesaria para su inyección, posteriormente se traslada a un lugar de almacenamiento apropiado.
- **Almacenamiento de CO<sub>2</sub>:** esta actividad se realiza en diversos tipos de almacén subterráneo a ochocientos metros de profundidad por lo menos, ya que, a partir de esa profundidad, la presión permite almacenar el gas en volúmenes menores que los que requeriría para almacenar el mismo gas en la superficie.

### 6.5. Metodologías para estimar la captura de carbono

Existen diferentes métodos para estimar la cantidad de carbono (en la forma de CO<sub>2</sub>) en las actividades agropecuarias, estandarizadas mediante protocolos para Colombia (Yepes *et al.*, 2011). Sin embargo, se considera que una herramienta eficiente para estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono, son los métodos alométricos. Existen 44 métodos alométricos diferentes para determinar la biomasa de los bosques Colombianos (Álvarez *et al.*, 2011). En el caso de las actividades forestales, se puede identificar uno de estos como es el “método de existencias” (Seppänen, 2006), el cual describe lo siguiente: Permite estimar la existencia de carbono en dos momentos, cuya diferencia es la cantidad de carbono fijado en la biomasa, y su equivalente en CO<sub>2</sub> es el absorbido de la atmósfera. Este método se aplica por cada elemento que conforma una biomasa y la biomasa de los árboles se divide en fuste, ramas gruesas, delgadas, hojas, tocón, raíces gruesas y raíces delgadas (Seppänen, 2006).

### 6.6. Comercio de los bonos de carbono

Los bonos de carbono son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente. En el protocolo de Kioto para la reducción de GEI, uno de los tres mecanismos propuestos es el bono de carbono. Este sistema ofrece incentivos económicos a las empresas que contribuyan a la mejora del sistema operativo de la calidad ambiental, y funciona como un bien canjeable en donde se tiene el derecho a emitir CO<sub>2</sub> por el pago de unos bonos cuyos precios están establecidos en el mercado (Eguren, 2004). El objetivo principal de los bonos de carbono es ayudar a reducir los gases de efecto invernadero, especialmente en los países industrializados, que son los que más contaminan.

Existen dos tipos de mercados de carbono. El primero es el mercado regulado, enmarcado en reglas internacionales definidas en el Protocolo de Kioto. El segundo es el mercado voluntario, que no se encuentra regulado e incluye una amplia variedad de relaciones comerciales y estándares voluntarios para los proyectos (Seeberg-Elverfeldt, 2010), también conocidos como Certificados de Emisión Reducida (CER). Por ejemplo, cada país tiene un compromiso límite de GEI, si lo sobrepasa, puede legalizar sin multa su emisión comprando bonos de carbono a otros países menos contaminantes. Este mecanismo no es solo entre naciones, entre empresas se ha vuelto una práctica común. Si una empresa desarrolla una estrategia para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> de forma voluntaria y está interesada en vender su bono a otra empresa que esté obligada a reducir sus gases contaminantes en otro país, puede hacerlo sin problemas, a través del Mercado de Carbono. (Eguren, 2004)

La creación de un mercado voluntario de CO<sub>2</sub> en países desarrollados entre 2011 y 2015, es uno de los proyectos de mayor importancia financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo, que tienen como objetivo incentivar proyectos de mitigación voluntaria de carbono, y motivar a los grandes empresarios a que compren bonos de carbono sin obligarlos legalmente. Esto con el fin de facilitar el financiamiento para la conservación de sumideros de carbono como las selvas y bosques colombianos. Los bonos de carbono no solo generan un beneficio económico y medioambiental, también generan beneficios sociales, crean empleos y además se concientiza a la población sobre una cultura de conservar y cuidar el entorno donde se llevan a cabo los proyectos.

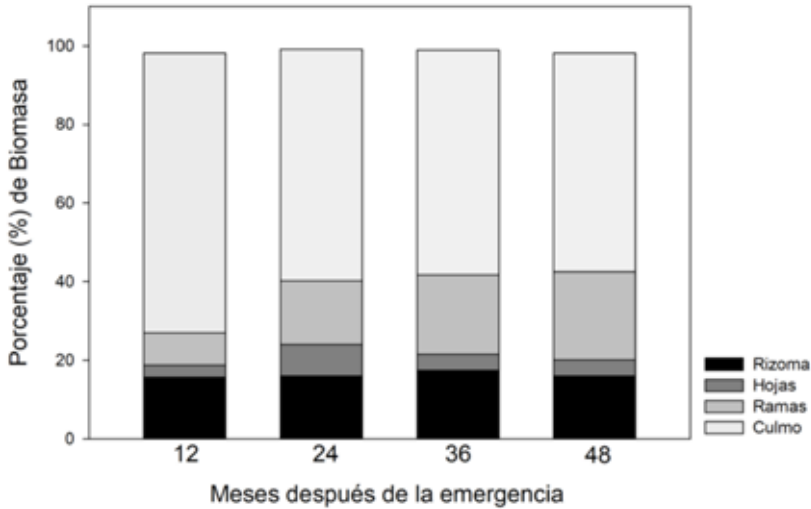
### **6.7. Experiencias de captura de carbono en el área agropecuaria, forestal y ambiental**

Dentro de las experiencias que más sobresalen en diferentes investigaciones sobre captura de carbono en Colombia, a modo de ejemplo, se pueden encontrar las siguientes:

Una plantación de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth.) en la ciudad de Pereira, Colombia, en el año 2003, fue estudiada con el propósito de determinar el patrón de crecimiento y eficiencia de secuestro de carbono. La plantación se estableció con una densidad de 625 plantas por hectárea, en un suelo utilizado anteriormente para ganadería. Cuando se cuantifico la biomasa seca por compartimento,



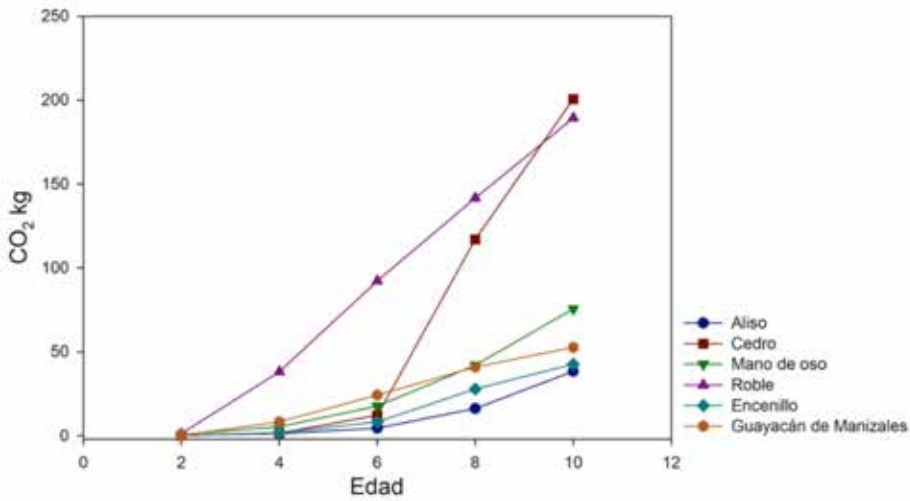
los resultados mostraron que esta se localiza principalmente en la parte aérea (Figura 6.1), por lo tanto, de las 76 ton CO<sub>2</sub>/ha que la planta fija, el 83% se alberga en la parte aérea de la planta. Por su rápido crecimiento, se concluyó que la capacidad de fijar carbono y la posibilidad de un uso comercial constituyen una importante opción productiva para regiones con condiciones biofísicas similares (Camargo *et al.*, 2010).



**Figura 6.1.** Porcentaje de biomasa seca en cada compartimento de *G. angustifolia*, en diferentes estados de madurez.

Tomado de: Camargo & colaboradores (2010).

En otra experiencia en Colombia, se determinó la capacidad de absorción de carbono en seis especies forestales (Aliso, Cedro, Mano de oso, Guayacán de Manizales, Roble y Encenillo) en hojas, ramas, fuste y raíces, dentro del Parque Ecológico La Poma, ubicado en el municipio de Soacha, Cundinamarca (Figura 6.2). Se realizaron análisis químicos en muestras de 100 g de materia seca para calcular el carbono contenido. Se encontró que el Guayacán de Manizales (*Lafoensia acuminata*) presentó la mayor relación de carbono respecto a su biomasa, con hasta un 40% en relación a la muestra, pero las especies como el roble (*Quercus humboldtii*) y el cedro (*Cedrela montana* Moritz ex Turcz.) lograron captar hasta 200 kg/CO<sub>2</sub> en sus primeros 10 años, convirtiéndose en especies potenciales a considerar, dentro de proyectos ecológicos por compensación en Colombia ((Díaz Cepeda & Velásquez Camacho, 2015)



**Figura 6.2.** CO<sub>2</sub> equivalente total contenido en las seis especies forestales procedentes del PEP-Soacha. Tomado de: Díaz Cepeda & Velásquez Camacho (2015).

En el municipio de Cauca, Antioquia, se realizó un estudio con el objetivo principal de estimar y evaluar el servicio ambiental de captura de carbono en un sistema silvopastoril de acacia (*Acacia mangium*) con pasto brachiaria (*Brachiaria dyctioneura*), en baja y alta densidad de siembra. Por otro lado, se evaluó el flujo de carbono de los bovinos al suelo a través de heces. Se identificó que la cantidad de carbono en los árboles, las pasturas y el suelo fue de 65,8 ton C/ha en la parcela de alta densidad y 70,6 ton de C/ha en la parcela de la baja densidad (Tabla 6.1). En los potreros sin árboles (pasturas y suelo), se alcanzaron 38,1 ton de C/ha (Giraldo et al., 2006).

**Tabla 6.1.** Cantidad de carbono estimado (ton/ha) en árboles de *A. mangium*, el pasto *B. dyctioneura* y suelo en parcelas con alta y baja densidad de siembra.

Compartimiento	Control	Baja densidad	Alta densidad
	(ton C/ha)		
Parte aérea <i>A. mangium</i>	--	30,2	35,5
Parte raíz <i>A. mangium</i>	--	6,0	7,1
Parte aérea <i>B. dyctioneura</i>	2,49	1,21	0,63
Parte raíz <i>B. dyctioneura</i>	15,2	13,5	5,9
Suelo (0-15 cm)	20,4	19,7	16,7
<b>Total C</b>	<b>38,1</b>	<b>70,6</b>	<b>65,8</b>

Fuente: Giraldo & colaboradores (2005).

## 6.8. Consideraciones finales

A partir de los últimos compromisos establecidos por Colombia para reducir el 20% de sus emisiones de GEI para el año 2030 (García *et al.*, 2016), bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se debe considerar la importancia que hoy en día representan los servicios ambientales dentro de las diferentes estrategias para mitigar y controlar el cambio climático; es por ello que a partir de la estrategia de captura de CO<sub>2</sub>, se pueden implementar alternativas asociadas a la preservación y mejoramiento de los ecosistemas forestales con sistemas productivos (Balteiro & Romero, 2004), que generen una simbiosis entre el desarrollo económico y el medio ambiente, para reducir las tasas de emisión de carbono a la atmosfera.

## 6.9. Estudio de caso: proyecto forestal en la cuenca del río Chinchiná, para el desarrollo forestal sostenible y los servicios ambientales

El proyecto se desarrolla en la cuenca hidrográfica del río Chinchiná (Caldas), la cual ha sido seleccionada para establecer un proyecto forestal sostenible, orientado a preservar los cuerpos de agua, la biodiversidad y generar alternativas de producción para la ciudad de Manizales y la región aledaña. Esta se encuentra ubicada en el departamento de Caldas, tiene una extensión aproximada a las 113.000 ha. Su territorio va desde los 780 msnm en la desembocadura en el río Cauca hasta los 5.400 msnm en el Nevado del Ruiz, siendo un ecosistema estratégico que aporta el 70% del PIB para este Departamento (MAVDT, 2008).

Este proyecto es el primero registrado por Colombia ante las Naciones Unidas como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), con el propósito de generar beneficios de mitigación del cambio climático a través de la captura de CO<sub>2</sub>, el mejoramiento de la calidad del agua y la protección de la fauna y flora de la región a través de la articulación de corredores biológicos interconectados entre fragmentos de bosque natural con las áreas restauradas (PROCUENCA, 2015).

Se caracteriza por ser un proyecto que genera nuevas actividades económicas para el desarrollo de la región Caldense, a través de alternativas productivas que contribuyan con el encadenamiento productivo de la actividad forestal, como la agroforestería, los sistemas silvopastoriles, los cultivos mixtos, lineales y en bloque (Alclima, 2015).

### 6.9.1. Principales logros del proyecto

De acuerdo al informe de (MAVDT, 2008), se resaltan los siguientes logros:

- Se definió un sistema de medición de impactos ambientales, en cooperación con Conservación Internacional, PROAVES, CORPOCALDAS y Aguas de Manizales.
- Avance en la inclusión del proyecto en el mecanismo de desarrollo limpio a mediano plazo con el propósito de comercializar certificados de emisiones reducidas (CERs) en el marco del protocolo de Kioto.
- Se está trabajando en conjunto con CENICAFÉ, en mejoramiento genético y silvicultural de especies nativas promisorias, así como en el control y manejo de eventos fitosanitarios.
- Se está trabajando de manera articulada con el SENA mediante la Escuela de Liderazgo Forestal, a través de programas de educación ambiental en colegios y escuelas rurales de la cuenca.
- Se desarrolló una metodología de acción y participación para vincular al productor.

### 6.10. Evaluación del capítulo

1. ¿En qué consiste la captura y almacenamiento de carbono?
2. ¿Cuáles son las estrategias usadas para la captación de carbono?
3. ¿Qué es el carbono bruto y el carbono neto calculado? ¿Cómo se miden cada uno de ellos?
4. ¿Cuáles son los métodos usados para estimar el contenido de carbono? Explique cada uno de ellos.
5. ¿En qué consiste el uso de bonos de carbono o mercado del carbono? ¿Cuáles empresas en Colombia usan estos bonos?

---

## Referencias

- Alenza-García, J.F. (2011). El nuevo régimen legal del almacenamiento geológico del dióxido de carbono. *Revista de Administración Pública*, 185, 289-232.
- Álvarez, E., Saldarriaga, J.G., Duque, A.J., Cabrera, K.R., Yepes, A.P., Navarrete, D.A., & Phillips, J. (2011). *Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Alclima. (2015). *Proyecto Forestal para recuperar la cuenca del río Chinchiná, una alternativa ambiental y productiva*. Recuperado de: <https://mukuralab.com/alclima.semana.com/Proyecto/proyecto-forestal-para-recuperar-la-cuenca-del-rio-chinchina-una-alternativa>

- Azqueta, D., & Sotelsek, D (1999). Ventajas comparativas y explotación de los recursos ambientales. *Revista de la cepal*, 68, 115-134.
- Balteiro, L.D., & Romero, C. (2004). *La captura de carbono y la gestión forestal*. España: Ministerio de Educación y Ciencia, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Camargo, J. C., Rodríguez, J. A., & Arango, A. M. (2010). Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 94.
- Díaz-Cepeda, B.D., & Velásquez-Camacho, L.F. (2015). Análisis de captura de carbono en seis especies forestales nativas (3 esciofitas-3 heliofitas) plantadas con fines de restauración en el Parque Ecológico La Poma (PEP) - sabana de Bogotá - Colombia. *Mutis*, 5(2), 46-54.
- Eguren, L. (2004). *El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas*. Santiago de Chile, Chile: División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica de América Latina y el Caribe. Recuperado de: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5620/1/S043136\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5620/1/S043136_es.pdf)
- García Arbeláez, C., Vallejo, G., Higgings, M.L., & Escobar, E.M. (2016). *El acuerdo de París. así actuará Colombia frente al cambio climático*. Cali, Colombia: WWF - Colombia. Recuperado de: [http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/documentos\\_tecnicos\\_soporte/Así\\_actuará\\_Colombia\\_frente\\_al\\_cambio\\_climático.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/documentos_tecnicos_soporte/Así_actuará_Colombia_frente_al_cambio_climático.pdf)
- Giraldo, L.A. Zapata, M.; & Montoya, E. (2006). Estimación de la captura y flujo de carbono en silvopastoreo de *Acacia mangium* asociada con *Brachiaria dyctioneura* en Colombia. *Pastos y Forrajes*, 29(4), 421-435.
- González, Á. & Riascos, E. (2007). Panorama Latinoamericano del pago por Servicios Ambientales. *Gestión y Ambiente*, 10(2), 129-144.
- IPCC & UNEP. (2005). *Carbon dioxide capture and storage*. [B., Metz, O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, & L. A. Meyer (eds.)]. New York: Cambridge University Press. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_wholereport.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf)
- MAVDT, Parques Nacionales Naturales, WWF, Conservación Internacional y The Nature Conservancy. (2008). *Reconocimiento de los Servicios Ambientales: Una Oportunidad para la Gestión de los Recursos Naturales en Colombia*. S.C. Ortega (Ed). Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado de: [http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/Books/BWunder0801.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BWunder0801.pdf)
- Ordoñez, J.A.B. (2008). Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. *Ciencias*, 90, 37-42.
- PROCUENCA. (2015). MDL Forestal Chinchiná – Verificación del modelo de indicadores para evaluar los cambios en la biodiversidad del proyecto MDL forestal (Procuenca) para la cuenca del río Chinchiná. Recuperado de: [http://selva.org.co/areas-de-investigacion/biodiversidad-servicios-ambientales-cambio-climatico/indicadores\\_biodiversidad\\_md/](http://selva.org.co/areas-de-investigacion/biodiversidad-servicios-ambientales-cambio-climatico/indicadores_biodiversidad_md/)
- Seeberg-Elverfeldt, C. (2010). *Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor*. Roma: Departamento de Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/012/i1632s/i1632s.pdf>
- Seppänen, P. (2006). Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo de detalles. *Foresta Veracruzana*, 4(2), 51-58.

- UN. (1998). *Protocolo de Kyoto de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. United Nations. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- UN. (2015). *Acuerdo de París*. Paris. United Nations. Recuperado de: [https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_spanish\\_.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf)
- Yepes, A.P., Navarrete, D.A., Duque, A.J., Phillips, J.F., Cabrera, K.R., Álvarez, E., & Ordoñez, M.F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa de carbono en Colombia*. Bogota D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Zapata, Á., Murgueitio, E., Mejía, C., Andrés., Zuluaga, F., & Ibrahim, M. (2006). Efecto del pago por servicios ambientales en la adopción de sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos de la cuenca media del río La Vieja, Colombia. *Agroforestería en las Américas*, 45, 92.



# CAPÍTULO 7

---

## Moderación de fenómenos extremos

Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego

Victor Fabián Forero Ausique

Christian Felipe Valderrama López

Sandra Patricia Montenegro Gómez

Diana Marcela Fúquene

Marco Andrés Guevara Luna<sup>11</sup>

Martha Liliana Palomino Leiva<sup>12</sup>

---

### 7.1 Introducción

Dentro de los servicios ecosistémicos y específicamente en aquellos denominados como los servicios de regulación se pueden apreciar los relacionados con la moderación de fenómenos extremos, estos últimos constituidos por ecosistemas y organismos que actúan como amortiguadores reduciendo los daños frente a eventos naturales adversos tales como catástrofes naturales, causantes de avalanchas, desertificación de suelos, inundaciones, movimiento y desprendimientos de tierras, sequías, tormentas, tsunamis y vórtices, entre otros.

La alta variabilidad de los valores climatológicos estudiados en un fenómeno natural, hace necesario un monitoreo y por ende un pronóstico meteorológico constante para mitigar la repercusión y contribuir con la resiliencia, entendiéndose esta como la capacidad de un ecosistema de recuperarse tras fenómenos de perturbación importantes (Gunderson, 2000). La resiliencia se encuentra ligada estrechamente a la vulnerabilidad y a la exposición y constituyen lo que en el país se ha denominado como la gestión del riesgo.

---

<sup>11</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente

<sup>12</sup> Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades.

Correos electrónicos de contacto: yulian.casadiego@unad.edu.co, victor.forero@unad.edu.co, christian.valderrama@unad.edu.co

Actualmente existen varias organizaciones a nivel mundial con programas, plataformas y aplicaciones que muestran mapas a escala global, relacionados con sistemas de información web, con distintas capas y modos para visualizar el comportamiento climatológico de manera didáctica, revisar datos históricos, hacer pronósticos, así como evaluar y reducir riesgos y pronosticar fenómenos extremos que pudiesen materializarse en catástrofes naturales.

El presente capítulo tiene como objetivo realizar una investigación sobre los sistemas de monitoreo de fenómenos meteorológicos extremos a nivel global, relacionados con sistemas de información web, y concluye con el diseño, programación e implementación de un sistema de información de datos abiertos para uso de la comunidad científica.

## 7.2. ¿Qué son los fenómenos climáticos extremos?

Los fenómenos climáticos extremos son definidos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2016) como “la ocurrencia de un valor de una variable meteorológica o climática por encima (o por debajo) de un valor de umbral cercano al extremo superior (o inferior) de la horquilla de valores observados de la variable”. Con base en el curso ofrecido por la National Geographic en su apartado de Educación sobre el Clima Extremo en la Tierra, cómo es y qué factores contribuyen al clima extremo, se tiene que entre los factores que afectan los climas extremos están la temperatura (sol), precipitación (agua), presión atmosférica, viento, humedad, nubosidad y corrientes de chorro. También entre los tipos de fenómenos de clima extremo se encuentran:

- a. **Tornado:** nubes, fuertes vientos, lluvia, granizo. Definición NatGeo: “Una columna de aire rotando violentamente que se forma en el fondo de una nube y toca el suelo”.
- b. **Huracán:** o ciclón, viento fuerte, lluvia fuerte. Definición NatGeo: “Tormenta tropical con velocidades del viento de al menos 119 km (74 mi) por hora. Los huracanes son lo mismo que los tifones, pero generalmente se encuentran en la región del Océano Atlántico”.
- c. **Tormenta de nieve:** nieve pesada, hielo temperaturas frías. Definición NatGeo: “Tormenta con vientos fuertes, frío intenso, nieve pesada y poca lluvia”.



- d. **Tormenta de polvo:** fuertes vientos, condiciones áridas. Definición Nat-Geo: “Patrón del tiempo del viento soplando polvo sobre grandes regiones de tierra”.
- e. **Inundación:** fuertes lluvias.
- f. **Tormenta de granizo:** temperaturas frías o cálidas. lluvia, hielo.
- g. **Tormenta de hielo:** lluvia helada.

Entre estos se destacan también, el estrés térmico, en los seres humanos el límite máximo de estrés térmico es de un aumento o declive de  $\pm 7^{\circ}\text{C}$ ; los ciclones tropicales, huracanes, tifones o tormentas tropicales, caracterizados por un área de muy baja presión y con rachas de viento mínimo de 120 km/h; olas de frío caracterizadas por una caída rápida en la temperatura ocasionada por la intrusión de una masa de aire frío creada por corrientes aéreas; y olas de calor caracterizadas por ser periodos donde la temperatura se mantiene más alta del rango normal durante un tiempo prolongado en un área más o menos amplia (Sánchez, 2016).

La moderación de los fenómenos extremos se evidencia de manera natural, donde ecosistemas y organismos vivos crean amortiguadores contra las catástrofes naturales conocidos como “servicios de regulación” influenciados y afectados por la agricultura, silvicultura y pesca (FAO, s.f.).

La naturaleza y gravedad de los impactos consecuencia de fenómenos climáticos extremos dependen no sólo del fenómeno mismo sino de la exposición y la vulnerabilidad, la primera hace referencia a “la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios y recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente” y la vulnerabilidad corresponde a “la propensión o predisposición a verse afectado negativamente” (IPCC, 2016).

Los fenómenos meteorológicos extremos y no extremos afectan la vulnerabilidad, modificando la resiliencia. De igual manera el cambio climático aporta a la producción de cambios en la frecuencia, intensidad, extensión espacial, duración y circunstancias temporales de fenómenos meteorológicos extremos que puede dar cabida a futuros fenómenos sin precedentes y de mayor impacto (IPCC, 2016).

Por lo anterior expuesto, es de vital importancia realizar el monitoreo climático y meteorológico constante, global y permanente de manera preventiva.

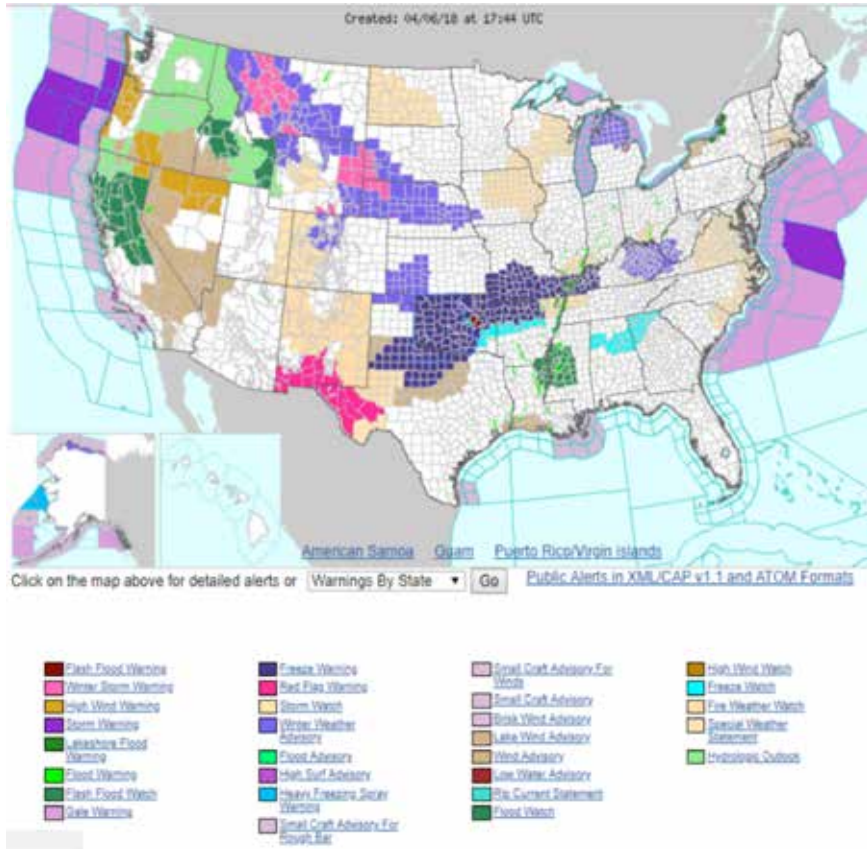
### 7.3. Organizaciones, programas y aplicaciones

A continuación, se relacionan algunas organizaciones, programas y sus respectivas aplicaciones que trabajan en lo relacionado con la moderación de fenómenos extremos.

- **Organización Meteorológica Mundial (OMM-WMO):** es una organización intergubernamental con una membresía de 191 Estados Miembros y Territorios. Procede de la Organización Meteorológica Internacional (OMI,) fundada en 1873. Establecida por la ratificación del Convenio de la OMI el 23 de marzo de 1950, la OMI se convirtió en la entidad especializada de las Naciones Unidas en meteorología, hidrología operacional y ciencias geofísicas relacionadas un año después. La Secretaría, con sede en Ginebra, está dirigida por el Secretario General. Su cuerpo supremo es el Congreso Meteorológico Mundial y se encuentra dividido en seis regiones.
- **Oficina de la Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR):** ha liderado un proceso con 29 organizaciones de las Naciones Unidas para desarrollar el Plan de Acción de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres para la Resiliencia, adoptado en 2014 por el Consejo Ejecutivo Principal de las Naciones Unidas (UNISRD, 2018).
- **Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC):** organismo internacional encargado de evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático. Creado por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, para proporcionar a los responsables de formular políticas, evaluaciones periódicas de la base científica del cambio climático, impactos, riesgos futuros y opciones de adaptación y mitigación (Field, 2012).
- **Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA):** agencia con alcance desde la superficie del sol hasta las profundidades del fondo marino, brindan pronósticos meteorológicos diarios, advertencias de tormentas severas y monitoreo del clima hasta la gestión pesquera, la restauración

costera y el comercio marítimo de apoyo. Los científicos de NOAA utilizan investigación de vanguardia para el apoyo en la toma de decisiones a partir de información confiable (NOAA, 2018a).

- **Oficina de Asimilación y Modelamiento Global (GMAO):** es una organización única que utiliza modelos de computadora y técnicas de asimilación de datos para mejorar el programa de observaciones de la Tierra de la NASA.
- **Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF):** es una organización intergubernamental independiente respaldada por 34 estados (ECMWF, s.f.a). Es un instituto de investigación y un servicio operativo 24/7, que produce y difunde predicciones meteorológicas numéricas a sus estados miembros. El centro ofrece a su vez un catálogo de datos de pronóstico que pueden ser comprados en todo el mundo. Poseen una de las supercomputadoras más grandes en Europa. Estados miembros: Austria, Bélgica, Croacia, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Islandia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Noruega, Portugal, Serbia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía y el Reino Unido.
- **Centro Nacional de Clima (National Weather Service - NWS):** esta organización presenta alertas activas, tales como advertencias por estado, pronóstico excesivo de lluvia y clima de invierno, inundaciones fluviales, últimas advertencias, Tormenta / Tornado, Outlook, Huracanes, perspectivas del clima de fuego, Alertas UV, sequía, tiempo espacial, radio meteorológica NOAA. En la figura 7.1, se puede observar la imagen de cómo se proyectan las diferentes variables mencionadas (NWS, s.f.).



**Figura 7.1.** Plataforma web de NWS para EEUU.

Adaptado de: "National Weather service" (2018). <https://www.weather.gov/> Derechos de autor (2018).

- **Programa de Instrumentos y Métodos de Observación (IMOP):** establece normas técnicas, procedimientos de control de calidad y orientación para el uso de instrumentos meteorológicos y métodos de observación a fin de promover la documentación de desarrollo y la normalización mundial.
- **Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (NMHSs) - Programa de Reducción de Riesgo de Desastres (DRR):** ayuda a los miembros a desarrollar y prestar servicios dirigidos a proteger vidas, medios de subsistencia y propiedades contra riesgos naturales de una manera rentable, sistemática y sostenible. Esto finalmente contribuye a un desarrollo resiliente y sostenible bajo un clima cambiante. El alcance del programa abarca el fortalecimiento de las capacidades de los SMHN para apoyar la preparación a través de

sistemas de alerta temprana, proporcionar información sobre peligros para evaluaciones de riesgos, prevención, respuesta y recuperación, y transferencia de riesgos en todos los sectores, mitigar los riesgos existentes y prevenir la creación de nuevos riesgos, responder a los requisitos del usuario, cooperar y participar en las estructuras de gobierno de riesgo de desastres en todos los niveles.

- **Actividad de Respuesta de Emergencia (ERA):** el Programa utiliza y aplica técnicas especializadas de modelado de dispersión y transporte atmosférico para buscar y predecir la difusión de sustancias peligrosas en el aire en caso de una emergencia ambiental. Este tipo de aplicación especializada depende directamente de la infraestructura operativa de los sistemas numéricos de predicción meteorológica que se implementan y mantienen en muchos centros del Sistema Global de Procesamiento de Datos y Pronósticos (GDPFS). Estos centros operan a nivel global, regional y nacional (“Emergency Response Activities”, 2018).
- **Protocolo de Alerta Común (Common Alerting Protocol - CAP):** el Protocolo de Alerta Común, es un formato de datos basado en XML para intercambiar advertencias públicas (Figura 7.2). Es un formato de mensaje estándar diseñado para todo tipo de medios, peligros y comunicaciones. Todos los medios (televisión, radio, teléfono, fax, señales de tráfico, correo electrónico, sitios web, RSS "Blogs"), cualquier tipo de peligro (clima, incendios, terremotos, volcanes, deslizamientos de tierra, secuestros de niños, brotes de enfermedades, advertencias sobre la calidad del aire, problemas de transporte, cortes de energía), cualquier persona: el público en general; grupos designados (autoridad cívica, respondedores, etc.), gente específica (Cheng, 2017). Entre los beneficios del CAP están:
  - a. **Reducción del costo/complejidad.** un remitente de mensaje CAP puede activar múltiples sistemas de alerta con una sola entrada.
  - b. **Facilita conocer una situación común.** se pueden recopilar alertas estandarizadas de muchas fuentes para el conocimiento situacional, proporcionando una imagen completa de todo tipo de alertas locales, regionales y nacionales.
  - c. **Consistencia.** corrobora la información de alerta exacta, a través de sus múltiples canales.
  - d. **Flexibilidad y estándar innovador.** CAP realiza un pronóstico de impacto en base a una matriz de riesgos: Posee medios consistentes para la pronta

expresión del impacto potencial, mucho antes de un evento hidrometeorológico significativo. Expresa de forma progresiva las cambiantes expectativas de riesgo en función de la variación de la exposición, la vulnerabilidad y la probabilidad hidrometeorológica.

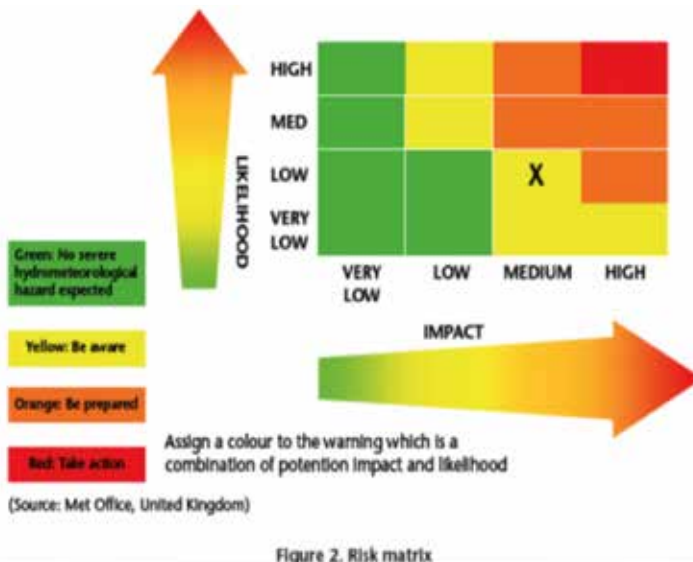
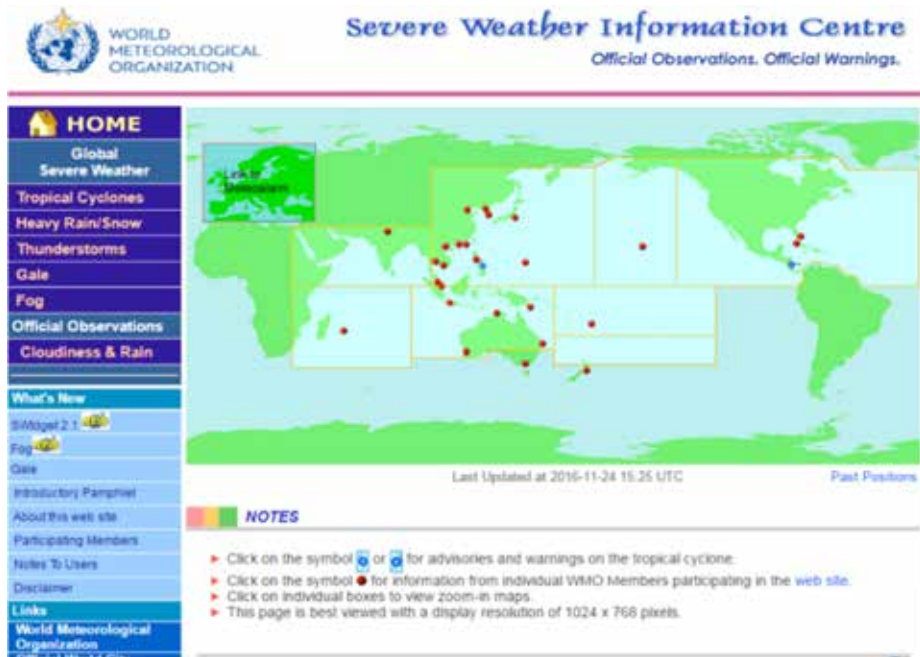


Figura 7.2. Matriz de riesgos CAP.

Adaptada de: Cheng (2017). Contributing to the Effective Delivery of Warnings. [https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/CW\\_4.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/CW_4.pdf). Derechos de autor (2017).

- **Programa Copernicus:** es el programa de observación de la tierra de la Unión Europea. Anteriormente conocido como **GMES** (Monitoreo Global de Medio Ambiente y Seguridad - ECMWF, s.f.b), proporciona un conjunto complejo de sistemas que recopilan datos de múltiples fuentes: satélites de observación de la tierra y sensores *in situ*, sensores aerotransportados y transportados por vía marítima. Copernicus procesa estos datos y brinda a los usuarios información confiable y actualizada a través de un conjunto de servicios relacionados con cuestiones ambientales y de seguridad.
- **Marco Global para los Servicios Climáticos (GFCS):** entidad encargada de Mejorar la gestión de los riesgos de la variabilidad climática y el cambio y la adaptación al cambio climático, mediante el desarrollo e incorporación de información y predicción climática basada en la ciencia, planificación, políticas y prácticas a escala mundial, regional y nacional (GFCS, 2018).

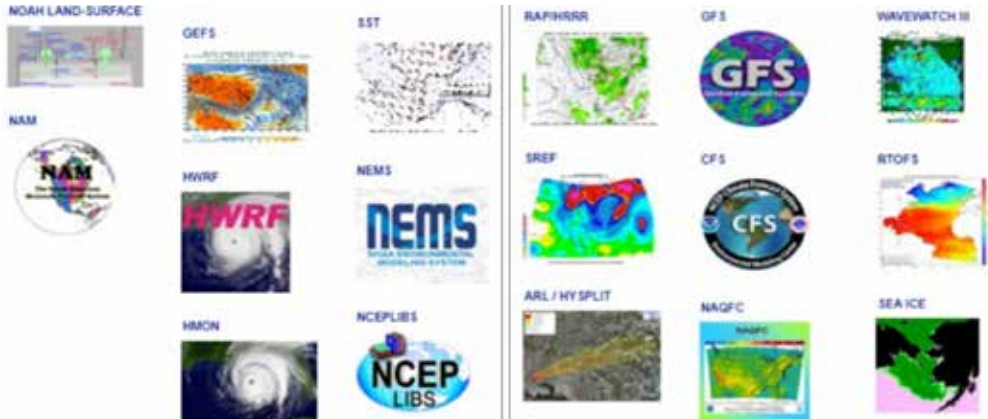
- **Centro de Información Meteorológica Severa (SWIC):** plataforma que centraliza y proporciona advertencias oficiales autorizadas e información emitida por los NMHS. Incluye advertencias sobre ciclones tropicales e información mundial sobre climas severos (Figura 7.3).



**Figura 7.3.** Plataforma web del Centro de Información Meteorológica Severa.

Adaptado de: "Severe Weather Information Centre". Por WMO, (2018). <http://severe.worldweather.org/>. Derechos de autor (2018).

- **Centro de Modelado Ambiental (Environmental Modeling Center - EMC):** es el responsable de mejoras, transiciones a operaciones y mantenimiento de más de 20 sistemas de predicción numérica (Figura 7.4).
- **Rama de Modelado y Análisis Marino (Marine Modeling and Analysis Branch - MMAB):** responsables del desarrollo de sistemas mejorados de predicción y análisis marinos numéricos dentro del Servicio Meteorológico Nacional de la NOAA.



**Figura 7.4.** Sistemas de pronóstico numéricos.

Adaptado de: "Environmental Modeling Center". Por NOAA (2018b).  
<http://www.emc.ncep.noaa.gov/> Derechos de autor (2018).

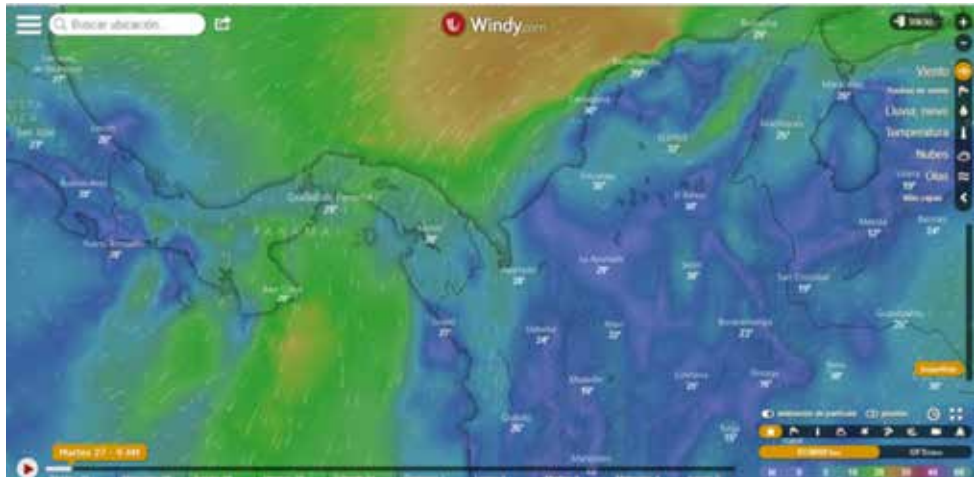
- **SWPC (Space Weather Prediction Center):** plataforma que permite estudiar los siguientes fenómenos:
  - a. **Aurora.** La aurora boreal (Northern Lights) y aurora australis (Southern Lights) son el resultado de la colisión de electrones con los tramos superiores de la Tierra.
  - b. **Agujeros coronales.** Aparecen como áreas oscuras en la corona solar en ultravioleta extremo (EUV) y en imágenes solares de rayos X blandos.
  - c. **Eyecciones de masa coronal.** Son grandes expulsiones de plasma y campo magnético de la corona del Sol.
  - d. **Magnetosfera de la tierra.** La magnetosfera es la región del espacio que rodea la Tierra donde el campo magnético dominante es el campo magnético de la Tierra, en lugar del imán.
  - e. **Emisiones de radio de F10.7 cm.** El flujo de radio solar a 10,7 cm (2800 MHz) es un excelente indicador de la actividad solar.
  - f. **Rayos cósmicos galácticos.** Son la fuente de fondo energicamente variable y de variación lenta de partículas energéticas que constantemente bombardean la Tierra.
  - g. **Tormentas geomagnéticas.** Son fluctuaciones en el campo magnético de la Tierra, causadas por cambios en el viento solar y en el campo magnético interplanetario.



- h. Ionosfera.** La ionosfera, entre 80 y ~ 600 km en la atmósfera superior de la Tierra, es donde la radiación solar causada por la ionización crea una capa de electrones que puede afectar a los sistemas terrestres.
  - i. Centelleo ionosférico.** Es la modificación rápida de las ondas de radio causadas por estructuras de pequeña escala en la ionosfera.
  - j. Cinturones de radiación.** Son regiones de poblaciones mejoradas de electrones y protones energéticos que rodean la Tierra en el espacio
  - k. Irradiación Solar.** Solar Extreme Ultraviolet (EUV) es una radiación solar que cubre las longitudes de onda de 10 - 120 nm del espectro electromagnético.
  - l. Llamadas solares (apagones de radio).** Las erupciones solares son grandes erupciones de radiación electromagnética del Sol que dura de minutos a horas.
  - m. Tormenta de radiación solar.** Ocurren cuando una erupción magnética a gran escala, que a menudo causa una eyección de masa coronal y una llamarada solar asociada, acelera las partículas cargadas en la atmósfera solar a velocidades muy altas.
  - n. Viento solar.** Fluye continuamente hacia el exterior del Sol y se compone principalmente de protones y electrones en un estado conocido como plasma. El campo magnético solar está incrustado en el plasma y fluye hacia afuera con el viento solar.
  - o. Manchas solares.** Son áreas oscuras que se hacen aparentes en la fotosfera del sol como resultado del intenso flujo magnético que empuja hacia arriba desde más adentro del interior solar.
  - p. Contenido total de electrones.** Es la cantidad total de electrones presente a lo largo de una ruta entre un transmisor de radio y un receptor. (NOAA/NWS, 2018).
- **SafeAdviser:** aplicación para celulares que muestra un “índice de seguridad general” de cualquier ubicación elegida, incluidos los indicadores basados en los datos de Copernicus sobre la contaminación atmosférica y lumínica, niveles de radiación ultravioleta y clima tormentoso.
  - **Boletines de Ozono Antártico:** publicaciones por la OMM, los cuales contienen información sobre el estado de la capa de ozono en la Antártida en intervalos de aproximadamente dos semanas, de agosto a noviembre. Los pronósticos de CAMS del agujero de ozono también son utilizados por algunas

de las estaciones de sonda de ozono para cronometrar la liberación de sus sondas de globo, que es especialmente útil para las estaciones que se encuentran en el borde del área sin ozono.

- **GeoModel Solar:** para prevenir la pérdida de energía y mejorar la gestión de las plantas de energía solar CAMS (al igual que su proyecto de precursor MACC) proporciona un pronóstico de 5 días para predecir los movimientos del polvo del desierto. En particular, CAMS ha estado proporcionando pronósticos de aerosoles a GeoModel Solar, una compañía especializada en la calificación de sitios, planificación, financiación y operación de sistemas de energía solar. Los aerosoles afectan directamente la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la Tierra y, por lo tanto, son uno de los componentes que determina la cantidad de radiación solar disponible para la energía solar en cualquier ubicación de la Tierra.
- **Windy:** basado en datos de la NOAA ha creado un mapa de prevención de viento animado a manera de aplicación, la cual permite ver los patrones de viento previstos para los próximos cinco días. El mapa también incluye cobertura de nubes, presión a nivel del mar, humedad relativa y temperatura ("Windyty", 2014). En 2014 fue fundada bajo el nombre de Windyty por Ivo Lukačovič inspirado por los productos de la compañía suiza Meteoblue con los cuales hizo acuerdo de uso de sus productos y el proyecto "Earth", cuyos códigos de fuente abierta de la Tierra reescribió completamente. En 2015 se unieron dos programadores y utilizaron GFS (Global Forecast System) y NEMS (NOAA Environmental Model System) como principales modelos de pronóstico. En 2016 lanzaron aplicaciones móviles para Android e IOS. Usan el modelo ECMWF reconocido como el más preciso disponible. En 2017 creció a cinco personas y cambiaron el nombre a Windy (Lukačovič, 2017).

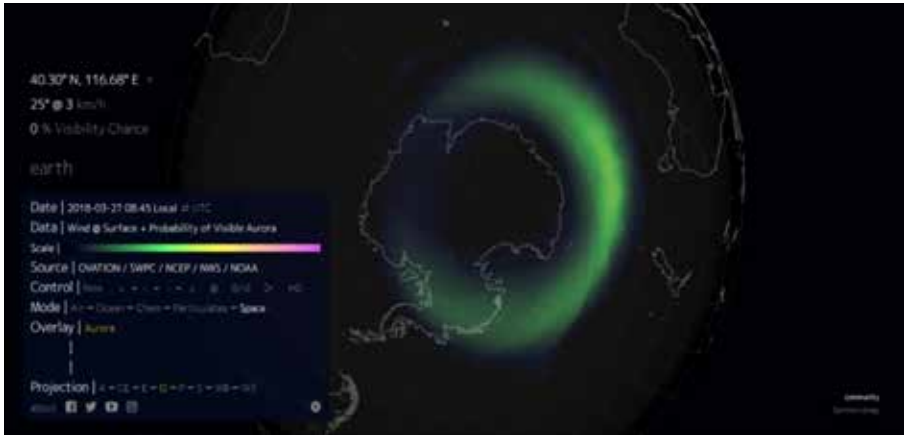


**Figura 7.5.** Mapa de prevención animado de Windy.

Adaptado de: "windy" (2017). <https://www.windy.com/?8.222,-77.025>, Derechos de autor (2017).

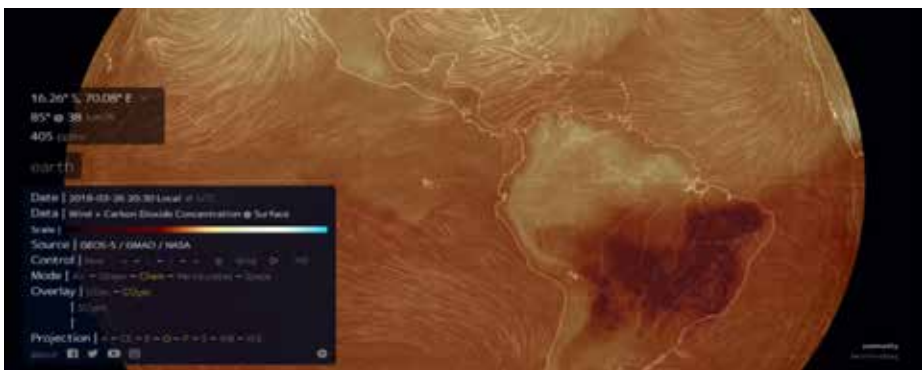
- **Earth:** Earth es un sistema de monitoreo virtual, que permite visualizar las condiciones climáticas globales pronosticado por superordenadores y actualizado cada tres horas; realiza estimaciones actuales de la superficie oceánica actualizado cada cinco días; temperaturas de la superficie oceánica y anomalías del promedio diario, actualizado diariamente; las olas del mar, actualizado cada tres horas; y los aurora, actualizado cada treinta minutos (Earth, 2018 – Figuras 7.6, 7.7 y 7.8).

Para los datos del clima utiliza el GFS (Global Forecast System) con EMC / NCEP / NWS / NOAA.; corrientes oceánicas OSCAR con Earth & Space Research, temperatura superficial del mar RTGSST (Real Time Global Sea Surface Temperature) con MMAB / EMC / NCEP / NWS / NOAA, marea WAVEWATCH III de MMAB / EMC / NCEP / NWS / NOAA, Química y aerosoles GEOS-5 (Goddard Earth Observing System) con GMAO / NASA y CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring System con Copernicus / European Commission + ECMWE), la aurora OVATION con SWPC / NCEP / NWS / NOAA. (Earth, 2018).



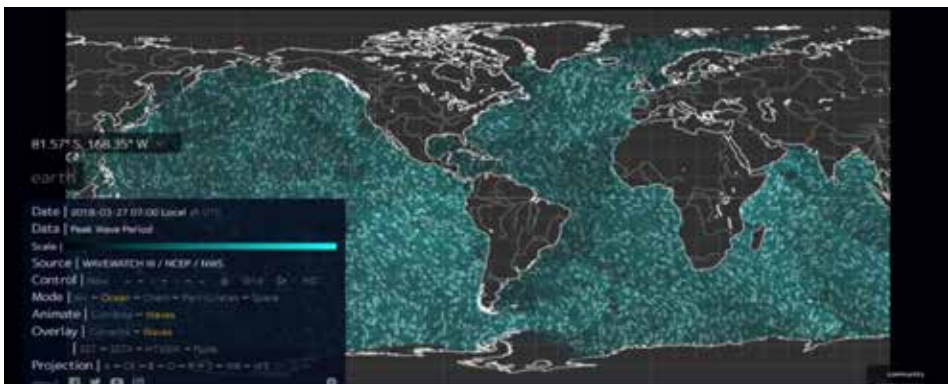
**Figura 7.6.** Modo espacio, Aurora, del sistema de monitoreo virtual Earth.

Adaptado de: "earth" (2018). <https://earth.nullschool.net/>. Derechos de autor (2018).



**Figura 7.7.** Modo químico, Capa dióxido de carbono.

Adaptado de: "earth" (2018). <https://earth.nullschool.net/>. Derechos de autor (2018).



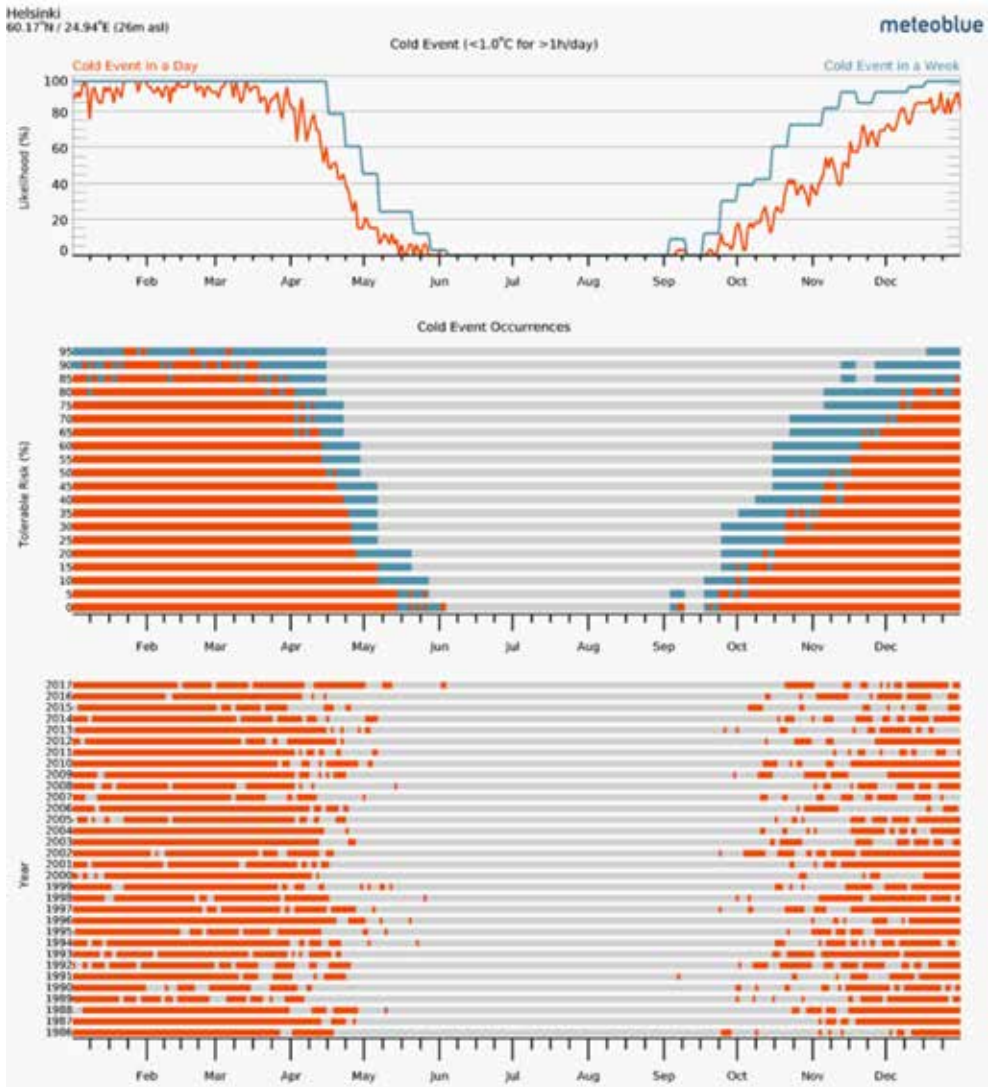
**Figura 7.8.** Modo Océano, animación y sobre capa de olas, proyección E.

Adaptado de: "Earth" (2018). <https://earth.nullschool.net/>. Derechos de autor (2018).

- **Meteoblue:** es una página web que permite identificar y analizar información meteorológica a través de las herramientas de dimensión de tiempo como el *Clima*, *History+*, *Nowcast* y *Forecast*; A continuación, se detallan las funciones de cada una de estas:
  - a. **Clima.** Analiza variables climáticas agregadas para 5-30 años de datos pasados, datos de simulación con alta precisión, con resolución espacial de aproximadamente 30 km y la plataforma Weather API para integrar datos y gráficos en su sistema o sitio web. La plataforma permite describir el clima de un área o ubicación. Los datos climáticos generalmente muestran mínimos, promedios, máximos para períodos específicos como días, meses, años e incluyen las variables más comunes, como temperatura, humedad relativa, precipitación, viento, radiación, sol y presión.
  - b. **History+.** Muestra variables climáticas de un momento pasado específico. Son datos de simulación de alta precisión. 100% completos, disponibles con intervalos de una hora, diarios, mensuales y anuales, válidos para lugares sin mediciones. Este permite descargar fácilmente datos de simulación meteorológica histórica coherente en formato de descarga (csv). La plataforma utiliza un análisis de datos a través de una Interfaz interactiva, Comparación de año, Histograma y Rosa de los vientos. Por otro lado, este permite realizar una evaluación de riesgos de los diferentes eventos en los últimos 30 años, el diagrama de evaluación se subdivide en 3 partes:

**Probabilidad de un determinado evento en porcentaje (%).** El eje y indica la probabilidad, mientras que el eje x muestra el marco de tiempo para todos los diagramas. **Riesgo tolerable.** Se aproxima al riesgo personal tolerable en porcentaje (%). Permite la evaluación del riesgo teniendo en cuenta las divergencias. El eje “y” indica el riesgo tolerable en porcentaje. **Año.** Compara las ocurrencias de eventos de los últimos 30 años. El eje “y” muestra los diferentes años. Esto ayuda a diferenciar las estaciones y ayuda a evaluar la probabilidad de un determinado evento. El diagrama de evaluación de riesgos analiza los diferentes eventos (*Frío y cálido; Precipitación; Capacidad de agua; Cobertura de las nubes*) y define el umbral de forma individual. A continuación, se da una descripción detallada de los mencionados: *Evento frío y cálido*. Esto se usa comúnmente para evaluar las heladas y golpes de calor. La temperatura está por debajo o por encima de un cierto umbral durante un cierto tiempo. El umbral

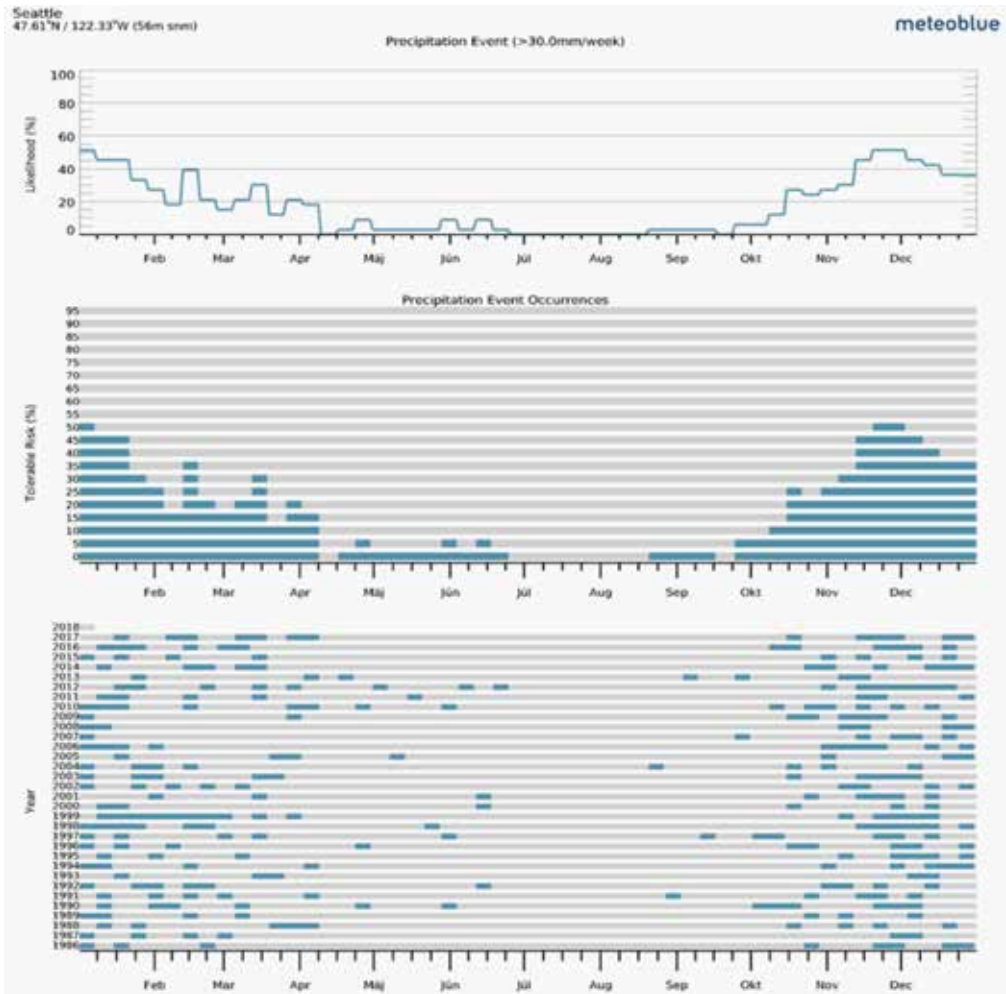
se establece para valores de temperatura entre 0 °C y 43 °C para eventos cálidos, así como -30 °C y 30 °C para eventos fríos. En la figura 7.9 se evidencian las 3 graficas que permiten identificar la probabilidad del evento definido en la primera, la estimación del riesgo personal, en el segundo diagrama y en la última, la ocurrencia del evento definido en los últimos 30 años para cada año.



**Figura 7.9.** Ejemplo diagramas para evento de frío y calor en Helsinki.

Adaptado de: "Meteoblue" (2018). <https://content.meteoblue.com/en/help/products/history/risk-assessment>. Derechos de autor (2018).

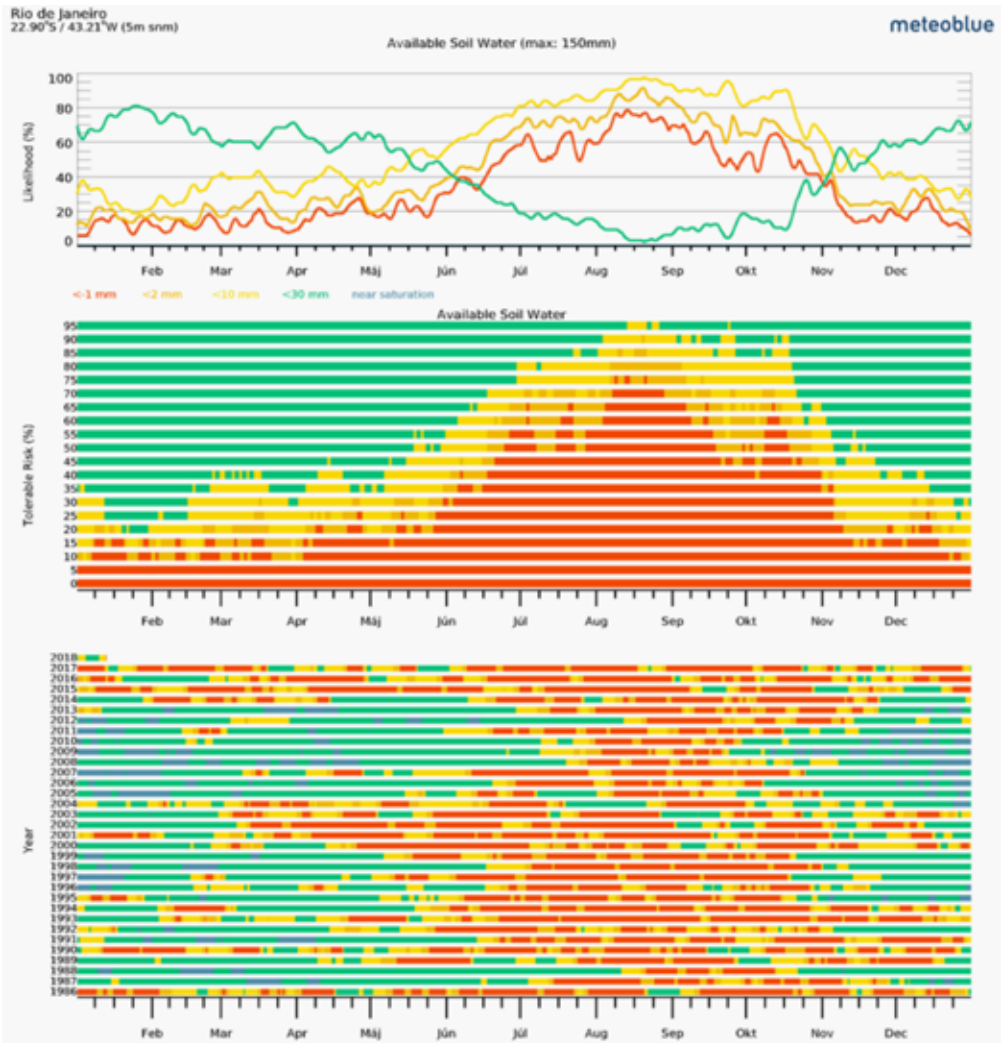
**Precipitación.** Esta variable evalúa las cantidades de precipitación en una semana por encima de un cierto umbral y con la ayuda de esta representación, puede estimar los eventos de precipitación fuerte, y programar actividades en consecuencia tal como se observa su representación en la figura 7.10. El umbral para las cantidades de precipitación debe definirse entre 1 y 100 mm / semana.



**Figura 7.10.** Ejemplo diagramas de precipitación en Seattle.

Adaptado de: "Meteoblue" (2018). <https://content.meteoblue.com/en/help/products/history/risk-assessment>.  
Derechos de autor (2018).

**Capacidad de agua.** Analiza la probabilidad estimada de la cantidad restante de agua en el suelo en milímetros (mm). Se selecciona la cantidad máxima de capacidad de agua del suelo según su suelo y tipo de cultivo. Las mayores capacidades de agua en el suelo indican mejor las estaciones secas extremas. La capacidad de agua del suelo máxima disponible se puede definir entre 10 mm y 200 mm, interpretadas en las barras verdes, amarillas, anaranjadas y rojas, como se observa en la figura 7.11.

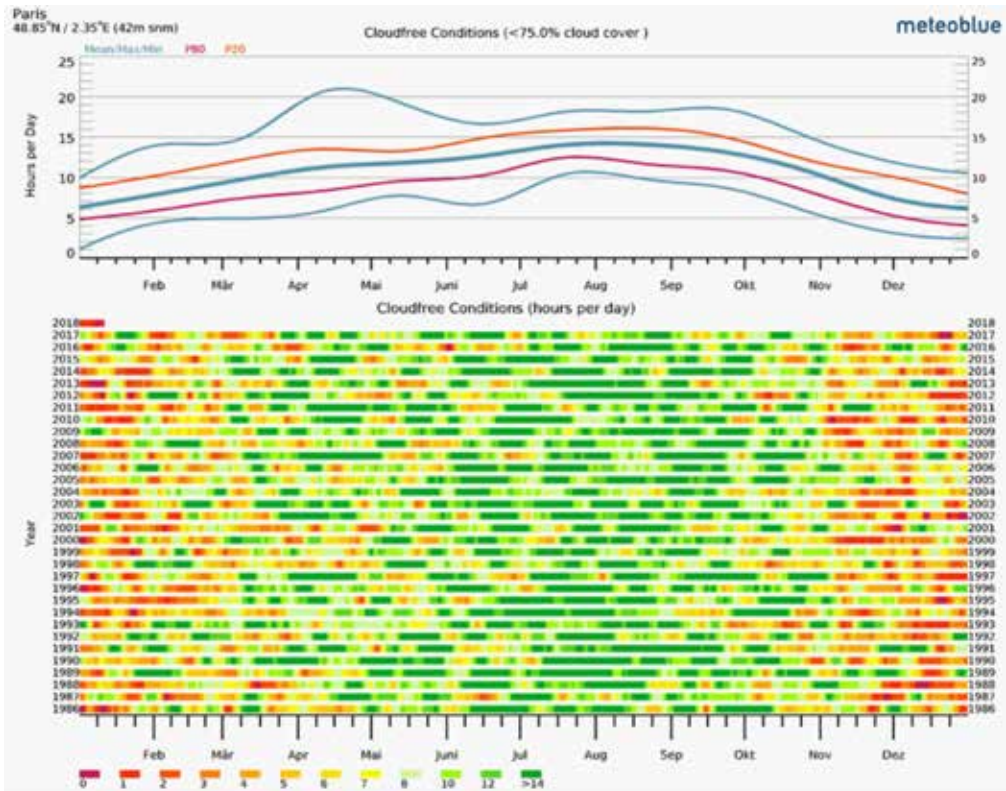


**Figura 7.11.** Ejemplo diagramas de capacidad de agua en Rio de Janeiro.

Adaptado de: "Meteoblue" (2018). <https://content.meteoblue.com/en/help/products/history/risk-assessment>.  
Derechos de autor (2018).



**Cobertura de nubes.** Indica las horas libres de nubes por día dependiendo del umbral, que se puede definir entre 15% y 100%. La representación gráfica se observa en la figura 7.12, en donde el primer diagrama muestra la distribución probabilística de la cobertura de nubes por debajo de un cierto umbral. P80 indica el segundo mejor y P20 el segundo peor de 10 eventos. Con esta representación, se puede identificar estadísticamente el período de tiempo con los mejores días sin nubes. El último diagrama muestra la ocurrencia real de horas libres de nubes en los últimos 30 años.



**Figura 7.12.** Ejemplo diagramas de cobertura de nubes en Paris.

Adaptado de: "Meteoblue" (2018). <https://content.meteoblue.com/en/help/products/history/risk-assessment>.  
Derechos de autor (2018).

- c. **Nowcast.** Muestra los datos meteorológicos del presente. Pueden medirse con estaciones meteorológicas, observarse con satélites, cámaras o usuarios, o ser simulados con métodos de predicción inmediata y muestra la mejor información disponible de las condiciones actuales, a

continuación, se explican los productos para la medición y observación de datos meteorológicos: *Mapas satelitales y de radar*. Meteoblue ofrece mapas animados por satélite y datos de precipitación, tan simple como un plugins para un sitio web o una aplicación (Figura 7.13). Los mapas dinámicos pueden integrarse vía iframe en cuestión de minutos. Las imágenes por satélite y radar están siempre ubicados de la mejor manera para proveer al usuario una óptima experiencia. El usuario puede mover y hacer zoom de la vista.

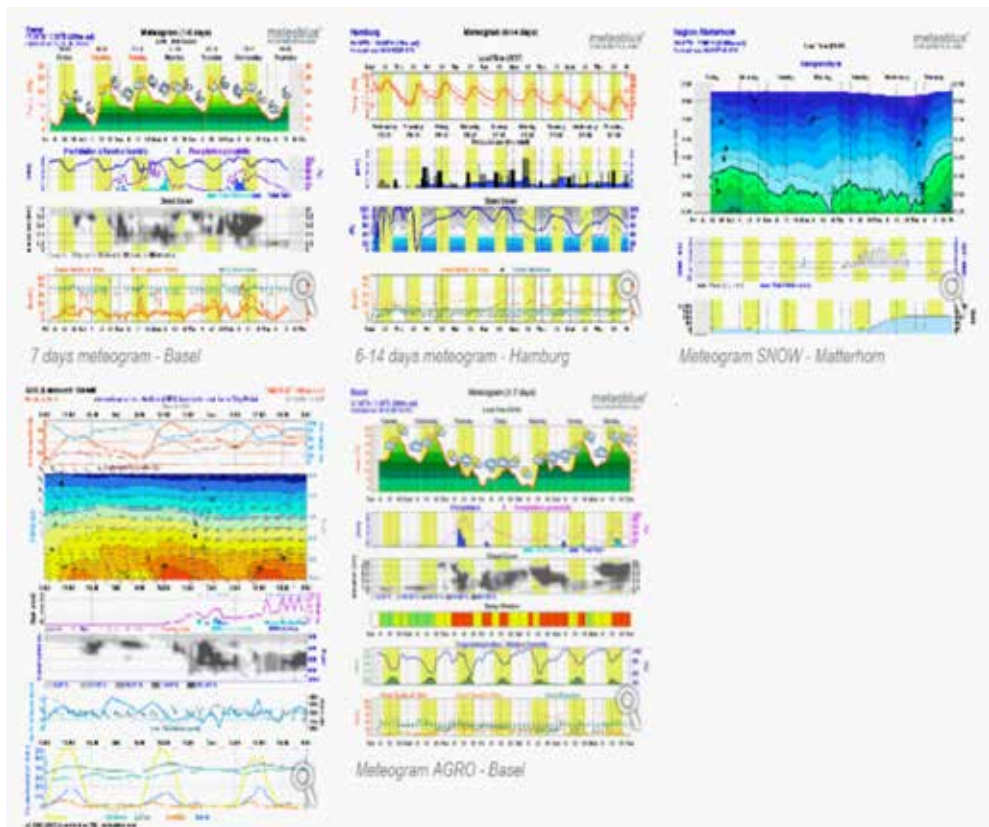


**Figura 7.13.** Ejemplo mapa satelital Europa.

Adaptado de: "Meteoblue" (2018). <https://content.meteoblue.com/en/products/time-dimensions/nowcast>.  
Derechos de autor (2018).

- d. **Forecast.** Son datos meteorológicos para el futuro. Alta precisión de predicciones meteorológicas en cualquier parte de la tierra, es de fácil integración de los datos y graficas dentro del sistema o sitio web. Entre sus productos están los paquetes de datos tales como el clima actual, el propósito general, las variables climáticas más comunes (nubosidad, agro, viento, simulaciones de la atmósfera - aire, previsión del tiempo marino, variables de radiación solar y producción fotovoltaica), entre otros.

- e. **Mapas meteorológicos.** Muestra detalles del pronóstico local en cualquier lugar del mundo, diagramas con curvas, cuadros y perfiles. Los pronósticos son calculados con un lugar y altitud específica. En áreas con montañas y valles, se usa la altitud promedio de los lugares adyacentes. Los mapas meteorológicos pueden ser distintos para la misma área, depende de la altitud considerada para el pronóstico. Las figuras 7.14 y 7.15, muestran diferentes tipos de meteogramas. A continuación, los diferentes tipos de mapas meteorológicos:



**Figura 7.14.** Ejemplos de meteogramas.

Adaptado de: "Meteoblue" (2018). <https://content.meteoblue.com/en/help/spatial-dimensions/point-r/meteograms>. Derechos de autor (2018).

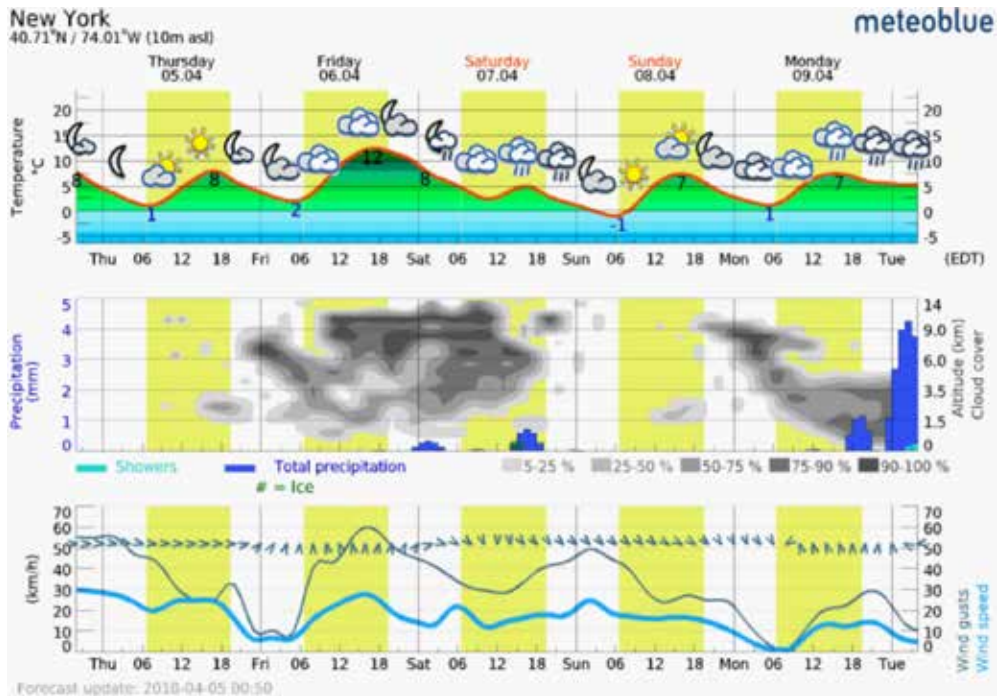


Figura 7.15. Ejemplo meteograma All-in-One para la ciudad de Nueva York.

Adaptado de: "Meteoblue" (2018). [https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/meteogramfive/new-york\\_united-states-of-america\\_5128581](https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/meteogramfive/new-york_united-states-of-america_5128581). Derechos de autor (2018).

**Meteograma Agro.** Temperatura del aire, velocidad del viento y la dirección en el suelo, precipitación, nubes, ventanas de pulverización y evaporación. **Meteogram AgroSowing.** Muestra el desarrollo de la temperatura del suelo y la precipitación hasta por 7 días. Incluye ventanas de siembra para la cual está separada en tres categorías: períodos adecuados (verde), menos adecuados (amarillo) e inadecuados (rojo) para la aplicación en intervalos de una hora. **Meteogram AgroSpraying.** Muestra el desarrollo de la temperatura y la precipitación hasta 7 días. Además, incluye la ventana de pulverización. La ventana de pulverización ayuda a identificar períodos adecuados para aplicar medidas de protección de cultivos, mostrando períodos adecuados (verde), menos adecuados (amarillo) e inadecuados (rojo) para la aplicación. **Meteogram Snow.** Muestra el desarrollo local de la temperatura a varias altitudes y la precipitación, nieve derretida y altura de nieve a nivel del suelo en pasos de una hora. **Meteogram Sea/Surf.** Muestra el pronóstico del clima marino para los lugares cercanos al mar. Brinda información detallada sobre la velocidad y dirección del viento, precipitación, olas y alturas de oleaje junto con

sus periodos. *Meteogram Solar-Season*. Producción media mensual de una unidad de producción de energía solar.

**Acceso al servicio.** De acuerdo a la figura 7.16, el programa permite acceder a servicios de transmisión a través de página web, mediante dispositivos móviles, correo electrónico, en formato API, y formato encriptado FTP.

Product categories	Transmission					Data formats				
	Website	Mobile Apps	API	FTP	E-Mail	JSON	CSV	XLSX	PNG	PDF
Data packages			X	X	X	X	X			
Images	X	X							X	
Weather maps	X								X	
Customized data					X		X	X		
Reports					X					X

**Figura 7.16.** Descripción general de las categorías de productos y el acceso a ellos.

Adaptado de: "Meteoblue" (2018). <https://content.meteoblue.com/en/products/service-access>.  
Derechos de autor (2018).

## 7.4. Recursos informáticos para la modelación ambiental - SOFTWARE

Es indispensable la utilización de herramientas para el modelado y la simulación de variables ambientales que permitan contribuir en la predicción del comportamiento de algunos fenómenos meteorológicos, con el propósito de generar alertas tempranas frente a fenómenos extremos, a continuación, se muestran algunos de ellos:

- **ArcGIS:** software licenciado que realiza estudios ambientales, desde la generación de Modelos Digitales del Terreno y los mapas de información asociada (pendientes, orientación, sombreado). Genera también mapas de información ambiental que permiten analizar la distribución espacial de factores ambientales, evaluación de la pérdida de suelo mediante modelos de erosión, análisis complejos con múltiples variables como la capacidad de acogida del territorio o el análisis de riesgos y automatización de procesos con ModelBuilder.

- **QGIS:** es un software SIG de código libre, desarrollado por Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) en C++, permite la visualización edición y análisis de datos geográficos. QGIS permite la creación de mapas con diversos números de capas que pueden ser ensambladas bajo diferentes formatos, dependiendo de la aplicación. Cuenta con soporte para la extensión espacial de SpatiaLite, ORACLE Spatial y PostGIS, que añade soporte a objetos geográficos en una base de datos, convirtiéndola en una base de datos espacial; permite la creación de mapas a través de capas raster (celdas) o de capas vectoriales (líneas y polígonos), soportando numerosos formatos, Shapefile, ArcInfo, MapInfo, GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG.
- **HECHMS:** para representar procesos de lluvia o precipitación y de escorrentía de frecuencia se encuentra el HECHMS (s.f.). Este software permite implementar una serie de modelos hidrológicos de lluvia, pérdida, escorrentía y enrutamiento.
- **CORINE (Coordination of Information on the Environment):** software utilizado por el IDEAM, promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90), esta metodología permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura terrestre a partir de imágenes satelitales (Landsat) para el diseño de mapas de cobertura a diferentes escalas.
- **RClimTool:** herramienta de software libre que permite apoyar en la toma de decisiones en el sector agropecuario. Esta se basa en el análisis de datos históricos de calidad y cantidad para obtener resultados en modelación de cultivos y predicción climática con el menor grado de incertidumbre posible. Este programa se apoya en el software estadístico de libre acceso R, y en paquetes como Climdex para el control de calidad y cálculo de indicadores de detección de señales de Cambio Climático y Climatol que soporta la homogeneización de las series climatológicas.

## 7.5. La modelación ambiental al cumplimiento de la PNCC y la Gestión del Riesgo

En Colombia, la Política Nacional de Cambio Climático (PNCC) ha planteado una serie de acciones, a través de la formulación de diferentes estrategias nacionales, por ejemplo la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC), el

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) y la Estrategia Nacional para la Reducción de las Emisiones Debidas a la Deforestación y la Degradación Forestal (ENREDD+), el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, con escenarios a 2030 y 2050 de acuerdo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS 2030. En ellos se miden el alcance del cumplimiento en lo relacionado con la reducción de Gases Efecto Invernadero (GEI) y la adaptación frente a los conflictos climáticos. Bajo la estrategia del gobierno, de la formulación de los planes integrales de gestión del cambio climático territoriales y planes integrales de gestión del cambio climático sectoriales con frecuencias de medición de 12 años, se orientarán las medidas del país a la adaptación y mitigación al cambio climático a través de herramientas de planificación tales como los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y los Planes de Desarrollo Municipal, entre otros. Esta política pretende que los planes territoriales y sectoriales, sean de referencia y consulta obligatoria de parte de las entidades relacionadas con estos instrumentos. Los instrumentos de planificación territorial y sectorial son los que permiten orientar la gestión del cambio climático del sector privado y público a través del desarrollo de energías e infraestructuras bajas en carbono y resilientes al clima, apoyadas de unas líneas instrumentales para su efectivo cumplimiento (PNCC,2017).

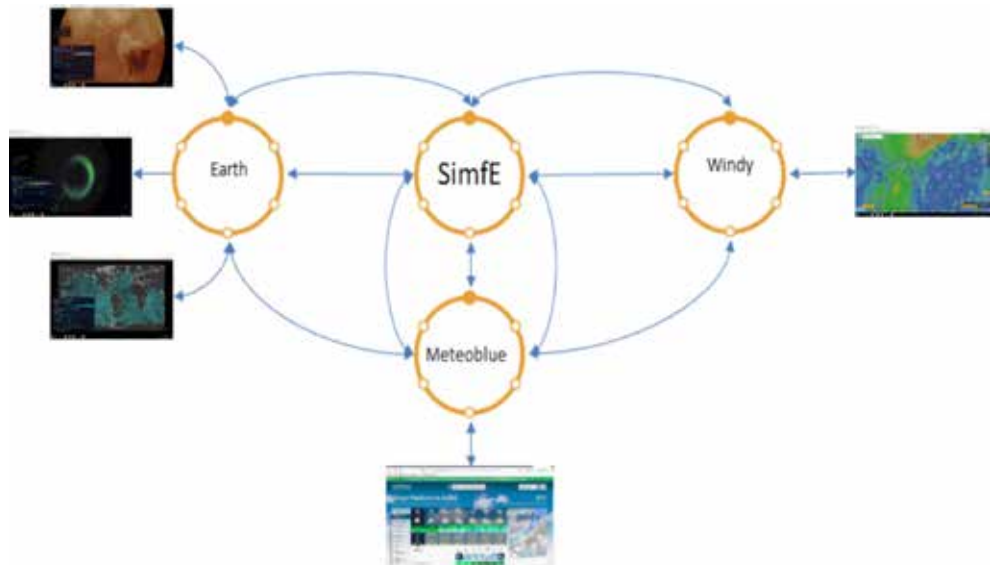
El PNGRD de Colombia por su parte se encuentra comprometido con la reducción significativa del riesgo de desastres y de las pérdidas que estos ocasionan, se destaca que estos están inmersos en la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible concertada por la Asamblea General de la ONU el 25 de septiembre de 2015, dentro de dicha agenda algunos de los 17 objetivos se relacionan directamente con los fenómenos extremos como el No. 11 sobre Ciudades y Comunidades Sostenibles y el No. 13. Acción por el Clima. De esta manera el país encamina sus esfuerzos de adaptación a 2030 en articulación con otras metas globales que apuestan al desarrollo de la resiliencia, entre ellas las del Convenio de Diversidad Biológica (CDB), y la Convención de Lucha contra la Desertización (UNCCD) y el Marco de Acción de Sendai 2015-2030. (UNGRD, 2016).

Por lo anterior, la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2016) y La Política Nacional de Cambio Climático trabajan en la adaptación al cambio climático con la pretensión de reducir los efectos asociados a la ocurrencia de eventos climáticos y meteorológicos con posibles aumentos en intensidades y frecuencias, que en este capítulo han sido denominados como fenómenos extremos que además pueden verse influenciados o acrecentados por los efectos del calentamiento

global. Se puede entonces indicar que los efectos del Cambio Climático se evidencian en el incremento de la temperatura, en el deshielo de glaciares, en el aumento del nivel del mar, y la alteración de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos (precipitaciones, sequías, vientos y vórtices entre otros). Es así que la identificación de los servicios ecosistémicos con funciones de regulación en la moderación de fenómenos extremos es esencial en el marco de la Política Nacional y en el cumplimiento de metas de carácter vinculante de tipo internacional como la agenda 2030.

### 7.6. Estudio de caso: a partir de un sistema de información de datos abiertos para uso de la comunidad científica

A continuación, se presentará el Sistema de Información para el acceso abierto a plataformas de Moderación de Fenómenos Extremos – SimfE, que a partir del uso de elementos encontrados en el estado de arte del presente capítulo proporcionó los elementos necesarios para el diseño, programación e implementación de un sistema de información de datos abiertos para uso de las comunidades científicas como eje articulador de las diferentes plataformas de moderación de fenómenos extremos (Figura 7.17).



**Figura 7.17.** Sistema de Información para el Acceso Abierto a Plataformas de Moderación de Fenómenos Extremos.

Adaptado de: "Universidad Nacional Abierta y a Distancia- SimfE" (2018). <http://190.128.117.163/simfe/>. Derechos de autor (2018).



## 7.7. Evaluación del capítulo

1. ¿Qué es un fenómeno meteorológico extremo, en relación con la definición dada por la IPCC?
2. ¿Cuáles son los principales fenómenos meteorológicos extremos y qué factores en general caracterizan a los mismos?
3. Organismo especializado de las Naciones Unidas en meteorología, hidrología operacional y ciencias geofísicas relacionadas un año después:.....
4. Organismo internacional encargado de evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático:.....
5. Dé dos ejemplos de aplicaciones y plataformas virtuales que existen para acceso libre del público al monitoreo de variables meteorológicas de manera virtual, y principales variables de cada uno:
6. ¿Qué es el CAP y cuál es su importancia en la prevención y alerta de fenómenos meteorológicos extremos?

---

## Referencias

- Cheng, A. (2017). *WMO Global Multi-hazard Alert System (GMAS) Contributing to the Effective Delivery of Warnings*. Macau, China: WMO. Recuperado de: [https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/CW\\_4.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/CW_4.pdf)
- Earth: 2018. *Earth: a global map of wind, weather, and ocean conditions*. Recuperado de: <https://earth.nullschool.net/>
- Emergency Response Activities. (2018). *World Meteorological Organization*. Recuperado de: <https://public.wmo.int/en/programmes/emergency-response-activities>
- ECMWF. (s.f.a). Who we are | European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Recuperado de: <https://www.ecmwf.int/en/about/who-we-are>
- ECMWF. (s.f.b). Copernicus Atmosphere Monitoring Service. Retrieved June 19, 2018, from <https://atmosphere.copernicus.eu/what-copernicus>
- FAO. (s.f.). *Servicios de regulación*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>
- Field, M.C.B., Barros, C.B.,V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., & Tignor, P.M.M. (2012). *Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. Buenos Aires, Argentina: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Recuperado de [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC\\_SREX\\_ES\\_web.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf)

- GFCS. (2018). *Wmo.int*. Global Framework for Climate Services. Recuperado de: <http://www.wmo.int/gfcs/>
- Gunderson, (2000). Ecological resilience: In theory and application. *Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 31, 425-439.
- IPCC. (2016). Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de: <http://www.ipcc.ch/>
- Lukačovič, I. (2017). About Windy. Windy Community. Recuperado de: <https://community.windy.com/topic/4/about-windy>
- National Geographic. (s.f.) Vocabulary. Recuperado de: <https://www.nationalgeographic.org/glossary/?term=>
- NOAA. (2018a). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Recuperado de: <http://www.noaa.gov/about-our-agency>
- NOAA. (2018b). *National Centers for Environmental Prediction. National Weather Service*. Recuperado de: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/>
- NOAA/NWS. (2018). *Space Weather Prediction Center*. Recuperado de: <https://www.swpc.noaa.gov/>
- NWS. (2018). National Weather Service. Recuperado de: <https://www.weather.gov/>
- OMM-WMO. (s.f.). *Severe Weather Information Centre*. Organización Meteorológica Mundial. Recuperado de: <http://severe.worldweather.org/>
- Meteoblue. (2018). Products, help and information (2006-2018). Recuperado de: <https://content.meteoblue.com/en/products>
- PNNC. (2017). MINEAMBIENTE, Bogotá D. C., Colombia: Política Nacional de Cambio Climático.
- Sánchez, M. (2016). ¿Cuáles son los fenómenos meteorológicos extremos?. *Meteorología en Red*. Recuperado de: <https://www.meteorologiaenred.com/cuales-son-los-fenomenos-meteorologicos-extremos.html>
- Space Weather Phenomena | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center. (2018). Swpc.noaa.gov. Recuperado de: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena>
- UNISDR. (2018). United Nation Office for Disaster Risk Reduction. Recuperado de: <https://www.unisdr.org/>
- UNGRD. (2016). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo: una estrategia de desarrollo 2015-2025*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado de: <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/756>
- HECHMS. (s.f.). *Hydrologic Engineering Center*. Recuperado de: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- Windy. (2017). *Windy as forecasted*. Recuperado de: <https://www.windy.com/?8.222,-77.025,7>
- Windyty. (2014). *Mapa mundial de vientos a tiempo real*. TYS Magazine. Recuperado de: <http://www.tysmagazine.com/windyty-mapa-mundial-de-vientos-tiempo-real/>
- WMO. (2018). World Meteorological Organization. Recuperado de: <https://public.wmo.int/en>



# CAPÍTULO 8

---

## Tratamiento de aguas residuales

Diana Marcela Fúquene

Andrea Yate-Segura

Diego Alejandro Pérez

Carlos Mario Duque Chaves

Juan Sebastián Chiriví Salomón

Christian Felipe Valderrama López

Víctor Fabián Forero Ausique<sup>13</sup>

### 8.1. Introducción

La calidad del aire, el estado del suelo, el control de las inundaciones y la polinización de cultivos, son algunos de los servicios ecosistémicos de regulación que a menudo son desapercibidos, pero cuando se ven deteriorados; ya sea por motivos naturales o infringidos por el ser humano, las pérdidas que ocasionan llegan a ser devastadoras y resultan difíciles de recuperar. La agricultura, silvicultura y pesca son las actividades principalmente afectadas por la regulación de los flujos de agua, considerando tanto su cantidad como su calidad, ya que el agua es un servicio clave, que depende directamente de la cobertura y la configuración del suelo. Sin embargo, su dinámica no ha sido puesta en escena sobre la formulación de políticas de gestión, ni sobre el ordenamiento del territorio nacional; dejando de lado el tratamiento de las aguas residuales como factor preponderante en la reducción del daño sobre los recursos hídricos que ocasiona el vertimiento de aguas contaminadas, y/o la implementación de sistemas de tratamiento inadecuados (FAO, 2018).

El recurso hídrico tiene múltiples usos, desde la preservación de especies hasta el riego y la recreación; pasando por el enfriamiento de plantas industriales y el aprovechamiento de las corrientes generadas en ríos para proporcionar

---

<sup>13</sup> Docentes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente. Correos electrónicos de contacto: [diana.fuquene@unad.edu.co](mailto:diana.fuquene@unad.edu.co), [andrea.yate@unad.edu.co](mailto:andrea.yate@unad.edu.co), [diego.perez@unad.edu.co](mailto:diego.perez@unad.edu.co)

electricidad. Si bien, a menudo los lagos y llanuras aluviales no son contemplados como depósitos de agua dulce, amortiguadores de inundaciones y/o purificadores de agua, su contaminación reduce significativamente la contención de especies acuáticas y limita la disponibilidad de agua potable, de ahí la importancia de contar con bases teóricas que permitan establecer los tratamientos a los que debe ser sometido un efluente para no alterar negativamente la calidad de las fuentes hídricas receptoras de aguas residuales (Kosmus *et al.*, 2012).

En este sentido, es necesario planificar y gestionar integralmente las fuentes hídricas, así como los efluentes industriales y domésticos a nivel nacional y municipal. Logrando que las aguas residuales se conviertan en parte integral de la planificación urbana y de la gestión integrada de las cuencas y costas, vinculando a la población que hace uso de este preciado líquido en actividades antropogénicas e industriales, y son quienes deben tener bases conceptuales que les permitan hacer un uso racional y eficiente del agua (ONU, 2015).

El presente capítulo pretende integrar los servicios ecosistémicos con el desarrollo de una población, reconociendo los vínculos entre naturaleza y progreso, prevaleciendo la conservación de los recursos hídricos.

## 8.2. Seguridad hídrica

El ciclo del agua juega un papel importante en muchos aspectos, desde las condiciones del clima, hasta en las interacciones químicas y biológicas de la tierra, haciendo que sea difícil definirlo como un servicio distintivo de aprovisionamiento, regulación o soporte, esto hace que sea tratado como un único sistema de aguas continentales, esencial en la entrega de servicios ecosistémicos a la humanidad (Vörösmarty *et al.*, 2005). En este sentido, su abastecimiento deja a los ecosistemas en el centro del enfoque de la gestión integral de los recursos hídricos; que permitan el almacenamiento de agua dulce, la regulación de caudales y la reducción de riesgos asociados a desastres relacionados con el agua (Global Water Partnership, 2005).

El estudio y manejo de este servicio involucra procesos físicos y químicos sumados al papel que la diversidad biológica juega en el ciclo hidrológico, considerando a su vez, que la disponibilidad de agua de buena calidad depende de los

ecosistemas que lo contienen, así como, de los procesos humanos de distribución, manejo y gestión del recurso y, en general, del territorio (Alcaldía de Medellín, 2015; MADS, 2017).

### **8.3. Aprovisionamiento y regulación de agua de buena calidad**

El crecimiento poblacional, la industrialización y la creciente expansión en la última década, han sido catalogados como algunos de los aspectos más significativos en la transformación y pérdida de ecosistemas naturales, que a su vez ha generado un incremento en la demanda de bienes y servicios relacionados con el agua (MADS, 2017). En contraste, el acceso al agua limpia está reduciéndose, debido a la contaminación de los acuíferos y las aguas subterráneas, tendencia que produce una competencia por el agua entre las áreas urbanas y rurales (Vörösmarty, *et al.*, 2017).

En Colombia, los eventos por precipitación de alta intensidad que ocurren en lo que conocemos como *fenómeno de la Niña*, y que tuvo un gran impacto en los años 2010 y 2011; así como, la divergencia hacia el *fenómeno del niño* en 2015, que generó sequía en amplias zonas del país y, en consecuencia, desabastecimiento de agua, imponen retos en la toma de acciones preventivas, que requieren del conocimiento del territorio y que permitan, a su vez, que se pueda responder de manera oportuna y adecuada ante futuros eventos (Betancur-Vargas *et al.*, 2017). Todo esto, enmarcado en los objetivos de desarrollo del Milenio, sobre los cuales Colombia contempla metas para que se garantice al 100% de la población, la disponibilidad y gestión sostenible del agua, así como el saneamiento básico para el 2030 (MADS, 2014; Findeter, 2017).

Es evidente que el uso del agua no se puede tratar como un tema aislado del problema de aprovisionamiento. Entre las principales problemáticas que afectan la continuidad del suministro de agua potable en Colombia, se encuentra el progresivo deterioro de sus fuentes hídricas, causado tanto por contaminación natural, como, por arrastre de materia orgánica natural, material disuelto y particulado, entre otros; y causas de origen antrópico, debido a los efluentes residuales de aguas domésticas e industriales, escorrentía agrícola y demás, que hacen que las fuentes abastecedoras se conviertan en un riesgo sanitario (Pérez-Vidal *et al.*, 2012; Utrera *et al.*, 2013), definido por Torres & colaboradores (2009) como “el riesgo de transportar agentes contaminantes que puedan causar enfermedades de origen hídrico al hombre y los animales”.

En función de lo anterior, es importante implementar monitoreos de control que permitan establecer alertas tempranas aguas arriba de la captación (Pérez-Vidal *et al.*, 2012). No obstante, dada la riqueza en recursos hídricos con la que cuenta Colombia, es necesario priorizar los programas y proyectos de los cuerpos de agua involucrados en el abastecimiento de las poblaciones, así como de las fuentes hídricas que reciben vertimientos, empleando herramientas como los índices de calidad del agua (ICA) e indicadores de contaminación (ICO) (Jaramillo-Rojas *et al.*, 2011).

### 8.3.1. Índices de Calidad del Agua (ICA)

Para la estimación de la disponibilidad y calidad del agua en Colombia, las autoridades ambientales desarrollaron el “Sistema de Indicadores Hídricos - SIH” que permiten determinar las afectaciones de las actividades humanas sobre la oferta del recurso, contemplando características fisicoquímicas y microbiológicas de los cuerpos hídricos y de las variables de contaminación (IDEAM, 2014).

El índice de calidad en corrientes superficiales es una herramienta sencilla que permite evaluar el recurso hídrico, basándose en los datos de muestreo de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que aportan información sobre la condición ambiental de una corriente. Es importante resaltar que el índice ofrece información puntual, en un momento específico y para un escenario climático determinado, por lo tanto, requiere de un seguimiento histórico para establecer la condición de la corriente (Ramírez *et al.*, 1997; Jaramillo-Rojas *et al.*, 2011). Desde 2005, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, calcula el ICA a través del monitoreo de cinco parámetros fisicoquímicos (sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno y pH). Sin embargo, a partir del 2009 introdujo la relación nitrógeno total/fósforo total en la medición. El sistema de evaluación de la calidad establece que las mediciones se realicen sistemáticamente cada tres meses (IDEAM, 2011).

El ICA es una expresión numérica que se obtiene de la sumatoria aritmética equiponderada de la medición de cinco o seis parámetros fisicoquímicos básicos, que son monitoreados por la Red Básica de Monitoreo de la Calidad de Agua. Los valores obtenidos del ICA son clasificados por rangos, definiendo el agua como buena, aceptable, regular, mala o muy mala.

Teniendo en cuenta que la calidad del agua cuenta con unos parámetros más representativos que otros, se asignan pesos relativos a cada parámetro representado por  $W$ ; para el cálculo del ICA con cinco parámetros, este peso relativo es de 0.2 para todos los parámetros, mientras que, para el caso de seis variables, el peso relativo es de 0.17, a excepción del pH que cuenta con un peso relativo de 0.15. La ecuación empleada para el cálculo del ICA es:

$$ICA_{njt} = \left[ \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right]$$

Donde:

ICA= índice de calidad del agua, escala de 0 a 1.

$W_i$  = Peso relativo o factor de ponderación.

$n$  = Número de variables de calidad involucradas.

$I_{ikjt}$  = Valor calculado de la variable  $i$ , en la estación de monitoreo  $j$ , registrado durante la medición realizada en el trimestre  $k$ , del periodo de tiempo  $t$ .

Las ecuaciones funcionales o subíndices para cada variable empleada en el cálculo del índice se presentan en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Ecuaciones de subíndices del ICA según IDEAM (2011).






Parámetro		Ecuación	Condiciones	
1	Porcentaje de saturación del oxígeno disuelto.	$PS_{OD} = \frac{(O_x \cdot 100)}{C_p}$	$O_x$ : $C_p$ :	Oxígeno disuelto medido en campo (mg/l). Concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l).
	Oxígeno Disuelto ( $PS_{OD} > 100\%$ )	$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 \cdot PS_{OD})$		
	Oxígeno Disuelto ( $PS_{OD} > 100\%$ )	$I_{OD} = 1 - (0.01 \cdot PS_{OD} - 1)$		
2	Sólidos suspendidos totales.	$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 \cdot SST)$	Si	$SST \leq 4.5 \rightarrow I_{SST} = 1$ $SST \geq 320 \rightarrow I_{SST} = 0$
3	Demanda química de oxígeno.	Se rige bajo un rango específico del parámetro.	Si	$DQO \leq 20 \rightarrow I_{DQO} = 0.91$ $20 < DQO \leq 25 \rightarrow I_{DQO} = 0.71$ $25 < DQO \leq 40 \rightarrow I_{DQO} = 0.51$ $40 < DQO \leq 80 \rightarrow I_{DQO} = 0.26$ $DQO > 80 \rightarrow I_{DQO} = 0.125$
4	Conductividad eléctrica.	$I_{C.E} = 1 - 10^{(-3.26 + 1.34 \cdot \log \log (C.E))}$	Si	$I_{C.E} < 0 \rightarrow I_{C.E} = 0$
5	pH, si $4 \leq pH \leq 7$	$I_{pH} = 0.02628419 \cdot e^{(pH \cdot 0.520025)}$	Si	$pH < 4 \rightarrow I_{pH} = 0.1$ $7 < pH \leq 8 \rightarrow I_{pH} = 1$ $pH > 11 \rightarrow I_{pH} = 0.1$
	pH, si $8 < pH \leq 11$	$I_{pH} = 1 \cdot e^{((pH-8) - 0.5187742)}$		
6	Nitrógeno total/ Fósforo total.	Se rige bajo un rango específico del parámetro	Si	$15 \leq NT/PT \leq 25 \rightarrow I = 0.8$ $10 < NT/PT < 15 \rightarrow I = 0.6$ $5 < NT/PT \leq 10 \rightarrow I = 0.35$ $NT/PT \leq 5 \rightarrow I = 0.15$ $NT/PT > 20 \rightarrow I = 0.15$

Fuente: autor, adaptado de (IDEAM, 2011).

Una vez calculado el índice es posible clasificar la calidad del recurso hídrico según lo indicado en la Tabla 8.2, de acuerdo a lo establecido por el IDEAM (2011):



**Tabla 8.2.** Clasificación de la calidad del agua.

Categoría	Clasificación	Señal de alerta
0.91 – 1.00	Buena	
0.71 – 0.90	Aceptable	
0.51 – 0.70	Regular	
0.26 – 0.50	Mala	
0.00 – 0.25	Muy mala	

Fuente: (IDEAM, 2011).

### 8.3.2. Índices de Contaminación (ICO)

A nivel nacional se han desarrollado diferentes estudios enfocados a la adaptación o mejora de los ICA de acuerdo con las características de algunas fuentes superficiales. Ramírez *et al.*, (1997), por su parte, desarrollaron los índices de contaminación ICO, enfocado principalmente a la industria petrolera. Estos índices correlacionan variables fisicoquímicas que denotan una misma condición ambiental. A diferencia de los ICA, los ICO no generan un valor global, sino que cada indicador debe ser analizado por separado, lo que permite precisar y profundizar en la identificación de problemas ambientales.

De acuerdo con Ramírez & colaboradores (1997, 1999), las correlaciones halladas dieron como origen los seis indicadores de contaminación presentados en la Tabla 8.3, y tres específicos que evalúan los hidrocarburos alifáticos.

**Tabla 8.3.** Parámetros correlacionados en ICO.

Indicador de Contaminación	Parámetros Correlacionados
ICOMi: Índice de Contaminación por Mineralización	Dureza, alcalinidad y conductividad eléctrica.
ICOMO: Índice de Contaminación por Materia Orgánica	Demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno.
ICOSUS: Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos	Sólidos suspendidos totales.
ICTOTRO: Índice de Contaminación Trófica	Fósforo total.
ICOTEMP: Índice de Contaminación por Temperatura	Temperatura.
ICOpH: Índice de Contaminación por pH	pH.

Fuente: autor, adaptado de (Ramírez *et al.*, 1999).

El cálculo tanto del ICA como de los ICO puede realizarse sistematizadamente en el programa ICATest, una herramienta que permite obtener el valor de la calidad del agua ingresando los parámetros fisicoquímicos requeridos para cada indicador. Sin embargo, se debe considerar que algunos indicadores como el ICOTRO no pueden ser calculados empleando esta herramienta y requieren su medición manual (Fernandez & Solano, 2005; González, 2017).

## **8.4. Sistemas de conducción de las aguas residuales**

Los sistemas de conducción de las aguas residuales tienen el objetivo de recoger los vertimientos en el sitio de origen y conducirlos hasta los sistemas de tratamiento, su diseño requiere de un arduo trabajo de ingeniería, con el fin de evitar daños en la salud pública y contaminación del ambiente, así como del apoyo de todas las personas para su correcto funcionamiento; a través del control del estado de las tuberías, la separación de las redes de aguas lluvias, vertimientos domésticos e industriales y la limpieza de las áreas públicas.

Durante el último siglo, los sistemas hidráulicos para la conducción de aguas residuales se han convertido en una alternativa técnicamente viable que brinda solución a una serie de problemáticas que, en materia de ingeniería, se vienen generando como resultado de un mala planificación de los territorios; no obstante, el transporte de estas aguas es el único y mejor medio para tratar el problema de salud pública y la contaminación de ecosistemas que generan las aguas residuales, haciendo importante la instauración de nuevos procesos que permitan el tratamiento de las aguas residuales antes de su vertido o disposición en las fuentes hídricas. Por lo general, los sistemas de conducción de aguas residuales trabajan bajo dos condiciones hidráulicas, que son los sistemas de conducción a flujo cerrado y a flujo abierto.

### **8.4.1. Sistemas de conducción a flujo cerrado**

Estos sistemas hacen referencia a las tuberías que transportan las aguas residuales, cuya particularidad es que no tienen una superficie libre, por lo tanto, el agua llena completamente el conducto y está sometido a la presión hidráulica. Como la carga contaminante que tienen los vertimientos es alta y fluctuante, es importante tener en cuenta el material (PVC, PEAD, GRP, concreto, hormigón, entre otros) del sistema; ya que puede sufrir problemas de corrosión (debido a los pH ácidos o alcalinos), incrustaciones (ocasionadas por los sólidos sedimentables) y malos olores (generados por la materia orgánica).

Por lo general se utilizan tuberías circulares para el transporte de las aguas residuales, debido a que esta forma ofrece una mayor resistencia estructural y una mayor sección transversal; sin embargo, existen otras geometrías como las cuadradas o rectangulares. Lo importante es que la tubería tenga hermeticidad, resistencia mecánica, durabilidad, resistencia a la corrosión, capacidad de conducción, economía, facilidad de manejo e instalación, flexibilidad y facilidad de mantenimiento y reparación (Comisión Nacional del Agua, s.f).

Las tuberías que deban ser instaladas debajo de carreteras, deben utilizar tramos cortos y materiales resistentes, que soporten el peso de los vehículos, como por ejemplo el hormigón. Teniendo precaución con la calidad de las juntas en las uniones de los diferentes tramos de tubería y de las conexiones finales. De aquí la importancia de colocar estructuras a distancias cortas, que permitan explorar el estado del sistema. Dentro de las más utilizadas se encuentran los aliviaderos, los sifones, los interceptores y las cajas de inspección.

Los tipos de flujo que se manejan en las tuberías son laminar y turbulento, en el primero el agua fluye siguiendo trayectorias regulares, separadas y definidas, bajo la ley de Newton de la viscosidad; mientras que en el segundo el agua se mueve en trayectorias libres muy irregulares, ocasionando la transferencia de cantidad de movimiento de una porción de fluido a otro. Estos flujos se ven afectados por diferentes factores como lo son el material de la tubería (por ejemplo, la tubería de PVC lisa circular facilita el flujo laminar), la forma de ingreso del agua a la tubería (generación de turbulencia a la entrada de la tubería) y calentamiento de la superficie (si la superficie de contacto está muy caliente, se transmitirá esa energía al fluido y si es muy grande se recomienda pasar de flujo laminar a turbulento).

#### **8.4.2. Sistemas de conducción a flujo abierto**

La conducción a flujo abierto hace referencia a los canales, en los cuales, el flujo se encuentra en una superficie libre sometida a la presión atmosférica. Por lo general el flujo se presenta por acción de la gravedad y la regulación del flujo se hace mediante compuertas (su finalidad es evacuar el agua excedente y vaciar los tramos de los canales para efectos de reparación), cámaras de distribución (se utilizan para distribuir el caudal en varias direcciones), caídas (reducen la pendiente del canal y la velocidad del agua), tanques de sedimentación (eliminan las partículas del suelo que se encuentran suspendidas en el agua) o cuencos amortiguadores (reducen la velocidad del agua). Una desventaja de los canales

de flujo abierto es que las condiciones de la superficie pueden cambiar en función del tiempo y el espacio, llevando a una interdependencia entre la profundidad de flujo, las pendientes del fondo del sumidero, el caudal y la superficie libre (Ardila-Cárdenas, 2015). En este sistema la sección transversal del flujo está definida por la geometría del conducto que puede ser de cualquier forma, desde circular hasta tener formas irregulares en ríos. La rugosidad varía con la posición de una superficie libre, por consiguiente, la selección de los coeficientes de fricción tiene una mayor incertidumbre (Ardila-Cárdenas, 2015).

Por lo general, los tipos de flujo que se manejan en los canales son *uniforme* y *no uniforme*. El primero se da cuando la velocidad de transporte del agua residual en la profundidad es constante, es decir en canales con altura constante, mientras que el segundo se da cuando la velocidad es rápidamente variada por cambio de profundidad de manera abrupta en distancias cortas, como el que se busca en los resaltos hidráulicos.

### **8.5. Hidrodinámica de los sistemas de conducción de aguas residuales**

La hidrodinámica hace referencia al estudio de las propiedades y el comportamiento de los líquidos en movimiento. En el caso de las aguas residuales las condiciones hidráulicas de mayor influencia son los caudales y las velocidades; por lo general, los caudales dependen de las descargas que haga la fuente que origina los vertimientos, es decir, las industrias, los hogares, los cultivos, las fincas, entre otros. Su importancia radica en los cambios en las condiciones de operación de los sistemas de conducción y de tratamiento que ocasionan, por ejemplo un aumento en el caudal puede ocasionar cambio de flujo laminar a turbulento y disminuir los porcentajes de remoción de la planta de tratamiento; en cuanto a la velocidad, se debe mantener en un valor mínimo (depende de las características del agua residual) que permita la autolimpieza de los conductos y evite la sedimentación de las partículas sedimentables en lugares indeseados.

Existen diversos modelos en el mercado, pero se considera importante en este capítulo referenciar el modelo uni-dimensional OTIS (One-Dimensional Transport with Inflow and Storage - Runkel, 1998) que, si bien presenta condiciones de contorno un poco antiguas, en términos de hidrodinámica su aplicabilidad es sumamente importante. Éste se basa en el modelo de almacenamiento transitorio (Transient Storage - TS) formulado por Bencala & colaboradores (1983), donde se

utiliza una simulación matemática para cuantificar los procesos físicos que afectan las sustancias conservativas tales como trazadores y para la caracterización del transporte de solutos en arroyos y ríos pequeños de montaña, bajo la suposición de flujo unidimensional, donde la masa del soluto se supone uniformemente distribuida a lo ancho y profundo de la sección, en consecuencia, la concentración del soluto varía únicamente en la dirección longitudinal.

## **8.6. Procesos unitarios para el tratamiento de aguas residuales**

Las repercusiones que sectores como la agricultura, la ganadería y la pesca producen a los servicios ecosistémicos de los cuales se benefician, pueden ser positivos o negativos, si se consideran aspectos propios de los residuos generados, que pueden ser fuente importante para mantener la fertilidad de los suelos; sin embargo, un exceso de residuos, o su gestión deficiente, pueden conllevar a la contaminación desmesurada del recurso hídrico, poniendo en riesgo la biodiversidad acuática (FAO, 2018). Por esta razón, esta sección se centra en la depuración de las aguas residuales industriales y domésticas, abarcando su importancia ambiental y sanitaria, presentando además, variables importantes en el dimensionamiento, diseño y manejo integral de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

El tratamiento de aguas residuales tiene como principio básico proteger la salud y el bienestar de la sociedad. El uso directo o indirecto de las fuentes hídricas es cada día mayor en función del crecimiento poblacional, esto hace que de igual forma aumente el retorno de aguas contaminadas a las fuentes hídricas, lo que conlleva a la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o recuperación que mitigue los impactos al ambiente y a la salud, situación que sólo se puede realizar a través del conocimiento de operaciones y procesos unitarios de interés ambiental y sanitario, las cuales se clasifican en pretratamientos, tratamientos primarios, tratamientos secundarios y tratamientos terciarios (Romero-Rojas, 2005).

### **8.6.1. Pretratamientos**

Los pretratamientos, también llamados tratamientos preliminares, tienen como objetivo remover del agua residual contaminantes que afecten de manera negativa el mantenimiento y operación de los procesos posteriores, estos abarcan una serie de procesos físicos y/o mecánicos que conllevan a la reducción de los sólidos suspendidos y permiten acondicionar los vertimientos para los procesos posteriores. Dentro de los pretratamientos se encuentran:

- **Desarenador:** deben ser instalados después de las rejillas, antes de los tanques de sedimentación primaria y estaciones de bombeo, con el fin de proteger los equipos mecánicos contra la abrasión, evitar la sedimentación de arenas en tuberías y canales, reduciendo la formación de depósitos pesados, minimizar la pérdida de volumen en tanques de tratamiento biológico y reducir la frecuencia de limpieza de los digestores, debido al exceso de la acumulación de arenas.
- **Rejillas:** se emplean principalmente para retener sólidos gruesos en suspensión en el agua o sustancias que por su densidad permanecen flotando en la superficie, principalmente, papel, trozos de madera, cáscaras de frutas, latas, entre otros, transportados por la red de alcantarillado. La Figura 8.1, presenta estas estructuras que por lo general son dispuestas aguas arriba de las estaciones de bombeo o de los procesos que son susceptibles a obstruirse por el material grueso que trae el agua residual cruda.



**Figura 8.1.** Reja de cribado para detener material sólido grueso.

Fuente: Carlos Collazos (2009).

- **Remoción de grasas:** es importante reducir la carga de grasas y aceites del agua residual debido a que estas pueden acumularse en las alcantarillas y bombas obstruyéndolas, pueden causar problemas de flujo en los sedimentadores y dificultan el proceso de secado de lodos. Los sistemas más

utilizados para su remoción son las trampas de grasas, que consisten en un tanque con un diseño hidráulico y un tiempo de retención adecuado (por lo general es de 15 a 30 minutos) que permita la separación diferencial por gravedad de las grasas y aceites; para un buen funcionamiento de este equipo deben evitarse las cargas hidráulicas súbitas.

- **Homogenización:** este pretratamiento permite regular o reducir los efectos de la variación de la concentración de los afluentes o del flujo. Este proceso consiste en atenuar las variaciones de caudal empleando tanques de forma arbitraria con la capacidad suficiente para contener el flujo de agua que sobrepasa un determinado valor, lo que permite mejorar los tratamientos biológicos, mejorar la calidad del efluente y el rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria, adicionalmente, favorece el control de la dosificación de reactivos químicos e incrementa el rendimiento de los sistemas de tratamiento cuando están sobrecargados.

### 8.6.2. Tratamientos primarios

Estos procesos se enfocan en la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos presentes en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en un tanque de sedimentación. Los tratamientos primarios primordiales en un sistema de tratamiento de aguas residuales, son:

- **Sedimentación:** consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua (Metcalf & Eddy, 1998). Es un proceso físico en el cual se remueven arenas, sólidos suspendidos, lodos provenientes de los procesos biológicos y materia orgánica que trae el agua residual. De acuerdo con la interacción que tengan las partículas, la sedimentación puede ser discreta (usada para remover arenas), floculante (en algunos casos se pueden adicionar coagulantes de origen químico o natural, con el fin de incrementar la eficiencia en la remoción de los contaminantes), zonal (usada a la salida del tratamiento biológico) y por compresión (usada en los procesos de tratamiento de lodos).
- **Flotación:** es un proceso unitario que se emplea para la remoción de la materia suspendida, además, permite concentrar los lodos biológicos mediante la separación de partículas sólidas o líquidas en un medio líquido. Dicha separación se logra introduciendo burbujas muy finas de gas (normalmente aire) en

la masa líquida; estas se adhieren a las partículas suspendidas y las arrastran hacia la superficie produciendo la separación. La principal ventaja de este proceso en contraste con la sedimentación, es que requiere de menor tiempo para eliminar las partículas pequeñas, que se caracterizan por tener sedimentación lenta. El proceso más utilizado es la Flotación por Aire Disuelto (DAF), presentado en la figura 8.2, donde el agua residual se presuriza con aire en un tanque cerrado, luego es introducida al tanque de flotación pasando por una válvula reductora de presión. El súbito cambio de presión genera burbujas de 50 a 100 micras de diámetro y las burbujas ascienden a la superficie arrastrando consigo las partículas suspendidas (sólidos, aceites y grasas). En los sistemas de tratamiento de mayor tamaño, se tiende a recircular parte del efluente (entre el 15 y 120%), el cual se presuriza y semi-satura con aire.



**Figura 8.2.** DAF de la PTAR de una industria de productos lácteos.

Fuente: Autor (2007).

- **Coagulación:** es el proceso unitario más utilizado en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, consiste en la adición de coagulantes químicos (como el cloruro férrico, la cal, el alumbre, el cloruro de aluminio, el sulfato ferroso, entre otros) o de origen natural (como el almidón de yuca, el quitosano, el almidón de plátano, la moringa, el café, entre otros), para desestabilizar las partículas mediante neutralización de carga y floculación durante el proceso de sedimentación, al unirse las partículas, estas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad.

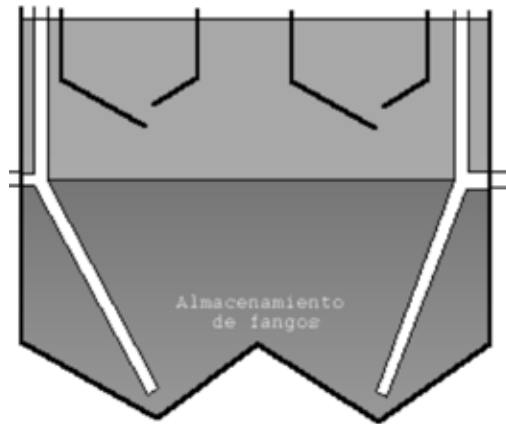


- **Neutralización:** también llamado ajuste de pH, se realiza con el fin de proteger las fuentes hídricas receptoras de descargas alcalinas o ácidas fuertes, para favorecer los tratamientos biológicos y para ejercer control de la corrosión. Se lleva a cabo mediante la adición de una sal (normalmente cal o hidróxido de sodio) o un ácido (normalmente ácido sulfúrico o clorhídrico) para obtener un pH cercano a 7,0.
- **Filtración:** se utiliza con el fin de remover sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO, metales pesados o virus. Estas remociones dependen del lecho filtrante (puede ser carbón coque, arena, grava, gravilla, carbón activado, entre otros) e involucra mecanismos de remoción diferentes como el cribado, la interceptación, la adsorción y la absorción, floculación y sedimentación. La operación completa de filtración consta de dos fases: filtración y lavado (también llamado retrolavado). La fase de filtración es prácticamente igual para todos los sistemas, pero la fase de lavado depende del funcionamiento del filtro (operación continua o discontinua) y del lecho filtrante que se esté utilizando.

### 8.6.3. Tratamientos secundarios

Se usa principalmente para la remoción de DBO soluble y sólidos suspendidos, abarcando tanto los procesos aerobios como anaerobios (Ramalho, 1996). Los tratamientos secundarios básicos en un sistema de tratamiento de aguas residuales, son:

- **Tanque séptico:** se usa con el fin de remover sólidos suspendidos, materia orgánica y material flotante; en este proceso la sedimentación y la digestión ocurren dentro del mismo tanque y puede considerarse como un digestor convencional a escala limitada. Su uso frecuente es en la depuración de las aguas residuales domésticas generadas en las áreas suburbanas, o en zonas rurales donde no existe un sistema de alcantarillado sanitario.
- **Tanque imhoff:** es un sistema de tratamiento anaerobio de dos pisos, un poco más sofisticado, tiene un par de compartimientos superpuestos, como se observa en la figura 8.3; el de arriba está destinado a facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables y el de abajo para la digestión de los sólidos sedimentados. Tiene las siguientes ventajas, no requiere de técnicos especializados y es de fácil de operación, la cual consiste en la remoción diaria de la espuma y periódica de los lodos.



**Figura 8.3.** Tanque imhoff. Fuente: Bueno & colaboradores (1997).

- **Lodos activados:** el nombre del proceso proviene de la formación de una masa de “microorganismos activos” capaz de estabilizar un desecho orgánico bajo condiciones aerobias y se utiliza cuando el agua residual puede responder al tratamiento biológico. Este proceso requiere de una operación y supervisión competente, que incluya un control rutinario de laboratorio.
- **Lagunas anaerobias:** proceso de degradación de la materia orgánica por acción coordinada de microorganismos, en ausencia de oxígeno y otros agentes oxidantes fuertes. Se utiliza para tratar aguas residuales industriales con elevada temperatura y carga, con cierto contenido de sólidos suspendidos sedimentables y para tratar aguas residuales municipales en combinación con lagunas de maduración y facultativas. Como subproducto se obtiene biogás (con composición básica de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  en un 95%, pero con la presencia adicional de N, H,  $\text{NH}_3$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , usualmente en proporciones inferiores al 1%). Un aspecto importante que limita su uso en cercanías de los centros urbanos, son los olores desagradables asociados con el proceso.

#### 8.6.4. Tratamientos terciarios

El tratamiento terciario o avanzado, se realiza con el fin de remover nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes hídricas receptoras o de mejorar la calidad de un efluente secundario para adecuar el agua para su reúso. Algunos tratamientos terciarios son:

- **Adsorción en carbón activo:** con este proceso se busca captar las sustancias solubles presentes en el agua residual, las cuales generalmente causan problemas de olor y color en los vertimientos. La eliminación de contaminantes en las columnas de carbón activado se lleva a cabo mediante tres etapas: macrotransporte, microtransporte y equilibrio. La viabilidad económica del uso de este proceso depende de la existencia de un medio eficaz para la regeneración y recuperación del carbón, una vez se agote su capacidad de adsorción. Los porcentajes de eliminación dependen básicamente del tiempo de contacto entre el carbón activado y el agua residual. Los contaminantes se separan gradualmente al fluir a través de la columna de carbón activado, lo que permite que el agua residual se purifique paulatinamente a medida que desciende por la columna.
- **Osmosis inversa:** es un proceso que separa el agua de las sales disueltas en disolución mediante filtración por medio de una membrana semipermeable a una presión superior a la osmótica provocada por las sales disueltas en el agua residual. En este tratamiento, las aguas residuales fluyen bajo presión elevada (superior al valor de su presión osmótica) a través de un tubo interior formado por material semipermeable y proyectado para soportar presiones elevadas. Tiene como ventaja la eliminación de materia orgánica disuelta que no es susceptible de ser eliminada con otras técnicas de desmineralización. Dentro de sus desventajas se encuentran, su elevado costo y la necesidad de tener un afluyente de gran calidad, ya que la presencia de material coloidal puede provocar fallos en el sistema y la presencia de hierro y manganeso, puede producir incrustaciones carbonatadas.
- **Militamiz Giratorio (MG):** su principal objetivo es eliminar del agua residual de los sólidos de tamaño superior a la abertura del militamiz (Figura 8.4). También es capaz de remover la materia suspendida, los organismos patógenos y la carga orgánica, ya que el tamizado tiene una función similar a la del desbaste, pero a un nivel más fino. La malla de un tamiz es directamente proporcional a la eficiencia de remoción y puede tener aperturas que fluctúan entre 10,0 (en el caso de tamices) y 0,2 mm, dependiendo de su aplicación, pero se consideran como tamices finos aquellos entre 0,2 y 1,5 mm (micro y mili tamices,  $\mu T$ , MG). Este sistema con malla especial de 0,2 milímetros de apertura, se puede utilizar para remover el 35% de la DQO de las aguas residuales municipales o el 60%, con costos unitarios de remoción bajos, si se le adicionan coagulantes antes del tratamiento.



**Figura 8.4.** Tamiz rotativo. Fuente. (Fluiteco, s.f).

- **Intercambio iónico:** es un proceso unitario en que los iones de las diferentes especies en disolución se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas y desplazan a los iones insolubles. Por lo general se usa para el ablandamiento de aguas residuales domésticas. Este procedimiento ha llegado a ser importante en el campo del tratamiento de aguas residuales, ya que la desmineralización completa puede alcanzarse mediante intercambio iónico. Para la reducción de los sólidos disueltos totales, es necesario utilizar resinas de intercambio aniónico, resinas de intercambio catiónico y tener un agua residual con concentraciones bajas de sólidos en suspensión, con el fin de evitar que se taponen los lechos y así prevenir grandes pérdidas de carga y rendimientos ineficaces. No todos los iones disueltos se eliminan por igual, cada resina de intercambio iónico se caracteriza por una serie selectiva y algunos de los iones del final de la serie, tan sólo se eliminan de forma parcial.

## 8.7. Consideraciones finales

Mediante el conocimiento de los sistemas de conducción y los procesos unitarios que existen para el manejo de las aguas residuales, se pueden establecer sistemas de tratamiento que permitan remover los contaminantes que traen los vertimientos de origen doméstico o industrial, aliviando la presión sobre el ecosistema y

dejando el agua apta para devolverse a las fuentes naturales de manera segura, favoreciendo su reutilización, sin que conlleve a riesgos para los seres humanos y el medio ambiente, logrando un uso más sostenible y mejorando los problemas de calidad del agua.

Si bien existen múltiples herramientas para la determinación de la calidad del agua, y cada territorio es libre de decidir cuál es el apropiado según el uso y manejo de sus recursos, los ICO e ICA son factores clave para la planificación de recursos ecosistémicos, en pro de salvaguardar el aprovisionamiento y regular el agua de buena calidad para los ciudadanos de un territorio, sin afectar su desarrollo económico.

### **8.8. Estudio de caso: contaminación por descargas de aguas residuales al río Consotá**

El río Consotá es una de las fuentes hídricas más importantes de la ciudad de Pereira. Este ha sido ampliamente estudiado por diferentes universidades, así como empresas del sector, quienes han trabajado con las comunidades de las quebradas tributarias del Consotá con el propósito de generar conciencia sobre la importancia de contribuir a la preservación del río mediante acciones orientadas a disminuir los residuos sólidos que caen a las quebradas de sus barrios para que estas lleguen limpias al río (Corredor Ambiental Otún-Consotá-Pereira, 2012; Arias, 2014).

La cuenca del río Consotá, nace entre los corregimientos de La Bella y Tribunales, a una altura de 2150 m.s.n.m., pasando por el costado sur del casco urbano de Pereira y desembocando en el río La Vieja, a una altura de 930 m.s.n.m., entre el Corregimiento de Cerritos (Pereira) y el municipio de Cartago (Valle del Cauca) (Acevedo-Arias, 2016). Esta cuenca tiene una extensión aproximada de 132 km<sup>2</sup> y se ubica en la zona andina del territorio colombiano, es importante debido a sus suelos y clima, que la hacen apta para la agricultura, además de contar con una gran riqueza mineral. El uso actual de la cuenca Consotá es la de recibir las aguas residuales de la ciudad de Pereira, lo cual ahonda la problemática, ya que dadas sus características edafológicas, climáticas y topográficas, lo hacen susceptible, particularmente, a los procesos erosivos y a los deslizamientos (Díaz-Giraldo, 2007).

La cuenca del río Consotá se encuentra localizada entre el Bosque Húmedo Pre-montano (2.200 m.s.n.m.) hasta el Bosque Seco Tropical (900 m.s.n.m.), según la

clasificación de zonas de vida de Holdridge<sup>14</sup>. Esta formación tiene como temperaturas mínima y máxima 18 y 24°C, respectivamente, y un promedio anual de lluvias de 1000 a 2000 mm. (Acevedo-Arias, 2016).

La cuenca del río Consotá se encuentra entre las fuentes de abastecimiento de agua aptas para consumo humano en la zona rural municipal, según la CARDER. Cinco corregimientos de la zona rural municipal son abastecidos por 16 fuentes hídricas superficiales, según los prestadores del servicio de acueducto, llevando sus aguas en el río Consotá y abasteciéndose 10 acueductos comunitarios a través de 16 microcuencas (Acevedo-Arias, 2016).

De acuerdo con Acevedo-Arias (2016) la estructura ecológica principal del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Pereira define áreas que permiten el sostenimiento de la biodiversidad y la oferta de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Consotá como:

- a. Regulación del recurso hídrico, al proteger las áreas aferentes a los acueductos rurales presentes en la cuenca el río Consotá y delimitar las áreas forestales protectoras de corrientes hídricas y determinación de las zonas de amenaza y riesgo.
- b. Provisión de recursos genéticos y nutrientes, que brinda el Distrito de Conservación de Suelos Barbas-Bremen como Área Protegida a una de las zonas con mayor producción agrícola y pecuaria del municipio.
- c. Culturales, para la recreación y el turismo en el cerro Canceles, Filo Bonito y Cerro Cerritos.

En este sentido, el río Consotá se convierte en un eje estructurante para propiciar la conectividad de los ecosistemas, que permite generar dinámicas ambientales urbano rurales entre los suelos de protección existentes en el Municipio, con cuatro objetivos fundamentales: 1) Integrar las áreas forestales protectoras de la corriente del río Consotá con los relictos de bosque alledaños y las áreas con pendientes superiores al 70%, con el fin de generar conectividad con los ecosistemas alledaños. 2) Ampliar las áreas de protección que se incorporarán a la red de

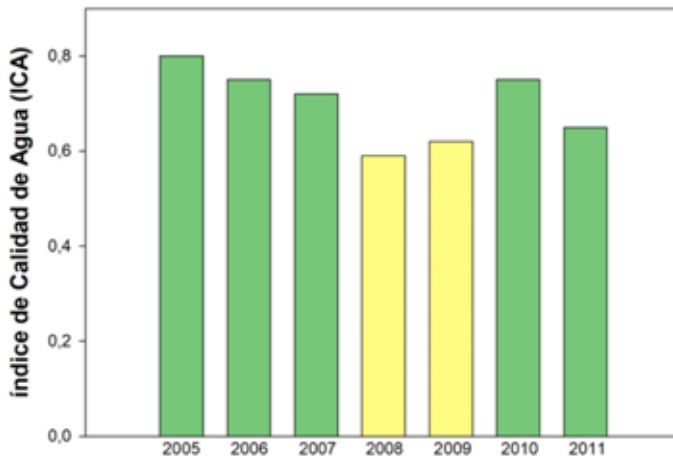
---

<sup>14</sup> El sistema de Holdridge es una clasificación donde las zonas biogeográficas se organizan según los efectos biológicos de la temperatura y las precipitaciones en la vegetación.

espacio público al interior de la cuenca, implementando actividades que generen la revitalización de estas zonas. 3) Recuperar las zonas de amenaza alta y riesgo alto no mitigable ocasionados por inundaciones, especialmente en la zona urbana en las comunas El Poblado, Consotá, Cuba, San Joaquín y Olímpica. 4). Integrar a los estudiantes de los colegios al interior de la cuenca en programas educativos y comunitarios sobre conocimiento, manejo y protección del corredor ambiental río Consotá (Acevedo-Arias, 2016).

Dada la importancia ecosistémica del río Consotá, sus condiciones generan de manera directa e indirecta riesgos hacia el desarrollo socioeconómico de los habitantes de la zona, y a su infraestructura, tales como, los fenómenos de remoción en masa, inundaciones, sismicidad, entre otros. Aún más, teniendo en cuenta que en el área metropolitana Centro de Occidente la gestión del recurso hídrico obedece a un proceso lineal de captación, distribución, consumo y vertimientos que genera desechos no tratados, los cuales, a su vez, son introducidos al ciclo ecosistémico, hacen cada vez más importante la puesta en marcha de procesos de resignificación y saneamiento del río Consotá, proyectándolo como detonante de la ciudad en torno al espacio público, a la educación, a un espacio polinuclear (nodos tecnológicos de actividad múltiple), eje de la ciencia, la tecnología y la innovación. Además, capaces de lograr cambios en las dinámicas socioculturales en torno a esta cuenca, transformándola de un colector de aguas residuales, a un elemento articulador de paisaje, de la biodiversidad, de la movilidad y del desarrollo urbano, que merece ser cuidado y valorado (García Serna *et al.*, 2014; Acevedo-Arias, 2016).

Es importante destacar que, dada la dinámica del recurso hídrico, los estudios de calidad y balances hídricos se generan involucrando diferentes estaciones de monitoreo. Actualmente, el IDEAM cuenta con una base de datos de los ICA medidos desde el año 2005 hasta el 2011 de diferentes ríos principales a nivel nacional, abarcando el área de la cuenca del río La Vieja, estación Cartago, dada su intensa actividad económica, agropecuaria, industrial y turística, y de la cual se desprende el río Consotá. En la a figura 8.5, se presenta la baja variabilidad de la calidad del agua del río La Vieja.



**Figura 8.5.** ICA del río La Vieja medido por el método de cinco variables.

Fuente: Autor.

Aunque el río La Vieja presenta una calidad del agua aceptable, a excepción de los años 2008 y 2009 donde la calidad baja a regular, requiere de un manejo adecuado de sus subcuencas para preservar y mejorar sus condiciones fisicoquímicas.

Si bien, el río Consotá no cuenta con mediciones del ICA ni del ICO, como la subcuenca del río La Vieja, fue analizado en el año 2002, a través del monitoreo de dos estaciones: La Curva y Puente Madera; encontrándose la calidad del recurso hídrico como buena y regular, respectivamente, de acuerdo al valor de los índices de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento IFSN (Comisión conjunta, 2008). Esta subcuenca ha sido ampliamente estudiada a través de los índices INSF, que emplea nueve parámetros de calidad, tales como; porcentaje de saturación de oxígeno, coliformes totales, pH,  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , variación de la temperatura, turbiedad y sólidos totales, involucrando a cada uno un valor de ponderación de acuerdo a su importancia, de la misma forma que se realiza con los ICA. El INSF se determina en un rango de cero a 100, siendo cero la calidad más baja del agua (Contraloría municipal de Pereira, 2004). Dependiendo del valor de este índice, el agua puede ser calificada según lo presentado en la tabla 8.4.



**Tabla 8.4.** Rangos del INSF utilizados para la determinación de la calidad del agua.

Valor INSF	Clasificación	Señal de alerta
91 – 100	Excelente	
71 – 90	Buena	
51 – 70	Regular	
26 – 50	Mala	
0 – 25	Muy Mala	

Fuente: (Aguas & aguas de Pereira, 2003).

Con base en lo anterior, la CARDER para el período 2016 llevó a cabo la evaluación de calidad mediante la metodología del INFS del río Consotá, los resultados obtenidos en cada punto de monitoreo evaluado se presentan en la tabla 8.5 (CARDER, 2016).

De acuerdo con la lectura y el análisis de los datos de calidad, que se tiene para la cuenca del río Consotá, en su cuenca media y baja, la fuente presenta una calidad *regular*, lo que se ve reflejado en factores como los asociados a las grandes presiones antropogénicas en estas zonas, y las dinámicas urbanas y de expansión del territorio.

**Tabla 8.5.** Consolidado de calidad (INFS) para cuenca del río Consotá.

Punto de monitoreo de la cuenca del río Consotá	Calidad del recurso	
	INSF	Calidad
R. Consotá. Vereda El Manzano	76	Buena
R. Consotá. Estación CARDER, sector La Curva	76	Buena
Q. El Chochos en la desembocadura	70	Regular
Q. Boston en la desembocadura (Afluente R.Consotá)	54	Regular
R. Consotá después de la Q. Boston	59	Regular
Q. La Dulcera en la desembocadura	65	Regular
R. Consotá en el barrio San Fernando después de la Q. La Dulcera	55	Regular
Q. El Oso en la desembocadura	57	Regular
R.Consotá después la Q. El Oso	51	Regular
R. Consotá en el puente El Tigre	53	Regular
R. Consotá en la estación Villegas (K36+800)	63	Regular
R. Consotá en la desembocadura	64	Regular
R. La Vieja antes del R.Consotá	73	Buena
R. La Vieja después del R. Consotá	64	Regular

Fuente: Autor.

## 8.9. Evaluación del capítulo

1. ¿Considera usted que la calidad del agua influye en el aprovisionamiento de la misma?
2. ¿Para la determinación del ICA establecido por el IDEAM, las estaciones de monitoreo deben generar un análisis completo de todas las variables físico-químicas y microbiológicas del agua? Justifique su respuesta.
3. Aunque índices de contaminación del agua no se encuentran regulados ni adoptados en Colombia, ¿por qué es importante tenerlos en consideración en el estudio de aguas superficiales?
4. ¿Cuál considera técnica y financieramente más viable, un sistema a flujo abierto o a flujo cerrado?. Justifique su respuesta.
5. ¿En nuestro país se han actualizado los sistemas o redes hidráulicas para la conducción de aguas residuales?. Justifique su respuesta.
6. ¿Por qué es importante la modelación de los flujos o la hidrodinámica de los sistemas?. Justifique su respuesta
7. ¿Cuál de los procesos unitarios considera usted que se puede utilizar para remover los metales pesados de una muestra de agua residual?
8. ¿Cuál es el principal objetivo de un tanque de homogenización?
9. ¿Qué es DAF y para qué se utiliza?
10. ¿Con cuál tipo de sedimentación se remueve la biomasa?

---

## Referencias

- Acevedo-Arias, G.I. (2016). *Saneamiento y resignificación del río Consotá*. Pereira, Colombia: Secretaria de Planeación Municipio de Pereira.
- Aguas y aguas de Pereira. (2003). *Plan de Saneamiento Hídrico de Pereira*. Pereira, Colombia: Aguas y aguas de Pereira.
- Alcaldía de Medellín. (2015). *Propuesta para la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en Medellín*. Medellín, Colombia: Parque Expoflora
- Ardila-Cárdenas, F. (2015). *Aplicación del sistema Geoweb de confinamiento celular para revestimientos de canales abiertos de sección trapezoidal* (Tesis de pregrado). Universidad distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C., Colombia.
- Arias C., (Ed). (2014). *Resignificación de la cuenca del Consotá. Perspectivas ambientales del municipio de Pereira en sus 150 años*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales.
- Bencala, Kenneth, E., & Walters, R. (1983). Simulation of solute transport in a mountain pool-and-rie stream: A transient storage model. *Water Resources Research*, 9(3), 718-724.

- Betancur-Vargas, T., García-Giraldo, D., Vélez-Duque, J., Gómez, A., Flórez-Ayala, C., Patiño, J., & Ortiz-Tamayo, J. (2017). Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia. *Biota Colombiana*, 18(1), 1-27.
- Bueno, J., Sastre, H., & Lavín, A. (1997). *Contaminación e ingeniería ambiental: Elementos para la evaluación y gestión de la contaminación*. Oviedo: Fundación para el fomento en Asturias de la investigación científica aplicada y la tecnología F.I.C.Y.T.
- CARDER. (2016). *Informes de Monitoreo del Recurso Hídrico del Departamento de Risaralda*. Pereira, Colombia: Corporación Autónoma Regional de Risaralda.
- Comisión conjunta. (2008). *Plan de ordenación y manejo, Cuenca hidrográfica del río La vieja*. Pereira.
- Comisión Nacional del Agua. (s.f). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Sistemas alternativos de alcantarillado sanitario*. 21, Tlalpan, México. Recuperado de: <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro21.pdf>
- Contraloría municipal de Pereira. (2004). *Informe del estado de los recursos naturales y del medio ambiente, vigencia 2003*. Pereira: Contraloría municipal de Pereira.
- Corredor ambiental Otún Consotá Pereira. (2012). *Open green map Río*. Recuperado de <https://www.opengreenmap.org/greenmap/corredor-ambiental-otun-Consotá-pereira/rio-Consotá-19061>
- Díaz-Giraldo, C. (2007). *Metodología interdisciplinaria desde el estudio de la problemática ambiental del tramo urbano de la cuenca del río Consotá: Hacia el fortalecimiento de la gestión ambiental local* (Tesis de maestría). Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- FAO. (2018). *Servicios ecosistémicos y de regulación*. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>
- Fernandez, N., & Solano, F. (2005). Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. Universidad de Pamplona. Recuperado de: [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/05082010/libros.jsp](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp)
- Findeter. (2017). *Informe sectorial: Agua potable y saneamiento básico*. Bogotá, D. C., Colombia: Financiera del Desarrollo.
- Fluiteco. (s.f). *Ingeniería a la medida de sus negocios*. GTR: Tamiz rotativo para canal. Recuperado de: <http://fluiteco-la.com/portfolio-item/gtr-tamiz-rotativo-para-canal/>
- García Serna, M. I., Morales Pinzón, T., & Guerrero Erazo, J. (2014). Análisis de flujos de agua en áreas metropolitanas desde la perspectiva del metabolismo urbano. *Luna azul*, 39, 234-249.
- Global Water Partnership. (2005). *Servicios ecosistémicos y seguridad hídrica*. Suecia: GWP. Recuperado de: [https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/publications/briefing-notes/gwp\\_briefing\\_note\\_ecosystems\\_spanish\\_web.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/publications/briefing-notes/gwp_briefing_note_ecosystems_spanish_web.pdf)
- González, J. (2017). *Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Río Botello ubicado en el municipio de Facatativá* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá D. C., Colombia.
- IDEAM. (2011). Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

- IDEAM. (2014). *Evaluación del recurso hídrico*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>
- Jaramillo Rojas, C., Molina, F., & Betancur, T. (2011). Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(19), 33-46.
- Kosmus, M., Renner, I., & Ultrich, S. (2012). *Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del desarrollo. Un enfoque sistemático en pasos para profesionales basado en TEEB*. Bonn, Alemania: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Recuperado de: <https://www.giz.de/expertise/downloads/giz2012-es-servicios-ecosistemicos.pdf>
- MADS. (2014). *Colombia lidera en la ONU negociación de objetivos de desarrollos sostenible*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=881:el-usosostenible-de-los-bosques-prioridad-de-minambiente-234>
- MADS. (2017). *Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental urbana*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Metcalf & Eddy. (1998). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid, España: Mc Graw Hill.
- ONU. (2015). *Nota informativa sobre Implementación de mejoras para la calidad del agua y la protección de servicios ecosistémicos, Agua y Desarrollo Sostenible: de la visión a la acción*. Conferencia Anual 2015 de ONU, Zaragoza. Recuperado de [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/information\\_briefs.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/information_briefs.shtml)
- Pérez-Vidal, A., Delgado-Cabrera, L., & Torres-Lozada, P. (2012). Evolución y perspectivas del sistema de abastecimiento de la ciudad de Santiago de Cali frente al aseguramiento de la calida del agua potable. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 14(2), 69-81.
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec, Canada: Reverte S.A.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3),135-153.
- Ramírez, R., Restrepo, R., & Cardeñosa, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-99.
- Romero-Rojas, J.A. (2005). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*. Bogotá D.C. Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieros.
- Runkel, R. (1998). *One-dimensional transport with inflow and storage (OTIS): A solutetransport model for streams and rivers*. Geological Survey.
- Torres, P., Hernán, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en efluentes superficiales utilizados en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- Utrera-Caro, S., & Aura, A. (2013). *Agua, Trasvases y medio ambiente: Las cuentas fluviales y el nuevo plan hidrológico Nacional*. Madrid: Dykinson.
- Vörösmarty, C., Lévêque, C., & Revenga, C. (2005). Chapter 7: Fresh Water. En *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends, Volume 1* (pp.165-206). London: Islandpres.



# CAPÍTULO 9

## PREVENCIÓN DE LA EROSIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Sandra Patricia Montenegro Gómez<sup>15</sup>

Silvia Eugenia Barrera Berdugo<sup>16</sup>

Juan Sebastián Chiriví Salomón

Sandra Yamile Pulido Pulido

Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego

Martha Cecilia Vinasco Guzmán<sup>17</sup>

Martha Liliana Palomino Leiva<sup>18</sup>

### 9.1. Introducción

Las funciones del suelo dependen de una serie de propiedades físicas químicas y biológicas, que combinadas determinan las cualidades esenciales del suelo. Estas cualidades a su vez garantizan que el suelo pueda cumplir sus roles ecológicos y productivos, y en consecuencia beneficiar la preservación de la vida en el planeta (Brammer & Nachtergaele, 2015); por lo tanto, el uso y manejo sustentable del suelo permite convivir en conexión con sus atributos y disfrutar de forma armónica de sus vitales servicios. Contrario a lo deseable, el suelo ha sufrido una alteración antrópica desmedida sin considerar las consecuencias. Estudios a nivel global han identificado que los cambios en el uso de la tierra durante los últimos 50 años por áreas para la agricultura y la ganadería, han generado alteraciones en la abundancia, composición y actividad de las comunidades microbianas, afectando la disponibilidad de nutrientes del suelo y la productividad de las plantas, además de deteriorar el ambiente y disminuir la calidad de vida de las personas (Soka & Ritchie, 2014; Ruiz *et al.*, 2015). De acuerdo a Bringezu & colaboradores

<sup>15</sup> Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente

<sup>16</sup> Investigadora Universidad Industrial de Santander

<sup>17</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente

<sup>18</sup> Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades

Correos electrónicos de contacto: sandra.pulido@unad.edu.co, silviaebarrera@uis.edu.co, juan.chirivi@unad.edu.co

(2014), hasta 849 millones de hectáreas de terrenos naturales hacia el año 2050 estarían en riesgo de degradarse si se continúa la tendencia de uso insostenible del suelo. La degradación implica la modificación y el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Rodríguez & Camargo García, 2009) y la disminución de la capacidad de este ambiente en prestar bienes y servicios a las comunidades (FAO, 1996). Actualmente, el 33% de los suelos del planeta están degradados y las principales causas obedecen al crecimiento demográfico, industrialización y el cambio climático; lo que ha llevado a un proceso de deterioro acelerado y a la pérdida de millones de toneladas de capa arable anualmente ligados al agotamiento de nutrientes, pérdida de carbono orgánico, sellado del suelo y erosión (FAO, 2015).

La erosión es la mayor causa de degradación y pérdida de fertilidad del suelo, pues remueve la capa donde se concentra la materia orgánica y donde habitan los organismos asociados a la fijación y solubilización de nutrientes minerales (Li *et al.*, 2009). En Colombia, el 40% del territorio nacional presenta algún grado de degradación de suelos por erosión equivalente a 453.770 km<sup>2</sup> (45.377.070 ha); el 20% equivale a erosión ligera, 16,8% a moderada, y 2,9% a severa y muy severa (IDEAM, U.D.C.A., 2015b), y es por esto, que prevenir la erosión es un factor clave para evitar su degradación y su posterior desertificación.

Por otro lado, la fertilidad de los suelos colombianos es característicamente baja en términos de nutrición vegetal (Jaramillo J., 2004); el 85% de los suelos son ácidos, siendo el 57,6% de los suelos de un pH menor a cinco, el 98% muestra deficiencias en fósforo asimilable para las plantas y el 68,1% cuenta con bajo contenido de materia orgánica. Esto muestra que las técnicas de manejo del suelo están generando graves problemas de degradación (IGAC, 2016). Mientras que el 13,3% y el 19,3% de los suelos colombianos son aptos para la ganadería y la agricultura, respectivamente; el 30,5% están siendo usados para ganadería y tan sólo el 4,6% de los suelos aptos para la agricultura están siendo usados para tal fin (IGAC, 2016).

Aunque en la última década se ha reducido significativamente el riesgo de la erosión, estas tasas aún son muy altas en muchos terrenos agrícolas del mundo. Políticas y programas de estado son necesarios para promover el desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles en estos terrenos donde aún el riesgo es alto (FAO & ITPS, 2015). En este sentido, se hace prioritario fomentar el apoyo a prácticas

que controlen la erosión, por ejemplo evitar la extracción excesiva de biomasa que como consecuencia conlleva a la pérdida de materia orgánica del suelo, incluir labranza de conservación, implementación de terrazas, uso de residuos orgánicos compostados, entre otras prácticas, que pueden disminuir la erosión y mejorar los rendimientos de los cultivos (Gordon & Enfors, 2008).

La FAO (2015) indica que de no tomar medidas para reducir la erosión, se prevé una disminución de producción de más de 253 millones de toneladas para el 2050, que es equivalente a eliminar 1,5 millones de kilómetros cuadrados de tierras agrícolas y compromete la seguridad alimentaria de la humanidad, en adición a efectos del desequilibrio ambiental asociados a los procesos de la erosión del suelo. Por consiguiente, la prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo es un desafío global encaminado hacia la conservación de la vida en el planeta. El presente capítulo tiene como objetivo realizar una contextualización sobre este servicio ecosistémico de regulación, resaltando un estudio de caso del occidente colombiano.

## **9.2. Servicios ecosistémicos y funciones del suelo**

En contextualización con la tipología de servicios ecosistémicos: abastecimiento, regulación, apoyo y culturales; un estudio realizado por (Adhikari & Hartemink, 2016), relacionó un gran número de publicaciones, entre los años 1975 y 2014, basados en propiedades físico-químicas del suelo con los servicios del ecosistema, que junto con la captación del carbono se agrupan principalmente en servicios de regulación.

El suelo es un ambiente vivo y heterogéneo, que resulta de la interacción de factores físicos, químicos, biológicos y ambientales, y está encargado de regular el funcionamiento de los ciclos del agua y biogeoquímicos, y de la biodiversidad (IDEAM, U.D.C.A., 2015a; Burbano-Orjuela, 2016). De este recurso no renovable, muchas personas desconocen por completo las funciones o servicios proporcionados por los suelos y los milenarios periodos de tiempo que demanda construir cada centímetro como resultado de una serie de mecanismos de retroalimentación y de poder retener muchas de sus características indefinidamente en el tiempo, como su grosor, contenido de carbono y nutrientes (Amundson *et al.*, 2015; Baveye *et al.*, 2016). Propiedades tales como el grosor del suelo, el almacenamiento de carbono orgánico y el contenido de nitrógeno, entre otras características, alcanzan

un estado estable en intervalos de algunos siglos a milenios y aunque parecen capaces de recuperar la estabilidad, la intervención humana en los procesos del suelo muchas veces excede las perturbaciones naturales, excediendo la resiliencia y recuperación a su condición original (de Vries *et al.*, 2012).

El 30% de la superficie continental del planeta ha transformado sabanas, praderas y bosques hacia actividades agrícolas, generando degradación ambiental generalizada y pérdida de diversidad biológica, que afecta al 23% del suelo mundial y, por consiguiente, deteriorando la prestación de los servicios del ecosistema (Adhikari & Hartemink, 2016). De acuerdo a Fitter & colaboradores (2005), el flujo de servicios ecosistémicos en el suelo depende del equilibrio de su diversidad biológica, donde la biota edáfica es pilar fundamental para la disponibilidad de nutrientes a partir de los ciclos biogeoquímicos y de las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos que ocurren en conjunto, consecuentemente, los suelos degradados e impactados en la composición de su biodiversidad acarrearán como consecuencia una alteración en sus funciones y prestación de servicios (Rojas *et al.*, 2014).

Estudios de las propiedades del suelo y sus funciones han sido ampliamente revisados, especialmente aquellas funciones que lo determinan en calidad de servicio ecosistémico. Varias características funcionales del suelo como la acumulación del carbono, la actividad microbiana, el ciclo de macro y micronutrientes y la capacidad de retener humedad se han estudiado en detalle (Barrios, 2007; Ghaley *et al.*, 2014; Adhikari & Hartemink, 2016). Actualmente, existe una gran demanda de información científica detallada sobre las funciones del suelo la cual sirve de insumo para la planificación de su uso (Baveye *et al.*, 2016). La FAO en el diagrama titulado "Los suelos ofrecen servicios ecosistémicos que permiten la vida en la tierra" (Figura 9.1) destaca once funciones del suelo, las cuales vale la pena entender y considerar como punto de partida para encaminar un proceso de concientización y acción hacia la prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo.

La multifuncionalidad de los suelos se ha convertido progresivamente en una característica clave en la formulación de políticas relacionadas con la planificación del uso del suelo (Schutle *et al.*, 2014), sin embargo, autores como Dominati (2013), indican que no se cuenta con información sobre una gama completa de servicios ecosistémicos superficiales y subterráneos, el valor total de la



conservación del suelo (inversión en infraestructura ecológica), o el costo total de la erosión (más allá de la pérdida de productividad); y es por lo cual se sugiere la necesidad de elucidar esta información que permita proyectar la toma de decisiones en el uso y manejo del recurso suelo.

Enfatizando en la erosión agrícola, esta es una de las perturbaciones humanas más destructivas para la sostenibilidad del suelo (Montgomery, 2007; Amundson *et al.*, 2015). Se ha encontrado que las tasas estimadas de erosión en tierras cultivables o de pastoreo intensivo son 100-1000 veces más altas que las tasas naturales de erosión. Estas tasas también son mucho más altas que las conocidas de formación de suelos (FAO & ITPS, 2015), que típicamente están muy por debajo de 1 tonelada  $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$  con valores cercanos a 0,15 toneladas  $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$ . La gran diferencia entre las tasas de erosión bajo la agricultura convencional y las tasas de formación del suelo, implica poca o nula sostenibilidad del recurso y que el mismo está sometido a un sistema esencialmente extractivo.



**Figura 9.1.** Funciones del suelo, versión adaptada.

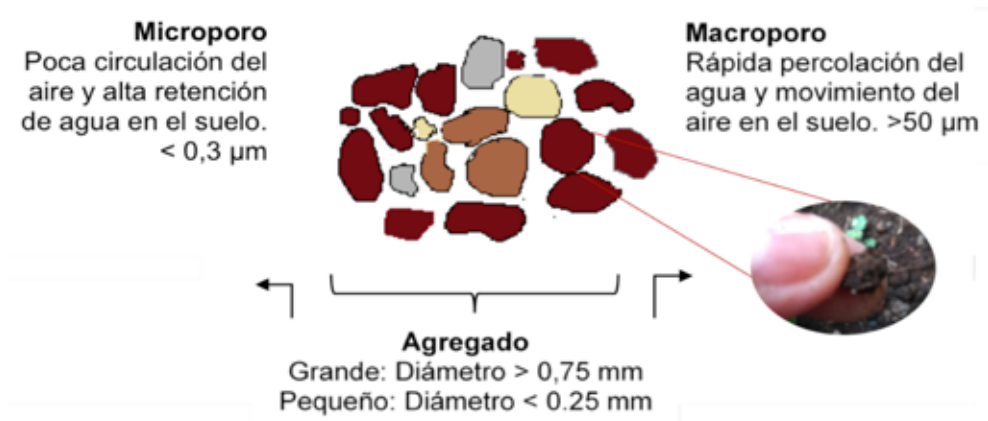
Fuente: FAO (2015).

### 9.2.1. ¿Qué es la erosión del suelo y cuáles son sus efectos?

La erosión del suelo implica la descomposición, desprendimiento, transporte y redistribución de las partículas edáficas por fuerzas del agua, el viento o la gravedad (Bronick & Lal, 2005). La erosión inicia por el desprendimiento de las partículas primarias, que expone la tierra al movimiento lateral, a través de procesos físicos debidos a la lluvia, el viento o la excavación del suelo por meso y/o macrofauna. Durante esta fase, los agregados se rompen exponiendo la materia orgánica, que se había protegido físicamente dentro de los mismos, a la pérdida por descomposición y transporte en formas disueltas o particuladas. Durante la fase de transporte lateral de la erosión del suelo, se pueden romper más agregados y disolver los compuestos bioquímicos constituyentes (Berhe *et al.*, 2014).

Los agregados del suelo son partículas en forma de pequeños terrones que agrupan las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla) uniéndolas y agrupándolas entre sí por fuerzas cohesivas y sustancias derivadas de exudados de raíces y de la actividad microbiana, estos agregados permiten la circulación del aire y el agua en el suelo (Figura 9.2). Cuando por diversas razones se pierde la agregación, los efectos se manifiestan en su capa arable, pobre o sin materia orgánica, afectando el movimiento del agua y la tenacidad de los suelos para retenerla, así como la retención de nutrientes, expansión de las raíces e intercambio gaseoso de  $O_2$  y  $CO_2$  con la atmósfera.

La conservación de la materia orgánica del suelo es la base para formar agregados más grandes y resistentes a la erosión por su efecto cementante, al tiempo que nutre la vida edáfica y contribuye de forma vital con su fertilidad. La fertilidad del suelo se ve favorecida por la productividad primaria y el reciclado de nutrientes (Martín-López *et al.*, 2012), así como la actividad microbiana del suelo, que es de vital importancia para el proceso de reciclado de nutrientes y cuya interacción con las plantas está estrechamente ligada, al ser considerados indicadores biológicos de la calidad del suelo (Saccá *et al.*, 2017). Por lo tanto, la conservación de la materia orgánica es vital para mantener un suelo bien agregado y más resistente a la erosión (erodabilidad) (Franzluebbers, 2002).



**Figura 9.2.** Agregado del suelo y tamaño de los poros donde los más grandes, son utilizados para la circulación del agua y el aire y la microporosidad corresponde al volumen de poros más finos, responsables del almacenamiento del agua.

### 9.2.2. ¿Cómo prevenir la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes?

La erosión del suelo es un factor clave en el proceso de degradación de la tierra que compromete la alimentación de todas las formas de vida en el planeta, luego, prevenirla y controlarla es un compromiso de conservación y reparación inaplazable para la humanidad. A pesar de la importancia de la conservación del suelo, la implementación de prácticas para minimizar su erosión y conservar la fertilidad del mismo, no ha sido acorde a la gravedad del problema, principalmente por la priorización de mayores rendimientos, anulando la implementación de técnicas recomendadas de conservación del suelo y el agua (Berhe *et al.*, 2014).

Las propiedades del suelo, la topografía, el clima, la genética de los cultivos y los avances en las prácticas agrícolas constituyen un complejo de factores que inciden directamente y de modo variable en la calidad del suelo, lo que dificulta severamente en la predicción de la pérdida de suelo y la redistribución por erosión sobre la productividad de los cultivos (Gruver, 2013; Kaniu & Angeyo, 2015). La erosión del suelo se ve acelerada por la tolerancia a agroquímicos y a la capacidad de auto-recuperarse (Li *et al.*, 2009). A continuación, se relacionan en la Tabla 9.1, algunas recomendaciones de conservación para evitar o remediar la erosión y conservar la fertilidad del suelo.

**Tabla 9.1.** Recomendaciones de conservación para evitar o remediar la erosión del suelo y conservar la fertilidad del mismo (Awale et al., 2017; USDA, 2018a).

1. Evitar cambios inadecuados de forma en el uso de la tierra, como la deforestación o conversión inadecuada de pastizales a tierras de cultivo que provocan la eliminación de la cobertura superficial y reducción de carbono en el suelo.



**Figura 9.3.** Diagnóstico del estado del suelo.

Fuente: MADS (2016).

2. Mantener una cubierta de plantas en crecimiento u otros residuos orgánicos e inorgánicos que protejan la superficie del suelo de la erosión mediante implementación de medidas apropiadas como *mulch*, labranza mínima, siembra directa, enfoques agroecológicos, tráfico controlado de vehículos, cobertura continua de plantas y rotación de cultivos, cultivos en franjas, agrosilvicultura, cinturones de protección, y niveles adecuados de carga e intensidad de pastoreo. El uso de coberturas vegetales y la rotación de cultivos protegen el suelo de la pérdida de nutrientes y le aportan materia orgánica (Dossman et al., 2009), que junto con procesos como la fijación de nitrógeno y la mineralización de la materia orgánica, mantienen la fertilidad del suelo (Farfán, 2014). La biofertilización se ha convertido en una herramienta clave y prometedora para propender la sostenibilidad de los suelos, pues a través del uso de bacterias, hongos, algas y consorcios microbianos ha sido posible incrementar la capacidad de fijar nitrógeno molecular, solubilizar el fósforo, retener agua y mantener las poblaciones de organismos plagas/patógenos controladas en suelos con diferentes grados de degradación o contaminación (Schütz et al., 2018).



**Figura 9.4.** Manejo de residuos de cultivos para mejorar la calidad del suelo.

Fuente: USDA (2018b).

3. La erosión por agua en terrenos inclinados y relativamente empinados debe reducirse al mínimo mediante medidas que reduzcan la velocidad y las tasas de escorrentía, como cultivos en franjas, siembra en contorno, rotación de cultivos, cultivos intercalados, agroforestales, barreras transversales (por ejemplo, franjas de césped, bordes de contornos y líneas de piedra), construcción y mantenimiento de terrazas, y canales de agua o bandas de protección vegetal.
  
4. Cuando corresponda, amortiguadores ribereños, bandas amortiguadoras, humedales, recolección de agua y se deben utilizar / instalar cultivos de cobertura para minimizar la exportación de partículas de suelo, nutrientes y contaminantes asociados del sistema de suelo y proteger las áreas aguas abajo de impactos perjudiciales. La erosión debida al viento, incluidas las tormentas de polvo, debe minimizarse y mitigarse a través de barreras eólicas vegetativas (árboles y arbustos) o artificiales (muros de piedra) para reducir la velocidad del viento.



**Figura 9.5.** Diagnóstico del estado del suelo.

Fuente: MADS (2016).

### 9.2.3. ¿Cómo calcular las tasas de erosión?

Los factores ambientales que controlan la erosión del suelo incluyen el tipo de roca, suelo, clima, topografía, vegetación y las actividades humanas (Sepuru & Dube, 2018). Las tasas de erosión del suelo varían ampliamente entre países y están influenciadas principalmente por la pendiente del suelo, las precipitaciones anuales y el enfoque de análisis (escala, métodos y periodos de estudio) (Ruiz *et al.*, 2015; Sepuru & Dube, 2018).

Se estima que la tasa de erosión del suelo en los sistemas agrícolas de cultivo intensivo son de magnitud mayor que las tasas naturales de erosión (Berhe *et al.*, 2014) y a su vez tasas de erosión de agricultura de conservación menores que la agricultura convencional con estimaciones promedio de  $0,13 \pm 0,02 \text{ mm año}^{-1}$  y  $3,94 \pm 0,321 \text{ mm año}^{-1}$ , respectivamente (Montgomery, 2007).

La erosión hídrica es la forma más extendida de degradación del suelo a nivel mundial causando el 56% de degradación, seguida por la erosión eólica, degradación física y degradación química con 28%, 12% y 4%, respectivamente. La erosión hídrica acelerada degrada los suelos agrícolas de tres formas principales: pérdida de materia orgánica, disminución del suministro de nutrientes y deterioro de la función hidrológica (Gruver, 2013). El mecanismo más generalizado para estimar la erosión del suelo es a través de la erosión hídrica (Amundson *et al.*, 2015); sus tasas pueden ser estimadas midiendo la pérdida de masa del suelo durante un período de tiempo específico a partir de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), con la que es posible predecir la pérdida anual promedio de suelo "A" por unidad de área. La ecuación es  $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$  y multiplica varios factores para llegar a la tasa de erosión anual. El factor R se basa en la lluvia y la escorrentía, mientras que K es el factor de erosión del suelo y depende del tipo de suelo; los factores L y S, generalmente se consideran juntos y son medidas de la longitud y la inclinación de una pendiente; el factor C, o el factor de manejo del cultivo, y el factor P, o factor de práctica de apoyo, sólo se aplican a tierras de cultivo o tierras que se manejan para conservar el suelo.

Aunque la USLE se derivó para medir la erosión de las tierras de cultivo, es globalmente aplicable, en forma modificada, a muchos tipos de problemas de erosión hídrica; algunas de las modificaciones incluyen mapas de isolíneas para el índice de erosionabilidad, procesos de heladas, diferentes procesos de cálculo, otros sub-factores y consideraciones de prácticas agrícolas, y cálculos para eventos particulares (Renard *et al.*, 2011; Blue, 2017).

### **9.3. Efecto de la erosión y la fertilidad del suelo en las comunidades humanas**

Las propiedades del suelo y sus interacciones afectan los bienes y servicios que presta este ambiente, en gran medida por su uso y manejo (Adhikari & Hartemink, 2016). La prevención de la erosión y la conservación de la fertilidad del suelo, como servicios ecosistémicos prestados por el sistema del suelo y combinados con capital financiero y humano, generan grandes beneficios a las comunidades. La valoración ecológica, económica, social o cultural de este recurso (IDEAM, U.D.C.A., 2015a), debido a su oferta de bienes y servicios ecosistémicos, es vital para generar incentivos que permitan establecer sistemas de producción limpios y sostenibles. El número de personas que se benefician de la regulación de la erosión y la fertilidad del

suelo, es de un alto valor a reconocer, sin embargo, sólo se valoran estos servicios cuando el vínculo entre ecosistema-bienestar es explícitamente reconocido (Pérez & Marasas, 2013). Por ejemplo, un sistema agropecuario, gestionado sinérgicamente a través del mantenimiento ambiental de sus suelos y sus recursos hídricos, tiene menos posibilidades de causar problemas serios de erosión y garantiza la productividad, lo que promoverá sostenibilidad económica y simultáneamente tendrá una mejora en la seguridad y calidad alimentaria (Lemaire *et al.*, 2014).

La agricultura y la ganadería son actividades consideradas ambientalmente depredadoras que afectan las propiedades del suelo (Dossman *et al.*, 2009), razón por la cual, el uso excesivo de las mismas causa agotamiento de nutrientes (IDEAM, U.D.C.A., 2015b) y pérdida de materia orgánica (Otero *et al.*, 2011). A su vez, mientras que el residuo de origen animal y del leve pastoreo puede contribuir como fuente de nutrientes y ayudar a mantener la fertilidad del suelo en pastos y cultivos de interés agrícola, el ganado puede ocasionar erosión y degradación del suelo como resultado del pastoreo excesivo (Rakkar & Blanco-Canqui, 2018), requiriendo así de prácticas que incluyen rotación de cultivos, implementación de residuos de cosecha, aplicación de fertilizantes de origen biológico u orgánico y el uso de coberturas vegetales (Tabla 9.1), para preservar las funciones, calidad y consecuentemente los bienes y servicios que presta el suelo.

Suelos fértiles son indicadores de suelos poco erosionados que favorecen la regulación hídrica, por lo que supone una mejora en el suministro de otros servicios ecosistémicos (Martín-López *et al.*, 2012). Por otro lado, suelos erosionados son pobres en nutrientes debido a las pérdidas de las partículas de suelo, la materia orgánica y la lixiviación o el agotamiento de los nutrientes (Rodríguez *et al.*, 2009). Adicionalmente, los procesos de erosión del suelo causan un fuerte deterioro en la prestación de los servicios ecosistémicos que el suelo ofrece y en las comunidades que lo usan para sus actividades productivas (Dossman *et al.*, 2009), especialmente si el suelo va acompañado de características físicas, químicas y biológicas deficientes (Castro-Romero *et al.*, 2014; Saccá *et al.*, 2017).

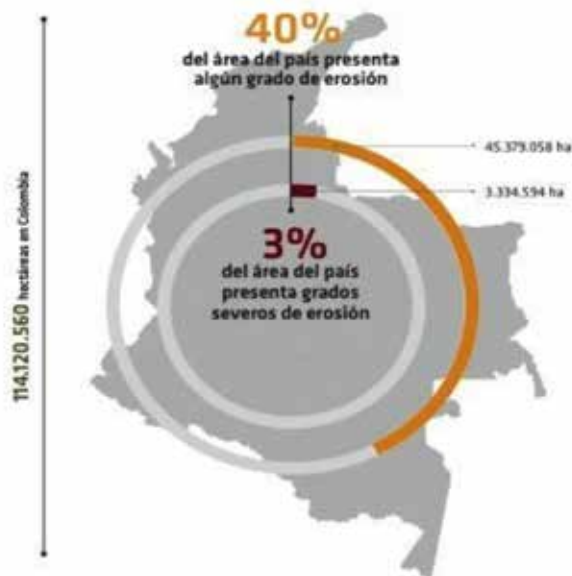
#### **9.4. Consideraciones finales**

El sistema suelo ofrece diversos servicios ecosistémicos y sustenta diferentes procesos que mejoran la calidad de vida de las personas. Si bien es cierto que la funcionalidad del suelo es ampliamente aprovechada de forma antrópica, el suelo no es una

pertenencia de la humanidad y tampoco un sistema que brinda servicios inagotablemente. El suelo es un sistema que articula una red funcional para la vida, en la cual la humanidad, como todos los seres vivos tiene funciones para la sustentabilidad de este recurso vital. Por lo tanto, conservar el suelo, previniendo su degradación mediante el uso de prácticas de gestión que mantengan su estabilidad, buscando mejorar sus propiedades físico-químicas y estimulando la actividad de macro y microorganismos; podría minimizar su alteración y en consecuencia obtener beneficio de sus funciones y servicios sin la incertidumbre del agotamiento del recurso.

### 9.5. Estudio de caso

De acuerdo a la Información de los departamentos colombianos con los indicadores de magnitud y severidad de la erosión de los suelos, como porcentaje afectado de su área total el IDEAM - U.D.C.A (2015a) reportó que el 40% del territorio colombiano presenta algún grado de erosión y el 3% grados severos de erosión (Figura 9.6). Los departamentos con magnitud de erosión superior al 70% respecto a su área son: Atlántico, Boyacá, Caldas, César, Córdoba, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Quindío, Santander, Sucre y Tolima. Los departamentos más afectados por la severidad de la erosión, respecto a su área, son: Atlántico, Boyacá, Cesar, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Norte de Santander, Santander, Sucre, Tolima y Valle del Cauca.



**Figura 9.6.** Magnitud y severidad de la erosión en Colombia.

Fuente: IDEAM, U.D.C.A. (2015).



El Valle del Cauca hace parte del grupo de departamentos más afectados por la severidad de la erosión por lo tanto a continuación se hace referencia a una experiencia de recuperación de suelos degradados en este departamento, donde gestionó un proyecto para la recuperación de suelos en once municipios que anteriormente sustentaban diversos tipos de bosques, sin embargo, al ser utilizados para producción agrícola quedaron desprotegidos y susceptibles a procesos de erosión. El proyecto consistió en la implementación del uso de especies nativas, manejo y siembra de árboles frutales, uso eficiente del agua y la producción de abonos orgánicos. Allí, se intervinieron 689 ha destinadas a la producción agrícola y pecuaria con el propósito de garantizar la protección del suelo, como resultado se logró que 214 familias, de los once municipios, revitalizaran los suelos erosionados de sus fincas agropecuarias (Agenda de Noticias Universidad Nacional de Colombia, 2017).

## 9.6. Evaluación del capítulo

La caficultura orgánica es una forma de producir café de alta calidad, protegiendo los recursos naturales y con motivación de beneficios económicos; lo que hace que los caficultores orgánicos pueden obtener un mejor precio por su café (Kuepper *et al.*, 2005). Para obtener certificación orgánica, entre otros requerimientos de conservación es prioritario preservar la fertilidad natural de los suelos, reduciendo la erosión. "La certificación orgánica asegura la generación de un producto, bajo procesos acordes a estándares ecológicos y/o ambientales, desde el campo hasta el mercado" (CERES, 2018). En Colombia, los procesos de certificación están regulados por la resolución No. 00544 del 21 de diciembre de 1995. De acuerdo a lo anterior, usted como productor o asesor en la producción agrícola ¿Cómo proyectaría paso a paso la certificación de un cultivo orgánico a partir del uso y manejo de suelos? Tenga en cuenta el cultivo, localidad y todos los factores necesarios que le permitan realizar una acertada proyección.

---

## Referencias

- Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services—A global review. *Geoderma*, 262, 101-111.
- Agencia de Noticias UN. (2017). Recuperan suelos erosionados del Valle del Cauca. Recuperado de: <http://www.palmira.unal.edu.co/index.php/noticias/unnoticias/297-recuperan-suelos-erosionados-del-valle-del-cauca>.
- Amundson, R., Berhe, A. A., Hopmans, J. W., Olson, C., Sztein, A. E., & Sparks, D. L. (2015). Soil and human security in the 21st century. *Science*, 348(6235), 1261071.

- Awale, R., Machado, S., Ghimire, R., & Bista, P. (2017). Soil Health. En G. Yourgey & C. Kruger (Eds). *Advances in Dryland Farming in the Inland Pacific Northwest* (pp.47-97). Washington, US: Washington State University.
- Barrios, E., (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64 (2), 269–285.
- Baveye, P.C., Baveye, J., & Gowdy, J. (2016). Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 41.
- Berhe, A.A., Arnold, C., Stacy, E., Lever, R., McCorkle, E. & Araya, S.N. (2014). Soil erosion controls on biogeochemical cycling of carbon and nitrogen. *Nature Education Knowledge* 5(8), 2.
- Blue, M.L. (2017). *How to Calculate Erosion Rate*. Recuperado de: <https://sciencing.com/calculate-erosion-rate-6118473.html>
- Brammer, H. & Nachtergaele, F.O. (2015). Implications of soil complexity for environmental monitoring. *International Journal of Environmental Studies*, 72(1), 56-73.
- Bringezu, S., Schütz, H., Pengue, W., O'brien, M., García, F., Sims, R., & Herrick, J. (2014). *Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124.
- Castro-Romero, M., Valdés-López, C., Barrera-Cataño, J.I. (2014). Prioridades de restauración ecológica del suelo y sus servicios ecosistémicos asociados, degradados por uso agropecuario en la microcuenca Santa Helena (Suesca-Cundinamarca). *Caldasia*, 36(1), 37:52.
- CERES. (2018). *Certificación Orgánica*. Certification Of Environmental Standards Colombia. Recuperado de <http://cerescolombia-cert.com/sector-de-servicios/certificacion-organica/>
- De Vries, F.T., Liiri, M.E., Bjørnlund, L., Bowker, M.A., Christensen, S., Setälä, H.M., & Bardgett, R.D. (2012). Land use alters the resistance and resilience of soil food webs to drought. *Nature climate change*, 2(4), 276.
- Dominati, E.J. (2013). *Natural capital and ecosystem services of soils. Ecosystem services in New Zealand—Conditions and trends*. Manaaki Whenua, New Zealand: Press Lincoln.
- Dossman, M.A., Arias-Giraldo, L.M. & Camargo, J.C. (2009). Identificación y valoración de los servicios ecológicos prestados por los suelos bajo distintas coberturas en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 58, 17-24.
- FAO. (1996). *Cumbre Mundial sobre la Alimentación*. 13 - 17 de Noviembre de 1996. Roma, Italia: Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/X2051s/X2051s00.htm>
- FAO. (2015). *Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de: <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- FAO & ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>.

- Farfán V. F. (2014). Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café. Manizales, Caldas (Colombia): Cenicafé.
- Fitter, A.H., Gilligan, C.A., Hollingworth, K., Kleczkowski, A., Twyman, R.M., Pitchford, J.W., & Members of the NERC Soil Biodiversity Programme. (2005). Biodiversity and ecosystem function in soil. *Functional Ecology*, 19(3), 369-377
- Franzluebbers, A.J. (2002). Soil Organic Matter Stratification Ratio as an Indicator of Soil Quality. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 95-106.
- Ghaley, B.B., Porter, J.R. & Sandhu, H.S., (2014). Soil-based ecosystem services: a synthesis of nutrient cycling and carbon sequestration assessment methods. *International Journal of Biodiversity, Science. Ecosystem Services & Management*, 10(3), 177-186.
- Gordon, L.J. & Enfors, E. (2008). Land degradation, ecosystem services and resilience of small-holder farmers in Makanya catchment, Tanzania. In: D., Bossio, K., Geheb. (Eds). *Conserving land, protecting water* (pp 33-50). Wallingford, UK: CAB International.
- Gruver, J.B. (2013). Prediction, Prevention and Remediation of Soil Degradation by Water Erosion. *Nature Education Knowledge*, 4(12), 2.
- IDEAM, U.D.C.A. (2015a). *Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Hidrología y Meteorología de Estudios Ambientales – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>
- IDEAM, U.D.C.A., (2015b). *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión*. Bogotá D.C., Colombia: Colombia: Instituto de Hidrología y Meteorología de Estudios Ambientales – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible- Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023647/Protocolo-erosion.pdf>
- IGAC. (2016). *30 prácticas que evitarían el deterioro del suelo, recurso natural del que pocos hablan*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Recuperado de: <http://noticias.igac.gov.co/30-practicas-que-evitarian-el-deterioro-del-suelo-recurso-natural-del-que-pocos-hablan/>.
- Jaramillo, D.F. (2004). *El recurso suelo y la competitividad del sector agrario Colombiano*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional.
- Kaniu, M.I., & Angeyo, K.H. (2015). Challenges in rapid soil quality assessment and opportunities presented by multivariate chemometric energy dispersive X-ray fluorescence and scattering spectroscopy. *Geoderma*, 241, 32-40.
- Kuepper, G.; Riddle, J.; Ford, J.; Bowman, C.; Moynihan, M. (2005). *Forms, Documents, and Sample Letters for Organic Producers*. The National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA). Recuperado de: [www.attra.ncat.org](http://www.attra.ncat.org)
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., de Faccio Carvalho, P.C., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 4-8.
- Li, L., Du, S., Wu, L. & Liu, G. (2009). An overview of soil loss tolerance. *Catena* 78, 93- 99.
- Martín-López, B., González, J.A., Vilarly, S.P., Montes, C., García-Llorente, M., Palomo, I. & Aguado, M. (2012). Guía docente ciencias de la sostenibilidad. Universidad del Magdalena, Instituto Humboldt y Universidad Autónoma de Madrid.

- MADS. (2016). *Política para la gestión sostenible del suelo*. Bogotá D.C., Colombia Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Montgomery, D.R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 13268–13272 doi:10.1073/pnas.0611508104.
- Otero, J.D. Figueroa, A., Muñoz, F.A. & Peña, M.R. (2011). Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering*, 37: 2035-2043.
- Pérez, M. & Marasas, M.E. (2013). Servicios de regulación y prácticas de manejo: aportes para una horticultura de base agroecológica. *Ecosistemas*, 22(1), 36-43.
- Rakkar, M. K., & Blanco-Canqui, H. (2018). Grazing of crop residues: Impacts on soils and crop production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 71-90.
- Renard, K.G., Yoder, D.C., Lightle, D.T., & Dabney, S.M. (2011). Universal Soil Loss Equation and Revised Universal Soil Loss Equation. En R.P. Morgan & M.A. Nearing (Eds). *Handbook of Erosion Modelling* (pp. 137-167). Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Rodríguez, J.A. & Camargo, J.C. (2009). Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 58, 25-31.
- Rodríguez, J.A., Sepúlveda, I.C., Galvis, J.H. & Camargo, J.C. (2009). Pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona Andina de Colombia. *Acta Agronómica*, 58(3), 160-166.
- Rojas, C., Bocanegra, J.L. & Mariño, J. (2014). Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la gestión del suelo-subsuelo. *Opera*, 14, 9-26.
- Ruiz, D.M., Martínez, J.P. & Figueroa, A. 2015. Agricultura sostenible en ecosistemas de alta montaña. *Bioteología del Sector Agropecuario*, 13(1), 129-138.
- Saccá, M.L., Caracciolo, A.B., Di Lenola, M. & Grenni, P. (2017). Ecosystem services provided by soil microorganisms, Chapter 2. In: M., Lukac, P., Genni & M., Gamboni (Ed). *Soil biological communities in ecosystems resilience* (pp. 9-24). Switzerland: Springer International Publishing AG.
- Schulte, R.P.O., Creamer, R.E., Donnellan, T., Farrelly, N., Fealy, R., O'Donoghue, C., & Oh'uallachain, D. (2014). Functional land management: a framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science & Policy*, 38, 45–58. doi: 10.1016/j.envsci.2013.10.002.
- Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P., & Mathimaran, N. (2018). Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 1-13.
- Sepuru, T.K., & Dube, T. (2018). An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9, 1-9.
- Soka, G. & Ritchie, M. (2014). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and ecosystem processes: Prospects for future research in tropical soils. *Open Journal of Ecology*, 4(1), 11-22.
- USDA. (2018). *Natural Resources Conservation Service. Land Use: cropland – Erosion*. United States Department of Agriculture. Recuperado de: [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/landuse/crops/erosion/?cid=nrcs143\\_023947](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/landuse/crops/erosion/?cid=nrcs143_023947)
- USDA. (2018). Soil Health Management. Soil Health Management. United States Department of Agriculture. Recuperado de: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/mgmt/>



# CAPÍTULO 10

---

## POLINIZACIÓN

Mery Rocío Fonseca Lara

Juan Sebastián Chiriví Salomón

Angélica Rocío Guzmán Lenis

Yolvi Prada Millán, Juliana Moraes Boldini<sup>19</sup>

Silvia Eugenia Barrera Berdugo<sup>20</sup>

### 10.1. Introducción

En términos generales, la polinización es la transferencia de polen desde los estambres (masculino) hasta el estigma (femenino) de la flor, efectuando así la fecundación y, por lo tanto, la producción de frutos y semillas (FAO, 2014). Dicha transferencia se puede realizar por medio del viento, agua y agentes bióticos (IP-BES, 2016). Las angiospermas en su gran mayoría dependen de los agentes bióticos, únicamente el 2.7% depende del agua como vector de polen y el 13% del viento (Buchmann & Nabhan, 1996). Kearns & Inouye en 1997, ofrecieron información donde establecen que esta función aparece desde el Cretácico, influyendo así en la evolución de las angiospermas.

El 35% de la producción agrícola mundial depende prácticamente de un agente polinizador. Cuando se habla de agente polinizador pueden ser aves o insectos quirópteros, himenópteros, dípteros, lepidópteros e incluso coleópteros (FAO, 2014). Las abejas (*Insecta: Hymenoptera*) son quienes por excelencia se encargan de esta labor (Pantoja *et al.*, 2014). Adicional a esto, la funcionalidad de un ecosistema no solo depende de su diversidad sino de la interacción entre aquellos que lo conforman, en ese sentido la polinización juega un papel primordial en dicha dinámica (Parra *et al.*, 2016). Teniendo en cuenta lo anterior, no se puede dejar por fuera la polinización cuando se discute sobre seguridad alimentaria, pues

---

<sup>19</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.

<sup>20</sup> Investigadora Universidad Industrial de Santander.

Correos electrónicos de contacto: mery.fonseca@unad.edu.co, juan.chirivi@unad.edu.co

cultivos como el cacao, tomate, aguacate, frijol, café, maracuyá, gulupa, mango, manzana, entre otros, dependen de este servicio ecosistémico. Adicional a esto, se estima que el valor monetario de este servicio se encuentra entre los ciento cincuenta y tres (153) billones de euros anuales (casi más de quinientos mil billones de pesos colombianos), representando así, aproximadamente el 9,5% del valor total de la producción alimentaria a nivel mundial (Baptiste, 2016).

En los últimos años, las actividades antrópicas han generado un declive considerable y acelerado en los agentes polinizadores, tanto así que la Organización de las Naciones Unidas (ONU), advirtió una inminente disminución de los mismos, los cuales juegan un papel importante en la agricultura a nivel mundial. Actividades antrópicas como la fragmentación del hábitat, introducción de especies, crecimiento demográfico y calentamiento global amenazan la preservación de este servicio ecosistémico (Allen *et al.*, 1998). Colombia ratificó, mediante la Ley 165 de 1994, el Convenio de Diversidad Biológica, donde se compromete a dar cumplimiento a los compromisos y mandatos pactados en su momento; de acuerdo a esto, la Iniciativa Colombiana de Polinizadores, Capítulo Abejas, surge en primera medida en cabeza de la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Posteriormente, el mismo instituto plantea la Estrategia Nacional de Polinizadores, la cual se encuentra en construcción. Dichos trabajos coinciden en la necesidad de conservar y enfatizar el uso adecuado de los polinizadores en el país, generar conocimiento sobre el estado actual de los polinizadores y finalmente incluir a la polinización dentro de las principales políticas referentes a conservación y uso de la biodiversidad.

Este capítulo tiene el objetivo de dar a conocer, mediante un enfoque introductorio, las experiencias identificadas en cuanto a la información, manejo y conservación del servicio ecosistémico de la polinización con un énfasis particular en los insectos y los cultivos agrícolas a nivel nacional dando a conocer casos específicos en el occidente colombiano.

## **10.2. Polinización como servicio ecosistémico**

La polinización desempeña un papel fundamental en la regulación de los procesos ecológicos y los componentes de soporte que son de vital importancia en el planeta (de Groot *et al.*, 2002). En términos generales, la polinización es un proceso que ocurre en las angiospermas (plantas con flores), donde se transporta

el grano de polen desde la antera para finalmente llegar al estigma de la misma especie (Amaya, 2016), generando así la fecundación y, por consiguiente, la producción de flores y semillas (Pantoja *et al.*, 2014). Un agente polinizador puede ser abiótico (viento), o biótico como algunos insectos, mamíferos (algunas especies de murciélagos) e incluso aves, como por ejemplo algunas especies de colibríes. Estos polinizadores visitan las flores principalmente por su néctar o polen como alimento; sin embargo, adicional a esto se ha reportado que estos animales en algunas ocasiones también recolectan aceites, resinas o fragancias (IPBES, 2016). En cuanto a las flores, estas son estructuras complejas que cuentan con órganos fértiles como los estambres y carpelos, y a su vez están constituidas por partes infértiles, como los pétalos y sépalos; estos últimos le ofrecen protección a la parte reproductiva de la flor, adicionalmente atraen a los visitantes florales y polinizadores como tal (Amaya, 2016). En este orden de ideas, las plantas atraen a quienes las visitan por medio de su forma, el néctar, el color y los aromas para su reproducción y defensa (Pacini *et al.*, 2008).

Raguso (2008), menciona que los volátiles de los aromas florales son por excelencia la forma de comunicación entre la planta y su polinizador, así mismo, entre sus depredadores. Grajales-Conesa & colaboradores (2011), concluyen que los volátiles pertenecientes a cada planta poseen una estrecha relación con su polinizador, en algunas ocasiones es específica. De acuerdo con lo anterior, se ha identificado que los compuestos de los volátiles referente a los aromas de las flores y que están relacionados con la polinización inciden considerablemente en la producción y desarrollo de frutos que para la humanidad tienen importancia económica (Grajales *et al.*, 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, Aizen & colaboradores (2009), coinciden en que una gran mayoría de frutales y vegetales de interés agropecuario a nivel mundial dependen de la polinización. De 1.330 cultivos tropicales, aproximadamente el 70% obtiene mejor calidad y cantidad gracias a la polinización (Roubik, 1995). En consecuencia, es evidente que la polinización podría llegar a influir de forma directa en la seguridad alimentaria a nivel mundial, independiente del tipo de cultivo y/o posición geográfica. Además de contribuir con la producción alimentaria, incide también en la producción de medicamentos, biocombustibles (aceite de palma), fibras como el algodón y materiales de construcción como la madera. Culturalmente también es importante pues, por ejemplo, las abejas son protagonistas de las principales religiones del mundo (IPBES, 2016).

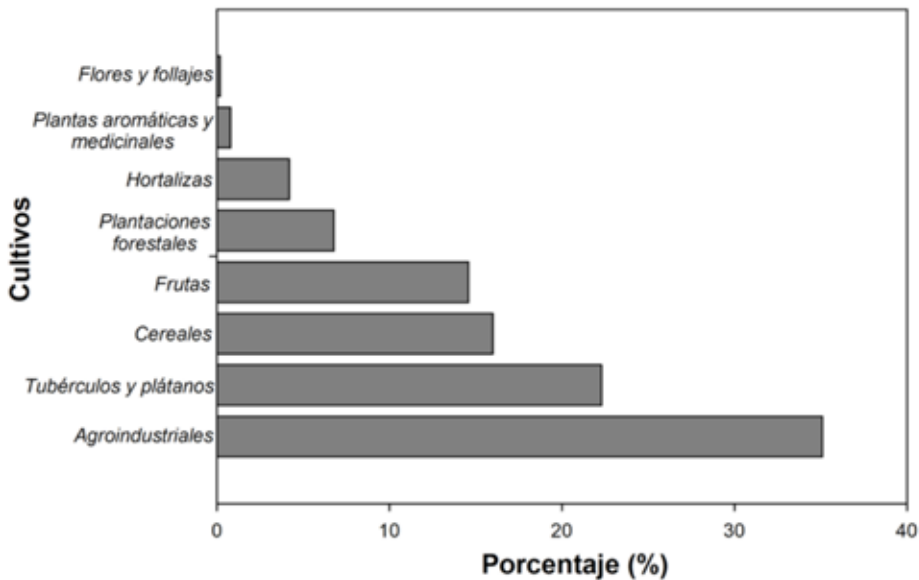
Las cifras antes mencionadas hacen que los investigadores inicien con la valoración de este indispensable servicio ecosistémico y estiman que, tan solo en Estados Unidos, el valor de los polinizadores es de 400 mil millones de dólares al año (Arismendi, 2009). Para los países de América Latina, por ejemplo, los cultivos de café en Costa Rica que se encuentran cerca de los bosques, pueden ser hasta 20% más productivos generando unas ganancias netas de 229 mil dólares por hectárea al año (Bovarnik *et al.*, 2010). Según Baptiste en 2016, a nivel global se estima que la polinización contribuye con aproximadamente 153 billones de euros al año a nivel mundial, representando así un 9.7% de la producción total de alimento.

Cabe resaltar que la valoración de este servicio depende de cada condición y característica propia de donde se evalúe (Hein *et al.*, 2006). Asimismo, esta valoración debe entenderse como una estrategia más para la conservación y uso sostenible de los servicios ecosistémicos (Herrera, 2009), siendo esta una herramienta más en la toma de decisiones.

### **10.3. Polinización y agricultura en Colombia**

Como se mencionó, la polinización es un proceso indispensable para la producción de alimentos, pues un gran porcentaje de los productos agrícolas a nivel mundial dependen, directa o indirectamente, de sus agentes polinizadores. Según el Censo Nacional Agropecuario del 2014, un total de 43.024.740 hectáreas son de uso agropecuario, es decir un 38,6% del territorio nacional. De esos 43 millones de hectáreas, un 19% corresponde a un uso netamente agrícola; de los cuales, ocho grupos de cultivo corresponden a: flores y follajes (0,2%), plantas aromáticas y medicinales (0,8%), hortalizas (4,2 %), plantaciones forestales (6,8%), frutas (14,6%), cereales (16%), tubérculos y plátanos (22,3%) y agroindustriales (35,1%) (DANE, 2016) (Figura 10.1).





**Figura 10.1.** Participación (%) de grupos de cultivos por hectáreas en suelos de uso agrícola.

Fuente: Autor.

Dentro de estos grupos, se destacan productos de interés económico nacional que son tipo exportación como el café, el cacao, el banano, la palma aceitera y bastantes tipos de flores (Batipste, 2016); al café lo polinizan abejas como la *Apis mellifera* y *Paratrigona eutaeniata* (Cepeda *et al.*, 2014); en cuanto al cacao la mosquita *Forcipomyia* spp. es quien se encarga de polinizar (Winder, 1978). Adicional a esto, productos de consumo interno como los cítricos, el aguacate, la gulupa y el maracuyá, también dependen de un agente polinizador (Batipste, 2016). Para el aguacate, *A. mellifera* (Castañeda-Vildózola *et al.*, 1999), la gulupa es polinizada por el abejorro del género *Xylocopa* (Ocampo & Posada, 2012) y el colibrí diamante de frente azul, *Amazilia cyanifrons* (Parra *et al.*, 2016). Para lo referente al maracuyá, nuevamente el abejorro del género *Xylocopa*, se reporta como polinizador.

La abeja de la especie *A. mellifera* es una de las más estudiadas. En el capítulo abejas de la Iniciativa Colombiana de Polinizadores, sus autores resaltan la importancia de esta especie como polinizadora en diferentes cultivos que se producen en Colombia, incluso algunos mencionados en el párrafo anterior. En el mismo documento y citando a Roubik, (1995), la especie se considera como el principal agente polinizador en varios cultivos de interés agrícolas (Tabla 10.1).

#### 10.4. Polinización en ecosistemas urbanos en Colombia

En ambientes urbanos y semi-rurales, los agentes polinizadores desempeñan un papel fundamental en términos de resiliencia, pues no sólo ejercen un papel de conectividad reproductiva entre individuos de la misma especie mediante el transporte de polen (Ramírez-Segura & Wallace, 2016), también efectúan un papel de conservación de los programas de silvicultura urbana al ser reguladores genéticos naturales de diferentes especies arbóreas que conforman las ciudades (Hall *et al.*, 2016).

A pesar de que estos ecosistemas son en extremo aberrantes para la biodiversidad, pues corresponden a alteraciones importantes de los ecosistemas naturales (McKinney, 2002), es notorio que las ciudades se han vuelto nichos naturales o reservorios de animales, plantas y microorganismos, que son derivados de ambientes naturales y que se han adaptado a estas condiciones extremas de contaminación gracias a los parques y los corredores verdes (Goddard *et al.*, 2010; Ramírez-Segura & Wallace, 2016), especialmente de aquellas ciudades como Bogotá y Medellín, que presentan altos niveles de material particulado (Nación, 2016).

**Tabla 10.1.** Cultivos polinizados por *Apis mellifera* en Colombia.

Nombre común	Especie	Autor/es del estudio
Café	<i>Coffea arabica</i>	Jaramillo (2012) Cepeda <i>et al.</i> , (2014).
Chamba	<i>Campomanesia lineatifolia</i>	Rodríguez <i>et al.</i> , (2015).
Cholupa	<i>Passiflora maliformis</i>	Rodríguez <i>et al.</i> , (2015).
Curuba	<i>Passiflora tripartita var. mollissima</i>	Mosquera (1994). Tello (2005).
Fresa	<i>Fragaria chiloensis</i>	Vásquez <i>et al.</i> (2006; 2011).
Granadilla	<i>Passiflora ligularis</i>	Girón (1990).
Gulupa	<i>Passiflora edulis f. edulis</i>	Medina-Gutiérrez <i>et al.</i> , (2012).
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Vásquez <i>et al.</i> , (2011).
Manzana	<i>Malus sp. cv Anna</i>	Botero & Morales (2000).
Mora	<i>Rubus glaucus</i>	Botero & Morales (1995). Santana (2000) Vásquez <i>et al.</i> , (2006; 2011).
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	León-Ruiz & Moreno-Sepúlveda (2006). Vásquez <i>et al.</i> , (2011). Castañeda <i>et al.</i> , (2012).
Pepino cohombro	<i>Cucumis sativus</i>	Mosquera (1989).
Pitaya	<i>Selenicereus megalantus</i>	Weiss <i>et al.</i> , (1994).
Uchuva	<i>Physalis peruviana</i>	Mosquera (2002). Chautá-Mellizo <i>et al.</i> , (2012)

Fuente: adaptado de: Iniciativa Colombiana de polinizadores. Capítulo abejas (2016). Capítulo 6. A. *mellifera* como polinizador de cultivos en Colombia

Particularmente, en el valle de Aburrá del Departamento de Antioquia, donde las concentraciones de material particulado de diámetro menor a  $2.5 \mu\text{m}$  son más altas y donde se presentan altos índices de afectación a grupos sensibles, los polinizadores como los cucarrones de las familias *Dascillidae* y *Curculionidae* (*Insecta: Coleoptera*), avispas de la familia *Vespidae* (*Insecta: Hymenoptera*), la abeja *Augochloropsis metallica*, individuos de la familia *Apidae* (*Insecta: Hymenoptera*) como *Bombus* sp. y *A. mellifera*, mariposas de la familia *Lycaenidae* (*Insecta: Lepidoptera*), colibríes de la especie *Amazilia tzacatl* y murciélagos de la especie *Glossophaga soricina*, tienen un papel importante en la regulación de los jardines (Alcaldía de Medellín & Secretaría de Medio Ambiente, 2017).

### 10.5. ¿Qué problemáticas ambientales afectan el servicio ecosistémico de la polinización?

Pese a tener clara la importancia de la polinización en términos de regulación y ciclado de nutrientes en cuanto al aspecto económico y social, este servicio ecosistémico no es ajeno a las diferentes problemáticas ambientales evidenciadas en los últimos años. El cambio climático ha causado alteraciones en cuanto a la distribución geográfica de algunos polinizadores (Sandoz & Román, 2016), por otro lado, Chacoff & Morales (2007), mencionaron que esta problemática ha incidido en la desestabilización entre la relación intraespecífica planta-polinizador, ya que como mencionan Torres, & colaboradores (2007), para algunos polinizadores las condiciones microclimáticas pueden llegar a ser incluso más importantes que la densidad de las flores.

Por otra parte, se ha evidenciado un declive en el hábitat de los polinizadores debido a la fragmentación de los ecosistemas y el uso desmedido de pesticidas (Arizmendi, 2009). De igual forma, el Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad de México, afirma que el crecimiento poblacional desproporcionado y el cambio del uso del suelo han generado presión sobre los polinizadores y probablemente incide en su dinámica poblacional. Otro factor relevante es la introducción de especies foráneas a los ecosistemas nativos, una dinámica que puede fragmentar la diversidad de los polinizadores, tal como fue evidenciado por Traveset & Santamaría (2004), en Estados Unidos, donde la introducción de abejas africanizadas generó una crisis en las plantaciones de almendros por falta de polinización (Arizmendi, 2009).

## 10.6. Consideraciones finales

Como se mencionó anteriormente, la polinización es indispensable en la dinámica propia de los ecosistemas ofreciendo servicios ambientales que inciden incluso en la seguridad alimentaria y en el mantenimiento de la biodiversidad a nivel global. Si bien en los últimos años el número de estudios ha aumentado considerablemente, aún se desconoce como tal la biología y fenología de algunos agentes polinizadores. Así mismo, se han evaluado e identificado los impactos, riesgos y presiones que la actividad antrópica ha generado en la alteración del comportamiento de los polinizadores, con el fin de tener herramientas para generar estrategias de gestión y así minimizar, controlar y/o evitar los impactos identificados. La articulación entre los entes territoriales pertinentes y los diferentes actores que inciden directa o indirectamente en la protección y/o uso adecuado de los polinizadores es un factor indispensable para un adecuado ejercicio en cuanto a la toma de decisiones ya sean locales, regionales, nacionales o globales.

## 10.7. Estudio de caso: abejas silvestres como polinizadoras en Colombia. Caso occidente

Mediante la ley 165 de 1994, Colombia ratifica el Convenio de Diversidad Biológica, comprometiéndose a los diferentes acuerdos y mandatos pactados. De acuerdo con lo anterior, surge la necesidad de generar una Iniciativa Colombiana de Polinizadores (ICPA), Capítulo Abejas, que se publicó en el año 2016. Dentro de este documento, se evidencian variables como conservación, gestión, estado del conocimiento, riesgos hacia los polinizadores, entre otros.

En uno de los capítulos, Rodríguez (2016), presenta a los polinizadores del maracuyá, específicamente el abejorro del género *Xylocopa*, y da a conocer información recopilada de varios autores en cuanto al comportamiento de este género referente y sus preferencias del sustrato para la nidificación. Por ejemplo, en un cultivo de maracuyá en el Valle del Cauca, concluyeron que el sustrato preferido era la madera muerta, específicamente de Eucalipto (Caicedo *et al.*, 1993 citado en Rodríguez, 2016). En Guarne, Antioquia (Franco *et al.*, 2007 citado en Rodríguez, 2016), encontró nidos de *Xylocopa* en *Bejaria aestuans*, *Cupressus* sp. y *Lecythis* sp.

En otros estudios, se menciona que para Colombia existen reportes de aproximadamente 1000 especies de abejas, estas a su vez se encuentran agrupadas en 90 géneros y cinco familias: Apidae, Andredinae, Colletidae, Halictidae y

Megachilidae. Se habla de abejas silvestres, cuando sus especies no han sido sometidas a alguna domesticación como en el caso de *A. mellifera*; generalmente son solitarias, sin embargo, la familia de las meliponias, o angelitas como lo llaman en algunas zonas del país, son sociales (Nates-Parra & González 2000).

En agroecosistemas del Valle del Cauca, se identificaron abejas silvestres visitando diferentes plantaciones y especies vegetales. Géneros como *Centris*, *Epicharis* y *Xylocopa* visitaron y polinizaron plantaciones de granadilla; *Thygater*, *Eulaema* y *Augochloropsis* en el lulo (Rosso, 2003). El autor insiste en la importancia de mantener la diversidad de los cultivos para mayor efectividad en la polinización de los mismos.

En el departamento de Antioquia (Jaramillo, 2012), estudió el efecto de las abejas silvestres en café, concluyendo que la presencia de estas en los cultivos de café, puede favorecer el incremento en cuanto al rendimiento y calidad del producto, adicional a esto la presencia circundante de relictos de bosques a los cultivos podrían ser una variable interesante frente a la presencia de las abejas, ya que en estos bosques es donde establecen sus nidos.

## 10.8. Evaluación del capítulo

La Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios Ecosistémicos (IPBES) en el año 2016, mencionó tres estrategias que pueden aportar considerablemente a la conservación de los polinizadores: el fortalecimiento de los sistemas agrícolas existentes, la inversión en infraestructura ecológica y la intensificación ecológica.

La intensificación ecológica se traduce en cómo las funciones propias de la naturaleza se pueden gestionar para obtener mejoras en las diferentes producciones agrícolas.

El fortalecimiento de los diversos sistemas agrícolas consiste por ejemplo en enfatizar actividades como por ejemplo la rotación de cultivos, las huertas y la silvicultura en pro de la conservación y fomento de los polinizadores.

Finalmente, la inversión en infraestructura ecológica hace referencia a mantener los relictos de bosques o parches seminaturales que proporcionan lugares óptimos para la anidación (IPBES, 2016). Teniendo en cuenta lo anterior, surgen los siguientes interrogantes.

1. ¿Colombia actualmente aplica estas tres ambiciones?
2. ¿Existe articulación entre los tomadores de decisiones y los actores directos en cuanto a la protección de la polinización?
3. ¿Cómo se encuentra el estado de conocimiento frente a los polinizadores que no son abejas? Ejemplo: algunas especies de murciélagos o aves.

---

## Referencias

- Arizmendi, C. (2009). La crisis de los polinizadores. *Biodiversitas*, 85, 1-5.
- Alcaldía de Medellín & Secretaría de Medio Ambiente, (2017). *Visitantes florales urbanos*. Medellín, Colombia: Alcaldía de Medellín.
- Allen, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchmann, S., Cane, J. & Inouye, D. (1998). The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*, 12(1), 8-17.
- Amaya, M. (2016). Polinización y biodiversidad. En G. Nates-Parra (Ed). *Iniciativa Colombiana de Polinizadores-Abejas (ICPA)*, (pp. 21-42). Bogotá, D. C.: Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.
- Aizen, M.A., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A. & Klein, A.M. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*, 103,1579–1588.
- Batipste, B. (2016). Agonía de polinizadores, una amenaza para Colombia. Revista Semana. Recuperado de <https://www.semana.com/opinion/articulo/brigitte-baptiste-baja-de-polinizadores-ameaza-ecosistema-de-colombia/464530>
- Botero, N., & Morales, G. (1995) Flower visitation patterns of *Apis mellifera* on the Andean blackberry. *Revista Colombiana de Entomología*. 21(3),153-157.
- Botero, N., & Morales, G. (2000). Producción del manzano (*Malus* sp. cv Anna) en el oriente antioqueño con la abeja melífera, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín*, 53(1), 849-862.
- Bovarnick, A., Alpizar, F., & Schnell, C. (2010). *The Importance of Biodiversity and Ecosystems in Economic Growth and Equity in Latin America and the Caribbean: An economic valuation of ecosystems*. New York: United Nations development programme.
- Buchmann, S.L., & Nabhan, G.P. (1996). *The Forgotten Pollinators*. Washington, D. C: Island Press.
- Caicedo, G., Vargas, H., Gaviria, J. (2003). Evaluación de *Xylocopa* spp. (Hymenoptera: Anthophoridae) como polinizadores en el cultivo del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). *Revista Colombiana de Entomología*, 19(3), 107-110.
- Castañeda-Vildózola, A., Equihua-Martínez, A., Valdés-Carrasco, J., Barrientos-Priego, A.F., Isham, G., & Gazit, S. (1999). Insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacán. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 129-136.

- Castañeda, S., Vásquez, R. & Ballesteros, H. (2012). Efecto de la polinización dirigida con abejas *Apis mellifera* sobre la cantidad y calidad del fruto en cultivo de naranja *Citrus sinensis*. *Vitae*, 19(1), 66-68.
- Cepeda, J., Gómez, P.D., & Nicholls, C. (2014). La estructura importa: abejas visitantes del café y estructura agroecológica principal (EAP) en cafetales. *Revista Colombiana de Entomología*, 40(2), 241-250.
- Chacoff, N.P., & Morales, C.L. (2007). Impacto de las alteraciones antrópicas sobre la polinización y la interacción planta-polinizador. *Ecología austral*, 17(1), 3-5.
- Chautá-Mellizo, A., Campbell, S.A., Bonilla, M.A., Thaler, J.S., & Poveda, K. (2012). Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. *Basic and Applied Ecology*, 13(6), 524-532.
- DANE, (2016). *Tercer Censo Nacional Agropecuario*. Tomo 2. Resultados. Bogotá D.C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., & Boumans, R.M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7
- FAO. (2014). *Principios y avances sobre polinización*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3547s.pdf>
- Franco, Y., Alzate, F., & Peláez, J.M. (2007). Factores ambientales incidentes en la población de *Xylocopa* y su efecto en el cultivo de granadilla en tres veredas del municipio de Guarne (Colombia). *Revista de la Universidad Católica de Oriente*, 24, (4), 73-86.
- Girón, M. (1990). *Biología floral de dos especies de pasifloras*. Memorias I Congreso Internacional de Passifloras. Palmira, Colombia.
- Goddard, M.A., Dougill, A.J., & Benton, T.G. (2016). Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(2), 90-98.
- Grajales-Conesa, J., Meléndez-Ramírez, V., & Cruz-López, L. (2011). Aromas florales y su interacción con los insectos polinizadores. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1356-1367. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532011000400033&lng=es&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000400033&lng=es&tlng=pt).
- Hall, D.M., Camilo, G.R., Tonietto, R.K., Ollerton, J., Ahrné, K., Arduser, M., Ascher, J.S., Baldock, K.C.R., Fowler, R., Frankie, G., Goulson, D., Gunnarsson, B., Hanley, M.E., Jackson, J.I., Lange-lotto, G., Lowenstein, D., Minor, E.S., Philpott, S.M., Potts, S.G., Sirohi, M.H., Spevak, E.M., Stone, G.N., & Threlfall, C.G. (2016). The city as refuge for insect pollinators. *Conservation Biology*, 31(1), 24-29.
- Hein, L., van Koppen, K., de Groot, R.S., & van Ierland, E.C. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 57(2), 209-228. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.005>
- Herrera, A.C. (2009). La valoración económica de bienes y servicios ambientales como herramienta estratégica para la conservación y uso sostenible de los ecosistemas: Caso Ciénaga la Caimanera. Coveñas-Sucre, Colombia. *Criterio Libre*, 7(10), 73-91.
- IPBES (2016). *Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production*. Bonn, Germany: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

- Jaramillo, A. (2012). *Efecto de las abejas silvestres en la polinización del café (Coffea arabica: Rubiaceae) en tres sistemas de producción en el departamento de Antioquia* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Medellín, Colombia.
- Kearns, C.A., & Inouye, D.W. (1997). Pollinators, flowering plants, and conservation biology. *BioScience*; 47(5), 297-307.
- León-Ruiz, Y. & Moreno-Sepúlveda, J.C. (2006). *Evaluación del efecto de la polinización dirigida a cultivos de Naranja (Citrus sinensis) "Valencia" y "Omblicona" con el uso de la Abeja Apis mellifera en el municipio de Sasaima, Cundinamarca* (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Facultad de zootecnia. Bogotá, Colombia.
- Mckinney, M.L. (2002). Urbanization, Biodiversity, and Conservation. *BioScience*, 52(10), 883-890.
- Medina-Gutiérrez, J., Ospina-Torres, R. & Nates-Parra, G. (2012). Efectos de la variación altitudinal sobre la polinización en cultivos de gulupa (*Passiflora edulis f.edulis*). *Acta Biológica Colombia*. 17(2), 379-394.
- Mosquera, C. A. (1989). Polinización forzada con abejas *Apis mellifera* L., del pepino cohombro *Cucumis sativus* L., cultivado hidropónicamente bajo invernadero, en el altiplano de pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 65-75.
- Mosquera, C.A. (1994). *Estudio de la antesis en curuba (Passiflora mollissima (H.B.K.) Bailey) conducente a la optimización de la calidad del fruto mediante la polinización inducida con abejas (Apis mellifera L.)* (Tesis para optar a profesor titular). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- Mosquera, C. (2002). Polinización entomófila de la uvilla (*Physalis peruviana* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 19(1), 140-156.
- NACIÓN, (2016). ¿Cuáles son las ciudades más contaminadas de Colombia? Revista Semana. Recuperado de <https://www.semana.com/nacion/articulo/cuales-son-las-ciudades-mas-contaminadas-de-colombia/506372>
- Nates-Parra, G., & González, V.H. (2000). Las abejas silvestres de Colombia: por qué y cómo conservarlas. *Acta Biológica Colombiana*, 5(1), 5-37.
- Ocampo, J., & Posada, P. (2012). *Ecología del cultivo de la Gulupa*. En J. Ocampo & K. Wyckhuys (Eds). Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia (*Passiflora edulis f. edulis* Sims) (pp.29-32). Bogotá D. C.: Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, República de Colombia.
- Pacini, E., Viegi, L., & Franchi, G. (2008). Types, evolution and significance of plant–animal interactions. *Rendiconti Lincei* 19,75–101.
- Pantoja, A., Smith-pardo, A., García, A., Sáenz, A., & Rojas, F. (2014). *Sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Principios y avances*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3547s.pdf>
- Parra, A., Moreno, R. & Claro, R. (2016). *Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Estrategia Nacional de Polinizadores*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado de <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2015/cap3/301.html>



- Ramírez-Segura, O., & Wallace, R. (2016). Insectos polinizadores en ambientes urbanos: perspectivas de su estudio en México. *Entomología mexicana*, 3, 183-190.
- Raguso, R.A. (2008). Wake up and smell the roses: The ecology and evolution of floral scent. *Annual Review in Ecology, Evolution and Systematics* 3, 549-569.
- Rodríguez, A.T., Chamorro, F.J., Calderón, L.V., Pinilla, M.S., Henao, M, Ospina, R., & Nates-Parra G. (2015). Polinización por abejas en cultivos promisorios de Colombia: Agraz (*Vaccinium meridionale*), Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) y Cholupa (*Passiflora maliformis*). Bogotá D. C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, C.A.T. (2016). Abejas del maracuyá: Género *Xylocopa* Latreille, 1982. En G. Nates-Parra (Ed). *Iniciativa Colombiana de Polinizadores-Abejas (ICPA)*, (pp. 173-184). Bogotá, D. C.: Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.
- Rosso, J. (2003). *Diagnóstico para el aprovechamiento y manejo integrado de abejas silvestres en agroecosistemas andinos en el Valle del Cauca* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia.
- Roubik, D.W., (Ed). (1995) *Pollination of cultivated plants in the tropics*. Rome: FAO Agricultural Services Bulletin Vol. 118.
- Sandoz, M.A.M., & Román, G.J. (2016). Efecto del cambio climático sobre las interacciones planta-animal y sus consecuencias sobre los ecosistemas. *Biocenosis*, 30 (1-2).
- Santana, G.E. (2000.) *Estudio preliminar de biología floral en mora de castilla*. Manizales, Colombia. Seminario de frutales de clima frio moderado.
- Tello, J. (2005). *Empleo de las abejas Apis mellifera africanizada en la polinización inducida de la curuba (Passiflora mollissima)*. Memorias I Congreso Internacional de Apicultura, San Cristóbal, Venezuela
- Torres, C., Cavieres, L.A., Muñoz-Ramírez, C., & Arroyo, K. (2007). Consecuencias de las variaciones microclimáticas sobre la visita de insectos polinizadores en dos especies de Chaetanthera (Asteraceae) en los Andes de Chile central. *Revista chilena de historia natural*, 80(4), 455-468.
- Traveset, A., & Santamaría, L. (2004). Alteración de mutualismos planta-animal debido a la introducción de especies exóticas en ecosistemas insulares. En J.M. Fernández-Palacios & C. Morici (Eds). *Ecología Insular* (pp. 251-276). España: Asociación española de ecología terrestre (aeet)-cabildo insular de la palma
- Vásquez, R., Ballesteros, H., Ortegón, Y., & Castro, U. (2006). Polinización dirigida con *Apis mellifera* en un cultivo comercial de fresa (*Fragaria chiloensis*). *Corpoica*, 7(1), 50-53.
- Vásquez, R., Ballesteros, H., Castañeda, S., Riveros, L., Ortega, C. & Calvo, N. (2011). *Polinización dirigida con abejas Apis mellifera: Tecnología para el mejoramiento de la producción de cultivos con potencial exportador*. Bogotá: Corpoica.
- Weiss, J., Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1994). Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential. *HortScience*, 29(12), 1487-1492.
- Winder, J.A. (1978). Flor de cacao, dípteros, su identidad, actividad de polinización y criaderos. *Sartenes*, 24(1), 5-18.



# CAPÍTULO 11

---

## CONTROL BIOLÓGICO

**Juliana Moraes Boldini**

**Yolvi Prada Millán, Juan Carlos Padilla Osorio**

**Sandra Patricia Montenegro Gómez**

**Mery Rocío Fonseca Lara**

**Ramón Antonio Mosquera Mena**

**Sandra Yamile Pulido Pulido<sup>21</sup>**

### 11.1. Introducción

Actualmente vivimos las consecuencias de la revolución verde en todo el mundo. Podemos observar la intensificación de la producción agrícola con el aumento del uso de diversas tecnologías, como los plaguicidas, herbicidas y fertilizantes, así mismo, nuevas variedades de cultivos de alto rendimiento, con la intención de aumentar la producción alimentaria y resolver el problema de hambre del mundo después de la segunda guerra mundial (Borlaug, 2003; Suárez & Serrano, 2011).

El uso intensivo de agroquímicos sintéticos en la agricultura, ha causado diversos problemas en el medio ambiente, como la contaminación del agua, del suelo y de los alimentos, causando posiblemente problemas en la salud de los agricultores y consumidores. También la resistencia de plagas y enfermedades a variados principios activos utilizados indiscriminadamente, y desequilibrio biológico con la reducción o eliminación de organismos benéficos que consecuentemente disminuyen la biodiversidad (García, 1997a).

Diversos segmentos de la sociedad han considerado y propuesto una demanda creciente de alternativas de producción que permitan la disminución del impacto ambiental que se ha ocasionado y a su vez atiendan las restricciones ambientales, las necesidades y exigencias de los consumidores. Es así como el control biológico,

---

<sup>21</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente  
Correos electrónicos de contacto: juliana.moraes@unad.edu.co, yolvi.prada@unad.edu.co, juan.padilla@unad.edu.co

articulado en el manejo integrado de plagas y enfermedades, se constituye en una de las opciones viables para atender los anhelos de una sociedad consciente, en la búsqueda incesante por soluciones sostenibles a mediano y largo plazo.

El principio básico del control biológico es controlar plagas agrícolas e insectos transmisores de enfermedades, mediante el uso de enemigos naturales. Estos pueden ser otros insectos benéficos, como lo son los depredadores, parasitoides o también microorganismos como bacterias, hongos y virus. Por ser un método racional y amigable con el medio ambiente, no deja residuos en las plantas ni en los alimentos, protegiendo la salud de la población (EMBRAPA, 2018).

Existen al menos tres estrategias básicas para el control biológico de plagas: la *estrategia Clásica*, que consiste en la importación, donde un enemigo natural de una plaga se introduce a una región, con la esperanza de lograr el control. La *Inductiva*, en la cual una gran población de enemigos naturales es administrada para controlar rápidamente las plagas. En este método, los enemigos naturales son liberados periódicamente para restablecer un equilibrio que no haya sido naturalmente controlado, pero si intervenido por otros métodos. Finalmente, encontramos la *Inoculación*, donde la producción y liberación de los enemigos naturales se introduce en grandes cantidades para controlar la plaga rápidamente (Unruh, 1993).

La estrategia que se adopte va a permitir que se controlen las especies que están causando daño a los cultivos; para ello se deben tener en cuenta diferentes aspectos como lo son: la identificación del agente causal de daño, las condiciones ambientales, las especies que habitan en la región y las áreas productivas que están alrededor de la zona a intervenir, entre otras. Cada detalle que se tenga en cuenta proporcionará herramientas que contribuyan a disminuir el umbral de daño y potencializar la intervención natural que se logra con los insectos controladores (Melo, 1985).

La principal característica del control biológico es no causar daños acumulativos a las plantaciones ni a los enemigos naturales. Por estas condiciones, la demanda por los programas de control biológico de plagas ha crecido considerablemente en el mundo, en función de las nuevas directrices internacionales de producción agrícola de favorecer la conservación y el uso sostenible de los recursos biológicos, que es fundamental para el control de la biodiversidad y para provisionar el equilibrio de los ecosistemas (Badii & Abreu, 2006).

Este capítulo tiene como objetivo realizar un abordaje general sobre los conocimientos básicos del control biológico y las consideraciones que se deben tener en cuenta en las alternativas de producción que se adopten, con la idea de despertar interés en el manejo integrado de plagas, visualizando perspectivas promisorias para el futuro, que contribuyan a reducir el uso de pesticidas, mejorando la calidad de los productos agrícolas y minimizando el impacto ambiental mediante la conservación de los recursos naturales, la biodiversidad y la sostenibilidad de los agroecosistemas.

## **11.2. Tipos de control biológico**

### **11.2.1. Control biológico clásico**

Este método consiste en la introducción de enemigos naturales exóticos para control de determinada maleza, la importación y la colonización de parasitoides o depredadores, con el objetivo de controlar plagas exóticas que están eventualmente activas (Cock, 1996). Para ese caso las liberaciones, de manera general, son inoculativas en donde se hace liberación de pequeñas poblaciones de insectos para control del insecto plaga. El control biológico es considerado como una medida de control a largo plazo, que debe ser aplicado solamente en cultivos semiperenes o perennes, puesto que la población de los enemigos naturales aumenta con el paso del tiempo (Gallo *et al.*, 2002).

### **11.2.2. Control biológico natural**

Se refiere al control biológico que ocurre naturalmente en los diferentes agroecosistemas. Este tipo de control se observa cuando el ambiente no es afectado por prácticas culturales erróneas, principalmente con el uso indiscriminado de productos químicos, que afecta tanto a las plagas, como los enemigos naturales disponibles en el medio ambiente (Huffaker & Messenger, 1976).

Por otro lado, puede ser favorecido cuando las prácticas agronómicas se realizan con el fin de conservar los enemigos naturales presentes o cuando se utilizan agroquímicos selectivos para el manejo integrado de plagas (MIP) (Barbosa, 1998), siendo importante por ser responsable de la mortalidad natural en el agroecosistema y, consecuentemente, por el mantenimiento del nivel de equilibrio de las plagas (Parra *et al.*, 2002). Como ejemplo se tiene el caso del depredador natural *Cryptolaemus montrouzieri*, llamado comúnmente de mariquita negra o mariquita marrón, un coleóptero que se alimentan de los áfidos, ejerciendo gran control de esta plaga, como se muestra en la Figura 11.1.



**Figura 11.1.** Adulto de mariquita negra (*C. montrouzieri*), predando áfidos.

Fuente: <https://controle-de-pragas.webnode.pt/controle-biologico-de-pragas/>

### 11.2.3. Control biológico aplicado (CBA)

Se trata de liberaciones en masa de parasitoides o depredadores (después de la creación masiva en laboratorio), buscando la reducción de la población de la plaga hasta su nivel de equilibrio. Este tipo de control es bien aceptado por el usuario, ya que presenta un tipo de acción rápida, similar a la aplicación de insecticidas convencionales. El CBA se refiere al concepto básico de control biológico conocido como multiplicación (creaciones de masas), que presentó gran desarrollo con la utilización de dietas artificiales para insectos, especialmente a partir de la década del 70 del siglo pasado (Capalbo, 2006).

Para la producción masiva y eficiente de los predadores en laboratorio, se deben tener en cuenta los factores extrínsecos, que son las técnicas utilizadas para la multiplicación de los insectos, materiales empleados, la manipulación de las fases de desarrollo, el control de calidad y los costos de producción. Los factores intrínsecos están relacionados con la fisiología del insecto, como la adaptabilidad a la dieta, el potencial reproductivo, la fecundidad y la fertilidad (Carvalho & Souza, 2000). Un ejemplo de este control se observa en el cultivo de la caña de azúcar, donde se controla *Diatraea saccharalis* con la multiplicación en laboratorio del enemigo natural *Cotesia flavipes* y su posterior liberación en campo en el cultivo de caña de azúcar (Figura 11.2).



**Figura 11.2.** Adulto de *Cotesia flavipes* parasitando larva de *D. saccharalis*.

Fuente: Vasconcelos (2012).

### 11.3. Enemigos naturales más utilizados en el control biológico

La idea de utilizar otros insectos para reducir las poblaciones de plagas en cultivos surgió desde épocas muy antiguas. En el siglo III a. C., los chinos fueron los primeros en utilizar predadores de hormigas, de la especie *Oecophylla smaragdina* (Fabr.) para el control de lepidópteros en cultivo de cítricos (Van den Bosch *et al.*, 1982). El control del "pulgón" blanco (*Icerya customaersasi* Maskell) con la introducción de *Rodolia cardinalis* (Mulsant) importada de Australia en 1888, fue el primer caso exitoso de control biológico ocurrido en California (Caltagirone, 1981).

Dentro de los enemigos naturales, el orden Hymenoptera es el más utilizado, en menor grado el orden Diptera (Greathead, 1986) y luego el orden Dermaptera (Silva & Brito, 2014). Las familias del orden Hymenoptera más empleadas para el control biológico son: Braconidae, Ichneumonidae, Eulophidae, Pteromalidae, Encyrtidae, Aphelinidae y Chalcidoidea. En los dípteros el grupo más utilizado es la familia Tachinidae (Greathead, 1986). Los representantes de los órdenes Strepsiptera, Coleoptera (Carabidae, Staphylinidae, Meloidae y Rhipiphoridae), Lepidoptera (Pyralidae y Epi-pyropidae) y Neuroptera (Mantispidae) son de menor importancia como parasitoides (Godfray, 1994). En las familias de predadores de plagas, Anthocoridae, Pentatomidae, Carabidae, Coccinellidae, Staphylinidae, Chrysopidae, Cecidomyiidae, Syrphidae y Formicidae son comúnmente las más encontradas (Borrór *et al.*, 1989).

#### **11.4. Control biológico en Manejo Integrado de Plagas (MIP)**

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) ha tomado mayor importancia en la medida que se conocen diferentes alternativas de producción, las cuales integran diversas técnicas, permitiendo controlar las plagas sin el abuso de agroquímicos, enfocando el manejo y la producción hacia una agricultura sostenible. Entre los métodos de control de plagas empleados en este sistema se pueden destacar, la potencialidad en resistencia de plantas, el control cultural, físico, mecánico, por comportamiento y el biológico. En este último, el control se realiza a través de la utilización de parasitoides, predadores y hongos entomopatógenos (Nava *et al.*, 2006).

Para lograr el éxito de este método, se debe contar con previo conocimiento del grado de afectación que presenta el cultivo, el tipo de ataque y las posibles especies causantes, todo esto se puede deducir del monitoreo que se realice a la plantación; de allí la importancia que se logre con la rigurosidad en el manejo de las especies. En este caso, el control biológico se constituye, al lado de la taxonomía, el nivel de control y del muestreo, en uno de los pilares de sustentación de cualquier programa de MIP (Hagen & Franz, 1973).

Además, es importante en el MIP, articular diferentes acciones o métodos que permitan que el control biológico sea amigable con el medio ambiente, a través de prácticas culturales, agronómicas y agroecológicas; al igual que el ambiente y el lugar faciliten la adaptación de las especies encargadas de realizar el control de manera natural (Cruz, 2002).

Los programas de MIP son tratados por expertos en el área de control en función del conocimiento del agente causal, el tipo de daño, el grado de afectación de la plantación y el reconocimiento de las especies (plagas o insectos benéficos) que se encuentran en el monitoreo. Para una estrategia de manejo integrado se definen los objetivos que se pretenden alcanzar, por ejemplo: la estrategia se resume en el control de plagas basado en variables económicas, ecológicas y toxicológicas, pero que adoptan como principios, beneficiarse de los factores naturales que limitan las condiciones de las poblaciones de plagas, respetando los umbrales de tolerancia de las plantas al ataque de patógenos (Brader, 1975).

Tanto el control biológico como el MIP enfrentan serios obstáculos debido a la falta de datos biológicos fundamentales y de conocimientos necesarios para el desarrollo de sistemas de producción, económica, social y ecológicamente

adecuados (Cruz, 2002). En gran medida se atribuye al despliegue publicitario que han promovido las empresas de agroquímicos para generar la necesidad y causar el desequilibrio en los ecosistemas. La pérdida histórica de actividades que las generaciones anteriores realizaban en el campo, y el interés de retomar y adoptar prácticas que arrojen resultados beneficiosos, que sean transferidos y registrados para fortalecer los sistemas de producción; teniendo en cuenta que, como todo proceso, es de tiempo, más aún cuando se han intervenido por un largo tiempo los ecosistemas.

Para analizar mejor sobre estos problemas se debe:

- a. Desarrollar métodos eficientes, eficaces y evidenciables.
- b. Expansión e integración del control biológico dentro del sistema de MIP.
- c. Fortalecer el conocimiento del control biológico registrando, sistematizando, transfiriendo y visibilizando la información.
- d. Proposición de una visión científica, social, económica y educativa para sensibilizar a la opinión pública sobre las técnicas de MIP.

En resumen, si se informa, evidencia y sensibiliza a los autores principales del sistema de producción, inmediatamente se logra fortalecer las alternativas de producción amigables con el medio ambiente.

Alrededor de este tema surge un gran cuestionamiento, que tanto los productores como los investigadores se hacen y es ¿cómo utilizar de la mejor manera posible los agentes de control biológico contra una plaga, en situaciones en que los insecticidas químicos son necesarios para controlar otras plagas que no tienen enemigos disponibles en cantidad suficiente? En estos casos, siempre es útil tratar de protegerlos evitando el uso de prácticas inadecuadas, incluso conservando o aumentando su número en épocas críticas.

Se puede también pensar en el desarrollo de razas de enemigos naturales más tolerantes a los insecticidas. Una vez que se haya decidido por el uso del control biológico, su implementación dependerá de la conservación y la mejora de los parasitoides y predadores ya disponibles, por medio de la manipulación del ambiente de alguna manera favorable, de la importación y colonización de parasitoides y depredadores contra plagas nativas o exóticas, y de la eficiencia y economía de la creación masiva en laboratorio (Cruz, 2002).



El control biológico tiende a ser cada vez más utilizado, al lado de otras alternativas de control como feromonas sexuales, resistencia de plantas a insectos, métodos físicos, culturales, etcétera; así como la biotecnología, que contribuirá a que el control biológico desarrolle innovaciones, incluyendo plantas transgénicas con genes de patógenos, o incluso plantas transformadas que contengan inhibidores (Pompermayer *et al.*, 2001).

### 11.5. Consideraciones finales

Por las exigencias de los mercados nacionales e internacionales en la búsqueda de productos de calidad, libres de exceso de agroquímicos o síntesis química de alta residualidad, el control biológico asume una importancia cada vez mayor por ser un método eficiente para el mantenimiento de las plagas, por debajo del nivel de daño económico. También llevando la producción de alimentos hacia una agricultura sostenible, sin impactos nefastos para el medio ambiente y la salud humana.

El control biológico viene constituyéndose en un significativo mecanismo de control, que puede asociarse a otros métodos en cualquier programa de MIP, obteniendo resultados muy eficientes. Sin embargo, es necesario que exista una política pública que proporcione un incentivo por parte de entes gubernamentales privados para la adopción de alternativas de producción sostenible, que reduzcan la utilización de agroquímicos de alto impacto; y, de esta manera, aumentar la utilización del control biológico y el MIP, tanto en Colombia como en otros países.

### 11.6. Estudio de caso

Según García (1997b), ingeniera agrónoma de AGROSAVIA (antes Corpoica), en Colombia, específicamente en el departamento del Valle del Cauca, se han logrado implementar programas de MIP en cultivos comerciales de tomate, frijol, plátano, algodón, maíz, yuca, sorgo, soya y algunos frutales, con la finalidad de evitar el uso de insecticidas de síntesis química y permitir la restauración de los ecosistemas biológicamente alterados.

Durante los últimos veinte años, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y AGROSAVIA han concentrado la investigación entomológica en la búsqueda de alternativas tendientes a enriquecer y diversificar los programas de MIP, entre los cuales se destaca el empleo masivo y continuado de *Trichogramma pretiosum*

(Figura 11.4), conjuntamente con agentes benéficos nativos, así como medidas culturales, microbiológicas y físicas, siendo decisivas para alcanzar el equilibrio biológico, reduciendo notablemente las aspersiones de insecticidas.



**Figura 11.4.** Adulto de *T. pretiosum*.

Fuente: [http://www.nbair.res.in/Biocontrol\\_Agents/images/Tpretios1.jpg](http://www.nbair.res.in/Biocontrol_Agents/images/Tpretios1.jpg)

Las investigaciones buscan probar la efectividad del parasitoide *Trichogramma* a nivel de campo, con el fin estudiar su comportamiento y obtener los más elevados niveles de parasitismo que determinen un manejo adecuado del insumo biológico. De igual forma, la institución se preocupa por asegurar la calidad del material vendido y suministrado al agricultor, garantizando el proceso de producción del parasitoide a escala comercial.

La experiencia confirma que los parasitismos alcanzados por *Trichogramma* superan entre el 80 y 90% de las oviposiciones, indicando que el cultivo está protegido de daño por larvas, las cuales difícilmente pueden ser detectadas sobre las plantas. El uso continuo del control biológico con la liberación de *Trichogramma* en cultivos del Valle del Cauca, ha permitido dejar de aplicar insecticidas en más de 200.000 hectáreas, propiciando también el resurgimiento y la multiplicación de diversas especies de parasitoides, depredadores y entomopatógenos, que prácticamente habían desaparecido y que complementan la eficaz acción de *Trichogramma* en campo.

Por otro lado, es importante destacar la reducción económica en gasto de insumos de control químico, ya que el uso de insecticidas se estima entre 50 a 70% de los costos de inversión, presentándose situaciones en las cuales se pasó de tener más

de 20 aspersiones por cosecha de algodón a un manejo biológico de 200 pulgadas de *Trichogramma* por hectárea. ¿Cómo no reflexionar ante este tipo de evidencias que permiten comprobar que el control biológico y el MIP, son herramientas fundamentales para mitigar el impacto ambiental y lograr una producción sana?

### 11.7. Evaluación del capítulo

1. ¿Por qué es considerado el control biológico como un servicio ecosistémico?
2. ¿El control biológico es inofensivo para el medio ambiente, salud humana y animal?
3. ¿Cuándo aplicar el control biológico?
4. ¿Cuáles son las ventajas del control biológico?
5. ¿Cómo se aplican los productos para control biológico?

---

### Referencias

- Badii, M.H. & Abreu, J.L. (2006) Control biológico una forma sustentable de control de plagas (Biological control a sustainable way of pest control). *International Journal of Good Conscience*, 1(1), 82-89.
- Barbosa, P. (1998). *Conservation biological control*. San Diego, United States: Academic.
- Borlaug, E. (2003). The green revolution: Its origins and contributions to world agriculture. *Journal Bioresource Science*. 4,11-22.
- Borror, D.J., Triplehorn, C.A. & Johnson, N.F. (1989). *An introduction to the study of insects*. Orlando, Holt: Rinehart and Winston.
- Brader, L. (1975). Integrated control, a new approach in crop protection. En C.R. Symp (Ed), *Lutte intégrée en vergers* (pp.9-16), Bolzano, Italia: OILB/SROP.
- Caltagirone, L.E. (1981). Landmark Examples in Classical Biological Control. *Annual Review of Entomology*, 26, 213-232.
- Capalbo, D.M. (2006). Comercialização de agentes microbiológicos para controle de pragas: experiências de países da América Latina. En E.C. Oliveira Filho & R.G. Monnerat (Eds.). *Fundamentos para a regulação de semioquímicos, inimigos naturais e agentes microbiológicos de controle de pragas*. (p.279-292). Planaltina: Embrapa Cerrados.
- Carvalho, C.F. & Souza, B. (2000). Métodos de criação e produção de crisopídeos. En V.H.P. Bueno (Ed). *Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade*. (pp. 91-109). Lavras, Brasil: UFLA.
- Cock, M.J.W. Control biológico de malezas. En R. Labrada, J.C. Caseley & C. Parker (Eds). *Manejo de malezas para países em desarrollo* (pp. 183-190). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Cruz, I. (2002). Controle Biológico em Manejo Integrado de Pragas. En J.R.P. Parra, P.S.M. Botelho, B.S. Corrêa Ferreira, J.M.S. Bento (Eds). *Controle Biológico no Brasil: Parasitóides e predadores*. (pp. 543-579). São Paulo, Brasil.
- EMBRAPA (2018) *Biological control*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recuperado de: <https://www.embrapa.br/en/tema-controle-biologico/sobre-o-tema>.
- Gallo, D.; Nakano, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R.P.L., Baptista, G.C., Berti Filho, E., ... & Omoto, C. (2002). *Entomologia Agrícola*. Piracicaba, Brasil: FEALQ.
- García, J. E. (1997a). Consecuencias indeseables de los plaguicidas en el ambiente. *Agronomía mesoamericana*. 8(1), 119-135.
- García, R.F. (1997b). Colombia, líder en control biológico de plagas. AUPEC: Universidad del Vale. Recuperado de: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/junio97/boletin41/plagas.html>
- Godfray, H. C. J. (1994) *Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology*. Princeton, Nueva Jersey, Estados Unidos: Princeton University Press.
- Greathead, D.J. (1986). Parasitoids in classical biological control. En J.K. Waage & D. J. Greathead (Eds). *Insect parasitoids*. (pp. 290-318.). New York, Estados Unidos: Academic Press.
- Hagen, K.S. & Franz, J.M. (1973). A history of biological control. *Annual Review of Entomology*, 18, 325-384.
- Huffaker, C.B. & Messenger, P.S. (1976). *Theory and practice of biological control*. New York: Academic Press.
- Melo, G.S. (1985). *Controle biológico e práticas*. (IPA. Comunicado Técnico, 27) Recife: IPA.
- Nava, D.E., Silva, E.S., Guimarães, J.A., Díez-Rodríguez, G.I., Garcia, M.S., Batista Filho, A., ... & Sato, M.E. (2006). Controle biológico de pragas de frutíferas. En A.S. Pinto, D.E. Nava, M.M. Rossi, D.T. Malerbo-Souza (Eds). *Controle Biológico na Prática* (pp. 113-129). Piracicaba, Brasil: ESALQ/USP.
- Parra, J.R.P., Botelho, P.S.M., Corrêa-Ferreira, S. & Bento, J.M.S. (2002). Controle Biológico: Terminología. En J.R. Parra, P.S. M. Botelho, S. Corrêa-Ferreira, J.M.S. Bento. *Controle Biológico no Brasil, Parasitóides e Predadores* (pp. 1-13). São Paulo, Brasil: Manole.
- Pompermayer, P.; Lopes, A.R., Terra, W.R., Parra, J.R.P., Falco, M.C. & Silva-Filho, M.C. (2001). Effects of soybean proteinase inhibitor on development, survival and reproductive potential of sugarcane borer, *Diatraea saccharalis*. *Entomologia Experimentalis Applicata*, 99, 79- 85.
- Silva, A.B. & Brito, J.M. (2014). Bioecología de *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabidiidae). *Revista Verde*, 9(5), p. 55-61.
- Suárez, M.D.G. & Serrano, H. (2011). *La Revolución Verde y sus consecuencias*. No. 72. Recuperado de: <https://tecnoagro.com.mx/revista/no-72/la-revolución-verde-y-sus-consecuencias/>
- Unruh, T.R. (1993). *Biological control. Orchard Pest Management Online*. Washington D. C., United States: Washington State University. Recuperado de: <http://jenny.tfrec.wsu.edu/opm/displaySpecies.php?pn=-40>.
- Van Den Bosch, R., Messenger, P. S. & Gutierrez, A. P. (1982). *An introduction to biological control*. New York, Estados Unidos: Plenum Press.
- Vasconcelos, Y. (2012). Inseto contra inseto. *Revista de Pesquisa FAPESP*, 194, 68-73. Recuperado de: [http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/05/Pesquisa\\_195-26.pdf](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/05/Pesquisa_195-26.pdf)



# Servicios de Apoyo

---

12. Hábitat para especies

---

13. Conservación de la diversidad genética

---



# CAPÍTULO 12

## HÁBITAT PARA ESPECIES

Sandra Yamile Pulido Pulido  
Ramón Antonio Mosquera Mena  
Shirley Andrea Rodríguez Espinosa  
Mery Rocío Fonseca Lara  
Sandra Patricia Montenegro Gómez  
Francis Liliana Valencia Trujillo<sup>22</sup>  
Silvia Eugenia Barrera<sup>23</sup>

### 12.1 Introducción

Mientras que las consecuencias de los cambios en los ecosistemas disminuyen su contribución y oferta de servicios, a escala mundial se trabaja en acciones necesarias para mejorar la conservación y el uso sostenible de los mismos, resultado de ésta dinámica vinculante, en torno a la investigación y promoción de medidas que conduzcan a un futuro sostenible.

Los servicios ecosistémicos se clasifican con base en sus funciones en cuatro categorías: aprovisionamiento (o servicios de provisión), regulación, culturales y, finalmente, los servicios de apoyo (MEA, 2005). De Groot & colaboradores (2010), reclasificaron los servicios ecosistémicos sustituyendo los servicios de apoyo por servicios de hábitat: hábitat de crianza y protección del patrimonio genético, con la finalidad de evitar doble contabilización de un mismo servicio (Hein *et al.*, 2006). No obstante, aunque éstos servicios de hábitat tengan denominaciones diferentes, como servicios ambientales de soporte, de apoyo, funcionales y esenciales, todos se fundamentan en que este tipo de servicios generan los demás (Sánchez & Rocha, 2014). El servicio de apoyo ofrece la provisión que soporta el hábitat para la flora y fauna silvestre y constituye una importante serie de retos

<sup>22</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.

<sup>23</sup> Investigadora Universidad Industrial de Santander.

Correos electrónicos de contacto: sandra.pulido@unad.edu.co, ramon.mosquera@unad.edu.co, shirley.rodriguez@unad.edu.co

para el mantenimiento de la biodiversidad y el flujo de servicios de los ecosistemas. En este sentido, son la plataforma básica para mantener las funciones de los ecosistemas, de ahí la importancia de profundizar, no sólo en los conceptos, sino también en el planteamiento de acciones que contribuyan al buen aprovechamiento de los Servicios Ecosistémicos.

## 12.2. Servicios de apoyo dentro de los ecosistemas

Tomándose como fundamento el concepto de Servicios Ecosistémicos (SE) manejado por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA)<sup>24</sup>, donde se define como *aquellos beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas*; en esta oportunidad se consideran específicamente los servicios de hábitat, que permiten el mantenimiento de los otros servicios y se expresan en acciones como el ciclado de nutrientes o la meteorización del suelo, necesaria para su formación y posterior uso en la agricultura (Daily, 1997). La provisión de espacios donde habitar, reproducirse y de refugio para plantas y animales, además de la conservación de la diversidad genética y biológica, formación de los suelos, reciclado de nutrientes y producción primaria (Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, 2012), están incluidos en este tipo de servicios.

Con estas consideraciones iniciales que buscan delinear un contexto, se procede a destacar la importancia de los servicios ecosistémicos de apoyo, definidos también como servicios de hábitat, soporte (TEEB, 2015), o de refugio (Constanza *et al.*, 2017), porque de éstos depende la producción de los otros tipos de servicios ecosistémicos (de Groot *et al.*, 2002; FAO, 2018).

Para evaluar el estado de un servicio ecosistémico se usan indicadores, que básicamente son variables que brindan información de un conjunto de fenómenos, facilitando la simplificación de procesos complejos (Müller & Burkhard, 2012) y con proxis que representan el valor del indicador (Liquete, *et al.*, 2017). Los resultados mostrados en estas evaluaciones sirven para tomar decisiones políticas y personales que puedan ayudar a la recuperación y conservación de los ecosistemas, proponiéndose el Enfoque Ecosistémico (EE), como estrategia para el manejo integrado de los ecosistemas.

<sup>24</sup> La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) es un programa de trabajo internacional diseñado para satisfacer las necesidades que tienen los responsables de la toma de decisiones y el público general, de información científica acerca de las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las opciones para responder a esos cambios.

La presión ejercida a los ecosistemas por el incremento de la población en el planeta, que necesita y compete por los servicios que ofrecen, hace que los hábitats o refugios sean vulnerados y destruidos hasta perderlos. Como resultado se han perdido ecosistemas y disminuido su resiliencia, además de comprometer sus funciones y consecuentemente los servicios que prestan. Socioecológicamente esto implica que el beneficio dado y su valoración disminuyan.

Se busca contextualizar el servicio de hábitat o refugio de especies, como servicio de apoyo, para comprender el papel que juega en la conservación de la biodiversidad de los ecosistemas. Para esto se empieza por definir el servicio de apoyo o soporte, su importancia y como está dividido, profundizando en hábitat de especies, la relación con otros ecosistemas, estudios realizados a nivel mundial y en Colombia y, finalmente, se realiza una reflexión sobre el tema y hacia dónde vamos.

Los servicios de apoyo o soporte influyen indirectamente en el bienestar humano porque son necesarios para que produzcan y se mantengan los servicios de aprovisionamiento, regulación y culturales. Las TEEB en el 2015, renombraron estos servicios como de hábitat o soporte y los clasificó en hábitats para especies y mantenimiento de la diversidad genética. De su definición se construye la figura 12.1, que muestra ésta clasificación y la relación existente dentro de estos.

### **12.3. Hábitat de especies definición, diversidad y sus características**

Son áreas que ofrecen características particulares con relación al alimento, refugio, agua y espacio que coadyuva a la supervivencia de plantas y animales (Bartool & Hussain, 2016). Un ecosistema ofrece diferentes hábitats, estos pueden ser esenciales para que las especies que los ocupan desarrollen su ciclo de vida. Además, las especies también dependen de diferentes ecosistemas debido a que están en continuo movimiento o migrando, como por ejemplo aves, mamíferos, insectos y peces (Liquete, *et al.*, 2017).





**Figura 12.1.** Clasificación de los servicios ecosistémicos y su relación con los servicios de soporte o apoyo.

Fuente: Pulido (2018).

Estos hábitats mantienen poblaciones de especies y protegen la capacidad ecológica de la comunidad para recuperarse de las perturbaciones que puedan presentarse (resiliencia). Se pueden mencionar comunidades de plantas nativas que ofrecen estructura para que se puedan reproducir y alimentar los polinizadores; ríos y estuarios que proveen criaderos para la reproducción de peces y su desarrollo juvenil o grandes áreas naturales y corredores biológicos para permitir que los animales puedan sobrevivir a incendios forestales u otro tipo de perturbación (Landsberg, *et al.*, 2011). Juegan un papel importante porque allí interactúan especies y se regula la dinámica poblacional.

Los organismos que se desarrollan en estos espacios o hábitats, conviven dentro de una dinámica en donde interactúan con componentes bióticos y abióticos del ecosistema, manteniendo el equilibrio. Esto asegura el buen funcionamiento del ecosistema, posibilitando ofrecer muy buena calidad y alto valor de servicios, así se demuestra como este servicio de apoyo juega un papel vital con relación a los otros.

También se han definido como áreas, espacios o lugares que proporcionan recursos para una determinada fase de desarrollo de un individuo ya sea planta o animal, en donde sobreviven, se reproducen, se distribuyen y pueden variar en abundancia. La manera como este estructurado físicamente puede ser clave para definir el tipo de hábitat, aunque esto es muy difícil de determinar debido a que las estructuras son dinámicas, lo cual implica cambios y no es fácil establecer cuando han cambiado.

#### **12.4. Pérdida de hábitats causas y consecuencias**

En los últimos años la población mundial ha ido en continuo crecimiento, para el año 2150 se cree que estará entre 8-10 billones de personas. Adicionalmente, la población en el área rural ha disminuido debido a la migración a las ciudades, en promedio entre 20 - 30 millones de personas en los últimos 40 años (Martin, 2003), ocasionando una sobreexplotación de los recursos naturales que se encuentran dentro de los de los diferentes ecosistemas hasta llevarlos a su agotamiento y por ende a disminuir la calidad vida.

Debido a la presión que se ejerce sobre los hábitats encontrados dentro de esos ecosistemas, se rompe el equilibrio con los diferentes organismos ya sean plantas o animales, cambiando o afectando su desarrollo, comportamiento de dispersión y las interacciones establecidas. Así, este hábitat, como servicio de apoyo, disminuye la calidad y valor del servicio, e influye en los otros servicios que ofrecen los ecosistemas.

Un claro ejemplo de un hábitat natural característico fue publicado por Nagelkerken & colaboradores (2008), donde se realiza una descripción de los manglares. Estos se encuentran en las zonas intermareales a lo largo de las costas subtropicales del mundo, debido a esto los árboles tienen una estructura de raíz característica, que hace favorable el desarrollo de especies terrestres y marinas, las cuales pueden variar en su densidad, además de ser muy productivos en cuanto a pesca, agricultura, silvicultura, acuicultura y protección contra la erosión costera, como también ser fuente de madera y material para la construcción.

Las poblaciones humanas que habitan estos sitios aprovechan los servicios ofrecidos, pero estos hábitats están sufriendo impactos directos por la tala (Figura 12.2) y la contaminación, además de impactos debido al cambio del manejo del agua en el interior. Lo que ocasiona una degradación progresiva y desaparición de

este tipo de hábitats tan particulares, además de perder la calidad y el valor que pueden tener como servicio ecosistémico. Aunque aún se encuentran gran cantidad de manglares en el mundo, las últimas décadas han mostrado un crecimiento acelerado de pérdida de este tipo de hábitats.



**Figura 12.2.** Destrucción de manglares por tala en Panamá.

Fuente: (Dominguez, 2015).

La actividad agrícola, en la cual se utilizan diferentes agroquímicos para control de plagas y enfermedades, ha ocasionado que se pierdan hábitats de mucha importancia, como son los que ofrecen las estructuras (flores), para que las abejas puedan cumplir con la polinización. Si no se toman las medidas necesarias para frenar la destrucción de este hábitat puede acabarse la vida en el planeta, porque los polinizadores son los que se encargan de asegurar la reproducción y así la producción de alimentos. La figura 12.3, muestra como las abejas están muriendo debido a la destrucción de los hábitats que les sirven para desarrollarse, reproducirse y alimentarse.



**Figura 12.3.** Muerte de abejas por destrucción de su hábitat.

Fuente: (Beeman, 2017).

Debido al aumento de la producción de gases de efecto invernadero, el cambio climático está alterando los patrones de lluvia y temperatura, presentándose épocas de largas sequías y altas temperaturas, o lo contrario, épocas en las que se presentan lluvias intensas y muy bajas temperaturas. Esto provoca que las especies que conforman los hábitats se vean obligadas a adaptarse, activando mecanismos que les exige un alto costo energético y que se traduce en baja producción e implica que, si los mecanismos que activan no logran la adaptación, estas especies desaparecerán y, por lo tanto, el hábitat se alterará y con el tiempo sufrirá un deterioro.

Batool & Hussain en el 2016, explican como el cambio climático afecta la zona polar, debido al aumento de la temperatura. Esta hace que se derrita el hielo y pone en peligro diferentes especies de animales, entre ellas osos polares y morsas; además, se ve afectada la temperatura en el mar, al que algunos animales utilizan para la cría, refugio, caza, descanso y muda. También se encuentran poblaciones humanas que se adaptaron y viven en ese tipo de hábitat, su alimentación depende de las especies de animales que se encuentran en el lugar. Cuando se derrite el hielo aumenta el nivel del mar, esto destruye otros hábitats, llevando a sus poblaciones a la extinción.

Las zonas costeras bajas del planeta se han visto muy afectadas, la predicción es que en los próximos 100 años aumentará el nivel del mar entre 0,18 y 2 metros, debido a la fusión del hielo y a la expansión térmica. Las inundaciones presentadas son el principal problema en las zonas costeras aumentando la erosión.

Las figuras 12.4 y 12.5, muestran el estado de deterioro de hábitats polares y como afecta las zonas costeras debido al aumento del nivel del mar, respectivamente, causado por el deshielo, ocasionando una disminución en el valor y la calidad del servicio de apoyo que presta.



**Figura 12.4.** Hábitat de oso polar deteriorado por el aumento de la temperatura del planeta.

Fuente: [www.weather.co](http://www.weather.co) (Breslin, 2015).



**Figura 12.5.** Mapa del crecimiento del mar desarrollado por National Geographic. "Si todo el hielo se derritiera".

Fuente: (SDPnoticias.com, 2013).

## 12.5. Consideraciones finales

Frente a la destrucción y pérdida de los hábitats, debido a la presión ejercida por las poblaciones humanas, se debe crear conciencia a través de programas de educación que enseñen sobre la importancia de la protección y conservación de todos los componentes de los ecosistemas. Crear políticas menos laxas que favorezcan la conservación de estos ecosistemas, como prohibir la aplicación de agroquímicos y estricta evaluación de riesgos de aplicación. Poner en marcha planes que integren a todos los estamentos académicos, investigativos, políticos y de la sociedad civil, para interactuar en la búsqueda de soluciones para proteger el planeta, con el objetivo de garantizar un futuro a las generaciones venideras.

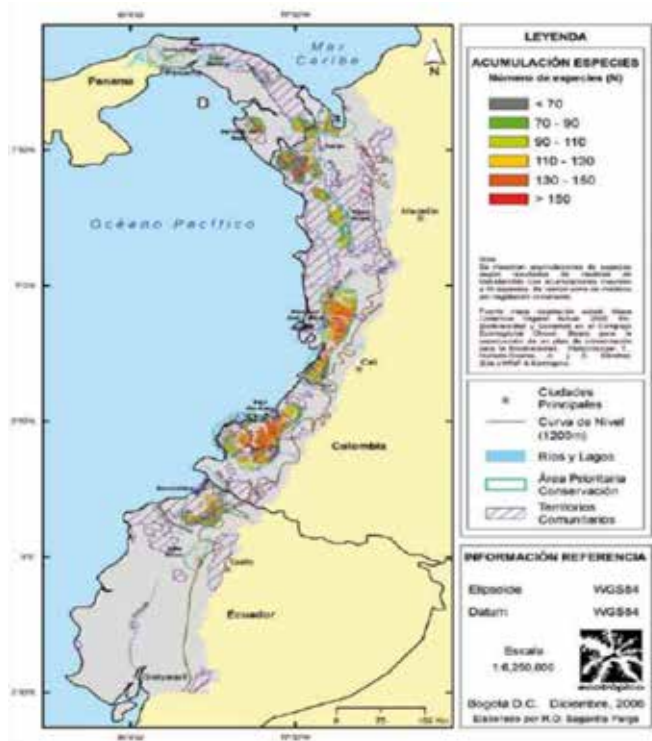
La mejor solución es la adopción del enfoque ecosistémico, que garantiza un ecosistema capaz de funcionar y de ofrecer sus bienes y servicios en buenas condiciones y de un alto valor, así mismo ofrece una disminución de la presión que pueda causar perturbación.

## 12.6. Estudio de caso: aplicación del Enfoque Ecosistémico (EE) en el Corredor de Conservación Chocó – Manabí

El EE se utiliza para frenar la presión que se ejerce sobre los ecosistemas del mundo asegurando un suministro continuo de bienes y servicios ambientales. El EE incluye el servicio ecológico de hábitats de especies, todo esto desde un punto de vista sistémico. Dentro de ese enfoque se utiliza el concepto de *corredores biológicos*, conformados por ecosistemas y hábitats naturales que interactúan, ayudando a la preservación del hábitat y la biodiversidad, a través acciones favorables por parte de los seres humanos, que contribuyan a disminuir la presión y amenazas que puedan surgir.

En este estudio de caso se utilizaron indicadores de evaluación con los que se demostró que los principios ecológicos y biológicos del EE están orientados a caracterizar la estructura y función, como también la interacción en espacio y función con ecosistemas adyacentes, que contribuyen a la conservación de la biodiversidad de especies. El corredor biológico está localizado entre dos ecoregiones terrestres clasificadas como prioritarias, los Andes Tropicales y Tumbes, Chocó, Magdalena. Cubre un área aproximada de 200.000 km<sup>2</sup>, se caracteriza por tener una alta biodiversidad y muchas de las especies son endémicas, se encuentran plantas vasculares en un promedio de 9.000 especies, tiene la mayor diversidad de flores en el neotrópico a nivel mundial, 350 especies de anfibios y 210 de reptiles. La figura 12.6 muestra,

además del corredor biológico, las diferentes áreas prioritarias de conservación de biodiversidad y su relación con los territorios comunitarios.



**Figura 12.6.** Territorios comunitarios e indígenas áreas prioritarias de conservación.

Fuente: Andrade (2007).

Se encuentra una población aproximada de 3.726.000 habitantes entre comunidades afro, mestizas e indígenas, distribuida en 79 municipios de Colombia y 42 de Ecuador, que viven en condiciones de pobreza extrema. Estas características hacen que sobre este lugar se ejerza presión y presente un alto grado de amenazas como la deforestación, sobreexplotación de especies valiosas de flora y fauna silvestre, fragmentación de los ecosistemas, expansión de la frontera agrícola, ejes viales, fronteras internacionales, prácticas productivas no sostenibles, obras de infraestructura, ampliación de la agroindustria de los biocombustibles y la expansión de los cultivos ilícitos, entre otras.

Ante estas perspectivas, se espera que en un periodo de 10 años esta región sea manejada como un corredor de biodiversidad biológico en donde los hábitats

naturales que lo conforman interactúen, reconectándose y cumpliendo sus funciones, consolidar áreas bajo protección, además de mantener la integridad cultural de la región. Para lograr esto se propone trabajar con la comunidad utilizando prácticas de desarrollo sostenible.

Con relación a hábitats, teniendo en cuenta uno de los principios del EE, que dice que en el manejo debe reconocerse que el cambio es inevitable, se crearon 10 modelos capaces de señalar las hectáreas que puedan estar sometidas a presión por actividades humanas y modelos conceptuales que muestran las variables y en dónde están afectando los hábitats de especies endémicas y amenazadas en los próximos 10 años. Los corredores biológicos, estudiados dentro del enfoque ecosistémico, aseguran mantener y proteger ecosistemas que pueden ofrecer servicios de muy buena calidad.

## 12.7. Evaluación del capítulo

1. ¿Qué son los servicios ecosistémicos de apoyo?
2. ¿Cómo se han clasificado?
3. ¿Qué son servicios de hábitats?
4. ¿Cuál es la importancia de los servicios de hábitats?
5. ¿Por qué se pueden ver afectados estos servicios de hábitats?
6. ¿Cuáles serían las estrategias para protegerlos?
7. ¿Qué soluciones y estrategias se propondrían ante la destrucción de los hábitats que hacen parte de los ecosistemas?

---

## Referencias

- Andrade, P.A (2007). El corredor de conservación Chocó Manabí y la aplicación del Enfoque Ecosistémico. En *Aplicación del Enfoque Ecosistémico en Latinoamérica*, (p 17 – 25). ISBN 978-958-44-2313-9.
- Batool, S., & Hussain, M. (2016). Wildlife in the perspective of environmental degradation. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(5), 508-511.
- Beeman, J. (2017). *The Beekeeping of Family*. Recuperado de: <http://lafamiliapicola.blogspot.com/search/label/Desaparici%C3%B3n%20de%20Colonias>
- Breslin, S. (2015). Climate and weather. Recuperado de: <https://weather.com/news/climate/news/skinny-polar-bear-photo>
- Camacho-Valdez, V., & Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los Servicios Ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1(4), 3–15.



- Constanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S. & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16.
- Daily, G.C. (1997): *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington, D.C.: Island Press.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408.
- De Groot, R., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, 260–272.
- Domínguez, Y. Manglares desaparecen en Panamá. Recuperado de: Dia a Dia: <https://www.dia-adia.com.pa/primerplano/manglares-desaparecen-en-panam%C3%A1-263198>.
- FAO. (2018). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- Hein, L., van Koppen, K., de Groot, R., & van Ierland, E.C. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 57, 209–228.
- Landsberg, F., Ozment, S., Stickler, M., Henninger, N., Treweek, J., Venn, O., & Mock, G. (2011). *Ecosystem Services Review for Impact Assessment. Introduction and Guide to Scoping*. World Resources Institute. Recuperado de: [https://www.wri.org/sites/default/files/ecosystem\\_services\\_review\\_for\\_impact\\_assessment\\_introduction\\_and\\_guide\\_to\\_scoping.pdf](https://www.wri.org/sites/default/files/ecosystem_services_review_for_impact_assessment_introduction_and_guide_to_scoping.pdf)
- Liquete, C., Cid, N., Lanzanova, D., Grizzetti, B. & Reynaud, A. (2017). Perspectives on the link between ecosystem services and biodiversity: The assessment of the nursery function. *Ecological Indicators*, 63, 249–257.
- Martin, D. (2003). Causes and health consequences of environmental degradation and social injustice. *Social Science & Medicine*, 56, 573–587.
- Millenium Ecosystem Aseessment – MEA. (2005). *Ecosystem and human well-being: A framework for assessment*. Washington. D.C., United States: Island Press. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09206-X.
- Müller, F., & Burkhard, B. (2012). The indicator side of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 1, 26–30.
- Nagelkerken, I., Blaber, S., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L. G., Meynecke, J., Pawlik, J., Penrose, H., Sasekumar, A. & Somerfield, P. (2008). The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*. 89. 10.1016/j.aquabot.2007.12.007.
- Pulido, S.Y. (2018) Clasificación de los servicios ecosistémicos y su relación con los servicios de soporte o apoyo.
- SDP noticias 2013). SDPnoticias.com. Recuperado de: <https://www.sdpnoticias.com/internacional/2013/11/13/aumento-de-nivel-del-mar-aumentara-peligro-de-huracanes-ciclonas-y-tifones>
- Sánchez N., & Rocha, E., (2014). La Evaluación de servicios ambientales de soporte. *I3+*, 1(2), 102–127. doi: 10.24267/23462329.67
- TEEB. (2015). *The Economics of Ecosystems & Biodiversity: Ecosystem Services*. Geneva, Switzerland. Recuperado de: URL: <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>



# CAPÍTULO 13

## CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA: UN ENFOQUE DESDE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS

Manuel Francisco Polanco Puerta

Sandra Patricia Montenegro Gómez

Juliana Moraes Boldini

Ramón Antonio Mosquera Mena

Martha Cecilia Vinasco Guzmán

Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego<sup>25</sup>

Martha Liliana Palomino Leiva<sup>26</sup>

### 13.1. Introducción

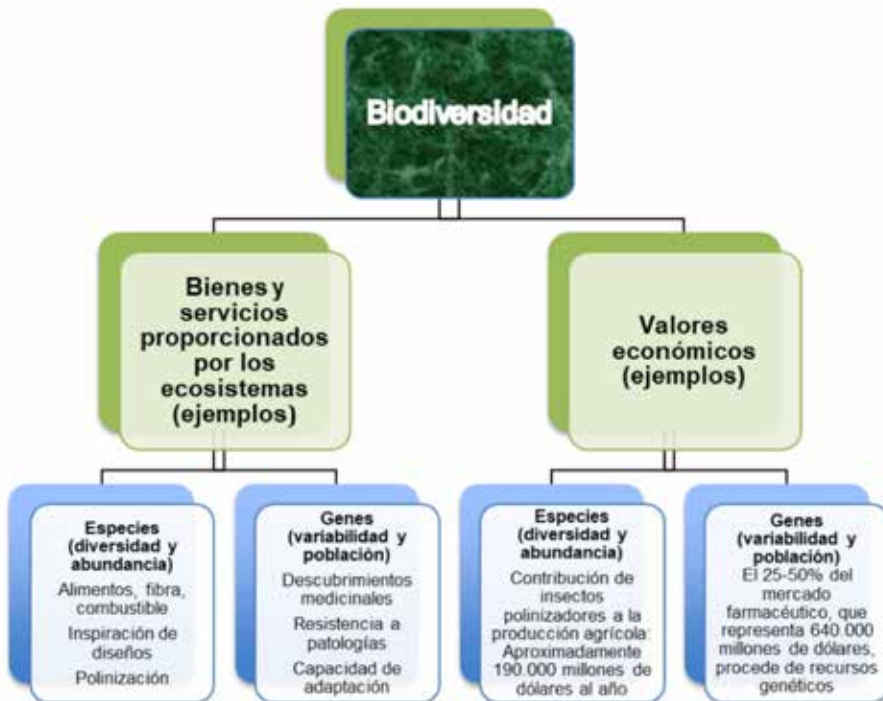
El sustento de los servicios ecosistémicos se basa en su diversidad genética universal, reflejada en múltiples relaciones entre poblaciones de diversas formas de vida de toda la gama de organismos terrestres, habitantes de todos los ecosistemas por encima y debajo del suelo (Swift *et al.*, 2004). En la primera Cumbre de la Tierra, la mayoría de naciones del mundo concordaron en que las acciones antrópicas estaban, eliminando genes, especies y rasgos biológicos a un ritmo preocupante. A partir de esta observación surge la inquietud de cómo esa pérdida alteraría el funcionamiento ecosistémico y su capacidad de abastecer a la humanidad en sus necesidades de supervivencia y prosperidad (Cardinale *et al.*, 2012). Consecuentemente el papel de la biodiversidad ha comenzado a valorarse como un factor vital para los servicios ecosistémicos (Mace *et al.*, 2012). La modificación de la biodiversidad tiene consecuencias de índole funcional en los ecosistemas, ya que sus rasgos pueden mediar directamente en los flujos energéticos o alterar factores abióticos, por ejemplo, la perturbación climática y la limitación de recursos (Chapin *et al.*, 2000).

<sup>25</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.

<sup>26</sup> Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades.

Correos electrónicos de contacto: manuel.polanco@unad.edu.co, sandra.montenegro@unad.edu.co, juliana.moraes@unad.edu.co.

La diversidad genética es considerada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) como un servicio ecosistémico de apoyo (FAO, 2016), por lo tanto, la conservación de todas las formas de vida es vital para la funcionalidad ecosistémica y para poder afrontar diversos retos de supervivencia. Expertos en áreas ambientales y económicas han iniciado hace varios años, investigaciones asociadas al impacto en el desarrollo económico y pérdida de la biodiversidad (Millennium Ecosystem Assessment – MEA, 2005). En este sentido, la figura 13.1, presenta algunos ejemplos que reflejan la importancia y beneficios obtenidos a partir de la conservación de la biodiversidad de genes y especies.



**Figura 13.1.** Relación entre biodiversidad, servicios ecosistémicos y economía.

Fuente: adaptado de TEEB – Informe sobre la economía de los ecosistemas y la biodiversidad para las empresas – Resumen ejecutivo (2010).

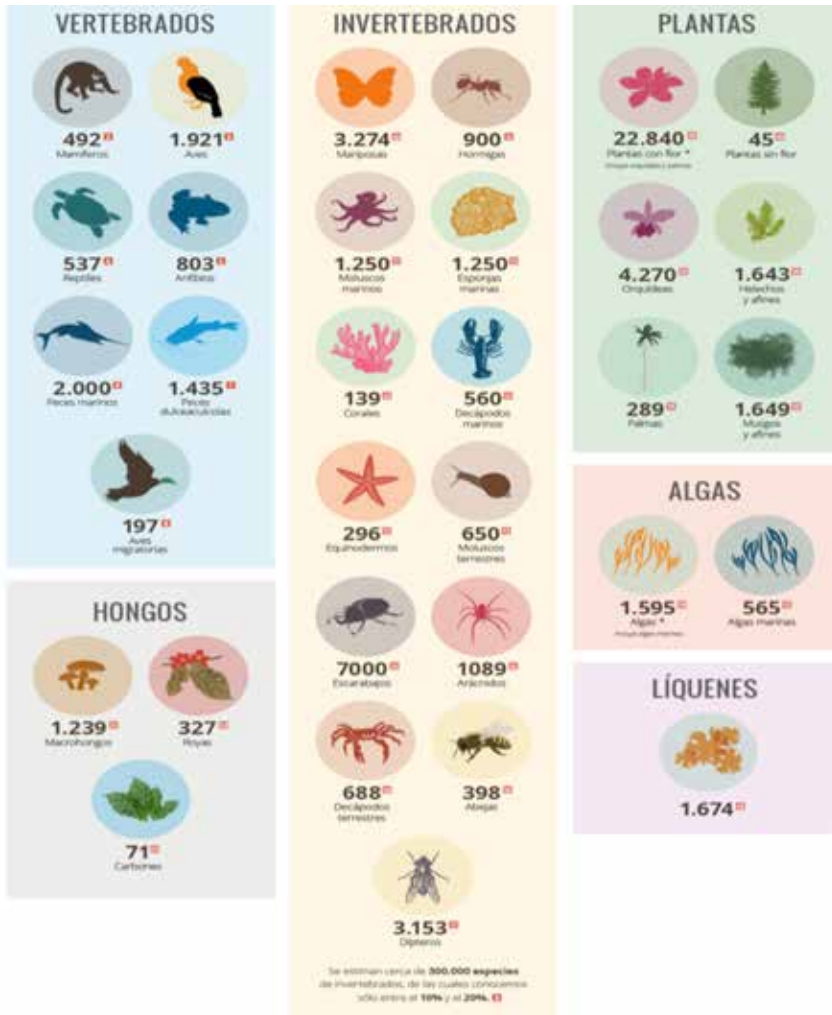
A partir del Convenio sobre la Diversidad Biológica, en el año 2002 se abordó el compromiso que para el año 2010 debía alcanzarse una reducción significativa de la tasa de pérdida de biodiversidad. Aunque este compromiso se incumplió, se destaca el incremento de la presión social a favor de la conservación (Butchart *et al.*, 2010).

## 13.2. Biodiversidad en Colombia

Colombia no es un país caracterizado por priorizar la protección y conservación de su biodiversidad (MADS, 2014); ante esto, la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) (MADS, 2012), reconoce que aún es limitado el conocimiento sobre la biodiversidad colombiana a nivel genético, aunque las cifras reportadas a nivel global ubiquen a al país como el segundo país más biodiverso del planeta. Al respecto, el Instituto Humboldt (2017), ha reportado hasta el año 2017 un registro de 56.343 especies, sin considerar la gran diversidad de microorganismos existentes. Entre las especies registradas 9.153 son endémicas. La disminución evidenciada de la diversidad es cerca del 18%, siendo su mayor amenaza la pérdida de hábitats naturales, por lo general, relacionada con la agricultura y la ganadería expansiva.

En un futuro las cifras de biodiversidad deberán ser complementadas con la microbiota, aún poco explorada, como recurso genético y con un rol funcional fundamental en el equilibrio de los ecosistemas, quizá más importante que los organismos eucariotas. La figura 13.2 refleja en cifras algunos datos de grupos biológicos recolectados en su Reporte de Estado y Tendencias de la Biodiversidad de Colombia (RET) y en la sección Biodiversidad en cifras del SIB, Colombia (Instituto Humboldt, 2017).

Dada la importancia de mantener la seguridad alimentaria de ingesta vegetal, que de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la FAO se sustenta en ingerir mínimo 400 g de vegetales diarios (Montenegro & Rosales, 2015), se vuelve prioritaria la interacción armónica entre la conservación de la biodiversidad y las prácticas agrícolas sustentables, donde predomine la conservación de la diversidad genética vegetal, por lo tanto es relevante el acuerdo de 204 firmado por cerca de 78 países, incluido Colombia, donde se prescribe un compromiso de uso y conservación de los recursos fitogenéticos como eje central de la proyección de una agricultura sostenible enfocada en garantizar la seguridad alimentaria. Este convenio es conocido como el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Al respecto, este capítulo proporcionará información general sobre los recursos fitogenéticos y la importancia de su conservación.



**Figura 13.2.** Estimativa de la biodiversidad colombiana por grupos biológicos del cual existen datos; en este caso vertebrados, invertebrados, plantas, líquenes, algas y hongos.

Fuente: Instituto Humboldt (2017).

### 13.3. Conservación de los recursos fitogenéticos

Se conoce como Recurso Fitogenético al material genético de origen vegetal que tiene un valor real o potencial destinado a la alimentación, agricultura, fibras, vestuario, vivienda y energía (FAO, 2015a), por lo que su manejo y uso sustentable, permitirán afrontar desafíos para garantizar la alimentación en el contexto de crecimiento poblacional y cambio climático.

La biodiversidad vegetal de bosques naturales es conocida como germoplasma, concepto semejante a recurso fitogenético, el cual se refiere a la diversidad genética de plantas silvestres y cultivadas de importancia en el sector agrícola (Neiva & Jiménez, 2010) y que busca conservar a largo plazo, material vegetal que será usado en el mejoramiento de cultivos (FAO, 2014). De acuerdo con un informe sobre deforestación presentado por la FAO (2015b), este aprovechamiento genético debe realizarse de forma sustentable para frenar la desproporcionada pérdida de bosques, ocurrida en los últimos años por transformación de sus terrenos para la actividad agrícola u otros usos. Por lo tanto el aprovechamiento debe ir de la mano de iniciativas de conservación, proyectadas hacia la supervivencia de generaciones futuras, donde el respeto entre el aprovechamiento de los llamados recursos botánicos y recursos genéticos, estén estrechamente relacionados con la conservación de sus especies de origen (Navarrete *et al.*, 2012).

### **13.3.1. Algunas causales de la pérdida de biodiversidad vegetal**

Las especies fácilmente adaptables, introducidas en un entorno ambiental, por lo general causan impactos negativos sobre los ecosistemas, se les conoce como *especies invasoras* y son la segunda causa de amenaza sobre la biodiversidad nativa (Altieri, 2007). La contaminación ambiental al originar complejos tóxicos que se propagan por grandes extensiones (Rodríguez, 2009), también es un factor causal de la desaparición de muchas especies. Por su parte el cambio climático, causado por la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI), amenaza la abundancia y distribución de especies en todo el planeta (Badii, 2015).

Las evidencias de Gregor Mendel y la información genética aportada por la estructura del ADN, indican que todas las adaptaciones experimentadas por los organismos vivos, ocurren para enfrentar cambios del medio ambiente donde habitan, guardando esta información en sus genomas para ser transferida a sus descendencias (Hoagland, 1985). Para el caso de las plantas, esta información se refleja en adaptación, productividad, resistencia a condiciones adversas de carácter biótico y/o abiótico (CIAT-UNAL-REDCAPA-CTA, 2007).

La interacción entre plantas y medio ambiente, más el efecto seleccionador del hombre, produjo la agrobiodiversidad, es decir diversidad de especies de plantas que ha utilizado o probado el hombre; al 2003 esta agrobiodiversidad sumaba cerca de 3.000 especies, entre las cuales apenas 20 suplían las necesidades fundamentales de sustento (FAO, 2003). La preocupación generada por depender de tan

pocas especies ha llevado a organizaciones de carácter gubernamental y privado a establecer estrategias para conservar los recursos fitogenéticos, considerados como el pilar biológico de la seguridad alimentaria del planeta (CIAT-UNAL-RED-CAPA-CTA, 2007).

### **13.3.2. Agricultura y conservación de la diversidad en fitogenética**

En términos agrícolas la diversidad vegetal se puede conservar *in situ* (en el lugar donde se produce) en estado silvestre o en las fincas, o *ex situ* (fuera del lugar de producción) en bancos de germoplasma situados en lugares distintos al hábitat natural de la planta (FAO - Focus, 1996). Aunque la agricultura moderna ha ocasionado un efecto negativo en el mantenimiento de la biodiversidad (Cabrera, 2015), es momento de un replanteamiento de su dinámica productiva ya que la conservación de los recursos fitogenéticos es la base de programas de mejoramiento vegetal, que acompañados de buenas prácticas agrícolas, representan grandes beneficios económicos (Navarrete *et al.*, 2012), logrando producir cultivares con genotipos de mayor productividad y adaptabilidad (Berretta *et al.*, 2010).

Por su parte, los sistemas de producción tradicional se caracterizan por tener diversidad de especies, con estructuras de cultivo semejantes a los ecosistemas naturales (Lowrance, 1984; Odum, 1984). Estos sistemas, al contener una mayor variedad genética, expresada en la conservación de diversos mecanismos de supervivencia vegetal, han demostrado ser muy resistentes a plagas, enfermedades y cambios del clima. Adicionalmente han influido en la conservación de otros servicios ecosistémicos, principalmente, los servicios de secuestro y almacenamiento de carbono, polinización y prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo (Hajjar *et al.*, 2008).

En concordancia con el documento: “Uso sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, la combinación de diversidad genética actual e histórica”; sustenta el potencial para adaptar los cultivos a las necesidades cambiantes de los agricultores y consumidores. Por lo tanto, el conjunto de sistemas de producción tradicionales y modernos, son clave hacia el camino del aprovechamiento de los recursos vegetales desde un principio de conservación abarcando la diversificación, adaptación, mejora y entrega de semillas, acompañado del fitomejoramiento como puente entre la conservación en los bancos de genes y los sistemas de semillas que entregan variedades mejoradas a los agricultores (FAO s.f.a).

### 13.4. Consideraciones finales

La conservación de los recursos genéticos animales, vegetales, fúngicos y microbiológicos en general, permitirá afrontar retos encaminados hacia el desarrollo sustentable, basado en la protección de los recursos naturales y el buen uso de sus servicios ecosistémicos. De acuerdo con la FAO (s.f.b), en el caso particular de la diversidad fitogenética, existe amenaza de “erosión genética” o pérdida de genes, cuya causa principal es la sustitución de las variedades locales por variedades modernas; ante esta situación, la mejor estrategia de conservación sería la combinación *ex situ* e *in situ*, manteniendo variedades de cultivos en sus agroecosistemas locales y conservación de parientes silvestres; por ejemplo, zonas protegidas por su valor ambiental.

### 13.5. Estudio de caso

Como ejemplo de estudio de caso, se abordará el yacón (*Smallanthus sonchifolia*), una planta proveniente de los Andes y de consumo en la región suramericana, considerada por la FAO & OMS (2012), como un comestible cuyos valores nutricionales “lo hacen un alimento perfecto para los diabéticos y para personas en dieta”. Poco se conoce sobre la diversidad genética y otras propiedades agronómicas de esta planta en el territorio colombiano, mientras que en Perú, existen bancos de germoplasma con caracterización morfológica y molecular. También en Japón se cuenta con variedades mejoradas en producción de fructo-oligosacáridos (Hernández, 2004).

Considerando, entre otros factores, las características agroecológicas de la ecorregión Eje Cafetero, aptas para establecer cultivos de yacón; se realizó una investigación sobre la variabilidad genética, permitiendo su conservación *ex situ*, en banco de germoplasma en campo. Los resultados de la caracterización morfoagronómica clasificaron 10 biotipos, distribuidos molecularmente en tres grupos destacables, donde se concluyó que las accesiones del grupo uno, fueron las mejores para producción de tubérculos, grupo dos, para producción de doble propósito y el grupo tres, para producción foliar (Polanco & García, 2013).



## 13.6. Evaluación del capítulo

1. Realizar una propuesta de prospección en agricultura sustentable basada en la conservación de los recursos ecosistémicos, teniendo como eje central la conservación de la diversidad genética.
2. Consulte sobre alguna entidad situada en Colombia, donde se conserven recursos fitogenéticos y, dentro de lo posible, trate de responder los siguientes interrogantes:
  - a. Realice una descripción general de la entidad objeto de su consulta, incluyendo en detalle la información sobre programas de conservación de recursos fitogenéticos.
  - b. ¿De dónde proceden los recursos para el programa de conservación?
  - c. Describa la técnica de conservación empleada.
  - d. ¿La entidad cuenta con algún programa de fitomejoramiento?, profundice.
  - e. Si usted fuera a liderar un programa de fitomejoramiento, ¿cómo lo proyectaría? Describa paso a paso.

---

## Referencias

- Altieri, M.A. (2007). *Biodiversidad y Manejo de Plagas en Agroecosistemas*. Barcelona: Icaria editorial S.A.
- Badii, M.H. (2015). Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos. *Daena (International Journal of Good Conscience)*, 10(2), 156-174.
- Berretta, A., Albín, A., Díaz, R. & Gómez, P. (2010). Recursos fitogenéticos: desafíos y oportunidades. Berretta, A. (Cord) *Estrategia en los recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur*. (pp.7-20). Montevideo, Uruguay: Procisur.
- Butchart, S.H., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J.P., Almond, R. E.,...Carpenter, K.E. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 1187512.
- Cabrera, M. (Compiladora) (2015). Ciudadanía ambiental, crisis de la agricultura convencional y desafíos para una agroecología orientada hacia el desarrollo rural. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Bogotá. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/1222>
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P.,... Kinzig, A.P. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59.
- Chapin III, F.S., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L.,...Mack, M.C. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405(6783), 234-242.

- CIAT-UNAL-REDCAPA-CTA. (2007). En *Multi-Institutional distance learning course on the ex situ conservation of plant genetic resources*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical; Universidad Nacional de Colombia; Bioversity International; Red de Instituciones Vinculadas a la Capacitación en Economía y Políticas Agrícolas en América Latina y el Caribe; Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale.
- FAO. (s.f.a). AGP - *Sustainable Use of Plant Genetic Resources: Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: <http://www.fao.org/agriculture/crops/mapa-tematica-del-sitio/theme/seeds-pgr/sust-use/es/>
- FAO. (s.f.b). *Recursos fitogenéticos o se utilizan o se pierden Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: <http://www.fao.org/nr/cgrfa/cthem/plants/es/>
- FAO - focus (1996) *Conservación de la biodiversidad: Colecciones in situ y ex situ; el GCIAI*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: <http://www.fao.org/FOCUS/S/96/06/04-s.htm>
- FAO (2003). *Diversidad biológica en la alimentación y la agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: [http://www.fao.org/fitleadadmin/templates/nr/documents/CGRFA/Newsletter\\_and\\_leaflets/Leaflet\\_SoWBFA\\_s.pdf](http://www.fao.org/fitleadadmin/templates/nr/documents/CGRFA/Newsletter_and_leaflets/Leaflet_SoWBFA_s.pdf).
- FAO & OMS (2012) *Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias Comité coordinador FAO/OMS PARA América Latina y el Caribe 18a Reunión San José, Costa Rica, 19-23 de noviembre de 2012. Documento de proyecto propuesta de nuevo trabajo para una norma regional del codex para el yacón [Smallanthus sonchifolius (Opep et Ende. H. Robinson)]*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación & Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: [http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCLAC/CCLAC18/la18\\_15s.pdf](http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCLAC/CCLAC18/la18_15s.pdf)
- FAO (2014). *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3704s.pdf>
- FAO (2015a). *Semillas y recursos fitogenéticos: una base para la vida*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: <http://www.fao.org/agriculture/crops/mapa-tematica-del-sitio/theme/seeds-pgr/es/>
- FAO (2015b). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4808s.pdf>
- FAO (2016). *Los ecosistemas y los servicios que ofrecen: algunos datos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/382062/>
- Hajjar, R., Jarvis, D. I., & Gemmill-Herren, B. (2008). The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123 (4), 261-270.
- Hernández, U. (2004). *Ensayos de adaptación del yacón en zona cafetera*. Manizales, Colombia: Universidad de Caldas.
- Hoagland, M. (1985). *Las raíces de la vida*. Cuello, J. (Trad). Mallorca, España: Salvat Editores S.A.
- Instituto Humboldt. (2017). *Biodiversidad colombiana: números para tener en cuenta*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado de: <http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1087-biodiversidad-colombiana-numero-tener-en-cuenta>

- Lowrance, R.B. (1984). *Agricultural Ecosystems*. USA: John Wiley and Sons.
- Mace, G.M., Norris, K. & Fitter, A.H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in ecology & evolution*, 27(1), 19-26.
- MADS. (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos* (PNGIBSE). Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto Humboldt, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- MADS. (2014). *Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Bogotá D. C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington D. C.: Island Press. Recuperado de <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Montenegro-Gómez, S., & Rosales-Escarria, M. (2015). Fruto de naidi (*Euterpe oleracea*) y su perspectiva en la seguridad alimentaria colombiana. *Entramado*, 11(2), 200-207. doi: 10.18041/entramado.2015v11n2.22238.
- Navarrete-Frías, C., Umaharan, P., Debouck, D., García, S., Fuller, C., Gibson, N., Jarvis, A., Castañeda-Álvarez, N., & Nowak, A. (2012). *Recursos fitogenéticos: Bases para un futuro resiliente al clima y libre de hambre en el Caribe*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Neiva, S.C. & Jiménez, M.V. (2010). Técnicas de conservación *in vitro* para el establecimiento de bancos de germoplasma en cultivos tropicales. *Agronomía mesoamericana*, 21(1), 193-205.
- Odum, E. P. (1984). Properties of agroecosystems. En R. B. Lowrance. *Agricultural Ecosystems*. USA: John Wiley and Sons.
- Rodríguez, B.E. (2009). *La contaminación ambiental y sus consecuencias Toxicológicas*. España: Beatriz Soledad.
- Swift, M.J., Izac, A.M. & Van Noordwijk, M. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 113-134.
- TEEB. (2010). Informe sobre la economía de los ecosistemas y la biodiversidad para las empresas – Resumen ejecutivo 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity.



# Servicios Culturales

---

**14. Los servicios culturales**

---

**15. Turismo**

---



# CAPÍTULO 14

---

## LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CULTURALES

Martha Liliana Palomino Leiva

Cesar Augusto Victoria Arce<sup>27</sup>

Martha Cecilia Vinasco Guzmán

Sandra Patricia Montenegro Gómez

Víctor Fabián Forero Ausique

Christian Felipe Valderrama López<sup>28</sup>

Silvia Eugenia Barrera Berdugo<sup>29</sup>

### 14.1. Introducción

El estudio de los Servicios Ecosistémicos Culturales que provee el medio ambiente a las sociedades y comunidades, representa un enfoque de investigación relativamente nuevo, difundido gracias a las Ciencias Naturales y Sociales, a partir del análisis de la problemática de la degradación ambiental, la valoración económica de dichos servicios y el capital natural a nivel mundial, además de las publicaciones de diversas disciplinas que se han interesado por el tema.

Los servicios culturales están asociados a la valoración humana no material de los lugares, ecosistemas y agrosistemas necesarios para su adecuado funcionamiento, la conservación de la biodiversidad, la protección del patrimonio histórico - cultural de las comunidades y la sostenibilidad ambiental, económica y social. De esta manera muchas zonas, lugares o regiones son protegidos y reconocidos por su aporte estético, la belleza que inspiran, la espiritualidad que promueven, la identidad cultural que establecen, el conocimiento que representan y los servicios de salud, recreación y turismo que aportan para el bienestar humano.

---

<sup>27</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades.

<sup>28</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.

<sup>29</sup> Investigadora Universidad Industrial de Santander.

Correos electrónicos de contacto: martha.palomino@unad.edu.co, cesar.victoria@unad.edu.co, marta.vinasco@unad.edu.co.

En este capítulo se presentan los fundamentos conceptuales y metodológicos para el estudio interdisciplinario de los Servicios Ecosistémicos Culturales. Se hace un recorrido por su concepto, clasificación, ciencias que los abordan, teorías, métodos y se reconocen algunos antecedentes internacionales, nacionales y regionales. Finalmente, se presenta un estudio de caso aplicado en la región del Eje Cafetero, Colombia.

## 14.2. ¿Qué son los Servicios Ecosistémicos Culturales?

En la vida humana, los ecosistemas se constituyen en escenarios para la apropiación, conservación y restauración de los territorios y su biodiversidad en todas sus dimensiones y contextos. De igual manera, estos ecosistemas proveen bienestar social y económico en el marco del desarrollo, al proveer diferentes bienes y servicios que les permite a los grupos humanos sobrevivir en el tiempo (Aldana-Domínguez, 2014). En este contexto y en el marco de un enfoque socio-ecológico toma relevancia la cultura, puesto que el papel de las personas, las comunidades, las instituciones, las empresas y el mismo Estado, son claves en este ejercicio.

La cultura referida al conjunto de conocimientos, modos de vida, formas de organización y costumbres de un pueblo presentes en la satisfacción de las necesidades humanas posibilita o no el mantenimiento de estos ecosistemas al ser manipulados y transformados en beneficio propio (Balvanera *et al.*, 2010). Desde la antropología, Clifford Geertz en Consuegra (2011, p. 63), define por cultura “la trama de significados en función de la cual los seres humanos interpretan su existencia y experiencia, así mismo conducen sus acciones”. Por consiguiente, la cultura determina los servicios derivados de los ecosistemas y el aprovechamiento de estos de acuerdo a las construcciones sociales que se establezcan en la sociedad: “El concepto de cultura como el de identidad, lo simbólico y los valores pueden considerarse construcciones colectivas, así mismo las experiencias vividas a diario hacen parte de la cultura de los individuos de determinada sociedad” (Castrillón, Lince, Rodríguez, Artunduaga, Llano y Salazar, 2018, p. 33).

Así mismo, la relación cultura – ecosistema muestra tres procesos ligados entre sí: primero, se constituye en una estrategia adaptativa y de ajuste del sujeto al contexto; segundo, en el proceso de interacción se transforman los ecosistemas y; tercero, una vez rotos los límites, los impactos causados en el medio ambiente presionan al sistema cultural para que cambien o desaparezcan formas, prácticas

y modos de vida (Ángel-Maya, 2013). Por lo tanto, es necesario comprender la relación cultura – ecosistema en la apropiación de los servicios ecosistémicos en los ambientes donde se interactúa que es ampliamente diversa: “Es innegable la diversidad cultural que se asiste en lo contemporáneo, situación a la que se han adecuado los Estados [...] La propuesta multicultural se caracteriza por la convivencia de diversas culturas en espacios semejantes” (Llano, 2012, p. 366).

Los Servicios Ecosistémicos Culturales “son beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas naturales” los cuales contribuyen al mantenimiento de la vida humana al proponer oportunidades de salud, crecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, recreación, identidad cultural y experiencias estéticas (Camacho & Luna, 2012; Milcu *et al.*, 2013). Entre sus características se destacan su intangibilidad, la entrega de beneficios físicos, emocionales y mentales a partir de los ecosistemas, no son consumibles y rara vez son comercializables (Milcu *et al.*, 2013).

Estos servicios se obtienen de la interacción directa de los seres humanos con los recursos naturales, permitiendo afianzar la identidad cultural y el sentido de pertenencia de una comunidad, región o nación a partir de la valoración de manifestaciones culturales como fiestas, gastronomía, economía, religión, representaciones artísticas, arquitectura, entre otros. Igualmente, posibilitan actividades de recreación y turismo a través del avistamiento de aves, paisajismo, caminatas, safaris fotográficos, recorridos gastronómicos o pesca recreativa, contribuyendo al conocimiento y al compromiso personal, comunitario o institucional para proteger la biodiversidad y el mejoramiento del conocimiento de las especies de flora y fauna nativas, aún de aquellas que se encuentran en peligro, a través de las visitas a museos, parques temáticos y espacios naturales protegidos o de recreación, considerados patrimonios y bienes culturales protegidos constitucionalmente: “Tanto el patrimonio como los bienes culturales identifican las culturas y reproducen las experiencias comunitarias estos son objeto de protección no solo a nivel local, sino también internacional. El reconocimiento de la diversidad es uno de los avances de las constituciones” (García y Llano, 2018, p. 180).

### **14.3. ¿Cuáles son los Servicios Ecosistémicos Culturales?**

La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (Sarukhán & Whyte, 2005) y The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2010) los clasifica en cuatro grandes grupos tal como se ilustra en la gráfica 14.1.

<b>Actividades de recreo, salud mental y física</b>	<b>Turismo</b>	<b>Apreciación estética e inspiración por la cultura, el arte y el diseño</b>	<b>Experiencia espiritual y sentimiento de pertenencia</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caminar</li> <li>• Practicar deporte en parques y espacios verdes urbanos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viajes y estancias a distintos lugares o destinos para el descanso, ocio y disfrute de la naturaleza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspiración para el arte, cultura y el diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Religión</li> <li>• Patrimonio cultural</li> <li>• Espiritualidad</li> <li>• Conocimiento tradicional</li> <li>• Sentido de pertenencia</li> </ul>

**Figura 14.1.** Clasificación de los servicios culturales.

Esta clasificación valora la dimensión cultural en cuanto a valores, prácticas y conocimientos en la satisfacción directa o indirecta de las necesidades humanas (salud, recreación, descanso, ocio, arte, identidad, cognición, religiosidad y espiritualidad), buscando el bienestar humano en armonía con los ecosistemas naturales. De esta manera la integración naturaleza – cultura posibilita el análisis de los impactos de la acción humana que comprometen la estabilidad ambiental y permite el desarrollo de estrategias para disminuirlos. Así mismo, se generan beneficios temporales, espaciales, directos e indirectos que contribuyen con la felicidad humana y la protección de los mismos ecosistemas (Constanza, 1997).

Desde el modelo socio ecológico, Daniel & colaboradores (2012), definen e integran el capital natural a la estética, los paisajes culturales, el turismo y el valor espiritual, como servicios culturales que surgen de la interacción humana y el conocimiento de los ecosistemas; estos servicios cuentan con fundamentos científicos, en donde se vinculan factores psicológicos y sociales para su valoración e integración, a partir de datos empíricos.

La estética del paisaje hace referencia a la belleza presente en la apreciación de los ecosistemas ubicados en ciudades y veredas, donde se destacan parques naturales, zonas de reserva, accidentes geográficos, vegetación, aguas termales, cañadas, ríos, lagunas, lagos, mares, cultivos, desiertos, bosques y viviendas, entre otros. Para valorar su calidad estética se utilizan encuestas de percepción y observaciones a grupos humanos que valoran y utilizan estos escenarios, ya sea por la estética visual o la utilidad económica que aportan.

Los paisajes culturales son escenarios de interacción asociados a la identidad de un pueblo o comunidad, donde se les da un valor histórico cultural a partir de características biofísicas, artefactos físicos e intangibles heredados de generación



en generación, el cual va más allá del enfoque visual del paisaje (Czepczynski en Daniel et al 2012). De esta manera se gesta el arraigo en valores tradicionales, creencias, costumbres, instituciones, formas de organización y actividades productivas que identifican comunidades campesinas, indígenas o afrodescendientes. En la región occidental de Colombia se destaca El Paisaje Cultural Cafetero (PCC).

La recreación y el turismo representan todas las actividades recreativas que se realizan al aire libre y en interacción con los ecosistemas naturales o semi naturales, ubicados principalmente en entornos urbanos. Estos entornos pueden ser aprovechados en horas diurnas y nocturnas sin que se afecte el hábitat o la vida silvestre, recorrer ambientes y desarrollar actividades que posibiliten el bienestar físico y psicológico de las personas que los utilizan. En este caso se identifican senderos ecológicos, parques, espacios recreativos, entre otros.

La significación espiritual y religiosa va ligada a la conservación del medio ambiente o los ecosistemas, en las que se destacan valores, prácticas y vivencias que grupos indígenas, espirituales, religiosos y conservacionistas han tratado de establecer y mantener en ciertos espacios o localidades, denominándolas como áreas sagradas. Por lo general, estas áreas están identificadas por símbolos, santuarios o rutas de peregrinación; su extensión puede variar y sus límites pueden no ser establecidos, ser abiertas al público para realizar actos de adoración o peregrinación, o ser restringidos solo a líderes espirituales o religiosos (Daniel et al, 2012).

Al incluir conceptos mitológicos, morales o religiosos, estos ecosistemas sagrados también pueden estar relacionados con comunidades aborígenes, culturas étnicas, un conflicto o aparición religiosa que, a través del lenguaje, historias compartidas, cantos, poesías, adoraciones o bailes, le dan un significado, el cual lo hace inteligible. Estos sitios o ecosistemas también atraen el turismo dependiendo de la valoración y la apertura al público.

Aunque estos lugares no tienen una valoración monetaria propia (Daniel *et al.* 2012; Milcu *et al.* 2013; Cooper *et al.* 2016), son reconocidos por líderes, comunidades, científicos y legisladores que buscan su protección a través de prácticas culturales, espirituales, religiosas o estudios científicos. Así mismo, Daniel *et al.*, (2012), expresa que requieren de evaluaciones participativas para darle reconocimiento o valoración.

#### **14.4. ¿Cuáles son los marcos conceptuales y metodológicos para el estudio de los Servicios Ecosistémicos Culturales?**

La ecología, la gestión ambiental, la economía, las ingenierías, las ciencias sociales y las humanidades aportan en sus procesos de investigación (Milcu *et al.*, 2013) y utilizan diversos conceptos teóricos, categorías analíticas y enfoques metodológicos pluralistas en su abordaje, siempre desde una mirada interdisciplinar (Fish *et al.*, 2016).

En la revisión de literatura se destacan los aportes de Balvanera & colaboradores (2010) en la identificación de la Ecología Cultural, la Ecología Política, los Sistemas Socio-ecológicos y el Metabolismo Social, como marcos conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos tal como se describen en la tabla 14.1. En el estudio de los servicios culturales, estos modelos toman relevancia puesto que su desarrollo histórico ha aportado en la comprensión de sus problemas y el desarrollo de acciones para su descripción, análisis y valoración en los territorios donde funcionan y se establecen. Gracias a estas ciencias y teorías, es posible estimar su valor económico y social, su aporte al bienestar humano y la contribución a políticas para la toma de decisiones sobre el uso y la protección de los recursos naturales.

**Tabla 14.1.** Marcos conceptuales existentes.

Enfoque conceptual	Período	Representante	Principales características
<b>Ecología Cultural o Ecología Antropológica.</b>	Década de 1950.	Julian Steward con su obra “Theory of Culture Change: The Methodology of Multilinear Evolution”.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque cultural histórico.</li> <li>• Valora la riqueza antropológica derivada de sus reflexiones teóricas y de sus estudios de casos.</li> <li>• Su propósito fue estudiar los comportamientos y adaptaciones humanas al medio ambiente.</li> <li>• Se expandió entre la antropología, la arqueología, la geografía y la ecología.</li> <li>• Fue criticada por su determinismo medio ambiental.</li> </ul>
<b>Ecología Política.</b>	Principios de la década de 1980.	Piers Blaikie con su clásico libro “The Political Economy of Soil Erosion in Developing Countries”.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crítica a la ecología cultural.</li> <li>• Se desarrolla con el Club de Roma (1972), el Protocolo de Kyoto (1990) y la Declaración de Río (1992).</li> <li>• Analiza las interrelaciones ambiente-sociedad en las estructuras de poder y toma de decisiones para la regulación del mercado.</li> <li>• Proclama una justicia social medioambiental.</li> <li>• Desarrollo de las Organizaciones no Gubernamentales (ONG), partidos verdes, movimientos internacionales y activistas ambientales.</li> </ul>
<b>Sistemas Socioecológicos.</b>	Finales de la década de 1990.	Fikret Berkes (antropólogo) y Carl Folke (ecólogo), entre otros.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analiza los ecosistemas incluyendo al ser humano como parte de estos.</li> <li>• Establecen una relación propia entre sociedad–naturaleza.</li> <li>• Valoran el conocimiento tradicional o local y la propiedad colectiva sobre los ecosistemas, la generación de tecnologías apropiadas, la existencia de instituciones que permiten el cuidado y mantenimiento de los recursos naturales.</li> </ul>
<b>Metabolismo social.</b>	Fnales del siglo XX-principios del siglo XXI.	Fischer-Kowalski 1998, Fischer-Kowalski y Huttler 1998, Haberl 2001, 2006.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surge de las Ciencias Naturales desde el concepto de metabolismo.</li> <li>• Sustenta que el mantenimiento y reproducción de los sistemas sociales requiere del movimiento de flujos de materia y energía al interior de las sociedades.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia a partir de Balvanera &amp; colaboradores (2010).

A nivel metodológico Milcu & colaboradores (2013), muestran estudios muy amplios sobre mapeos, estudios de caso, estudios de revisión y evaluación de estos servicios culturales en Europa, Norte América y Australia, pero pocos estudios en Centro y Sur América, África y Asia. Se utilizan metodologías cuantitativas, cualitativas y mixtas con mayor preferencia, sin importar el enfoque teórico ni la disciplina académica. De las subcategorías identificadas en este estudio las más investigadas son la recreación y el ecoturismo, los valores estéticos, los valores religiosos y espirituales y los valores educacionales.

En Suramérica aunque son pocos los estudios, primero se estiman las zonas que proveen estos servicios para luego identificarlos y valorarlos desde diversas metodologías para determinar su valor de uso<sup>30</sup>, el valor de no uso<sup>31</sup> y el valor económico total<sup>32</sup>. Los países más representativos son México, Perú y Chile. Figueroa (2010), menciona diversas metodologías de valoración para estimar el valor de bienes y servicios aportados por los ecosistemas, entre ellos los culturales donde las personas muestran sus valoraciones ya sea a través de encuestas o la disposición cualitativa por pagar o elegir entre una u otra alternativa. Tal como lo describe Figueroa (2010), las metodologías usadas para evaluar estos valores son los precios de mercado, los costos de viaje, los precios hedónicos, los mercados sustitutos, la función de producción, la valoración contingente, el costo de reemplazo, el gasto preventivo, el costo de oportunidad y la transferencia de beneficios.

En Colombia estos servicios culturales son relativamente poco investigados, aunque se han ido gestando y valorando desde una mirada economicista o ambientalista, perdiendo de vista el aporte integral que realizan los ecosistemas a la vida humana. Sin embargo, existen esfuerzos institucionales y comunitarios que buscan la creación y aplicación de legislaciones, programas y acciones que favorecen el cuidado y la protección de recursos, especies, hábitats, entornos y el patrimonio cultural presente en las diferentes regiones del país.

En la literatura gris se encuentran algunos estudios que describen estos Servicios Culturales a partir de valoraciones mixtas presentes en algunas regiones colombianas, reconociendo diversas categorías para su identificación y análisis, ligados a ecosistemas y sistemas productivos de las poblaciones urbanas o campesinas

<sup>30</sup> Servicios ecosistémicos utilizados de forma directa o indirecta y no consuntivo para su consumo, producción y uso presente o futuro.

<sup>31</sup> Valor intrínseco de los ecosistemas el cual determina el valor de existencia para la conservación de la vida y el bienestar clasificados en siete categorías: la existencia, lo espiritual, la herencia, lo social, lo histórico, lo simbólico y lo auténtico.

<sup>32</sup> Corresponde a la suma de los valores de uso directo, indirecto, de opción y de no uso.

además de comunidades étnicas presentes. Las disciplinas que recientemente los han estudiado son la ecología y la economía.

Angarita (2016) en su estudio tuvo como propósito identificar, analizar y mapear los servicios ecosistémicos culturales presentes en el territorio indígena del Corregimiento La Pedrera en el departamento de Amazonas. A través de encuestas semiestructuradas logró describir sistemas socio-ecológicos (caños, quebradas, cananguchales, cerros, chorros, islas, lagos, etc.), identificar tres resguardos indígenas (Comeyafú, Camaritagua, Puerto Córdoba) y la vereda El Madroño, así como la percepción de sus habitantes frente al territorio. De esta manera identifica siete servicios culturales asociados al bosque tropical amazónico (espiritual, recreación, estética, inspiración, sentido de lugar, patrimonio y educación), algunos con mayor representación que otros.

Moyano (2016), busca entender las percepciones de diferentes actores sociales al evaluar los valores asociados a los servicios ecosistémicos presentes en los ecosistemas, frente a la oferta de gobernanza ambiental en la región del Meta. En este estudio, aunque los servicios culturales no son los más valorados, evidencian un componente significativo representado en educación ambiental, conocimiento científico, conocimiento ecológico local, identidad cultural, sentido de pertenencia, disfrute espiritual, y actividades recreativas y de turismo, percibidos como esenciales, muy importantes y necesarios para la vida humana en la región.

Desde la psicología y sus interdisciplinas, se propone estudiar el sistema de creencias y el patrón de comportamiento, los cuales generan estructuras e interacciones adaptativas entre las personas y su contexto. De esta manera, se pueden desarrollar categorías de análisis involucradas en los procesos de interacción humana y los ecosistemas. Entre ellas se destacan las actitudes y creencias, las emociones, las cogniciones, la identidad cultural, la territorialidad, el comportamiento ambientalmente responsable, entre otras (Roth, 2000).

Lo anterior muestra diversidad en las posibilidades de investigación, pero a la vez poca experiencia de este campo en el país. Su abordaje ha sido más desde valoraciones socio económicas y socio ambientales a través de múltiples enfoques, escalas y procedimientos. Aquí se encuentra una gran oportunidad para el estudio conceptual y empírico de la salud integral y el bienestar humano, presentes en estos servicios culturales desde la psicología ambiental, la psicología cultural, la ecología humana, la

antropología y la sociología, en el marco de la complejidad; además de la innovación social en el abordaje de los problemas ambientales y culturales presentes en los ecosistemas y agrosistemas, los cuales determinan factores, variables y constructos del comportamiento humano y el medio ambiente con mutua interdependencia:

### **14.5. Consideraciones finales**

El concepto de Servicios Ecosistémicos Culturales establece un vínculo explícito entre ecosistema o agrosistema, sociedad y cultura, el cual permite generar conocimiento sobre los recursos naturales, la biodiversidad, la sostenibilidad, las civilizaciones y el universo. Presenta diversas formas, su abordaje ha sido desde la perspectiva socio-económica y socio-ambiental, en un campo reciente de investigación.

Los servicios culturales presentan una amplia clasificación en la que se distinguen cuatro grandes grupos: la estética del paisaje, los paisajes culturales, la recreación y turismo y los valores espirituales y religiosos. También se destacan como subcategorías las fiestas tradicionales, las expresiones artísticas, la educación ambiental, la conservación de material histórico, el conocimiento y la investigación científica sobre estos bienes y servicios culturales.

Los marcos teóricos y metodológicos son heterogéneos y muestran una perspectiva interdisciplinaria, los cuales integran sistemas, procesos y problemas biológicos, ambientales y socioculturalmente complejos. Así mismo, buscan afrontar problemas circunstanciales, potenciar prácticas humanas y promover decisiones, iniciativas y políticas públicas para la manipulación, protección y transformación de los ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos y las tradiciones culturales.

La valoración y medición de los servicios ecosistémicos culturales está determinada por la disponibilidad de los recursos, bienes y servicios, el valor de conservación histórica, cultural y económica, que determinan los beneficios y la identidad para una comunidad, región o nación.

### **14.6. Estudio de caso: el Paisaje Cultural Cafetero de Colombia (PCCC)**

En Colombia se identifica el Paisaje Cultural Cafetero, declarado patrimonio mundial por la Unesco en el año 2011, y reconocido por ser una zona geográfica en la que se desarrolló una caficultura de ladera y montaña, basada en la pequeña

propiedad, el cual conjuga elementos naturales (clima, relieve, suelo, biodiversidad), económicos (productos del café) y culturales (arquitectura, comidas, música, fiestas, carnavales, celebraciones), con un alto grado de homogeneidad y está ubicado en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca. Se constituye en un modelo social y económico construido a partir del esfuerzo familiar y el acompañamiento de la institucionalidad, heredado desde la colonización y transmitido de generación en generación (Figura 14.2).

A partir de Duque-Escobar (2017) y el Ministerio de Cultura (2017) el valor universal del Paisaje Cultural Cafetero (Figura 14.2) se determina por cuatro criterios o elementos a saber: un paisaje productivo de café, las culturas precolombinas, la colonización antioqueña y la arqueología. Cada uno de estos se entremezclan a partir del trabajo humano desarrollado en cuatro periodos históricos: la época prehispánica o precolombina, la colonización antioqueña, la expansión de la producción cafetera y la tecnificación de la caficultura, dejando huella en el paisaje, en la cultura y en la arquitectura de la región.

El paisaje productivo del café desarrolló una cultura destacada por el espíritu emprendedor, la laboriosidad, la amabilidad y la sagacidad para los negocios, la cual consolida un conjunto de tradiciones y manifestaciones que la identifican y materializan en símbolos y acciones cotidianas de sus gentes.



**Figura 14.2.** Finca del eje cafetero en Colombia.

Fuente: <http://paisajeculturalcafetero.org.co/contenido/Cultura-Cafetera>

Entre ellas se destacan el vestuario típico para hombres y mujeres, los iconos que identifican la productividad (el arriero, la mula, el hacha, el machete, el Willys o Yipao y el Juan Valdez), el bahareque (uso de tierra, madera, guadua y fibras naturales) en las construcciones de vivienda y templos, las artesanías (sombrero aguadeño, cestas o canastas para recolectar el café, construcciones de guadua, etc.), la gastronomía representada por la comida paisa y montañera, productos comestibles del café, conservas, calados, dulces, entre otros), las manifestaciones artísticas de compositores, novelistas, poetas, cuentistas, pintores, músicos y fotógrafos; fiestas y ferias nacionales de los municipios del Quindío, Risaralda y Caldas.

La cultura precolombina representativa es la Quimbaya, la cual se representa en piezas y objetos arqueológicos encontrados y recolectados en la zona. Entre ellos se destacan adornos de oro, cerámica, textiles, tumbas o construcciones funerarias, instrumentos musicales, adornos corporales y vasijas, ubicados en El Museo del Oro Quimbaya, en Armenia, Quindío.

En la segunda mitad del siglo XIX la colonización antioqueña dio origen a la caficultura de la región. Este proceso desarrolló un modelo productivo en pequeña y mediana propiedad, con mano de obra familiar campesina. También fundaron pequeñas poblaciones ubicadas en montañas y laderas, caminos y ferrocarriles, los cuales dieron expansión a mercados internos y el desarrollo de una región cafetera. Este proceso integró el conocimiento ancestral, la cultura campesina y el proceso de transporte y comercialización de la época.

El patrimonio arqueológico lo conforma el pasado precolombino y colonial de la región, el cual configura la identidad y el compromiso por valorar y proteger estas piezas, puesto que del saqueo sistemático generado por la "guaquería" se pasa a la investigación, valoración y protección. Estas piezas arqueológicas y colecciones se encuentran ubicadas en los diferentes municipios y universidades ubicadas en el Paisaje Cultural Cafetero.

El Ministerio de Cultura (2007) destaca el centro de museos de la Universidad de Caldas, el Museo del Oro Blanco del Banco de la República en Armenia, el Museo de la Universidad del Quindío, el Museo Eliseo Bolívar en Belén de Umbría, Risaralda, la Alcaldía de Aránzazu, las Casas de la Cultura de Apía, Balboa, La Celia, Marsella, Palestina, Quinchía, Salamina y Santuario, el Museo Nacional de Sombrero en Aguadas Caldas, el Museo de Artes y Tradiciones de Riosucio en Caldas.



La preservación de estos servicios ecosistémicos culturales del Paisaje Cultural Cafetero, al igual que otras manifestaciones que se dan en las diferentes regiones, representados en este patrimonio cultural material e inmaterial, requieren de acciones permanentes de valoración, investigación y divulgación, además de la financiación pública que permita su protección y conservación, la preservación de las usanzas y la tradición cultural que representan (Nieto, Vallejo y Giraldo, 2016b).

## 14.7. Evaluación del capítulo

1. ¿Para usted qué son los servicios ecosistémicos culturales? ¿Cómo clasifica o agrupa los servicios ecosistémicos culturales?
2. ¿Qué servicios ecosistémicos culturales identifica usted en su localidad o región? ¿Cómo se pueden valorar?
3. ¿Desde su disciplina académica cómo se pueden estudiar los servicios ecosistémicos culturales? ¿Qué problemáticas están ahí presentes?
4. Planifique y realice una visita a un bosque protegido, parque natural, sendero ecológico, jardín botánico, jardín silvestre, parque temático, la rivera de un río o un museo. Experimente el ambiente utilizando sus cinco sentidos, guarde silencio, escuche sonidos, observe detenidamente, capte olores, reproduzca sensaciones, registre o recopile rastros, descubra situaciones, tome anotaciones en su cuaderno o diario de campo y recopile información.
5. Elabore un relato o describa su experiencia y reflexione en cuanto a: los aspectos de la biodiversidad encontrados; la belleza paisajística y estética del lugar; el alcance simbólico, espiritual e inspirador para la mente humana; mitos ancestrales, ritos, simbología sagrada, cuentos, historias, bailes, fiestas y expresiones culturales representadas o encontradas, prácticas tradicionales y comunidades identificadas.

---

## Referencias

- Aldana-Domínguez (Ed). *Biodiversidad Caribe y Servicios Ecosistémicos* (pp. 27-28). Barranquilla, Atlántico: Universidad del Norte.
- Angarita B, J. A. (2016). *Servicios ecosistémicos culturales del territorio indígena del corregimiento La Pedrera, Amazonas – Colombia*. (Tesis de Maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C., Colombia.

- Ángel Maya, A. (2013). *El Reto de la Vida. Ecosistema y Cultura, Una Introducción al Estudio del Medio Ambiente*. Bogotá D. C., Colombia: Ecofondo.
- Balvanera, P., Castillo, A., Lazos, E., Caballero, K., Quijas, S., Florez, D.A.C., Galicia, C., Martínez, L., Saldaña, A., Sánchez, M., Maas, M., Ávila, G.P., Martínez, Y. Galindo, L., & Sarukhán, J. (2010). Marcos conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos en América Latina. En E.G. Jobbágy, J.M. Paruelo & P. Littera (Ed). *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Camacho, V.V.; Ruiz, L.A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*. 1(4), 3-15.
- Castrillon, D. Lince, E. Rodríguez, F. Artunduaga, J. Llano, J. y Salazar, J. (2018). Globalización y diversidad cultural. En: Jairo Vladimir Llano Franco. *Globalización, diversidad cultural y transformación en América Latina*. Bogotá: Editorial Ibáñez y Universidad Libre de Colombia.
- Constanza, R. (1997). El valor de los servicios ecosistémicos del mundo y el capital natural. *Nature*, 387, 253 - 260. <http://dx.doi.org/10.1038/387253a0>
- Consuegra A, N. (2011). *Diccionario de Psicología*. Segunda Edición. Bogotá: ECOE Ediciones.
- Cooper N.; Brady, E.; Steen, H.; Bryce, R. (2016). An esthetic and spiritual values of ecosystems: Recognising the ontological and axiological plurality of cultural ecosystem 'services'. *Ecosystem services*. 21, 218–229. doi: 10.1016/j.ecoser.2016.07.014
- Daniel, C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J.W., Chan, Kai M.A., Costanza, R., Elmqvist, T., Flint, C.G., Gobster, P.H., Gret-Regamey, A., Lave, R. Muhar, S., Penker, M., Ribe, R.G., Schauppenlehner, T., Sikor, T., Soloviy, I., Spierenburg, M. Taczanowska, K., Tam, J., von der Dunk, A. (2012). Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(23), 8812–8819. doi: 10.1073/pnas.1114773109
- Duque Escobar, G. (2017). Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio. *Summa Iuris*, 5(1), 16-25. doi: 10.21501/23394536.2459
- Figuroa, E. (2010). *Valoración Económica Detallada de las Áreas Protegidas de Chile*. Santiago: Proyecto GEF-MMA-PNUD. Recuperado de: [http://bdnnap.mma.gob.cl/recursos/privados/Recursos/CNAP/GEF-SNAP/Figuroa\\_2010.pdf](http://bdnnap.mma.gob.cl/recursos/privados/Recursos/CNAP/GEF-SNAP/Figuroa_2010.pdf)
- Fish, R., Church, A., Winter, M. (2016). Conceptualising cultural ecosystem services: A novel framework for research and critical engagement. *Ecosystem Services* 21, 208–217. doi: 10.1016/j.ecoser.2016.09.002
- García Lozano, L. F. y Llano Franco, J. V. (2018). Jurisprudencia constitucional y los derechos culturales de las comunidades étnicas en Colombia. En Jairo Vladimir Llano Franco y Nicole Velasco Cano (Coordinadores). *Globalización Hegemónica y alternativas locales de justicia por las comunidades étnicas*. Bogotá: Editorial Ibáñez y Universidad Libre de Colombia
- Llano Franco, J. V. (2012). Pluralismo jurídico y Estado. Transformaciones del Estado de derecho y el reconocimiento de la diversidad en Latinoamérica. Berlín: Editorial Académica Española.
- Milcu, A. I., Hanspach, J., Abson, D. & Fischer, J. (2013). Servicios ecosistémicos culturales: revisión de la literatura y perspectivas de futuras investigaciones. *Ecología y Sociedad*, 18(3), 44. doi: 10.5751/ES-05790-180344
- Ministerio de Cultura (2017). Paisaje Cultural Cafetero de Colombia. Recuperado de <http://paisajeculturalcafetero.org.co/contenido/Cultura-Cafetera>

- Moyano, M.A. (2016). *Aproximación a la valoración cultural de los servicios ecosistémicos en el territorio del municipio de Villavicencio – Meta*. (Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia.
- Nieto, L., Vallejo, J. y Giraldo, R. (2016b). El Cambio De Paisaje. En: Ángel, J. (Compiladora) (2016). *El cambio de paisaje y la agroecología como alternativa a la crisis ambiental contemporánea*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Bogotá. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/1378>
- Roth U, E. (2000). Psicología Ambiental interfase entre conducta y naturaleza. *Revista Ciencia y Cultura*. 4 (8), 63-78.
- Sarukhán, J., & Whyte, A. (2005). Evaluación de Ecosistemas del Milenio. En *Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis*. Washington, D. C., United States: Island Press.
- Kumar, P. (Ed). (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB): Ecological and Economic Foundations*. London, England: Earthscan.



# CAPÍTULO 15

---

## TURISMO: MODELOS DE TURISMO SOSTENIBLE COMUNITARIO

Martha Cecilia Vinasco Guzmán<sup>33</sup>

Martha Liliana Palomino Leiva<sup>34</sup>

Yenier Valencia Villegas

Sandra Patricia Montenegro Gómez

Ramón Antonio Mosquera Mena

Mery Rocío Fonseca Lara

Andrea Yate-Segura<sup>35</sup>

### 15.1. Introducción

Dentro de los servicios culturales que prestan los ecosistemas, se encuentran el disfrute estético de maravillarse de la naturaleza o de conocer y participar de las expresiones culturales de los diferentes pueblos, el disfrute de los entornos naturales o el sentimiento de orgullo por la pertenencia a determinado territorio, que presenta particularidades que lo hacen único. Estos servicios culturales se convierten en oportunidades para el desarrollo del turismo, porque se asocian con el disfrute de los recursos naturales y a su vez, dada la naturaleza del fenómeno turístico, se asocian con otros servicios de regulación o de abastecimiento.

Desde hace varios años se viene apoyando el desarrollo de nuevas formas de turismo bajo las premisas de lo sostenible y de lo comunitario, con el fin de mejorar el desarrollo socioeconómico de las comunidades, la conservación de los recursos naturales y el respeto a las culturas locales. El gobierno colombiano impulsa iniciativas de turismo sostenible con enfoque comunitario, como un elemento que genera desarrollo económico y social, contando con la participación de actores del sector privado y de las comunidades locales. El turismo comunitario se

---

<sup>33</sup> Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.

<sup>34</sup> Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades.

<sup>35</sup> Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.

Correos electrónicos de contacto: martha.palomino@unad.edu.co, marta.vinasco@unad.edu.co, yenier.valencia@unad.edu.co

caracteriza porque los beneficios del mismo se distribuyen en los actores de la comunidad, siendo estos un complemento de las actividades económicas tradicionales, como son la agricultura y la ganadería, que permiten proteger los recursos naturales y las culturales locales (Casas-Jurado, 2012).

Igualmente, dentro del diseño del producto turístico se involucra la convivencia con la comunidad, de tal modo que buena parte de su atractivo radica en el conocimiento de las costumbres, hábitos, patrimonio, gastronomía, oficios y cultura; en síntesis, el patrimonio cultural hace parte de la oferta turística (López-Fernández *et al.*, 2017).

Dado lo anterior, en este capítulo se pretende mostrar como el turismo comunitario y más el desarrollado en las áreas rurales, invita al turista a participar de un estilo de vida que es deseado, por ser diferente, dado que implica el consumo de productos y servicios que tienen una carga de productos reales, imaginados o fabricados, donde se involucran particularidades del territorio a visitar y donde se establece lo especial del atractivo turístico: “Las prácticas de los consumidores han configurado de manera simbólica un estilo de vida alrededor del consumo [...] no puede referirse exclusivamente a la compra de bienes materiales, sino a la continuación de actividades que buscan la satisfacción de intereses individuales” (Llano, 2018, p. 89).

## **15.2. Gestión de los recursos patrimoniales comunitarios**

El desarrollo impulsado por la comunidad es una estrategia basada en el ejercicio del control comunitario en la toma de decisiones y el uso de los recursos, para obtener un empoderamiento de los ciudadanos al recibir fondos, planificar y hacer seguimiento a las inversiones realizadas, orientadas al mejoramiento de su calidad de vida (Baromey, 2008; Condori-Cordero, 2012).

La participación de las comunidades la definió Masari de Achar en 1997 como “la habilidad de las comunidades locales de influenciar en el resultado de los proyectos de desarrollo turístico que tienen un impacto sobre ellos” (Zepeda Arce, 2009, pág. 26). Esto implica acciones para “fortalecer y apoyar grupos sociales inclusivos, facilitar el acceso de la comunidad a la información básica que les permita tomar decisiones en cuanto a su propio desarrollo y fomentar contextos de oportunidad a través de reformas políticas e institucionales” (Diéguez *et al.*, 2011, pág. 6).

El ideal entonces se orienta a equilibrar la conservación, el desarrollo económico y el bienestar social, planteando que el éxito del turismo rural implica el empoderamiento de las comunidades locales para convertirse en actores clave en la toma de decisiones y en la ejecución de la gobernanza de los recursos, la participación en los beneficios y la planificación del desarrollo (Ivars-Baidal, 2001; Eagles *et al.*, 2002; Baromey, 2008; Ruiz *et al.*, 2008).

Para entender la experiencia comunitaria en diferentes contextos y como es en este caso, en el ejercicio de actividades de turismo rural comunitario...

“(...) es necesario ubicarla en un triple contexto: el entorno natural o el sistema ecológico en el que se desenvuelve (hábitat); los orígenes y los determinantes internos (histórico-culturales) que lo definen y las relaciones institucionales que condicionaron o indujeron su emergencia y desarrollo (grado de autonomía)” (Maldonado, 2005, pág. 165).

Esto lleva a revisar el concepto de autogestión de las comunidades locales, como forma de manejo de los recursos patrimoniales comunitarios, de acuerdo a principios democráticos y solidarios, donde se distribuyen los beneficios para generar el progreso permanente, el aprendizaje de nuevas prácticas y el tejido de redes horizontales que generen iniciativas locales (Maldonado, 2005; Gonzales-Torres, 2010). Este concepto está relacionado con el enfoque adaptativo e involucra el aprendizaje social, donde los actores comparten sus conocimientos, ideas y aspiraciones para co-construir nuevas visiones y planes de acción, vinculando acciones de gestión adaptativa, que es una técnica que permite a los administradores aprender acerca de los sistemas que ofician a través de ensayo y error, a partir de la estrecha participación de las partes interesadas y que implica el monitoreo continuo (Schejtman & Berdegué, 2004; Wegner *et al.*, 2011).

### **15.3 Modelos de gestión de recursos**

Los modelos de gestión de los recursos por parte de la comunidad enmarcados en el ecoturismo, han sido estudiados por diversos autores y en general se orientan a valorar lo relativo al modelo económico, pero también las dinámicas de las comunidades involucradas, teniendo en cuenta sus intereses, prioridades y metas, reconociendo que no puede plantearse para todas un solo modelo homogéneo, sino que éste debe obedecer a las singularidades del territorio (Fraguell *et al.*, 2006; Castillo & Rico, 2007; Inostroza, 2008; Espinal-Gómez, 2011; Olson, 2012).

Partiéndose de que su condición más importante es la del control del producto turístico por parte de la comunidad o comunidades, igualmente se considera que la iniciativa turística debe implicar el manejo sostenible de los recursos, la responsabilidad con el entorno social, el cumplimiento de altos estándares de calidad, la rentabilidad económica y la competitividad del producto ofertado en el mercado (Eagles *et al.*, 2002; Kraus, 2007; Fun *et al.*, 2014).

En este marco, se parte de la premisa de que las comunidades locales son una parte integral del sistema del agroturismo comunitario (Barbini, 2007; Strickland-Munro & Moore, 2014), a partir de la utilización del concepto de la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos, considerando que se presentan escenarios de cambio y que estos se pueden enfrentar a través de la acción conjunta, coordinada y concertada del Estado, el sector productivo y la sociedad civil (Roberts & Pannell, 2009; Ruiz-Ballesteros, 2011).

A manera de resumen, la conservación debe ser entendida y gestionada por la comunidad, con el apoyo de entidades oficiales, a partir del balance entre acciones de preservación, uso sostenible de los recursos, preservación de conocimientos ancestrales y tradicionales y restauración de la biodiversidad (Sánchez (2015), de manera que se mantenga o incremente la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos y apuntando al uso sostenible de los servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar, que puedan traducirse en un ejercicio del turismo rural en áreas protegidas: “La justicia como ideal comunitario debe propender por la entrega equitativa de bienes, por el valor intrínseco de la persona, por la pluralidad y la integración de los excluidos a la convivencia social” (Castrilón, Lince, Rodríguez, Artunduaga, Largo, Castaño y Llano, 2018, p. 103).

#### **15.4. Lineamientos de política de turismo comunitario**

Dentro de los referentes citados por el gobierno nacional en su Política de Turismo Comunitario (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Viceministerio de Turismo, 2012), parte de la mención a la declaración de Manila y la Expedición del Código de Ética Mundial para el turismo en 1980, donde se plantea la necesidad de adoptar a nivel mundial un turismo más responsable y acoger la Declaración y de los Objetivos del Milenio.

El Código Ético Mundial para el Turismo, adoptado por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el 2001 (World Tourism Organization, 2004), reconoce al turismo como “un elemento que contribuye al crecimiento económico, la comprensión internacional, la paz y la prosperidad de los países, el respeto universal y la observancia de los derechos humanos y las libertades fundamentales”, por el contacto directo e inmediato entre diferentes culturas y formas de vida diversas. En el documento se considera al turismo como un factor de desarrollo sostenible que reconoce sus diferentes formas articuladas a la naturaleza, la ecología y la agricultura, como formas enriquecedoras para los territorios, puesto que se orientan a respetar el patrimonio natural y la cultura de la población local.

Dentro de estas premisas, se enmarcan los lineamientos del gobierno colombiano, que en el documento Lineamientos de Política para el Desarrollo del Turismo Comunitario en Colombia, menciona:

El turismo comunitario debe ser comprendido como un estrategia local de aprovechamiento de ventajas en condiciones complejas desde la dinámica social, económica, ambiental y cultural, que pueden transformar una realidad o entorno en oportunidades competitivas para las comunidades involucradas y a su vez encaminar soluciones a situaciones complejas como la paz y el desarrollo. También se constituye en una alternativa de aprovechamiento sostenible de los recursos locales, que permiten generar nuevas formas de generación de ingresos económicos (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Viceministerio de Turismo, 2012, p. 8).

De igual manera, el gobierno impulsa procesos de producción de servicios turísticos vinculados al sistema de producción, generando una distribución equitativa de los ingresos generados en las comunidades.

De acuerdo con la definición dada por el gobierno colombiano en el documento de política, el turismo comunitario en Colombia se entiende como:

“(…) la oferta de servicios turísticos, por parte de una comunidad organizada, que participa, se beneficia e involucra en los diferentes eslabones de la cadena productiva del turismo, en busca de mayor bienestar, desarrollo y crecimiento económico, valorando las características naturales y culturales de su entorno, que les permite prestar servicios competitivos, sostenibles y de calidad” (Mincomercio - Viceministerio de Turismo, 2012, p. 14).



Se puede indicar que el turismo comunitario en Colombia se desarrolla en zonas rurales, posibilitando la interacción de comunidades organizadas con los turistas, permitiéndoles generar encuentros interculturales de calidad e implementar estrategias de desarrollo como pueden ser las de la recuperación de historias, oficios y comidas; el estímulo a las compras y empleo locales; el uso racional de los recursos naturales, así como su preservación, conservación y recuperación, que hacen que se conviertan en atractivos turísticos (Awad-García, 2007; Caicedo-Burbano, 2008; Combariza González, 2012).

Se debe considerar dentro de la concepción del gobierno colombiano, que este les concede a las poblaciones locales una mayor responsabilidad en la gestión del destino y en el desarrollo del producto turístico, generando procesos de autonomía local y control de los beneficios por parte de las comunidades, apoyándose en organizaciones comunitarias que a su vez representan los intereses comunes y emprendimientos individuales que se gestan en su interior (MADS & Parques Naturales de Colombia, 2007). Debido al interés de las instituciones gubernamentales, ONGs y a las mismas comunidades, se han implementado en los últimos años proyectos ecoturísticos en las que han participado diferentes actores entre los que se cuentan inversionistas, planificadores turísticos, prestadores de servicios, poblaciones locales y el sector público y privado en general. Igualmente, se han apoyado proyectos en agroturismo, usualmente orientados a la construcción o mejoramiento de los alojamientos rurales, en una estrategia denominada “posadas turísticas”, orientada a apoyar el mejoramiento de las viviendas y el desarrollo de iniciativas turísticas.

### **15.5. Modelos de turismo comunitario**

El turismo es un fenómeno multidimensional, que involucra diversos aspectos, desde lo geográfico, la infraestructura de la que disponen los habitantes y la infraestructura para los turistas, la planificación del territorio y de las actividades turísticas que en el se desarrollan, la institucionalidad pública y privada y su conexión con el turista, la vocación turística de la zona, la oferta de bienes y servicios y las capacidades locales, los servicios ofertados como son los de seguridad, transporte, educación o salud, entre otros.

El turismo comunitario, como tal igualmente debe tomar en consideración dentro de su definición aspectos como la propiedad de los proyectos turísticos por parte

de los locales, fuerte y significativa participación de los habitantes en los proyectos y en la toma de decisiones sobre el territorio, los mecanismos transparentes de reparto de los beneficios y la importancia de la interacción de los prestadores de servicios turísticos locales con los visitantes (Schott & Nhem, 2018).

Como aspectos a tener en cuenta, el desarrollo turístico debe ser soportable ecológicamente, viable económicamente y equitativo en sus beneficios para las comunidades, pero adicionalmente, supone la solidaridad, el respeto mutuo y la participación de los agentes implicados en el proceso a nivel local, regional, nacional e internacional y que se deben desarrollar instrumentos orientados a reducir el uso de la energía y de los recursos no renovables, fomentando el reciclaje y la minimización de los residuos (Ivars-Baidal, 2001; Eagles *et al.*, 2002; Calderón Vásquez, 2008; Pérez de las Heras, 2008; Acuña-Dutra, 2013).

Algunos de los beneficios que recibe la comunidad al involucrarse en la prestación de servicios turísticos, se resumen en la figura 15.1:



**Figura 15.1.** Beneficios del turismo comunitario. Adaptado de Schott & Nhem (2018).

Cabe agregar que la práctica del turismo comunitario con la impronta de la sostenibilidad, es un compromiso a largo plazo, pero que debe incluir metas a corto y mediano plazo, puesto que si se implementan prácticas sostenibles, los resultados no se verán inmediatamente, debido a que sólo una pequeña parte

de los beneficios se obtendrá rápidamente, los verdaderos beneficios se tendrán con muchos años de esfuerzo continuado (Fariña & Higuera, 1999; Eagles *et al.*, 2002; Flores Ruiz, 2008; Wegner, 2011).

Con referencia a lo anterior, el cumplimiento de los requisitos de sostenibilidad ambiental se basa en tres aspectos centrales: el diagnóstico del estado y oportunidades de la actividad turística en el presente, el análisis del desarrollo turístico como destino sostenible y los recursos potenciales para la implantación de un modelo de turismo sostenible, identificando las cuestiones locales, impactos socioculturales y análisis de la cultura de la comunidad y su relación con el territorio (Botero & Zielinski, 2010; Andrade *et al.*, 2011; Paolini-Ruiz, 2013).

### **15.6. Modelo de Agroturismo Sostenible**

Dentro de los aportes que se han hecho en el tema del turismo rural comunitario, se tiene la propuesta de un Modelo de Agroturismo Sostenible en Áreas Protegidas, planteado por Vinasco Guzmán (2016), que parte de los principios de:

- La planificación integrada de las acciones, basadas en el alcance de objetivos económicos, socioculturales, tecnológicos y ambientales.
- La utilización de la sostenibilidad como una estrategia que permita cuantificar las oportunidades y las limitaciones de los recursos ambientales disponibles.
- Las organizaciones compartiendo la responsabilidad de la ejecución de las acciones en torno a buenas prácticas que garanticen la sostenibilidad.
- La toma de decisiones transparente y participativa.
- La potenciación de la capacidad emprendedora de las organizaciones y de sus integrantes.
- La incorporación de la creatividad, la tecnología y la innovación como principio de actuación.
- La articulación en redes que potencien el espíritu de trabajo de las organizaciones, sus relaciones y su capital social.

- Esta propuesta de desarrollo turístico comunitario, propone la sostenibilidad como fundamento del desarrollo del turismo, involucrando metodologías de planeación turística que permita maximizar los beneficios económicos y mitigar los impactos sociales y ambientales, utilizando los recursos sin degradarlos.
  
- Dentro de los elementos del modelo, se plantean como premisas:
  - > La autogestión de las comunidades locales, como forma de gestión de los recursos patrimoniales de las comunidades.
  - > El cumplimiento de los requisitos de sostenibilidad, no solo como principio rector de las acciones comunitarias, sino como parte del cumplimiento normativo, lo que incluye manejo de residuos, gestión del agua y la energía, control de sustancias peligrosas, prevención de la contaminación visual, auditiva y atmosférica, gestión del suelo, conservación de la biodiversidad, entre otras.
  - > La valoración de los recursos y la cultura local, con acciones de recuperación de conocimientos y saberes, tradiciones, formas de organización y espacios de interacción, entre otras, para integrarlos con los saberes tecnológicos y científicos.
  - > El desarrollo de estrategias institucionales derivadas del ejercicio turístico, orientadas a apoyar a las comunidades en la prestación de los servicios derivados de la actividad turística, con la implementación de acciones en mercadeo, promoción y organización para la atención a los turistas.
  - > La generación de redes internas y externas, para conectar actores locales entre sí y con actores internos y externos al territorio, por medio de acciones formales e informales de colaboración, cooperación e integración de prestadores de servicios turísticos.
  - > La creación de espacios de relacionamiento con instituciones, donde las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales fomenten la participación comunitaria en procesos de planificación y decisión a nivel local y regional.

El modelo propuesto tiene como objetivo plantear el bienestar de la comunidad que tiene a su cargo la prestación de los servicios turísticos. También define las redes como una base del desarrollo turístico, planteando que se deben fortalecer las relaciones horizontales que se construyen por empresas o personas con un objetivo común, cooperando entre sí aunque compitiendo en un mismo mercado. Además, este modelo de trabajo en red, debe potenciar la cooperación con

actores internos y externos al territorio, promoviendo la identificación y fortalecimiento de actores de cambio a nivel local, incrementando la transparencia en la toma de decisiones y la responsabilidad y confianza al interior de las organizaciones (Schianetz et al, 2007).

El modelo plantea la gestión participativa, donde la comunidad debe orientarse a la construcción de una realidad social deseada, una visión y a que la razón de ser de esta organización sea la misión de la misma, integrada a su objeto social (Berdegué et al., 2007). El desarrollo del modelo plantea en su proceso, que este sea adaptado y apropiado para las necesidades de cada comunidad, por lo que plantea que esta se involucre en su formulación en cuatro fases (Figura 15.2):



**Figura 15.2.** Relación entre los elementos y las fases de desarrollo del Modelo de Agroturismo Sostenible en las Áreas Protegidas.

Fuente: Vinasco Guzmán (2016).

Para lograr la transformación productiva de un territorio se debe articular la economía de este con el desarrollo institucional, bajo las premisas de competitividad y sostenibilidad, de tal manera que se permita estimular, facilitar la interacción y la concertación de los actores locales entre sí y con los agentes externos relevantes, con el fin de incrementar las oportunidades para que la población de escasos recursos participe del proceso y sus beneficios (Schejtman & Berdegué, 2004).

Para las comunidades, el objetivo del desarrollo del modelo es el de permitirles la formulación y la apropiación de una visión colectiva de futuro, que involucre

el compromiso con la conservación del área protegida y el desarrollo del turismo rural comunitario como una estrategia de generación de ingresos y empleos, que les permita mejorar su calidad de vida.

### **15.7. Consideraciones finales**

El turismo cultural y el turismo comunitario se constituyen en estrategias alternativas de desarrollo, al distribuir los beneficios ecológicos, sociales, culturales y económicos en la sociedad, sin hacer grandes inversiones en infraestructuras o equipamientos.

El modelo del agroturismo sostenible en espacios protegidos permite, no solo a los entes gubernamentales, sino a las organizaciones y actores involucrados en dos fenómenos tan complejos como el turismo y la conservación ambiental, llegar a acuerdos sobre los temas fundamentales, para lograr el desarrollo, no solo del sector, sino que puede promover el alcance de otras metas tendientes a promover el mejoramiento de la calidad de vida e impulsar el desarrollo económico y social en regiones marginadas, firmados los tratados de paz, como se espera en el gobierno nacional.

El Turismo Comunitario es un fenómeno complejo, pues se enmarca en un modelo integrado de desarrollo, considerando, no sólo la participación comunitaria, sino también la injerencia directa de la comunidad en la planificación y gestión de las iniciativas que, además de constituirse en la propietaria del negocio turístico, debe desarrollar acciones efectivas de conservación de las áreas protegidas. Es por esto que los modelos de desarrollo turístico deben orientarse a hacer oír la voz de la comunidad en los procesos de toma de decisiones, pues es ella la directa involucrada en el desarrollo de acciones de promoción turística y de manejo ambiental.

### **15.8. Estudio de caso: validación del Modelo de Agroturismo Sostenible en Comunidades del Parque Natural Regional Cueva de los Guácharos, Puracé**

El área del Parque Natural Regional Corredor Biológico Guácharos Puracé ha sido objeto de interés internacional desde 1979, cuando la UNESCO la declaró Reserva de Biosfera Cinturón Andino del Macizo (Figura 15.3). Hace parte de la Red de Reservas Serankwa desde 1991 y se declaró por parte de Birdlife, la Reserva El Oso, en San Agustín, como área especial de conservación AICA, en 2005.



**Figura 15.3.** Atardecer en el Macizo Colombiano. Fuente: autor.

En la zona se han desarrollado múltiples proyectos, donde se destacan por el impacto alcanzado: el proyecto Corredor Biológico del 2002 al 2008 y en el 2013 se iniciaron los estudios preliminares del Proyecto REDD Huila Corredor Biológico PNN Puracé – PNN Cueva de los Guácharos, que se encuentra en este estado hasta la fecha.

De esta forma, las estrategias de conservación ambiental deben constituirse en alternativas de negocios que promuevan la prosperidad general, brindando oportunidades a comunidades ubicadas en espacios protegidos, bajo los principios de equidad y sostenibilidad, que contribuyan a mejorar la calidad de vida de los pobladores rurales y al desarrollo socioeconómico de la región.

En cuanto a los resultados de la validación del modelo de agroturismo sostenible en espacios protegidos en el PNR Guácharos Puracé, en la Fase 1: Definición del objeto de evaluación, se determinó que las organizaciones seleccionadas (Mashiramo, Senderos de la Magdalena y Corpoandakíes), al igual que las otras estudiadas, se agrupan alrededor de un producto agrícola común, en torno al cual hacen la comercialización y tienen una fuerte influencia de los líderes de las mismas, que cumplen el rol de motivadores y activadores de la estructura comunitaria. Estos líderes, que usualmente pertenecen a más de una organización de tipo religioso, cultural, ambiental o a las juntas de acción comunal, son los voceros de la

organización ante el exterior, tienen buenas relaciones con las administraciones o con otras organizaciones y son los que establecen relaciones de comunicación y confianza con los estamentos de poder.

Igualmente, se encuentra que la elección del escenario evidencia que para las comunidades organizadas, el desarrollo de la actividad agroturística pasa por la mejora de sus necesidades básicas de acceso al agua potable, energía, comunicaciones, servicios sanitarios, vivienda, vías, educación y capacitación, salud e ingresos mínimos.

En la Fase 2, Estado actual del sistema, se identificó como producto principal de la zona al turismo cultural, el cual atrae a turistas nacionales e internacionales, enfocado en la visita a los parques arqueológicos y a otros sitios donde se encuentran vestigios o esculturas líticas, muchas veces al cuidado de las comunidades y sus organizaciones, como el Cementerio de La Gaitana en Puerto Quinchana (Senderos de la Magdalena), destinos como La Pelota, El Purutal (Mashiramo, Senderos de la Magdalena), Quebradillas y La Parada (Senderos de la Magdalena) y otros atractivos arqueológicos que están diseminados por la zona, esencialmente en San Agustín. Los productos secundarios identificados son los de Turismo de Naturaleza, con actividades de ecoturismo, agroturismo y turismo de aventura (Figura 15.4).

Dentro de los resultados del análisis de la información de las organizaciones, se puede evidenciar que las actividades a las que se puede orientar el agroturismo, son aquellas de pequeños grupos o las de carácter individual, para que no se vayan a presentar impactos negativos en las comunidades o el medio ambiente de la zona, por sobrepasar la capacidad de recuperación del destino.

En el mismo sentido, destacando los conocimientos que tienen las asociaciones y sus comunidades en temas de conservación medioambiental y las fincas demostrativas de su propiedad, se tiene la oferta de capacitaciones y recorridos por sistemas demostrativos de buenas prácticas ecológicas y producciones ecológicas (Mashiramo).





**Figura 15.4.** Quebrada Tres Chorros y escultura de la Cultura Agustiniana, San Agustín.

Fuente: autor

En agroturismo se cuenta con recorridos en fincas de producción de café, caña de azúcar y panela (Senderos de la Magdalena, Mashiramo, Corpoandakíes), de frutas como mora o granadilla (Corpoandakíes, Senderos de La Magdalena), procesos de agricultura orgánica y buenas prácticas (Corpoandakíes, Senderos de La Magdalena) (Figura 15.5).

En la Fase 3: Determinación de los factores que afectan el sistema, se hizo un análisis por parte de la comunidad, que luego fue validada por expertos utilizando instrumentos de prospectiva, de 26 indicadores con sus correspondientes puntos críticos. Una vez hecho el análisis la comunidad priorizó 13 indicadores, que se trabajaron con métodos como el Metaplan y la Matriz Consensus, entre los que se destacan: el desarrollo de políticas de responsabilidad social y ambiental, la garantía de los beneficios económicos de la actividad turística, la importancia en el cuidado de los recursos, la oferta de productos turísticos basados en los principios de la sostenibilidad, la capacidad para tener habilidades y conocimientos para prestar los servicios turísticos, la infraestructura necesaria para la prestación de los servicios, la interacción con otros actores del territorio y la experiencia en el desarrollo de proyectos.



**Figura 15.5.** Jardín tradicional de una casa en el Sur del Huila, Obandicuy, San Agustín.

Fuente: autor.

Adicionalmente se ubicaron indicadores que para la comunidad no tienen tanta importancia, como la experiencia en el desarrollo de proyectos o el conocimiento en aspectos relacionados con la conservación ambiental, o los conflictos que para ellos no son relevantes en el planteamiento del modelo aplicado en el PNR Corredor Biológico.

En la Fase 4: Monitoreo del cambio, se utilizaron herramientas de prospectiva como el MICMAC, el MACTOR, el ábaco de Regnier y el Backcasting, donde la comunidad, en compañía de los expertos, formuló un escenario deseado “Conservar implica mejorar las condiciones de vida”, evidencia que para las comunidades involucradas y los organismos estatales, la conservación ambiental debe atraer recursos a las áreas protegidas, que se inviertan en la mejora de la infraestructura básica para el uso de sus habitantes y de los visitantes, pues se considera que este es un factor de desarrollo económico que se puede aprovechar en actividades de agroturismo.

Una vez escogido el escenario, se planteó una visión que une el desarrollo del sur del Huila con el turismo, como una alternativa de negocios a las actividades agropecuarias tradicionales que predominan en la zona de estudio. Se reconoce que la

conservación ambiental es la estrategia que va a permitir la oferta de productos agroturísticos y que es necesario que las comunidades se preparen para una oferta especializada, innovadora y de alto valor agregado.

Adicionalmente, analizando los resultados del trabajo con las comunidades, se puede concluir que aunque estas tienen muy arraigado el desarrollo de acciones de cuidado ambiental, como resultado de los múltiples proyectos de conservación desarrollados en el área protegida de Corredor Biológico Guácharos Puracé, las principales expectativas son las de satisfacción de las necesidades básicas con el aumento de los ingresos, que pueden ser alcanzadas con el desarrollo de otro tipo de negocios como la valoración de los servicios ambientales, los cultivos orgánicos o ecológicos de frutales de clima frío moderado, los cultivos certificados de cafés especiales o alguna otra oportunidad identificada.

## 15.9. Evaluación del capítulo

1. ¿Qué papel juegan en el turismo sostenible, los principios de autonomía, equidad social, solidaridad, comunalidad, autogestión y el compromiso por el disfrute y cuidado de los recursos naturales?
2. La conservación del patrimonio cultural y el desarrollo de economías locales, potencializa nuevos estilos y calidad de vida tanto en visitantes como en las comunidades receptoras. Referencie en un párrafo alguna experiencia colombiana o internacional que refleje estos potenciales.

---

## Referencias

- Acuña-Dutra, S.J. (2013). *Metodología para la evaluación de la sostenibilidad de las actividades de turismo en las áreas protegidas mediante el empleo de las técnicas ANP y Delphi. Caso de estudio: Parque Nacional Archipiélago Los Roques*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Andrade, Á., Arguedas, S., & Vides, R. (2011). *Guía para la aplicación y monitoreo del Enfoque Ecosistémico*. Santa Cruz, Bolivia: CEM-UICN, UNESCO-Programa MAB, CI-Colombia, ELAP-UCI, FCBC.
- Awad-García, M.I. (2007). *Hacia la construcción de una estrategia financiera conjunta de las redes de reservas naturales de la sociedad civil y patrimonio natural en Colombia* (Vol. Serie Documentos de Trabajo XXIV). Bogotá D. C. Colombia: Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas.

- Barbini, B. (2007). *Desarrollo turístico, actores locales y capital social. Análisis en base a un estudio de caso*. Posadas, Argentina. Presentado en Jornadas Nacionales - Simposio Internacional de Investigación-Acción en Turismo.
- Baromey, N. (2008). *Ecotourism as a Tool for Sustainable Rural Community*. (Tesis para optar por el título de parques naturales en Europa y Estados Unidos). Kassel University, Kassel, Germany. doi: 978-3-89958-465-3.
- Berdegue, J.A.; Ocampo, A.; Escobar, G. (2007). *Guía Metodológica: Sistematización de experiencias locales de desarrollo rural*. Lima, Peru: Fidamerica y Preval.
- Botero, C., & Zielinski, S. (2010). Evaluación del potencial para el desarrollo de turismo sostenible en el corregimiento de Taganga, Distrito de Santa Marta (Colombia). *Turismo y Sociedad*, 11, 10-34.
- Caicedo-Burbano, I.H. (2008). *Guía Básica con las determinantes ambientales para la incorporación de la biodiversidad y las áreas protegidas en Planes, Planes Básicos y Esquemas de Ordenamiento Territorial. Sistema Regional de áreas protegidas del Macizo Colombiano Sirap Macizo*. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM, Colombia. Obtenido de CRC Corporación Autónoma Regional del Cauca.
- Calderón-Vásquez, F.J. (2008). Sostenibilidad y planificación: Ejes de desarrollo turístico sostenible. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 3(8), 1-11.
- Casas-Jurado, A.C. (2012). El turismo comunitario como instrumento de erradicación de la pobreza: potencialidades para su desarrollo en Cuzco (Perú). *Cuadernos Turísticos*, 30, 91-108.
- Castillo, E., & Rico, D.J. (2007). *Caracterización de las áreas y sitios con potencialidades ecoturísticas del "Corredor eco turístico del centro del Valle del Cauca" y determinación de su mercado potencial en las ciudades de Armenia, Cali y Pereira*. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.
- Castrillón, D. Lince, E. Rodríguez, F. Largo, S. Castaño, L. y Llano, J. V. (2018). Derechos Humanos y movimientos sociales. En: Jairo Vladimir Llano Franco. Globalización, diversidad cultural y transformaciones constitucionales en América Latina. Bogotá: Editorial Ibañez y Universidad Libre de Colombia.
- Combariza González, J. A. (2012). *El turismo rural como estrategia de desarrollo sostenible: caso municipio de La Mesa (Cundinamarca)* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C., Colombia.
- Condori-Cordero, S. (2012). *Turismo rural comunitario en cinco comunidades del municipio de San Lucas Chuquisaca, Bolivia*. Cartago, Costa Rica: Asociación Latinoamericana de Sociología Rural.
- Diéguez Castrillón, I., Gueimonde Canto, A., Sinde Cantorna, A., & Blanco Cerradelo, L. (agosto de 2011). Análisis de los principales modelos explicativos de la competitividad de los destinos turísticos en el marco de la sostenibilidad. *Revista de Cultura y Turismo*, 02(5), 101-125.
- Eagles, P., McCool, S., & Haynes, C. (2002). *Sustainable Tourism in Protected Areas: Guidelines for Planning and Management*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN Publications Services Unit.
- Espinal-Gómez, F.M. (2011). *Herramienta de evaluación de sistemas de pagos por servicios ecosistémicos y su aplicación en Centroamérica* (Tesis de doctorado). Universidad Rey Juan Carlos, España.

- Fariña, J., & Higuera, E. (1999). *Turismo y Uso Sostenible del Territorio*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Flores Ruiz, D. (2008). *Competitividad sostenible de los espacios naturales protegidos como destinos turísticos: un análisis comparativo de los parques naturales Sierra de Aracena y Picos de Aroche y Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas* (Tesis de doctorado). Facultad de Ciencias Empresariales del Departamento de Economía General y Estadística, Universidad de Huelva, España.
- Fraguell, R.M., Muñoz, J.C., & Monsalve, D. (2006). Ecoturismo en el trapecio amazónico colombiano: ¿Una alternativa de desarrollo? Alicante, España: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes.
- Fun, F.S., Chiun, L.M., Nair, V., & Songan, P. (2014). The impact of local communities' involvement and relationship quality on sustainable rural tourism in rural area, Sarawak. The moderating impact of self-efficacy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 144, 60-65.
- Gonzales-Torreros, L. (2010). *Modelo Turístico Sustentable para el municipio de Tequila, Jalisco, México: Una perspectiva del desarrollo local*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.
- Inostroza, V.G. (2008). Aportes para un modelo de gestión sostenible del turismo comunitario en la región Andina. *Gestión Turística*, 10, 77 - 90.
- Ivars-Baidal, J. A. (2001). *Planificación y gestión del desarrollo turístico sostenible: propuestas para la creación de un sistema de indicadores*. Alicante, España: Instituto Universitario de Geografía - Universidad de Alicante.
- Kraus, E.Y. (2007). *Financial sustainability plan for a dry forest protected area in the Colombian Caribbean region* (Tesis de maestría). Nicholas School of the Environment and Earth Sciences of Duke University, United States.
- López-Fernández, R., Franco, M.C., & Franco, J.S. (2017). Elementos que caracterizan los bosques con fines turísticos. *Revista Científica Agroecosistema de la Universidad de Cienfuegos*, 5(1), 21-28.
- Llano Franco, J. V. (2018). Globalización, consumo, diversidad y estilos de vida. En: Jairo Vladimir Llano Franco y Nicole Velasco Cano (Coordinadores). *Globalización hegemónica y alternativas locales de justicia por las comunidades étnicas*. Bogotá: Editorial Ibáñez y Universidad Libre de Colombia.
- Maldonado, C. (2005). *Pautas metodológicas para el análisis de experiencias de turismo comunitario*. Ginebra, Suiza: Red de Turismo Sostenible para América Latina (REDTURS).
- Mincomercio - Viceministerio de Turismo. (2012). *Política de Turismo de Naturaleza*. Bogotá: Dirección de Calidad y Desarrollo Sostenible del Viceministerio de Turismo.
- MADS - Parques Naturales de Colombia. (2007). *Lineamientos para el Ecoturismo Comunitario en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo - Viceministerio de Turismo. (2012). *Política de Turismo de Naturaleza*. Bogotá D. C., Colombia: Dirección de Calidad y Desarrollo Sostenible del Viceministerio de Turismo.
- Olson, E.A. (2012). Notions of rationality and value production in ecotourism: Examples from a Mexican biosphere reserve. *Journal of Sustainable Tourism*, 20(2), 215-233.

- Paolini Ruiz, J.I. (2013). *Una propuesta metodológica para la modelación y prospección de la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas en la Guayana Venezolana* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Pérez de las Heras, M. (2008). *Manual del turismo sostenible: cómo conseguir un turismo social, económico y ambientalmente responsable*. España: Mundi-Prensa.
- Roberts, A.M., & Pannell, D.J. (2009). Piloting a systematic framework for public investment in regional natural resource management: Dryland salinity in Australia. *Land Use Policy* 26, 1001-1010. doi: 10.1016/j.landusepol.2008.12.004
- Ruiz, E., Hernández, M., Coca, A., Cantero, P., & del Campo, A. (2008). Turismo comunitario en Ecuador. *Pasos - Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 6(3), 339 - 416.
- Ruiz-Ballesteros, E. (2011). Social-ecological resilience and community-based tourism: An approach from Agua Blanca, Ecuador. *Tourism Management*, 32(3), 655 - 666.
- Sánchez, W. (2015). Sabiduría ancestral y nuevas ruralidades. En: Cabrera, M. (Compiladora) (2015). Ciudadanía ambiental, crisis de la agricultura convencional y desafíos para una agroecología orientada hacia el desarrollo rural. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD*. Bogotá. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/1321>
- Schejtman, A., & Berdegue, J.A. (2004). Desarrollo territorial rural. *Debates y temas rurales*, (1), 54.
- Schianetz, K., Kavanagh, L., Lockington D. (2007). The Learning Tourism Destination: The potential of a learning organisation approach for improving the sustainability of tourism destinations. *Tourism Management* 28(6):1485-1496.
- Schott, C. & Nhem, S. (2018): Paths to the market: analyzing tourism distribution channels for community-based tourism. *Tourism Recreation Research*, doi: 10.1080/02508281.2018.1447837
- Strickland-Munro, J., & Moore, S. (2014). Exploring the impacts of protected area tourism on local communities using a resilience approach. *Koedoe*, 56(2), 1-10.
- Vinasco-Guzmán, M.C. (2016). *Propuesta de una metodología para el desarrollo de un modelo de agroturismo sostenible en espacios protegidos. Aplicación al Parque Natural del Corredor Biológico Guacharos - Puracé (Colombia)* (Tesis de doctorado). Universidad Católica de Ávila. Ávila, España.
- Wegner, A., Lee, D., & Weiler, B. (2011). Important 'ingredients' for successful tourism/protected area partnerships: partners' policy recommendations. *Journal of Sustainable Tourism*, 19(4-5), 411-421.
- World Tourism Organization. (2004). *Indicators of Sustainable Development for Tourism Destinations: A Guidebook*. Madrid, España: World Tourism Organization.
- Zepeda Arce, A. (2009). *Propuesta de Gestión Integral de Turismo Sustentable en el Campamento Tortuguero "La Gloria" en Tomatlán, Jalisco, México a 23 años del Programa Quelonius* (Tesis de pregrado). Universidad para la Cooperación Internacional, San José, Costa Rica.