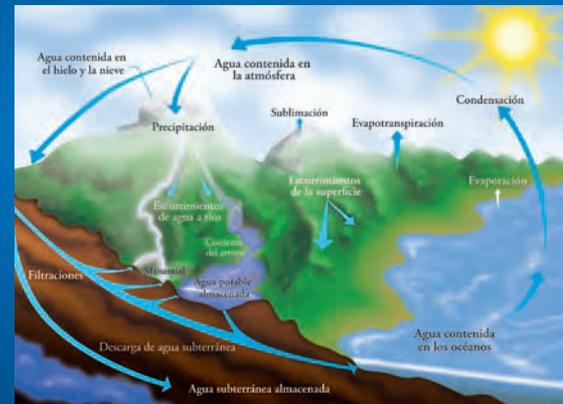


# *Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite*



## Uso de información meteorológica para el manejo agronómico de la palma de aceite

Hernando Moreno Correcha  
Angie Molina Villarreal  
Víctor Rincón Romero

*Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite*

## Uso de información meteorológica para el manejo agronómico de la palma de aceite

Hernando Moreno Correcha

Angie Molina Villarreal

Víctor Rincón Romero

Bogotá, D.C., Colombia, abril de 2013

---

## **Uso de información meteorológica para el manejo agronómico de la palma de aceite**

Publicación de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), con el auspicio de Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero (FFP)

### **Autores**

Hernando Moreno Correcha  
Angie Molina Villarreal  
Víctor Rincón Romero

### **Coordinador general**

Jorge Alonso Beltrán Giraldo  
División de Transferencia de Resultados de Investigación  
Cenipalma

### **Coordinador didáctico**

Vicente Zapata Sánchez, Ph.D en Educación Superior y de Adultos  
Consultor Internacional. Desarrollo de Capacidades Institucionales y Locales en Agricultura, Salud y Educación

### **Coordinadora editorial**

Yolanda Moreno Muñoz

### **Diagramación e ilustraciones**

Fredy Johan Espitia Ballesteros

### **Fotografías**

Área de geomática de Cenipalma

### **Impresión**

Javegraf

Calle 20A N° 43A – 50. Piso 4°.  
Teléfono: 208 6300 Fax: 244 4711  
E-mail: jbeltran@cenipalma.org  
www.cenipalma.org  
Bogotá, D.C. - Colombia

Abril de 2013

ISBN: 978-958-8360-42-3

### **Cita:**

Moreno Correcha Hernando (2012). Uso de información meteorológica para el manejo agronómico de la palma de aceite. Guía No 1. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores. Bogotá (Colombia). 128 p.

1. Planeación. 2. Requerimientos básicos para establecer una plantación de palma de aceite. 3. Guía 4. Capacitación.

- I. Moreno Correcha, Hernando; Molina Villarreal, Angie y Rincón Romero, Víctor
- II. Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma)
- III. Fondo de Fomento Palmero
- IV. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma)

## Otros títulos de la serie

2010

- **Establecimiento y manejo de viveros de palma de aceite**  
Dúmar Motta Valencia y Jorge Alonso Beltrán Giraldo.
- **Diseño y evaluación del programa de manejo nutricional en palma de aceite**  
Nólver Atanasio Arias Arias y Jorge Alonso Beltrán Giraldo.
- **Reconocimiento de enfermedades en palma de aceite**  
Benjamín Pineda López y Gerardo Martínez López.
- **Identificación temprana y manejo de la Pudrición del cogollo de palma de aceite**  
Gabriel Andrés Torres Londoño, Greicy Andrea Sarria Villa y Gerardo Martínez López.
- **Implementación de técnicas de manejo de *Rhynchophorus palmarum***  
Óscar Mauricio Moya Murillo, Rosa Cecilia Aldana de La Torre y Hamilton Gomes de Oliveira.
- **Captura y estructuración de información geográfica para el análisis y seguimiento de enfermedades e insectos plaga en las zonas palmeras de Colombia. Casos: Pudrición del cogollo (PC), *Rhynchophorus palmarum* y defoliadores**  
Víctor Orlando Rincón Romero y Hernán Mauricio Romero Angulo.
- **Estimativos de producción para determinar el potencial productivo de racimos de fruta fresca**  
Rodrigo Ruiz Romero, Dúmar Flaminio Motta Valencia y Hernán Mauricio Romero Angulo.
- **Métodos para el desarrollo de estudios de tiempos y movimientos para labores de cultivo en palma de aceite**  
Andrés Camilo Sánchez Puentes, Carlos Andrés Fontanilla Díaz y Mauricio Mosquera Montoya.
- **Esterilización de racimos de fruta de palma**  
Édgar Eduardo Yáñez Angarita, Jesús Alberto García Núñez y Lina Pilar Martínez Valencia.
- **Elementos básicos para la planeación estadística de un experimento**  
Eloína Mesa Fuquen.
- **Estrategias para optimizar el proceso de cosecha de palma de aceite**  
Carlos Andrés Fontanilla Díaz, Andrés Camilo Sánchez Puentes y Mauricio Mosquera Montoya.

---

2011 – 2012

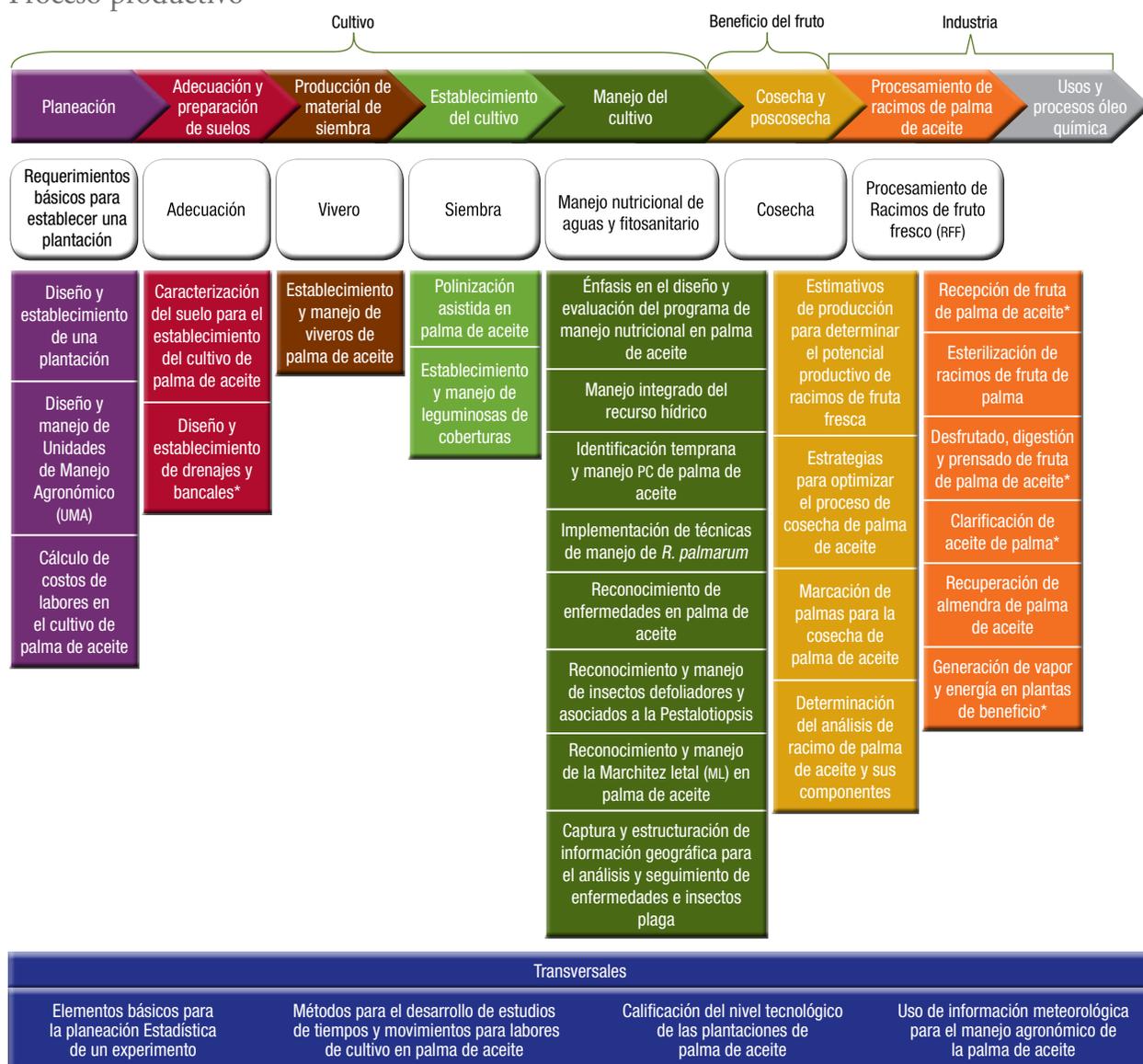
- **Diseño y establecimiento de una plantación de palma de aceite**  
Wílbert Castro Cadena, José Óscar Obando Bermúdez y Jorge Alonso Beltrán Giraldo.
- **Caracterización del suelo para el establecimiento del cultivo de palma de aceite**  
Diego Luis Molina López, José Álvaro Cristancho Rodríguez y Edna Margarita Garzón González.
- **Evaluación de costos de labores en el cultivo de palma de aceite**  
Paloma Bernal Hernández y Mauricio Mosquera Montoya.
- **Polinización asistida en palma de aceite**  
Luz Ángela Sánchez Rodríguez, Édison Steve Daza, Rodrigo Ruiz Romero y Hernán Mauricio Romero Angulo.
- **Manejo integrado de plagas defoliadoras en palma de aceite**  
Rosa Aldana de La Torre, Jorge Aldana de La Torre y Hamilton Gomes de Oliveira.
- **Manejo integrado de la Marchitez letal en palma de aceite**  
Mauricio Arango Uribe, Nubia Rairán Cortés, Gerardo Martínez López y Jorge Alonso Beltrán Giraldo.
- **Establecimiento y manejo de leguminosas de cobertura en palma de aceite**  
Tulia Esperanza Delgado Revelo y Álvaro Hernán Rincón Numpaque.
- **Manejo integrado del recurso hídrico en plantaciones de palma de aceite**  
Héctor Narváez Salazar, Leidy Constanza Montiel Ortiz y Jorge Stember Torres Aguas.
- **Marcación de palmas para la cosecha de palma de aceite**  
Carlos Andrés Fontanilla Díaz, Andrés Camilo Sánchez Puentes y Mauricio Mosquera Montoya.
- **Determinación del análisis de racimo de palma de aceite y sus componentes**  
Fausto Prada Chaparro, Silvia Liliana Cala Amaya, Jesús Alberto García Núñez y Hernán Mauricio Romero Angulo.
- **Recuperación de almendra de palma de aceite**  
Silvia Liliana Cala Amaya, Fausto Prada Chaparro y Jesús Alberto García Núñez.
- **Calificación del nivel de tecnológico de las plantaciones de palma de aceite**  
Pedro Nel Franco Bautista, Nólver Atanasio Arias Arias y Jorge Alonso Beltrán Giraldo.
- **Conformación de Unidades de Manejo Agronómico (UMA) en palma de aceite**  
Diego Luis Molina López, José Álvaro Cristancho Rodríguez y Pedro Nel Franco Bautista.

2013

- Diseño y establecimiento de drenajes y bancales.
- Desfrutado, digestión y prensado de fruta de palma de aceite.
- Clarificación de aceite de palma.
- Generación de vapor y energía en plantas de beneficio.

## Guías metodológicas sobre tecnologías de producción en palma de aceite

### Proceso productivo



\* Guías que se encuentran en proceso de realización por parte de los investigadores-autores.

---

La figura anterior representa el conjunto de publicaciones que abarcan todo el proceso productivo (cultivo y beneficio del fruto) de palma de aceite. Las guías fueron agrupadas de acuerdo con la fase del proceso a la que pertenecen e identificadas por colores de la siguiente manera:

**Planeación (Morado):** incluye las guías que abordan el tema de la planeación, además de los requerimientos básicos para establecer una plantación: “Diseño y establecimiento de una plantación en palma de aceite”, “Diseño y manejo de las Unidades de Manejo Agronómico (UMA)” y “Evaluación de costos de labores en el cultivo de la palma de aceite”.

**Adecuación y preparación de suelos (Vinotinto):** conforman esta fase las guías que abordan las temáticas relacionadas con el manejo integral del suelo para el establecimiento del cultivo. El proceso de manejo se inicia con el conocimiento (estudio) del estado actual del suelo y la identificación de los requerimientos que el cultivo de palma de aceite demanda con respecto a la calidad del mismo, reseñado en la guía “Caracterización del suelo para el establecimiento del cultivo de palma de aceite”. El proceso continúa con la exploración de alternativas para su adecuación, como lo propuesto en la guía “Diseño y establecimiento de bancales”, y finaliza con la planificación e implementación en el campo de la alternativa seleccionada.

**Producción de materiales para siembra (Café):** agrupa las guías relacionadas con la fase de preparación de los materiales para la siembra. Hasta ahora contamos con la guía “Establecimiento y manejo de viveros de palma de aceite”.

**Establecimiento del cultivo (Verde claro):** reúne las guías que abordan los temas para el establecimiento del cultivo, factores determinantes para su producción como: “Establecimiento y manejo de las coberturas”, así como “Aislamiento y polinización de inflorescencias”. Para esta fase también se incluyen las actividades que corresponden a las labores culturales, como limpieza de platos, interlíneas, poda y mantenimiento de la infraestructura.

**Manejo del cultivo (Verde oscuro):** pertenecen a esta fase las guías que abordan el manejo del cultivo desde diferentes áreas –nutricional, aguas y fitosanitario– en las que se ubican las siguientes: Detección y manejo de la Pudrición del cogollo (PC), “Reconocimiento de otras enfermedades”, “Manejo del *Rhynchophorus palmarum*”, “Reconocimiento y manejo de insectos defoliadoras y asociados a la Pestalotiopsis” y “Detección y manejo de la Marchitez letal (ML)”. También se incluyen las guías que representan herramientas de apoyo para la toma de decisiones y/o fortalecimiento del cultivo: “Sistemas de información geográfica para el análisis y seguimiento de enfermedades e insectos plaga” y “Diseño y evaluación del manejo nutricional”.

**Cosecha y poscosecha (Ocre):** agrupa las guías que ofrecen herramientas para optimizar, medir y estimar la producción de Racimos de fruto fresco (RFF) y/o la calidad del aceite, tales como: “Estimativos de producción”, “Estrategias para optimizar el proceso de cosecha de la palma de aceite”, “Premarcación de racimos para la cosecha de palma de aceite” y “Determinación del potencial de aceite en palma mediante el análisis de racimo”.

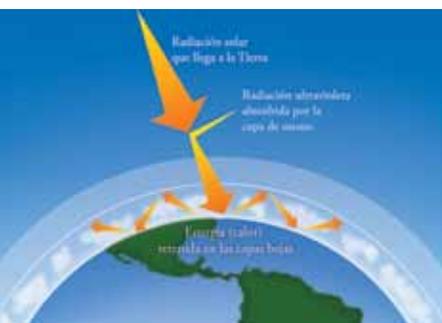
**Procesamiento de racimos de palma de aceite (Naranja):** comprende las guías relacionadas con el procesamiento para la extracción del aceite de palma y sus subproductos. De acuerdo con el orden del proceso, se establecieron las siguientes: “Recepción de racimos de palma de aceite”, “Esterilización de racimos”, “Desfrutado, digestión y prensado de frutos de palma de aceite”, “Clarificación de aceite de palma”, “Recuperación de almendra de palma de aceite” y “Generación de vapor y energía en las plantas de beneficio”.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero y a Fedepalma por el apoyo para la elaboración de la presente guía. De manera especial, a las empresas palmeras que conforman la red de estaciones meteorológicas del sector palmicultor. A Vicente Zapata Sánchez por su orientación en la conceptualización del contenido de la guía, y a los directivos de Cenipalma por facilitar los espacios necesarios para llevar a cabo la construcción y validación de la publicación.



## Contenido



Presentación .....	13
Introducción .....	15
Modelo de aprendizaje .....	17
Exploración inicial de conocimientos (autoevaluación).....	19
Exploración de expectativas .....	20
Objetivos y estructura de aprendizaje .....	21
<b>Unidad de aprendizaje I.</b>	
Conceptos generales: La Tierra y la capa atmosférica .....	23
Estructura de la unidad .....	25
Explicación de la estructura .....	25
Preguntas orientadoras .....	25
Objetivos.....	26
La Tierra .....	26
Interacciones entre la atmósfera, hidrosfera, litosfera, ecosfera y biosfera.....	26
La atmósfera.....	28
La meteorología.....	31
El clima.....	32
Variabilidad climática.....	33
Cambio climático .....	34
Calentamiento global .....	35
Práctica 1.1. Estructura y dinámica del planeta Tierra .....	38
Glosario .....	39
Referencias bibliográficas.....	40

---

<b>Unidad de aprendizaje II. Estaciones y Red de Observación, Variables e Instrumentos de Medición y Registro en Agrometeorología</b> .....	43
Estructura de la unidad .....	45
Explicación de la estructura .....	45
Preguntas orientadoras .....	45
Objetivo .....	46
La meteorología agrícola.....	46
Importancia del servicio agrometeorológico.....	46
Métodos de observación en agrometeorología.....	47
Programa de observaciones .....	49
Variables e instrumentos de observación meteorológica .....	52
Observación y registro de parámetros meteorológicos.....	59
Práctica 2.1. Reconocimiento y observación de una estación meteorológica...	61
Glosario .....	63
Referencias bibliográficas.....	63
<b>Unidad de aprendizaje III. Efecto de las Variables Meteorológicas en los Cultivos de Palma de Aceite (<i>Elaeis Guineensis</i>)</b> .....	65
Estructura de la unidad .....	67
Explicación de la estructura .....	67
Preguntas orientadoras .....	67
Objetivo .....	68
Variables meteorológicas y su efecto directo en las plantas y suelos .....	68
Variables climáticas y su relación con el cultivo de palma de aceite .....	69
Práctica 3.1. Batalla climática .....	79
Glosario .....	83
Referencias bibliográficas.....	83
<b>Unidad de aprendizaje IV. Aplicación de cálculos y métodos agrometeorológicos en el manejo agronómico</b> .....	85
Estructura de la unidad .....	87
Explicación de la estructura .....	87
Preguntas orientadoras .....	87
Objetivos.....	88

Precipitación o lluvia .....	88
Temperatura del aire.....	90
Temperatura del suelo .....	92
Radiación y brillo solar.....	93
Humedad del aire.....	95
Viento.....	95
Escala de vientos de Beaufort.....	96
Nubes y nubosidad.....	98
Tensión del vapor de agua .....	98
Rocío y escarcha .....	99
Evaporación .....	99
Transpiración .....	99
Evapotranspiración potencial.....	100
Aplicación de métodos agroclimáticos.....	101
Clasificación de climas según el método de Thornthwaite.....	109
Clasificación de climas por el Sistema de Caldas – Land.....	111
Sistema para clasificar formaciones vegetales de Colombia según Leslie R. Holdridge .....	113
Índices climáticos de las zonas palmeras de Colombia .....	115
Práctica 4.1. Cálculos agrometeorológicos .....	116
Ejercicios.....	116
Glosario .....	119
Referencias bibliográficas .....	119
Anexos .....	121
Anexo 1. Estaciones meteorológicas en plantaciones de palma de Colombia .....	123
Anexo 2. Clasificación de estaciones meteorológicas por parámetros y aplicación.....	125



## Presentación

La implementación de las guías metodológicas como herramientas de apoyo a la transferencia y la extensión han contribuido satisfactoriamente a la adopción de las diferentes tecnologías desarrolladas por Cenipalma. Por tal razón se continuó con la elaboración y publicación de nuevas guías para cubrir cada una de las fases y/o componentes de la cadena productiva, así como atender la demanda de soluciones tecnológicas en las fases de establecimiento y desarrollo del cultivo, manejo nutricional y fitosanitario, producción y extracción de aceite.

Continuar con el trabajo colaborativo entre la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) y la Corporación Centro de Investigaciones en Palma de Aceite (Cenipalma) representa la firme convicción y certeza del gran aporte de este esfuerzo conjunto para el mejoramiento de la producción de los aceites y derivados que surgen de este importante cultivo en el país.

Con base en las lecciones aprendidas, un segundo grupo de investigadores de Cenipalma ha adoptado y mejorado un modelo para compartir experiencias y conocimientos sobre temas claves que cubren los procesos productivos de plantación, planta de beneficio y demás temas de interés en poscosecha y comercialización. Estos materiales constituyen el corazón de un currículo básico sobre el manejo del cultivo que son de gran utilidad en el proceso de actualización de los palmicultores y técnicos que laboran en las empresas palmeras, así como en la formación de facilitadores, técnicos y profesionales en los niveles medio y superior.

Las guías, dirigidas a facilitadores en diferentes ámbitos de la transferencia tecnológica y de la formación, han sido diseñadas siguiendo una metodología centrada en el desarrollo de las competencias que requieren los propietarios de las plantaciones, técnicos y trabajadores de campo y plantas de beneficio, para responder en forma oportuna a los retos que plantea la agroindustria de la palma de aceite.

La estructura didáctica de las guías orienta a los facilitadores hacia el desarrollo de una capacitación centrada en el adelanto de las capacidades requeridas para el manejo de cada una de las tecnologías. La inclusión de elementos didácticos, como las estructuras de aprendizaje, las preguntas orientadoras y una variedad de ejercicios y prácticas de campo diseñadas en detalle, además de una serie de anexos didácticos y técnicos, permiten que el usuario de las guías tenga una plataforma metodológica bastante elaborada, que no excluye las innovaciones creativas por parte de quienes dirijan la transferencia o la capacitación.

---

Cenipalma presenta, con particular orgullo, a la comunidad palmera esta segunda serie de materiales didácticos y a todos aquellos técnicos, profesionales y docentes interesados en actualizar conocimientos para la formación de los futuros responsables del escalamiento de este cultivo tan promisorio en la economía nacional.

Quiero expresar un sincero agradecimiento al ingeniero Jorge Alonso Beltrán Giraldo, quien tomó sobre sus hombros la responsabilidad de coordinar la producción de las guías, desde la definición de los temas más relevantes sobre los cuales trabajar, hasta la publicación, pasando por su revisión y validación en campo. Igualmente, un inmenso agradecimiento al Dr. Vicente Zapata Sánchez, quien nuevamente participó y aportó su amplia experiencia mediante el acompañamiento personalizado a cada uno de los investigadores para que realizaran las guías con un enfoque didáctico dirigido a la apropiación del conocimiento. Finalmente, mi gratitud a los investigadores que invirtieron incontables horas de reflexión y elaboración creativa para la conformación final de productos que contribuyen a la construcción del capital intelectual del gremio y nos llenan de orgullo institucional.

**JOSÉ IGNACIO SANZ SCOVINO, *Ph.D.***

Director Ejecutivo

Cenipalma

## Introducción

Actualmente y durante mucho tiempo los conceptos relacionados con la composición fundamental del planeta Tierra han sido controversiales y poco esclarecidos. De forma intuitiva, la gran mayoría de nosotros hemos establecido diferentes niveles o capas caracterizadas por composiciones notoriamente distintas. Sin embargo, estas capas fundamentales son más dinámicas de lo que podemos ver a simple vista y las interacciones que entre ellas se llevan a cabo son más complejas de lo que podemos pensar. Hoy en día se han establecido cuatro niveles fundamentales de interacción en el planeta que, como veremos después, cumplen funciones distintas y complementarias.

Estos cuatro mayores componentes del globo terráqueo son conformados por: la capa sólida o litosfera, que constituye en forma general la tierra o suelo; la capa acuosa o hidrosfera, que constituye todas las formas de agua del planeta; la capa gaseosa o atmósfera, que comprende todos los factores y elementos del estado del tiempo y del clima; y la biosfera, que integra todas las formas de vida posibles del planeta Tierra.

La meteorología agrícola o agrometeorología tiene como misión tanto la obtención de datos meteorológicos que sirven de apoyo a las investigaciones agronómicas, como la planificación de los trabajos generales de predicción del tiempo a las aplicaciones en este campo. Son de su incumbencia los estudios fenológicos, es decir, la relación de la vida vegetal (agricultura) con las vicisitudes meteorológicas.

La palma de aceite compete eficientemente con otras plantas y de forma natural coloniza espacios libres con los factores necesarios (suficiente luz solar y humedad del suelo), que le permiten completar exitosamente su ciclo. Durante toda la vida productiva de la palma es necesario referirse a la utilidad de los datos climáticos, especialmente cuando se hacen investigaciones relacionadas con el crecimiento, nutrición, rendimiento e incidencia de plagas y enfermedades.

### ¿Qué contiene la guía?

La guía tiene un alto contenido teórico que se consideró necesario para plantear una línea base al lector, ya que al tener cotidianamente contacto con información climática se forman concepciones acerca de los términos, que en algunos casos pueden llegar a ser equivocadas. Por ello, a continuación se encontrarán las líneas conceptuales más importantes con respecto al manejo agronómico de la palma de aceite.

---

En la primera unidad se abordan de manera general conceptos sobre el clima y el tiempo, los factores generadores del clima y la variabilidad climática, siendo este último un tema de gran actualidad y, por lo tanto, se espera que al finalizar esta unidad el lector cuente con fundamentos para interpretar el impacto de la variabilidad climática en su entorno.

En la segunda unidad se relacionan las variables meteorológicas y los instrumentos que están disponibles para medirlas.

En la tercera, se aborda el impacto de las variables meteorológicas en el desarrollo del cultivo de la palma, siendo de gran importancia la experiencia propia del lector, que enriquecerá, sin lugar a dudas, las conclusiones que pueda obtener de este apartado.

Por último, en la cuarta unidad, se llega a la explicación de las fórmulas y métodos para el procesamiento de información meteorológica, se espera que finalizando este apartado el lector cuente con las herramientas suficientes para optimizar el uso de la información meteorológica en el manejo de su cultivo.

### ¿Cómo usar la guía?

Para una mejor comprensión de la guía se aconseja seguir un orden secuencial, es decir, abordar los apartados en el orden propuesto. Se intentó que las prácticas 1 a 3 fuesen lo más lúdicas posibles, de tal manera que se minimice el impacto de la teoría tratada en sus respectivas unidades de aprendizaje.

De manera especial, se deben tener en cuenta las experiencias personales del lector cuando se traten cada uno de los temas, ya que al tener un contacto diario con la dinámica del clima es posible enriquecer los conceptos desde la óptica del experto, sobre todo para

el momento de la capacitación. Además, es importante que el lector profundice en las referencias bibliográficas, con el fin de mejorar la argumentación acerca de los temas tratados.

### Requerimientos mínimos para facilitadores y participantes

La presente guía estipula unas directrices básicas para el manejo y la comprensión de los temas sobre la palma de aceite. El propósito es asegurar la adecuada interpretación de los facilitadores con respecto a la consulta de la guía, la logística de la capacitación y los requisitos que debe tener cada participante.

Se prevé que el facilitador sea un experto en los temas a tratar, ya que se requerirá un dominio teórico y práctico para resolver las dudas que los participantes puedan tener, a partir de interpretaciones personales.

Con respecto a la logística de la capacitación, que se desarrolle con base en la presente guía, se requiere:

- Un grupo de participantes no mayor a 30 personas.
- Los participantes deben tener cursado, como mínimo, el nivel de educación básica secundaria.
- Una locación con herramientas para proyección de contenido, un tablero e instalaciones cómodas para la ubicación de los participantes.
- Cercanía a una estación meteorológica, que en lo posible pertenezca a una plantación de palma de aceite.

A los participantes, adicional de la buena disposición para participar, se les requiere:

- Una libreta de apuntes.
- Una calculadora.

## Modelo de aprendizaje



La serie de guías para la formación de facilitadores sobre tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite está basada en un modelo didáctico fundamentado en el aprendizaje a través de la práctica. Éste propone a los usuarios inmediatos de estas guías –capacitadores y multiplicadores– un esquema de capacitación en el que los insumos de información resultantes de la investigación en campo sirven de materia prima para el desarrollo de habilidades, destrezas y actitudes requeridas por los usuarios finales para la toma de decisiones acertadas y relacionadas con la agroindustria de la palma de aceite.

Al producir estas guías, Cenipalma está interesado en ayudar a sus usuarios a poner en práctica un enfoque que no sólo se ocupe de “comunicar bien”, sino también de crear las condiciones y usar las herramientas necesarias para que los beneficiarios de la capacitación o de las actividades de asistencia técnica tengan la oportunidad de ejercitarse en la construcción del conocimiento a partir de sus propias experiencias y saberes.

Están dirigidas a todos aquellos que tienen responsabilidades como capacitadores, maestros, tutores y facilitadores interesados en el aprendizaje de retroinformación de sus alumnos, mediante la elaboración

y utilización de materiales que tengan el enfoque de gestión de conocimientos.

Los usuarios observarán que sus componentes metodológicos se diferencian de otros materiales de divulgación de tecnologías. Cada una de las secciones en que se dividen las guías contienen elementos de diseño que le permiten al capacitador ejercer su labor de facilitador del aprendizaje.

Además, están orientadas por un conjunto de objetivos que les sirven al instructor y al participante para dirigir los esfuerzos de aprendizaje, que se llevan a cabo a través de ejercicios en el campo o en otros escenarios reales, en los que se practican los procesos de análisis y la toma de decisiones, usando para ello recorridos por plantaciones y plantas de beneficio, simulaciones, dramatizaciones y aplicación de diferentes instrumentos de recolección y análisis de información.

Otros componentes incluyen las secciones de información de retorno, en las cuales los participantes en la capacitación, junto con los instructores, tienen la oportunidad de revisar las prácticas realizadas y profundizar en los aspectos que deben ser reforzados. La información de retorno constituye la parte final de

---

cada una de las secciones de la guía y es el espacio preferencial para que el instructor y los participantes lleven a cabo la síntesis conceptual y metodológica de cada aspecto estudiado.

En resumen, el modelo consta de tres elementos:

1. La información técnica y estratégica, producto de la investigación realizada por Cenipalma y sus colaboradores, que constituye el contenido tecnológico necesario para la toma de decisiones en el manejo de tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite.
2. La práctica, que toma la forma de ejercicios en el sitio de entrenamiento y de actividades de campo y que está dirigida al desarrollo de habilidades, destrezas y actitudes para la toma de decisiones.
3. La información de retorno, que es un tipo de evaluación formativa que asegura el aprendizaje y la aplicación adecuada de los principios subyacentes en la teoría que se ofrece.

Las prácticas son el eje central del aprendizaje y simulan la realidad que viven quienes utilizan estos instrumentos presentados en cada guía. Mediante los ejercicios, los participantes en la capacitación experimentan el uso de los instrumentos, las dificultades que a nivel local surgen de su aplicación y las ventajas y oportunidades que representa su introducción en los distintos ambientes de toma de decisiones.

Los ejercicios que se incluyen en las guías fueron extractados de las experiencias encontradas en cada zona palmera por los investigadores de Cenipalma. Sin embargo, los instructores de las regiones podrán extraer de sus propias experiencias de campo excelentes ejemplos y casos con los cuales pueden reconstruir las prácticas y adaptarlas al contexto de su localidad. Cada instructor tiene en sus manos guías que son instrumentos de trabajo flexibles que pueden adaptar a las necesidades de distintas audiencias en diferentes escenarios.

## Usos y adaptaciones

Es importante que los usuarios (instructores y multiplicadores) de estas guías conozcan el papel funcional que brinda su estructura didáctica, para que la utilicen en beneficio de los usuarios finales. Son ellos quienes van a tomar las decisiones de introducir los instrumentos presentados en los procesos de la agroindustria de la palma de aceite en cada región palmera.

Por ello, se hace énfasis en el empleo de los flujogramas por parte de los instructores a quienes les sirven para presentar las distintas secciones, las preguntas orientadoras que les permiten establecer un diálogo y promover la motivación de la audiencia antes de profundizar en la teoría; los originales para las transparencias, los cuales pueden ajustarse a diferentes necesidades introduciendo ajustes en su presentación; los anexos citados en el texto, que ayudan a profundizar aspectos tratados brevemente dentro de cada sección; los ejercicios y las prácticas sugeridos, los cuales, como se dijo antes, pueden ser adaptados o reemplazados por prácticas sobre problemas relevantes de la audiencia local; las secciones de información de retorno, en las cuales también es posible incluir datos locales, regionales o nacionales que hagan más relevante la concreción de los temas y los anexos didácticos (pósteres, evaluación del instructor, del evento y del material, entre otros) que ayudan a complementar las actividades de capacitación.

Finalmente, se quiere dejar una idea central con respecto al modelo de capacitación que siguen las guías: si lo más importante en el aprendizaje es la práctica, la capacitación debe disponer del tiempo necesario para que quienes acuden a ella tengan la oportunidad de desarrollar las habilidades, destrezas y actitudes que reflejen los objetivos del aprendizaje. Sólo así es posible esperar que la capacitación tenga el impacto esperado en quienes toman las decisiones.

## Exploración inicial de conocimientos

### Orientaciones para el facilitador

Recuerde que la exploración inicial no es un examen, lo que busca es averiguar por el nivel de conocimientos de los participantes sobre el tema. Para realizar la retroinformación tenga en cuenta lo siguiente:

- Invite a los participantes a expresar sus respuestas de manera pública.
- Considere especialmente las respuestas erradas.
- Socialice las respuestas y haga énfasis en la corrección de las respuestas erradas.
- Intégrelas con las correctas.

### Instrucciones para el participante

El facilitador debe presentar el material de exploración inicial para que el participante no tenga ninguna duda y pueda responderlo en su totalidad. Esta labor se realizará de la siguiente manera:

1. En la presente exploración inicial se formulan unas preguntas para familiarizarlo con el tema que se tratará en esta guía de aprendizaje y, de igual forma, sondear sus conocimientos previos sobre él.
2. Se le aconseja responderlas con toda sinceridad.
3. Se realizará una lectura previa de cada pregunta, realizando una breve introducción relacionada con la importancia del contenido, en el marco de los objetivos que se persiguen con la guía y para facilitar la comprensión del cuestionario.

### Preguntas

1. ¿Conoce la diferencia entre tiempo y clima?
2. ¿Qué entiende por variabilidad climática?

3. ¿Qué información meteorológica utiliza para la toma de decisiones en el manejo agronómico?

### Retroinformación

Las respuestas adecuadas a estos interrogantes son:

1. ¿Conoce la diferencia entre tiempo y clima?

El clima es el conjunto de valores normales para una determinada región. Es decir, el promedio a lo largo de muchísimos años, de temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitación, etc.

En cambio, el tiempo se refiere a las condiciones de temperatura, humedad, presión, etc., reinantes en un momento determinado. Estos valores suelen diferir de los normales. El pronóstico que se difunde se refiere a los cambios del tiempo y no del clima.

2. ¿Qué entiende por variabilidad climática?

La variabilidad climática difiere de lo que se denomina clima, el cual dentro de un área geográfica determinada, consiste en los promedios de temperatura, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, humedad, y otros parámetros meteorológicos, calculados a lo largo de un período lo suficientemente extenso como para poder denominarlo normal. En cambio, la variabilidad climática depende de condiciones atmosféricas extremas que exceden mucho más. Los fenómenos que producen esos contrastes son frentes fríos muy organizados, células estacionarias secas, huracanes, perturbaciones tropicales y células con una humedad desproporcionada. Paradójicamente, los eventos meteorológicos extremos pueden incluir tanto una precipitación pluvial excesiva como sequías prolongadas. Al igual que en muchas partes del

mundo, se considera que tales fenómenos en dicha región están relacionados con la Oscilación Sur de El Niño –OSEN–.

3. ¿Qué información meteorológica utiliza para la toma de decisiones en el manejo agronómico?

El clima es un recurso natural que afecta a la producción agraria. Su influencia en un cultivo determinado depende de las características de la localidad geográfica y de las condiciones de producción. El objetivo es incrementar la capacidad del sector agrario para comprender y responder al clima, con el fin de reducir la incertidumbre de los agricultores ante decisiones afectadas por factores meteorológicos. El estudio tiene tres componentes: determinación de las variables climáticas, que explican parte de la producción; especificación de formas funcionales adecuadas, que describan la respuesta de los cultivos a dichas variables y, por último, análisis de las decisiones de los agricultores en distintas regiones y cultivos, que puedan disminuir el riesgo asociado al clima. Es importante recordar que las decisiones relacionadas con la disponibilidad y uso del agua tienen implicaciones que compiten con la agricultura.

### Exploración de expectativas

El facilitador debe invitar a la reflexión a los participantes para proponerse objetivos de estudio, esto se hará de la siguiente manera:

Apreciado participante, con la exploración de expectativas se busca contrastar lo que usted espera obtener de esta guía metodológica y lo que ésta le puede aportar. Escriba a continuación lo que aspira lograr luego de haber completado la guía y contrástelo con los objetivos que encontrará más adelante.

### ¿Qué espera lograr con esta guía?

---

---

### ¿Qué puede esperar el participante de esta capacitación?

En la guía se abordarán temas técnicos del área de meteorología, con un énfasis dirigido a facilitar la adopción de los conceptos en personas no versadas en esta área. Se puede decir que esta guía es meteorología aplicada a la palma para no meteorólogos. Por lo tanto, el lector puede esperar generalidades que le permitirán interpretar y asimilar el comportamiento del clima y el tiempo en su entorno.

No se espera que el lector se vuelva un experto en el tema de meteorología, pero sí que al finalizar la guía cuente con las herramientas necesarias para abordar textos más avanzados, que le permitan mejorar su comprensión sobre el tema y adicionalmente contar con mayor experticia para aplicar la información meteorológica en su cultivo.

### Orientaciones para el facilitador

Luego de la exploración inicial de conocimientos, es importante que el facilitador indague a los participantes sobre lo que esperan lograr con la capacitación que inician. El objetivo es contrastar sus expectativas con los objetivos que se proponen en la unidad de aprendizaje, y despejar aquellas que no son de su alcance.

Para realizar esta exploración se le sugiere al facilitador dar un tiempo de 15 minutos para que cada uno, sin excepción, exprese en las líneas de la columna anterior sus expectativas. Luego procederá de la siguiente forma:

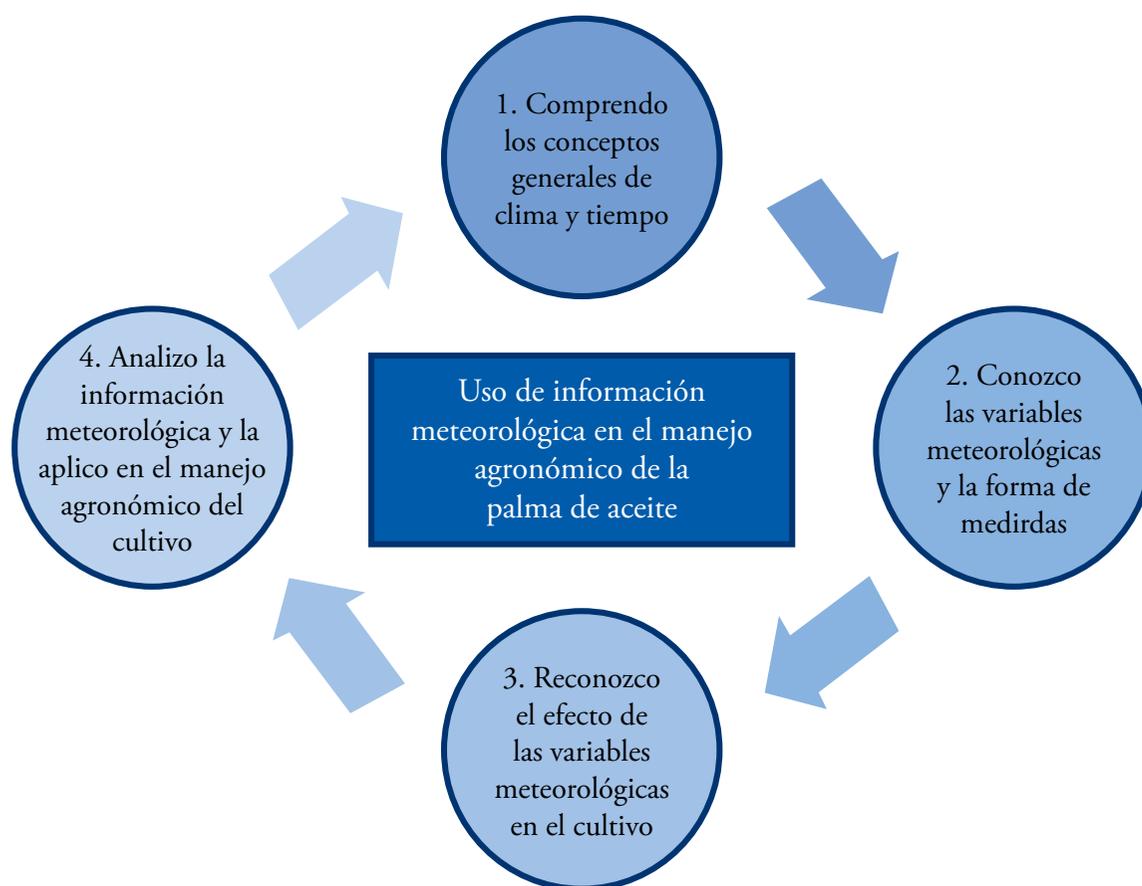
- Clasifique lo escrito por cada uno de los participantes dentro de cada uno de los objetivos de la unidad de aprendizaje.
- Haga una plenaria con las expectativas para cada uno de los objetivos.
- Oriente aquellas expectativas que no podrán ser cumplidas con la guía.

## Objetivos y estructura de aprendizaje

Al finalizar esta guía el participante estará en la capacidad de:

- Diferenciar los conceptos de clima y tiempo.
- Interpretar los efectos de la variabilidad climática en su entorno.
- Caracterizar las condiciones climáticas de su región.
- Leer e interpretar las variables registradas por una estación meteorológica.
- Calcular, analizar e interpretar indicadores meteorológicos y aplicarlos en el manejo del cultivo.

### Estructura general de aprendizaje



---

## Explicación de la estructura

El presente documento busca guiar al lector a través de múltiples conceptos de meteorología, con el fin de poder ser aplicados en la mejora de la toma de decisiones en el cultivo de la palma de aceite. La guía consta de cuatro unidades de aprendizaje que se aconseja sean abordadas por el lector de manera secuencial.

La primera unidad, explora los conceptos generales de clima y tiempo, llevando al lector a reforzar la comprensión que tiene acerca de la dinámica global del clima. Se concluye esta unidad con un capítulo que expone la variabilidad climática, de tal forma que el lector cuente con mayor cantidad de argumentos para identificar la importancia del estudio de las variables meteorológicas y su aplicación en el cultivo.

Luego de que se ha introducido al lector en los conceptos generales, en la segunda unidad se accede a las variables meteorológicas. Se lleva al participante no solo a identificar las variables, sino las diferentes formas de medirlas.

Una vez se conocen las variables, en la tercera unidad de aprendizaje se ilustra la manera como estas variables meteorológicas son determinantes en el buen desarrollo del cultivo.

Finalmente, en la cuarta unidad, el lector tendrá a disposición una serie de fórmulas a las cuales se les indica su forma de análisis e interpretación de resultados. De esta manera se espera que el lector cuente con las herramientas suficientes para recolectar, analizar y emplear la información meteorológica en el manejo agronómico del cultivo.

# Unidad de aprendizaje I.

## Conceptos generales: La Tierra y la capa atmosférica

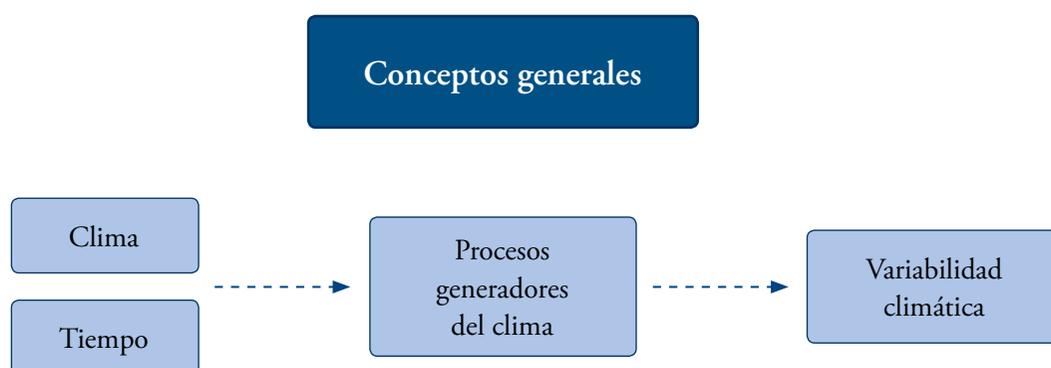


Estructura de la unidad .....	25
Explicación de la estructura .....	25
Preguntas orientadoras .....	25
Objetivos.....	26
La Tierra .....	26
Interacciones entre la atmósfera, hidrosfera, litosfera, ecosfera y biosfera.....	26
La atmósfera.....	28
La meteorología.....	31
El clima.....	32
Variabilidad climática .....	33
Cambio climático .....	34
Calentamiento global .....	35
Práctica 1.1. Estructura y dinámica del planeta Tierra .....	38
Glosario .....	39
Referencias bibliográficas.....	40



**Figura 1.** Manifestación del clima en una plantación de palma de aceite. Foto: Toro, F. (2012).

## Estructura de la unidad



**Figura 2.** Estructura de aprendizaje de la unidad.

### Explicación de la estructura

Inicialmente, definiremos los estratos de la atmósfera que protegen a los seres vivos de factores nocivos del espacio exterior y que permiten por medio de una serie de procesos físicos y químicos, su existencia y diversidad: la atmósfera es el espacio gaseoso que circunda la Tierra y se localiza sobre el suelo, los océanos y los seres vivos.

La atmósfera está compuesta principalmente por energía (radiación solar acumulada) y elementos químicos en estado gaseoso (nitrógeno, oxígeno, vapor de agua, dióxido de carbono y otros gases en menores cantidades) que permiten el funcionamiento de las diferentes capas de la estructura atmosférica (troposfera, mesosfera, estratosfera y troposfera). Los fenómenos dinámicos que se generan en la atmósfera determinan lo que se denomina el “estado del tiempo atmosférico”.

De esta forma podemos observar que la atmósfera, más que un espacio gaseoso, es la capa terrestre en la

cual se llevan a cabo los diferentes fenómenos que se dan a nuestro alrededor. Es la dinámica atmosférica la que determina la recurrencia de múltiples procesos, su fluctuación y variación desencadenan cambios (a diferentes escalas del tiempo) y efectos climáticos sobre la tierra (efecto invernadero, contaminación y calentamiento global).

A su vez, podemos comprender que más que procesos climáticos (modelaciones específicas de cada región y altura), la atmósfera es la encargada de los cambios en los estados del tiempo, los cuales son definidos como las variaciones de temperatura, radiación y precipitación en diversas condiciones y horas del día.

### Preguntas orientadoras

El facilitador guiará a los participantes a responder las siguientes preguntas, las cuales evalúan el nivel de conocimiento sobre el tema y les ayudará a dimensionar las habilidades, destrezas y actitudes que se buscan desarrollar en este apartado. Las preguntas que hará el facilitador son:

- ¿Qué es la atmósfera?
- ¿Qué es la meteorología?
- ¿Cuáles son los elementos del clima?
- ¿Qué es el calentamiento global?
- ¿Qué es el efecto invernadero?

## Objetivos

Al finalizar esta unidad el lector tendrá comprensión suficiente sobre las generalidades relacionadas con los siguientes temas:

- Comprender la ubicación de la atmósfera dentro del sistema planetario terrestre.
- Analizar las interrelaciones entre la atmósfera y otras capas presentes en la Tierra: la hidrosfera, la litosfera y la biosfera.
- Comprender la definición de atmósfera como sistema dinámico, su estructura y componentes.
- Definir y diferenciar los conceptos de estado del tiempo y clima.
- Apropiar los conocimientos básicos de los factores generadores del estado del tiempo y clima.
- Analizar los conceptos generales de variabilidad climática, cambio climático, calentamiento global y efecto invernadero.

## La Tierra

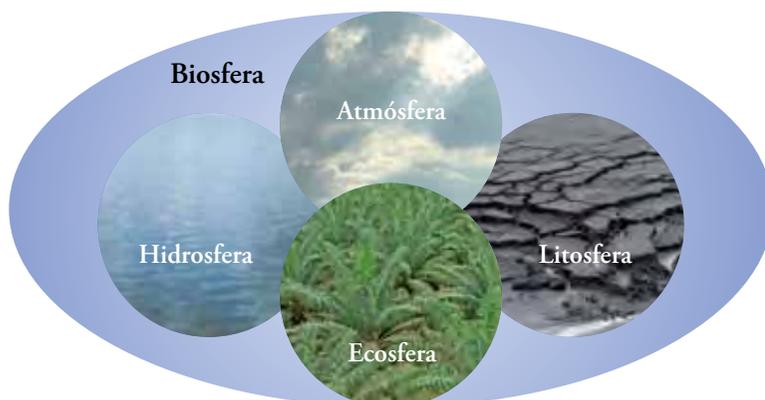
Desde las profundidades espaciales, la Tierra a primera vista parece tan solo una diminuta esfera de aspecto frágil, pero en la medida en que nos acercamos a ella, se pone de manifiesto que este planeta es mucho más que roca y suelo. Los rasgos más llamativos de la Tierra vistos desde el espacio, corresponden a las nubes turbulentas suspendidas encima de la superficie y al enorme océano global (Tarbuck, 2001).

Igualmente, la ubicación en un punto del espacio es una vista ventajosa desde donde se puede verificar porqué el ambiente físico de la Tierra se divide tradicionalmente en tres partes principales: la tierra sólida o litosfera, la porción acuosa llamada hidrosfera y la cubierta gaseosa conocida como atmósfera (Tarbuck, 2001).

Entre todos los fenómenos físicos meteorológicos que se dan en la atmósfera (nubes, precipitaciones, vientos, etc.), la radiación solar y la formación de la capa de ozono son considerados de gran importancia. Es por ello que, previo a la descripción de la estructura y composición de la atmósfera, es relevante conocer las relaciones de esta con las otras esferas de la Tierra: hidrosfera, litosfera, ecosfera y biosfera (Figura 3).

¿De qué forma usted pensaría que son estas interrelaciones?, ¿estarán presentes en nuestro entorno más cercano?

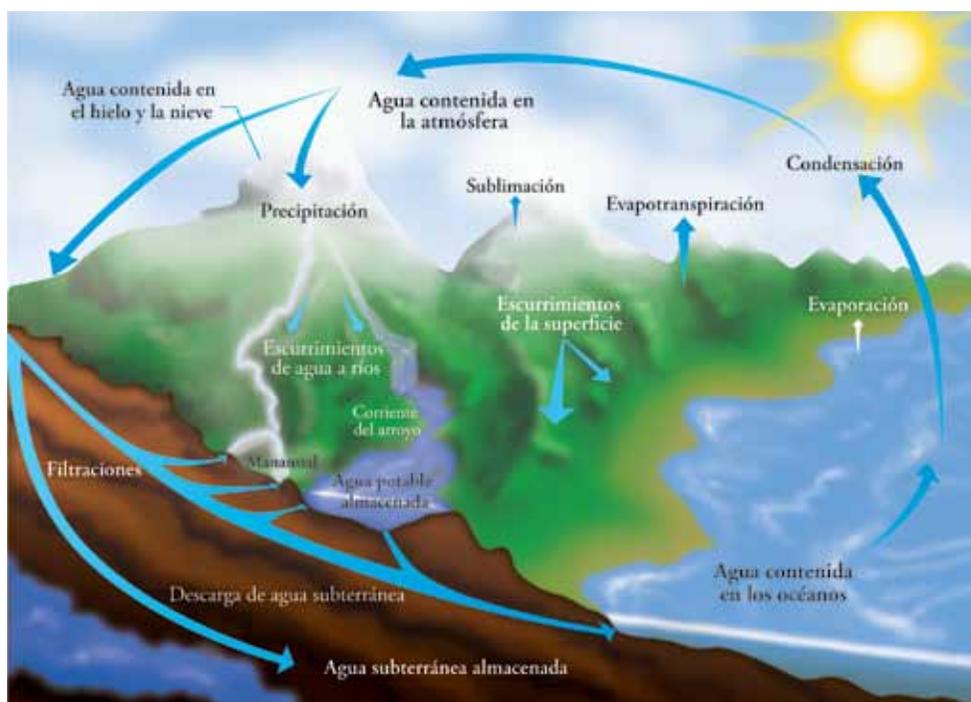
## Interacciones entre la atmósfera, hidrosfera, litosfera, ecosfera y biosfera



**Figura 3.** Esquema de las capas externas que componen el planeta Tierra.

Las cinco esferas del planeta interactúan de manera constante y fuerte entre sí para producir un sistema de alta complejidad. Estas interacciones son dinámicas y cambiantes. Un ejemplo que nos permite ver la interacción de la hidrosfera y la litosfera se puede observar en la línea de costa, donde se encuentran las rocas y el agua. También podemos ver cómo se forman las olas oceánicas, por el arrastre de las corrientes de aire que se mueven sobre el mar y rompen contra la costa rocosa. Las fuerzas del agua y del aire pueden ser poderosas y el trabajo mecánico resultante es la erosión, que se lleva a cabo sobre muchas superficies, este es un proceso importante en la configuración de la Tierra (Cardenas & Cruz, 1992).

La atmósfera interactúa con la hidrosfera formando una dinámica muy importante para la vida en la Tierra. La hidrosfera, una masa de agua en continuo movimiento, se evapora de los océanos hacia la atmósfera en forma de vapor de agua y allí, en determinadas condiciones, adquiere la forma de nubes que aportan el agua sobre la Tierra a través de la precipitación, la cual a su vez, por medio de la escorrentía y los ríos, vuelve al océano. Este proceso dinámico constituye el “Ciclo hidrológico” (Figura 4), que es la interacción más evidente entre la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera (Moreno, 1993).



**Figura 4.** Diagrama del ciclo del agua.

El océano global es el rasgo más destacado de la hidrosfera: cubre casi 71% de la superficie terrestre y representa alrededor de 97% del agua de la Tierra. Sin embargo, la hidrosfera incluye también el agua dulce que se encuentra en los torrentes, lagos y glaciares, así como el agua subterránea. Aunque estas últimas fuentes constituyen tan solo una diminuta fracción (3% del total), son mucho más importantes de lo que

indica su escaso porcentaje. Además de proporcionar el agua dulce, tan vital para la vida en la Tierra, los ríos, glaciares y aguas subterráneas son responsables de esculpir y crear muchos de los variados paisajes de nuestro planeta (Tarbuck, 2001).

Así mismo, la atmósfera interactúa con la biosfera y esta última integra todas las formas de vida en la Tierra. La biosfera está concentrada cerca de la superficie

terrestre en una zona que se extiende desde la plataforma oceánica hasta varios kilómetros en la atmósfera. En la superficie de la Tierra las plantas y los animales dependen del ambiente físico para los procesos básicos de la vida. La atmósfera le aporta a la biosfera el oxígeno indispensable para preservar la vida, y le proporciona las condiciones climáticas necesarias para llevar a cabo de manera regular y constante todos los procesos necesarios para mantenerse.

Bajo este enfoque es importante adquirir un conocimiento general de la atmósfera, definiendo su composición, estructura y elementos que intervienen en su dinámica, en especial la troposfera o capa atmosférica generadora del clima global, tratando la presencia de los fenómenos meteorológicos que se desarrollan en ella y los factores que intervienen en la generación del estado del tiempo y el clima.

## La atmósfera

La Tierra está rodeada por una capa gaseosa denominada atmósfera, la cual es la zona aérea, fluida o gaseosa situada sobre la superficie terrestre. Su denominación proviene del griego *atmos* = vapor y *sfaira* = esfera, y su materia constitutiva, el aire, no es un elemento químico simple, sino una mezcla de elementos y combinaciones químicas que no reaccionan entre sí, y que contienen

en suspensión gran variedad de productos sólidos y líquidos en finísimas gotas o partículas, desde materia orgánica (polen y microorganismos) y productos de combustión, hasta iones y material radiactivo, pasando por la abundante gama de agentes contaminantes que polucionan las ciudades y las zonas industriales (Salvat, 1974).

Los intercambios de energía, que se producen de manera continua entre la atmósfera y la superficie de la Tierra, entre la atmósfera y el espacio producen los procesos atmosféricos, los cuales son estudiados y determinados en factores llamados meteoros, que son analizados por la disciplina científica denominada meteorología. A su vez, el análisis de los factores meteorológicos en el tiempo (la duración, intensidad, variabilidad y fluctuación) determinan el conocido clima. Si la Tierra no tuviera atmósfera, no solo carecería de vida, sino que además, no actuarían muchos de los procesos e interacciones que hacen de la superficie un lugar tan dinámico (Petterssen, 1968).

## Estructura de la atmósfera

En función de la variación entre la temperatura y la altura, la atmósfera se divide en varias capas o estratos (Figura 5). Desde el espacio exterior hacia la superficie terrestre se clasifican de la siguiente forma:

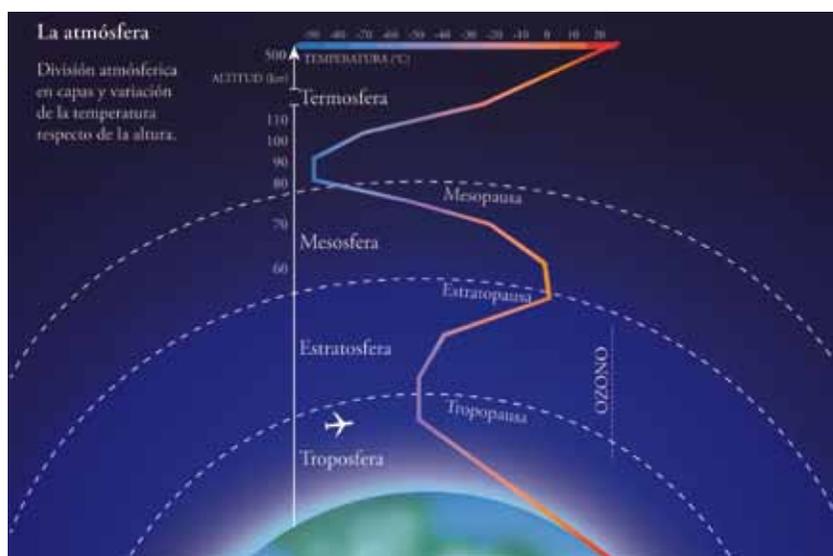


Figura 5. Estructura de la atmósfera de la tierra.

**Termosfera:** en ella la temperatura aumenta sin interrupción, hasta llegar a 500°C y a unos 500 km de altitud. Finaliza en la *termopausa*, donde comienza la *exosfera*, zona exterior, ilimitada, de la atmósfera. La termosfera está formada por moléculas sueltas cuya concentración va disminuyendo progresivamente hasta que se convierte en espacio interestelar. Convencionalmente se fija el límite externo de la atmósfera en los 2.000 km.

**Mesosfera:** esta región atmosférica que va desde los 50 km hasta los 80 km de altura culminando en la *metropausa*, se caracteriza por su marcado descenso en la temperatura al aumentar la altura, descendiendo hasta los -90°C.

**Estratosfera:** su característica térmica consiste en que la temperatura del aire se mantiene casi constante, aumentando ligeramente con la altura, sobre todo en las regiones tropicales. Su superficie limitante superior, a unos 45 km de altitud, constituye la *estratopausa*.

**Troposfera:** se caracteriza porque a través de ella, y en sentido vertical, la temperatura del aire desciende constantemente a 6,5°C por cada 1 km aproximadamente. Se extiende en promedio hasta los 12 km de altura (con un máximo aproximado de 18 km sobre las regiones ecuatoriales y un mínimo de 10 km en latitudes templadas). En la zona templada oscila con las estaciones, teniendo un espesor medio de 13 km. En esta primera capa de la atmósfera tienen lugar el conjunto de fenómenos que determinan el estado del tiempo, ya que en ella se encuentra la mayor cantidad de vapor de agua del aire, los núcleos de condensación (cuya importancia veremos más adelante) y las mayores variaciones de su temperatura (Salvat, 1974). En el límite superior de la troposfera, denominado la *tropopausa*, la temperatura deja de disminuir y está cerca de los -55°C (Camilloni, *et al.* 2011).

Estos contrastes de temperatura son, precisamente, los que permiten y determinan el “*funcionamiento de la grandiosa máquina térmica que es la atmósfera*”. El límite superior de la troposfera lo constituye la llamada “*frontera del tiempo*” o *tropopausa*, zona en que cesa la disminución de temperatura (Salvat, 1974).

## Composición y propiedades de la atmósfera

### Composición del aire

Llamaremos *aire* a esa composición gaseosa e inodora que respiramos, que alimenta la vida y produce infinitud de variedades de matices pintorescos. El aire natural está compuesto principalmente de aire seco, vapor de agua y varias clases de gases inertes, sales y polvo.

El aire que se encuentra en la troposfera está compuesto principalmente por nitrógeno  $N_2$  y oxígeno  $O_2$  molecular, con pequeñas cantidades de otros gases, como vapor de agua  $H_2O$  y dióxido de carbono  $CO_2$  (Camilloni, *et al.*, 2011).

En la Tabla 1, se presentan los porcentajes equivalentes a cada uno de los compuestos del aire.

**Tabla 1.** Gases que componen la atmósfera.

Gas	Fórmula química	Porcentaje (por volumen)
Gases permanentes		
Nitrógeno	$N_2$	78,08
Oxígeno	$O_2$	20,95
Argón	Ar	0,93
Neón	Ne	0,0018
Helio	He	0,0005
Hidrógeno	$H_2$	0,00006
Xenón	Xe	0,000009
Gases variables		
Vapor de agua	$H_2O$	0 a 4
Dióxido de carbono	$CO_2$	0,036
Metano	$CH_4$	0,00017
Óxido nitroso	$N_2O$	0,00003
Ozono	$O_3$	0,000004
Partículas (polvo, por ejemplo)		0,000001
Clorofluorocarbonatos (CFC)		0,00000002

En la atmósfera existe un balance entre la salida y la entrada de estos gases, por ejemplo: el nitrógeno es removido de la atmósfera, principalmente a través de procesos biológicos dados en el suelo, y retorna a ella por medio de la descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos. El oxígeno, por su parte, es removido de la atmósfera por medio de la degradación de la materia orgánica y de otros procesos de oxidación como la respiración de los seres vivos, por ejemplo.

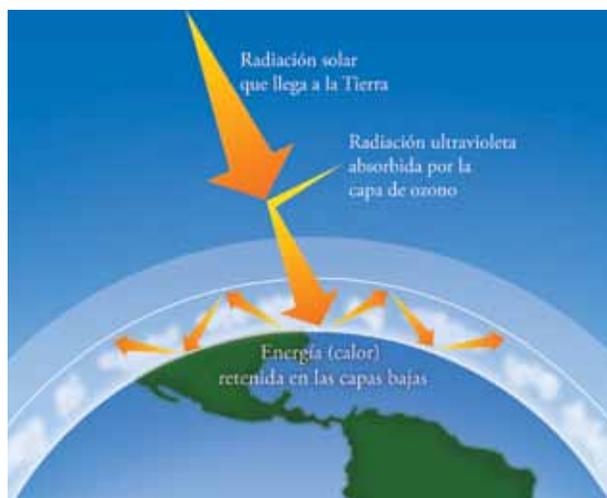
La incorporación de oxígeno a la atmósfera está dada principalmente por el proceso de fotosíntesis de las plantas. El volumen de vapor de agua varía en la atmósfera de acuerdo con la zona en donde se determine, por ejemplo: en las regiones tropicales, cerca de la superficie, el vapor de agua puede constituir hasta 4% de los gases atmosféricos. Este gas no solo es un componente extremadamente importante por su papel en los procesos de condensación del agua, sino que además constituye una reserva de calor. El vapor de agua se transforma en agua líquida durante el proceso de condensación, en donde se liberan grandes cantidades de energía (calor latente) que constituyen el “motor” de fenómenos meteorológicos, como las tormentas convectivas y los huracanes. Por otro lado, el dióxido de carbono entra a la atmósfera por los procesos de fotosíntesis. Los océanos son importantes reservorios de dióxido de carbono, debido a la fijación de éste en las células del fitoplancton (Camilloni *et al.*, 2011).

Además del nitrógeno, el oxígeno, el vapor de agua y el dióxido de carbono, la atmósfera está compuesta por otros gases en una menor proporción. Los más importantes son el ozono  $O_3$ , el metano  $CH_4$ , los óxidos de nitrógeno  $NO_x$  y los clorofluorocarbonos (CFC) (I. Camilloni, C. Vera, A. Kornblihtt, 2011). El  $O_3$  es un compuesto químico formado por tres átomos de oxígeno. Aproximadamente 90% de este compuesto se encuentra en la estratosfera, lo que determina una gran influencia sobre la biosfera, dada la eficiencia que tiene este gas para absorber la radiación solar UV (I. Camilloni, C. Vera, A. Kornblihtt,

2011). Por su parte el  $CH_4$  se encuentra comúnmente en la naturaleza siempre que ocurra la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, como en los pantanos, ciénagas o en el sedimento de fango de lagos. La atmósfera terrestre contiene en promedio 1 ppm y, considerando que este es un gas ligero en comparación con los demás gases ( $O_2$  y  $N_2$ ) que componen el aire, se espera que la mayor parte del metano escape de la atmósfera; sin embargo, la concentración observada es mucho mayor que la del punto de equilibrio, lo cual sucede como consecuencia de que al mismo tiempo en que el metano escapa de la atmósfera, se está produciendo constantemente por la descomposición bacteriana de la materia (Tolentino, 2011). Los óxidos de nitrógeno que se encuentran en la atmósfera son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de carbono ( $NO_2$ ), y se producen a través de dos procesos consecutivos, el primero se deriva de las altas temperaturas alcanzadas en los procesos de combustión (tales como vehículos de gasolina o diésel, fábricas, quemados, etc.), las cuales provocan la directa combinación entre el oxígeno y el nitrógeno del aire, generando así el NO, el cual se oxida parcialmente a  $NO_2$ ; posteriormente, surge una conversión del NO a  $NO_2$ , a causa de la oxidación de las fuentes emisoras (Consorti Sanitari de Barcelona, 2013). Por último, los clorofluorocarbonos (CFC) son compuestos creados en la década de 1950, para ser usados en múltiples productos industriales (extintores de incendios, aerosoles, aislantes térmicos, refrigerantes, etc.); al entrar en contacto con la radiación UV, los CFC sufren un proceso de distorsión que desencadena la destrucción de la capa de ozono (I. Camilloni, C. Vera, A. Kornblihtt, 2011).

Las observaciones han probado que la composición de la atmósfera seca es constante sobre todo el globo terráqueo, ya que alcanza hasta una altura de aproximadamente de 25 km (tropopausa) sobre el nivel del mar, lo que indica que el aire está perfectamente mezclado. En síntesis, a grandes alturas, los procesos químicos mantienen una composición variable (Salvat, 1974).

## La capa de ozono



**Figura 6.** Localización de la capa de ozono en la atmósfera terrestre.

Se denomina capa de ozono, a la porción de la estratosfera que contiene una concentración relativamente alta de ozono. Esta capa se extiende aproximadamente desde los 15 a los 50 kilómetros de altura sobre la superficie de la tierra, y tiene como función principal absorber la radiación solar UV, dada su composición  $O_3$ , que aísla los rayos ultravioleta que llegan a la estratosfera (Figura 6). Esta radiación se encuentra dividida en tres tipos: la UV-A, que se localiza entre 320 y 400 nm; la UV-B, localizada entre 290 y 320 nm; y la UV-C que está por debajo de los 290 nm. Aunque toda la radiación UV es nociva para los seres vivos, vale la pena indicar que el tipo de radiación UV-C resulta mucho más perjudicial que las restantes, provocando mutaciones en los genes, que pueden generar cánceres e inmunodeficiencias, entre otras enfermedades; sin embargo, por fortuna el ozono absorbe toda la radiación UV-C y parcialmente las UV-A y UV-B, permitiendo que la superficie de la tierra tan solo reciba 10% de la UV-B y 90% de la UV-A (Inés Camilloni y Carolina Vera, 2011). Vale la pena aclarar, que los efectos de protección del ozono son posibles cuando este se encuentra en ambiente natural (en la baja estratosfera, entre los 12 a 45 km de altura), de lo contrario en alturas por debajo de los 12 km, el ozono es nocivo,

debido a que ayuda a potencializar el efecto invernadero natural.

Según Inés Camilloni (2011), a principios de la década de 1980 se realizaron investigaciones acerca de los niveles de concentración de ozono en la estratosfera, los cuales permitieron constatar que durante los meses de septiembre y octubre de cada año se presenta una vertiginosa caída en las concentraciones de ozono en la región Antártica, y se conoce comúnmente con el nombre de *agujero de ozono*.

## La meteorología

Antes de entrar en materia y abordar los temas de meteorología, es importante establecer la diferencia entre dos términos que se encuentran profundamente relacionados, el estado del tiempo y el clima. Por un lado, se entiende como estado del tiempo la síntesis del estado de la atmósfera y de los fenómenos atmosféricos en un momento y en un punto geográfico concreto. Por otro lado, el clima es entendido como las distintas combinaciones posibles entre los elementos del tiempo (presión atmosférica, pluviosidad, temperatura y humedad del aire, etc.), que constituyen los diferentes estados y tipos del tiempo atmosférico. Estos fenómenos son estudiados, analizados e interpretados por la meteorología sinóptica, dando como resultado un pronóstico del tiempo temporal específico (Barry, 1980).

La meteorología es una disciplina derivada de la geofísica, que se ocupa del estudio y modelación del estado del tiempo y de los cambios ocurridos en la atmósfera; mientras que la meteorología dinámica trata los desplazamientos ocurridos en la atmósfera terrestre, tales como movimientos de masas de aire, frentes cálidos o fríos, vientos, etc., y su relación con otros fenómenos meteorológicos. Existen tres campos de aplicación: la meteorología aeronáutica, responsable de proporcionar seguridad a las entidades aéreas; la meteorología marítima, encargada de proporcionar seguridad a la navegación marítima; y la meteorología agrícola o agrometeorología, que estudia la influencia del tiempo atmosférico en la agricultura (OMM,

2010). Para el caso de esta guía, el contenido de los temas a tratar estará orientado principalmente a la meteorología agrícola o agrometeorología.

## El clima



**Figura 7.** Manifestación del clima sobre una plantación de palma. Foto: Ortega, N. (2007).

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)), el clima se define como la descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de las cantidades pertinentes a las variables de la superficie (temperatura, precipitación, viento, etc.) durante periodos que pueden ser de meses a miles de millones de años; sin embargo, de acuerdo con la Organización Mundial de Meteorología (OMM), el periodo normal es de 30 años.

El clima está determinado por una serie de factores que actúan conjuntamente, y permiten la existencia y diversidad de los sistemas climáticos alrededor del mundo.

A continuación se mencionan algunos de estos factores:

- *La latitud*, es un factor que influye notablemente sobre la incidencia de radiación solar (en intensidad y distribución anual), la cual condiciona, a su vez, la insolación diaria (brillo solar u horas de sol despeja-

do). Por ejemplo, la radiación recibida en un lugar de la Tierra a una latitud de 40° Norte en verano es casi el triple de la recibida en invierno.

- *La altitud*, es un factor de bastante interés en climatología, ya que se ha encontrado que por cada 1.000 m que nos elevamos desde el nivel del mar la temperatura del aire disminuye en 6,5°C de tal forma que la altitud condiciona marcadamente el clima, modificando factores como la temperatura. por ejemplo: Santa Marta a nivel del mar tiene una temperatura promedio de 30°C al medio día, mientras la Sierra Nevada de Santa Marta (a una altura de 4.000 metros más) es 12°C a la misma hora.
- *El relieve*, es determinante en las condiciones del clima regional, porque sobre las colinas, montañas y grandes vertientes (tipos de formaciones geográficas) circulan corrientes de vientos cálidos en ascenso y corrientes frías en descenso hacia los valles.
- *La vegetación*, tal como los bosques, las praderas e incluso los cultivos, modifican ciertas variables del clima, porque actúan como barreras o cortinas rompevientos, lo mismo que interceptando parte de la radiación solar directa, aumentando la humedad en gran parte por la alta tasa de evapotranspiración.

Es fundamental distinguir entre los factores y los elementos del clima que influyen en un determinado lugar de la Tierra, por lo que vale la pena precisar que los factores del clima son las condiciones geográficas, astronómicas e incluso meteorológicas que determinan las particularidades de los elementos climáticos; dichos elementos se encuentran definidos como aquellas características que permiten definir, evaluar y clasificar el clima.

A continuación se presentan algunos de los elementos del clima de mayor interés en meteorología agrícola:

- Presión atmosférica.
- Precipitación (lluvia, nieve, granizo).

- Temperatura del aire.
- Humedad del aire.
- Radiación y brillo solar e insolación.
- Nubes y nubosidad.
- Viento (dirección, velocidad y frecuencia).
- Tormentas.
- Granizo y granizadas.
- Meteoros de condensación: el rocío y la escarcha.
- Humedad y temperatura del suelo.
- Evaporación y evapotranspiración.
- Climas y clasificación de climas.

Por otro lado, la estrecha relación que existe entre los factores y los elementos del clima, permite que éste ejerza una gran influencia sobre el tipo de vegetación, biomasa y diversidad de las tierras secas. Un ejemplo claro de ello es la importancia que tiene la precipitación y la temperatura en la determinación de la distribución potencial de la vegetación terrestre, y en la constitución de los principales factores de génesis y evolución del suelo.

### Variabilidad climática

Uno de los aspectos más relevantes a la hora de entender el clima, es entender su variabilidad. La variabilidad climática, según el IPCC, se refiere a las variaciones de los valores medios y otros datos estadísticos (como desviaciones típicas) del clima en todas las escalas espaciales y temporales, que van más allá de los fenómenos meteorológicos determinados; en otras palabras, son las fluctuaciones o anomalías climáticas que se presentan en las tendencias con respecto a los valores normales históricos.

Una prueba de esta variabilidad climática a nivel mundial se puede obtener al observar las variaciones de la temperatura del planeta desde los períodos interglaciales hasta hoy día. Figura 8 (Matthews, 1977).

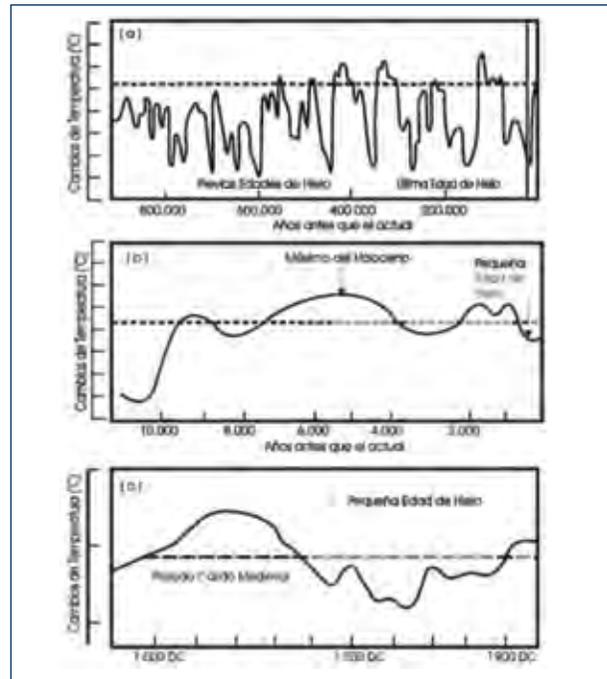


Figura 8. Cambios en la temperatura en períodos anteriores.

Por otro lado, en el último siglo la temperatura del planeta pasó de ser baja (menor a 15°C) durante los períodos interglaciales a ser bastante alta, lo que se denominó por la comunidad científica: calentamiento global de la Tierra (Ferguson, 1977). En la Figura 9, se observa la tendencia en temperatura de los últimos 100 años (1911 a 2011) con base en registros meteorológicos del hemisferio norte.

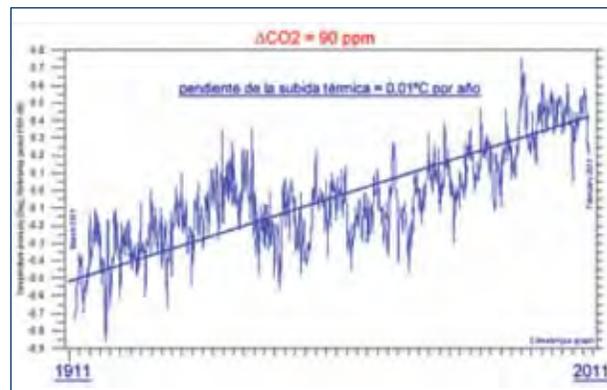


Figura 9. Cambio de la temperatura del aire durante los últimos 100 años.

Pero, ¿qué registros nos permiten observar la variación climática en períodos históricos anteriores? Uno de ellos son las capas antiguas del suelo, ya que en ellas se encuentra polen fosilizado (cápsula que transporta los gametos masculinos de las plantas con flor) conservado en turberas y sedimentos del fondo de los lagos, revelando cuándo y qué clase de plantas crecieron en determinado sitio, modelando a su vez un tipo específico de clima.

Otro registro importante observado son las moirrenas y los terrenos arrastrados (escombros glaciales acumulados y esparcidos) que marcan la fecha del paso del hielo. Las muestras extraídas por perforación de los casquetes de hielo y de los glaciares, indican el espesor anual de la nieve en años pasados, así como la temperatura del aire en el momento de la nevada (observando variaciones en los átomos de oxígeno).

Un importante registro que inclusive le permitió a Charles Darwin divisar la teoría de la evolución es representado por las conchas diminutas y esqueletos de criaturas marinas conservados en el fondo de los mares. Estos revelan cambios en la temperatura de la superficie del mar y son probablemente la clave más importante en cuanto a las modificaciones del clima.

Tales registros muestran una dinámica reguladora en la temperatura del planeta por diversas formaciones y variaciones climáticas a través de la historia. Las cuales han sido drásticas o graduales. Sin embargo, hoy en día se presenta un nuevo factor determinante en la aceleración de cambio de la variabilidad climática: la acción humana.

## Cambio climático



**Figura 10.** Efectos del cambio climático en la fertilidad del suelo. Foto: Toro, F. (2009).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), define el cambio climático como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

El clima mundial a largo plazo es el resultado del flujo de energía sobre diferentes partes del planeta. Por su parte, esto no lo hemos visto, el efecto de invernadero es el fenómeno encargado de regular este flujo de energía en la capa atmosférica terrestre. Por medio de este sistema, la radiación debe alcanzar un equilibrio en el tiempo, pues de lo contrario, el planeta se volvería cada vez más caliente o más frío, y los océanos se calentarían o se congelarían sin regularidad temporal alguna. Por tanto, el fenómeno del cambio climático se da por las alteraciones graduales de las condiciones meteorológicas en el tiempo.

Al comienzo del siglo pasado (1920) se registró el inicio del cambio del clima, en la era actual. En 1940 se presentó un cambio en la temperatura media del planeta en 1°, lo cual provocó cambios significativos. En el período de 1950 a 1966 en la franja norte del oeste medio norteamericano, las heladas de verano hicieron estragos en la agricultura y el hielo marino reapareció en las costas de Islandia después de 40 años de ausencia. En contraste a este cambio de temperatura, entre los años 1973 y 1975 en la zona oriental norteamericana, en el occidente de la URSS y en gran parte de Europa, los inviernos fueron los más cálidos en muchos decenios (Ferguson, 1977).

La mayor parte de las zonas europeas fueron afectadas por las sequías, las cuales comenzaron con el verano de 1975, especialmente en el árido. Así en Europa Occidental en 1976 ocurrió un intenso verano, que provocó fuertes sequías, como las presentes en África, rara vez en la historia habían sido tan soleados y áridos los meses de junio, julio y agosto como los de ese año. La precipitación pluvial en casi toda Europa Occidental fue sólo la mitad del promedio normal. Los especialistas coincidieron en que la razón princi-

pal del calor y sequedad del verano de Europa en ese año fue por un raro anticiclón o zona de alta presión (Ferguson, 1977).

El clima adverso en 1983 significó para África sequías, hasta tal punto que no había que determinar quién había sido afectado por las sequías, sino quién no lo había sido. En este año hubo un momento en que casi todo el hemisferio sur, y muchos países al norte de la línea ecuatorial, se vieron afectados. Se trata de una zona donde habita más de la cuarta parte de la humanidad. Nueva Zelanda y Australia también sufrieron el azote de estas sequías.

Mientras gran parte de África, el sur de Asia, Australia y Oceanía sufrían las consecuencias de la sequía, otras áreas grandes en Europa Occidental, Estados Unidos y Suramérica padecían lo contrario: tormentas e inundaciones. Esto significaba que millones de seres humanos habían sufrido el estrago silencioso de la sequía y la hambruna, mientras millones de personas, en otra parte del mundo, padecían las consecuencias de tormentas, lluvias excesivas e inundaciones (Taylor, 1983).

La explicación, según meteorólogos estadounidenses, es producto un cambio cíclico en los sistemas de presión atmosférica sobre el océano Pacífico, el cual permite que El Fenómeno del Niño (fenómeno de perturbación espontánea) traiga corrientes de aguas cálidas, las cuales producen cambios en el clima. El clima que se vivió en el año 1983 fue solo un anticipo de un desastre que había sido anunciado y para el cual la humanidad no estaba preparada (Ferguson, 1983).

Localmente en los años 1991 y 1992, Colombia sufrió el azote del verano por sequía severa en todo el territorio. Plantaciones de palma de aceite de los Llanos Orientales y el Magdalena Medio, como Unipalma y Oleaginosas Bucarelia, tuvieron que implementar el sistema de riego para suplir la deficiencia de agua en los cultivos (Moreno, 1993).

Actualmente EE.UU. enfrenta la peor sequía en 56 años, por lo que millones de hectáreas de cultivos de maíz y soya se han perdido. Según el índice de sequía

Palmer, cuyos registros se usan para hacer comparaciones del fenómeno climático, en julio de 2012 la sequía cubrió 52,7% del territorio. El peor indicador desde diciembre de 1956, cuando 57,6% del país estaba seco (El Tiempo, 2012).

En 2012, el cultivo de maíz, el más grande de EE.UU., seguido por la soya, cayó 13% (270 millones de toneladas) frente al año 2011, la producción más baja en seis años. El cultivo de soya también cayó 12% (67,25 millones de toneladas) frente al mismo año. La alerta despertó entre los expertos el fantasma de la crisis alimentaria, que entre 2007 y 2008 desató fuertes manifestaciones en más de 30 países, como Camerún, Haití y Egipto.

## Calentamiento global

El fenómeno climático del sobrecalentamiento global ocurre porque la atmósfera permite el paso de un cierto porcentaje de la radiación solar (radiación solar directa), que al llegar a la superficie del planeta es absorbida en parte (calentamiento del suelo), mientras que el resto de la radiación incidente es devuelta por reflexión (nubes, espejos de agua, hielo, nieve, vegetación, suelos desnudos, etc.) al espacio. Debido a la contaminación existente en nuestro planeta, se concentran una serie de gases entre el suelo y la atmósfera que impiden la salida hacia el espacio de estas ondas de radiación reflejadas, aumentando así la temperatura del planeta. El sobrecalentamiento tiene serias repercusiones sobre los ecosistemas al variar las condiciones climáticas que afectan directamente el desarrollo de las actividades vitales de plantas, animales y del hombre mismo.

## El efecto invernadero

Según Margarita Caballero, (2007), el efecto invernadero es un proceso por el cual la atmósfera se calienta, como consecuencia de la retención del calor emitido por la tierra. Este calor proviene de la radiación solar de manera natural, pero cuando esta energía rebota sobre la superficie queda atrapada por la barrera de gases que componen la atmósfera (Figura 11).

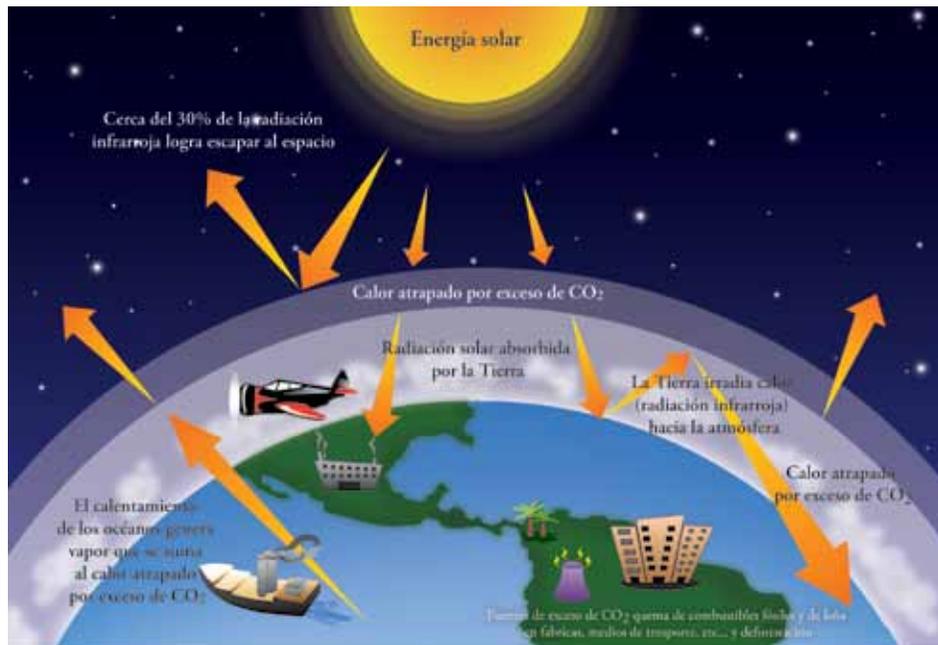


Figura 11. Efecto invernadero.

Los gases responsables de este proceso son principalmente el dióxido de carbono y el metano, que junto a otros gases (óxido nitroso, gases fluorados) se

han venido multiplicando en la atmósfera por efecto de los diferentes procesos modernos de urbanización e industrialización.

### Aumento del efecto invernadero en la tierra

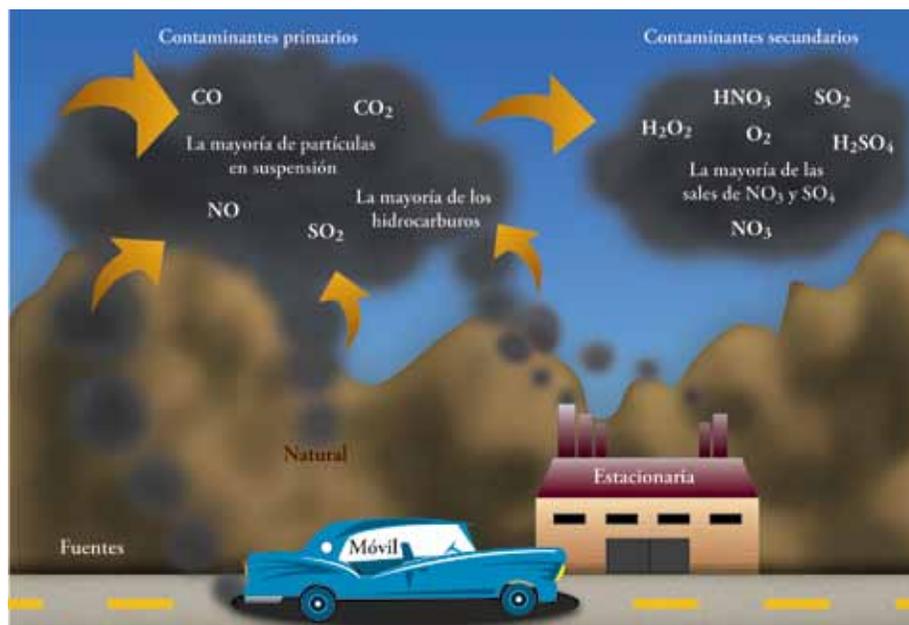


Figura 12. Efecto de invernadero producido por el aumento de contaminantes.

A partir de la revolución industrial, el dióxido de Carbono  $\text{CO}_2$  se ha acumulado progresivamente en la atmósfera terrestre como resultado de la combustión de carbón y petróleo. Las elevadas concentraciones de este gas, incoloro e inodoro, tienden a calentar el planeta por el conocido efecto de invernadero, (Figura 12), reteniendo la radiación infrarroja (calor) que de otra manera escaparía hacia el espacio.

Según investigaciones científicas, las alteraciones del clima son evidentes, tanto que el curso del clima mudó desde 1875 a 1975, la zona templada septentrional se volvió más calurosa; inclusive, algunos consideran actualmente que este siglo ha sido uno de los más cálidos en los últimos 4.000 años (Taylor, 1983). Durante este lapso de tiempo, floreció la edad industrial y la población del mundo se duplicó con respecto a este período, lo que provocó que la agricultura y

la pesca se extendieran para satisfacer la demanda de alimentos.

### Polución de la atmósfera y la lluvia ácida

Las moléculas de efecto de invernadero, dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , metano  $\text{CH}_4$ , óxido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$  y otros clorofluocarbonados (CFC) son llevadas a la atmósfera por las corrientes de aire caliente en ascenso durante el día. En la noche, las partículas de las emisiones contaminantes son transportadas por los vientos a zonas frías (con menor temperatura), se mezclan con el vapor de agua de la atmósfera y por el proceso físico de condensación se forman nubes cargadas de polución, que al disminuir el gradiente térmico se precipitan en forma de lluvia ácida o lluvia contaminada con ácido sulfúrico y ácido nítrico la cual cae sobre cultivos, bosques, edificaciones y demás objetos causando todo tipo de deterioro en la superficie (Moreno, 2003), (Figura 13).



**Figura 13.** Proceso atmosférico de formación de la lluvia ácida.

## Práctica 1.1. Estructura y dinámica del planeta Tierra

A continuación se desarrollará un taller teórico, con el propósito de reforzar los conceptos básicos relacionados con la presente unidad.

### Objetivo

Reconocer las principales capas que conforman el planeta Tierra, su interacción y dinámica dentro de los procesos generadores del tiempo y el clima.

### Orientaciones para el facilitador

Previamente a la actividad, escriba en papeletas independientes frases de la siguiente tabla y colóquelas en una bolsa:

Concepto	pregunta extra
Litosfera	¿Cuál es el principal componente de esta parte de la Tierra?
Hidrosfera	¿Cuál es el principal componente de esta parte de la Tierra?
Atmósfera	Nombrar tres fenómenos físicos que ocurren en la atmósfera.
Capa de ozono	Nombre una de las funciones de la capa de ozono.
Aire seco	¿Cuál es el mayor componente del aire seco?
Variabilidad climática	¿Cómo se identifica la variabilidad climática?
Cambio climático	Responda si o no, ¿El calentamiento global corresponde a un proceso de variabilidad climática?
Calentamiento global	¿Cuál es el papel de la radiación reflejada en el calentamiento global?
Efecto invernadero	¿Cuál es el gas que se encuentra acumulado en la atmósfera?
Lluvia ácida	Nombre uno de los ácidos que contiene la lluvia ácida

Para empezar la actividad, explique los objetivos de la práctica y las instrucciones para llevar a cabo la dinámica. Luego, siga las siguientes instrucciones:

- Divida a los participantes en dos grupos. Cada equipo debe tener un nombre otorgado por los participantes.
- En el tablero, elabore una tabla para llevar el registro de los puntajes de los equipos, recuerde que la mayoría del tablero debe quedar disponible, para que los participantes hagan sus dibujos.
- Elija aleatoriamente un participante del primer grupo, hágalo pasar al tablero y provéale un marcador.
- Lea en voz alta las instrucciones para el participante.
- Indique a los participantes que tendrán un minuto para identificar el concepto que está representando el compañero de equipo a través del dibujo en el tablero.
- Si el equipo logra responder antes que se cumpla el tiempo de juego, gana un punto y tiene la posibilidad de contestar una pregunta extra en un minuto adicional. Si el equipo no responde acertadamente la pregunta se le dará la oportunidad al otro equipo para contestar. Si acierta la respuesta ganará el punto, podrá responder la pregunta extra y ganará el turno de juego.
- Una vez hayan concluido todas las palabras, sume los puntajes e indique cuál es el equipo ganador.

### Recursos necesarios

- 4 marcadores
- Un tablero o 20 pliegos de papel periódico
- 10 tarjetas o papeletas de 10x20 cm
- Un reloj

### Instrucciones para el participante

El propósito de la práctica 1.1. es reconocer las principales capas que conforman el planeta Tierra, su inte-

racción y dinámica dentro de los procesos generadores del tiempo y el clima.

La actividad consiste en reconocer el concepto (corresponde a un concepto abordado en la unidad de aprendizaje) que uno de los integrantes del equipo intentará explicar mediante dibujos, para hacer esto se contará con un minuto, cronometrado por el facilitador.

El equipo que reconozca primero el concepto ganará un punto y tendrá derecho a contestar la pregunta extra, si lo contesta correctamente obtendrá otro punto, de lo contrario, cederá la oportunidad de contestar al otro equipo.

Tenga en cuenta las siguientes reglas de la actividad:

#### ¿Qué se puede permitir en la actividad?

- Se pueden resaltar partes del dibujo con símbolos tipo flechas pero nunca con palabras, letras o números.
- Se puede hacer el dibujo de la palabra asignada por sílabas, por ejemplo si se trata de la palabra COTO y no sabe dibujarlo puede indicar que lo va a hacer por letras, empieza dibujando algo sencillo que comienza por C, como una casa, luego algo que empiece por O, como un ojo y algo que comience por T como un tenedor. Ninguna palabra es imposible.
- Si hay que dibujar, por ejemplo, una palabra que se pueda pronunciar igual, pero signifique algo diferente, puede optar por dibujar lo que le parezca más sencillo, un ejemplo sería vota de votar, pero puede dibujar una bota de vestir. El objetivo es hacer que pronuncien la palabra deseada.

#### ¿Qué no se puede permitir en la actividad?

- Dar datos sobre la cantidad de letras que contiene una palabra.
- Usar letras y números en los dibujos.
- Hablar, la persona que dibuja debe estar totalmente en silencio.
- No se puede cambiar de palabra hasta que se acierte o el tiempo se agote.
- Hacer señas con las manos o gestos con la cara que indiquen qué tan cerca está el participante de la respuesta.

## Información de retorno

Retroalimente al grupo las fallas encontradas en el desarrollo del ejercicio.

Indague sobre el grado de comprensión de los temas y sobre la efectividad de la dinámica de la siguiente manera:

- ¿Es claro el concepto de tiempo?
- ¿Es claro el concepto de clima?
- ¿Cuáles fueron las dificultades para llevar a cabo la actividad?
- ¿Cuáles fueron las fortalezas para llevar a cabo la actividad?

## Glosario

**Atmósfera:** masa de aire que rodea el globo terráqueo. Masa gaseosa que rodea un astro rocoso.

**Biosfera:** conjunto de las zonas habitadas de la litosfera, atmósfera e hidrosfera.

**Clima:** condiciones atmosféricas reinantes de una región.

**Climatología:** tratado de los climas en sus diversos elementos y en su distribución geográfica.

**Escorrentía:** fracción de agua de las precipitaciones que no se evapora.

**Estratosfera:** zona superior de la atmósfera entre 60 y 100 kilómetros de altura.

**Hidrosfera:** conjunto de las capas líquidas del globo terráqueo; comprende océanos, mares, aguas continentales, nieve y hielo.

**Litosfera:** envoltura rocosa que constituye la corteza exterior sólida del globo terrestre.

**Meteoros:** fenómenos atmosféricos, ya sean aéreos, acuosos, luminosos o eléctricos.

**Meteorología:** ciencia que estudia la atmósfera y los meteoros.

**Mesosfera:** parte de la atmósfera entre los 30 y 80 kilómetros de altura. El límite superior de la mesosfera es la mesopausa.

**Ozono:** estado alotrópico del oxígeno originado por la electricidad de la atmósfera. Se presenta debido a la continua acción de la electricidad, las combustiones y los rayos ultravioletas.

**Polución:** contaminación intensa y dañina del agua o del aire, por los residuos de procesos industriales o biológicos.

**Precipitación:** agua que cae de la atmósfera en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve o granizo), y se deposita en la superficie de la Tierra.

**Radiación:** emisión de energía solar en forma de rayos u ondas electromagnéticas.

**Termosfera:** zona de la atmósfera comprendida entre 200 y 500 kilómetros de altura, en ella la temperatura asciende en forma rápida y constante.

**Troposfera:** capa de la atmósfera situada sobre la superficie terrestre que se caracteriza por contener aire húmedo. Llega aproximadamente hasta los 15 km y en ella se desarrolla la totalidad de los fenómenos meteorológicos y la mayor parte de los procesos de la dinámica atmosférica

**Ultravioleta:** es la parte invisible del espectro luminoso que se extiende a continuación del color violeta.

## Referencias bibliográficas

- Barry, R. (1980). *Atmósfera, tiempo y clima*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Cárdenas, F & Cruz, L. (1992). *Educación ambiental: Fundamentos*. Santafé de Bogotá D.C: Servicio Nacional de Aprendizaje. Dirección Nacional de Ética y Formación Integral.
- Eslava, J. (1993). *Climatología y diversidad climática*. Bogotá D.C: Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.
- Ferguson, R. (1977). *¿Qué sucede con el clima? Ardiente verano en Europa*. Washington D.C: Condensado de National Geographic Society.
- Matthews, S. (1977). *¿Hacia una era glacial?* Washington D.C.: Condensado de National Geographic Society.
- Mejía, M.A. (2003). *Ecología tropical: Una visión sobre la composición, la estructura y el funcionamiento de los Ecosistemas de la franja tropical*. Bogotá D.C: Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio del Medio Ambiente. (1994). *Ecológica: Política – Medio Ambiente – Cultura*. Bogotá :
- Moreno, H. (1993). *Implementación y manejo del sistema de riego de las Plantaciones de palma de Santa Bárbara, Chaparral y Cuernavaca*. Villavicencio: Unipalma S. A.
- Moreno, H. (2003). *Gestión ambiental para Bogotá. Documento de Gestión Concejo de Bogotá. Ubicación: Editorial*
- Petterssen, S. (1968). *Introducción a la Meteorología*. Madrid: Espasa – Calpe, S.A...
- Salvat, G. (1974). *La atmósfera y la predicción del tiempo*. Barcelona: Biblioteca Salvat de Grandes Temas. Salvat editores, S.A.

- Tarbuck, E. & Lutgens, F. (2001). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid: Prentice Hall.
- Taylor, D. (1983). El clima adverso en 1983. ¿Qué significa? *Revista la pura verdad*. California: Pasadena.
- Wmo . (2010). *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. Geneva





## Unidad de aprendizaje II. Estaciones y Red de Observación, Variables e Instrumentos de Medición y Registro en Agrometeorología

Estructura de la unidad .....	45
Explicación de la estructura .....	45
Preguntas orientadoras .....	45
Objetivo .....	46
La meteorología agrícola.....	46
Importancia del servicio agrometeorológico.....	46
Métodos de observación en agrometeorología.....	47
Programa de observaciones .....	49
VARIABLES e instrumentos de observación meteorológica .....	52
Observación y registro de parámetros meteorológicos.....	59
Práctica 2.1. Reconocimiento y observación de una estación meteorológica.....	61
Glosario .....	63
Referencias bibliográficas.....	63

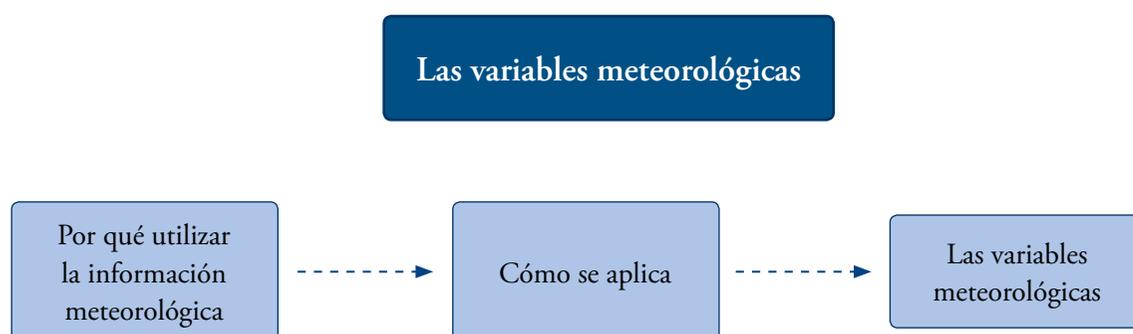


**Figura 1<sup>1</sup>.** Estación meteorológica automática.

---

1 Estación perteneciente a la red de estaciones instaladas en la plantación Oleaginosas Las Brisas (Puerto Wilches, Santander)

## Estructura de la unidad



**Figura 2.** Estructura de aprendizaje de la unidad.

### Explicación de la estructura

La meteorología agrícola es una ciencia que se ocupa del agua, el calor y el aire, así como del desarrollo de la biomasa sobre y bajo el suelo, en el entorno de la producción agrícola, incluyendo igualmente los efectos de las plagas y enfermedades que dependen de estos factores (Organización Meteorológica Mundial, 2006). Además, ayuda a la planificación agrícola, pues asesora en temas como: las épocas de siembra, las labores de campo y el momento de dar el tratamiento oportuno contra algunas enfermedades, etc. Así mismo, el conocimiento climatológico profundo de una región permite predecir la rentabilidad de los proyectos en zonas no cultivadas anteriormente o en las que se intenta un cambio en los sistemas de cultivo.

En la producción agrícola, la introducción de la llamada “matriz de decisión” (Mc Quigg y Duckham, 1974) ha hecho factible el análisis de los acontecimientos del tiempo (pasado, presente o futuro) en relación con las distintas alternativas con las que dispone el agricultor. Esta matriz estudia el efecto que cada posibilidad tendrá sobre el resultado final, para una se-

rie de situaciones de tiempo que van a producirse. En las predicciones a mediano y largo plazo es donde la relación entre meteorología y agricultura se hace más estrecha. No cabe duda que un pronóstico estacional confiable, logre eliminar de raíz complicados problemas de elección, de la época adecuada para la plantación o del tipo de semilla apropiado, e incluso, permite conocer con acierto y por anticipado la posible rentabilidad que, en un año agrícola, cabe esperar de un determinado cultivo.

### Preguntas orientadoras

Como preámbulo al desarrollo de esta sección, el facilitador debe plantear las siguientes preguntas para evaluar el nivel de conocimiento del tema y ayudar a dimensionar las habilidades, destrezas y actitudes que se buscan desarrollar en los participantes.

- ¿Qué entiende por meteorología agrícola?
- ¿Qué es un servicio agrometeorológico?
- Nombre una variable meteorológica y el método de medirla.

## Objetivo

Al finalizar esta unidad de aprendizaje se espera que el participante esté en capacidad de:

- Comprender todo el proceso del método de observación, medida, registro, arreglo y almacenamiento de datos meteorológicos y biológicos.

## La meteorología agrícola

La meteorología agrícola está relacionada, principalmente con la precipitación y los procesos correspondientes, la radiación y la forma como se distribuye la atmósfera y su movimiento. Además, vale la pena considerar igualmente el suelo, la biomasa y los aspectos sociales y económicos del entorno de la producción (Organización Meteorológica Mundial, 2006).

En relación con el clima natural y sus variaciones locales, la meteorología agrícola está también relacionada con las modificaciones artificiales en el ambiente, microambientes internos o espacios encerrados, en condiciones de microambientes controlados, en abrigos de animales de granja y construcciones agrícolas y durante el transporte de la producción agrícola, por tierra, aire o mar (por ejemplo, barreras rompe vientos, abrigos protectores, irrigación, invernaderos, etcétera).

El suelo no es por sí solo un objeto de interés de la meteorología agrícola, sin embargo su interacción con el agua, el aire, la biomasa y el calor, resulta altamente atractivas para esta ciencia, a la luz de las posibles relaciones que se puedan establecer entre el desarrollo de los cultivos y la dinámica de las variables meteorológicas.

Por otro lado, esta ciencia no tiene el interés de estudiar la sociedad ni la economía, pero si la forma en como estas se involucran en el entorno de la producción agrícola, del agua, de la radiación y del aire; esto se refiere principalmente a los servicios agrometeorológicos, que incluyen la preparación para fenómenos extremos y la degradación ambiental (Organización Meteorológica Mundial, 2006).

## Importancia del servicio agrometeorológico

A lo largo del tiempo, se han desarrollado varios sistemas que han impulsado el crecimiento de la meteorología agrícola como ciencia. En general, es posible distinguir entre cuatro tipos de sistemas de apoyo (Organización Meteorológica Mundial, 2006):

### Datos

Son considerados como uno de los principales elementos en la gestión y análisis de la información meteorológica. La recopilación, gestión e interpretación de la los datos atmosféricos ha proporcionado nuevas posibilidades de manejo de los mismos, tales como los sistemas de información geográfica y las plataformas de teledetección. Estos últimos, no solo facilitan la adquisición y manejo de los datos meteorológicos, sino que además permiten fusionar la información capturada casi en tiempo real con información obtenida a partir de otras fuentes de información indirectas, y gestionar más rápidamente los datos almacenados en bases de datos robustas y estructuradas al servicio de la agricultura.

### Investigación

Es una fuente de apoyo a la que se le atribuye la debida prioridad en los contextos nacional, regional y local. Dicha investigación, a su vez, requiere de la participación de distintos componentes, los cuales actúan de manera coordinada para mantener un adecuado flujo de la información, además de conciliar los criterios para una adecuada interpretación.

### Investigación fundamental

Dirigida al descubrimiento de las relaciones exactas entre el tiempo y el crecimiento de la planta o del animal, desde luego involucrando el trabajo agrometeorológico siempre en una microescala. Esta se realiza a nivel de laboratorios o de microespacios controlados.

### Investigación de campo

Dirigida al establecimiento de las relaciones entre el tiempo y el crecimiento al nivel de escala práctica de

campo, usando los resultados de la investigación fundamental, tanto como sea posible, pero estableciendo resultados semiempíricos donde la verificación de la hipótesis aún está por encontrarse a través de la experimentación.

### Investigación Operacional

Dirigida al establecimiento de métodos, por medio de los cuales los resultados de la investigación fundamental o de campo pueden ser incorporados dentro de las prácticas agrícolas corrientes que involucran ayudas meteorológicas.

### Educación/formación/divulgación

Se refiere a la forma como las comunidades de usuarios de la información meteorológica, se acercan al conocimiento y la información proveniente de los sistemas establecidos para su manipulación. En este componente se evalúan las capacidades y roles que juegan los usuarios para el mejor entendimiento de los datos, y la forma como ellos pueden fortalecer su conocimiento.

### Políticas

Se refieren a una normatividad clara en pro de la optimización en la utilización operativa del conocimiento generado por los sistemas de apoyo.

### Métodos de observación en agrometeorología

Los métodos de observaciones agrometeorológicas que se describen en las siguientes páginas consisten en observar, medir, registrar y almacenar toda la información meteorológica obtenida en la red de estaciones del servicio de Cenipalma, así como también poder complementarla con el de otras instituciones que hacen esta labor como el IDEAM, Cenicaña, Cenicafé y las CAR.

### Elementos de meteorología agrícola y su observación

La definición de las variables del ambiente físico y las de carácter biológico son determinantes en la investi-

gación agrícola, por tanto se pueden tratar en dos importantes grupos:

### Definición de variables meteorológicas

Todos los aspectos del tiempo de una localidad tienen que ser considerados en la meteorología agrícola. Ellos incluyen las propiedades físicas de la atmósfera y de las capas superficiales del suelo, tales como la temperatura y la humedad del aire, la presión atmosférica, los vientos y la turbulencia del aire, las nubes y la nubosidad, la precipitación. En particular, la radiación solar es fundamental, tanto para los flujos de radiación incidente directa y difusa desde el espacio; además, los flujos de radiación saliente o reflejados desde la Tierra, ambas en cantidades totales y en su distribución en el espectro luminoso. Asimismo se deben incluir otros parámetros meteorológicos derivados o compuestos, tales como la temperatura y el contenido de humedad del suelo, la evaporación, la transpiración, la evapotranspiración; la combinación de lluvia y viento (tormentas), son también de particular importancia.

Las propiedades físicas y ciertas propiedades químicas del aire y de la precipitación son también significativas. Finalmente, el objeto de la meteorología agrícola no se confina por sí mismo al clima externo, también puede considerar el clima interno de edificaciones, tiempo atmosférico utilizado por las plantas, los animales de granja o para el almacenamiento de productos agrícolas.

### Definición de variables biológicas

En una ciencia aplicada como la meteorología agrícola, es esencial realizar observaciones biológicas de forma adecuada. Esta metodología puede ser utilizada por otras ciencias y proyectos involucrados; además, pueden ser estrictamente comparables en extensión, estandarización y exactitud.

### Estaciones agrometeorológicas y red de estaciones

#### Red de Estaciones

la red de estaciones meteorológicas de Cenipalma está organizada para suministrar la información de las

principales variables meteorológicas que impactan el crecimiento y desarrollo de la palma de aceite. Esta red está establecida y ordenada cuidadosamente para tomar con aproximación, tanto como sea necesario, las variables climáticas regionales, de manera que sea posible determinar la dinámica del clima en áreas donde el cultivo de palma de aceite se encuentra establecido. El listado del Anexo 1 corresponde al número de estaciones que conforman la red con las cuales se pretende cubrir el área de cada zona palmera, los diferentes tipos y subtipos de climas locales, y la influencia de las variaciones espaciales por presencia de factores locales como la vegetación natural, el tipo de cultivos y los métodos agrícolas de mayor importancia regional.

Cabe anotar que también es útil hacer uso de la información meteorológica registrada por el IDEAM,

como institución rectora es la responsable del sistema meteorológico, hidrológico y ambiental del país.

## Estaciones

Las estaciones son puntos de observación de parámetros meteorológicos y variables biológicas que pueden suministrar información de ambos campos para la investigación agrícola. Las estaciones meteorológicas automáticas sirven para el monitoreo y control de variables climáticas en explotaciones agrícolas bajo invernadero y a campo abierto. Pueden ser programadas a partir de la información registrada; además, con las investigaciones es posible realizar predicciones sobre la presencia de problemáticas sanitarias.

La Figura 3, presenta un modelo de estación meteorológica convencional, mientras que la Figura 4, muestra un modelo de estación meteorológica automática



**Figura 3.** Estación meteorológica convencional.

### Clasificación de estaciones

Según la Organización Meteorológica Mundial (2006), las estaciones meteorológicas, de acuerdo con su importancia, finalidad y cantidad de instrumentos de observación, se clasifican en las siguientes categorías:



**Figura 4.** Estación meteorológica automática.

### Estaciones meteorológicas agrícolas principales

Son aquellas en las cuales se obtiene en forma detallada y simultánea información meteorológica y biológica, además llevan a cabo la investigación científica en agricultura y en meteorología agrícola. La disponibilidad

de instrumentos y equipos meteorológicos, el rango y frecuencia de las observaciones de campo, tanto meteorológicas, como biológicas, son de alta precisión, y el personal técnico operativo experto es fundamental en la investigación; esto con el fin de resolver problemas de interés científico de una región en particular.

### **Estaciones meteorológicas agrícolas ordinarias**

Son estaciones en las cuales se obtiene simultáneamente, sobre una base de rutina, la información meteorológica y la biológica, además de estar equipadas para asistir a la investigación en problemas específicos. En general, el programa de observaciones está relacionado al régimen climático local de la estación o a un problema específico.

### **Estaciones meteorológicas agrícolas auxiliares**

Son aquellas en las cuales se provee información meteorológica y biológica básica en forma rutinaria. La información meteorológica puede incluir algunos elementos como: la temperatura y la humedad del suelo, la evapotranspiración potencial o algunas mediciones detalladas en la capa muy baja de la atmósfera circundante al suelo. La información biológica puede cubrir observaciones fenológicas de cultivos, el estado del tiempo para la preparación y fumigación de enfermedades y plagas, etc.

La red y la categoría de las estaciones agrometeorológicas deben ser tenidas en cuenta a la hora de definir los objetivos y alcances de los datos meteorológicos, ya que por ejemplo, la información de las estaciones principales está orientada fundamentalmente a estudios de investigación agrícola. Para el caso de las estaciones ordinarias o auxiliares, la localización obedece a problemas regionales y la información será utilizada para investigación operativa, y aun como sitio de entrenamiento para personal técnico y auxiliar de investigación.

## Supervisión de las estaciones meteorológicas agrícolas

La supervisión y el mantenimiento de la red de estaciones de meteorología agrícola por la unidad técnica

es una actividad necesaria e importante, para asegurar que el programa de observaciones esté conforme al sistema estándar apropiado. El intervalo de tiempo entre sucesivas inspecciones de una estación a otra debe establecerse en forma rutinaria y depende también del programa de trabajo y del personal calificado disponible para llevar a cabo la labor.

## Programa de observaciones

La meteorología agrícola puede hacer uso de las observaciones del estado del tiempo tomadas en todo tipo de estación meteorológica: sinóptica, climatológica o hidrometeorológica. Estas se hacen en instituciones de investigación y estaciones agrícolas experimentales, las cuales están adecuadas para tomar ambos tipos de observaciones: meteorológicas y biológicas. Bajo condiciones ideales una red de estaciones deberá cubrir todos los aspectos de las variaciones del clima, cambios del suelo y de toda actividad agrícola regional. La Organización Meteorológica Mundial – OMM- (2010) recomienda los siguientes grupos de observaciones:

### Observaciones del ambiente físico

El programa de información de las estaciones de meteorología agrícola (Figuras 5 y 6) debe incluir observaciones de algunos, o de todos los elementos que caracterizan el ambiente físico. Las principales variables físicas de observación son las siguientes:



**Figura 5.** Instrumentos meteorológicos convencionales.



**Figura 6.** Instrumentos meteorológicos automáticos.  
Foto: Toro, F. (2009).

### Temperatura y humedad del aire

Deben ser medidas en todo tipo de estación meteorológica o climatológica, en lugares representativos de la topografía regional y a diferentes niveles de la capa adyacente al suelo. Estas medidas deben ser tomadas desde el nivel del suelo hasta el dosel de la vegetación que predomina.

### Vientos, movimiento y mezcla del aire

La dirección, la velocidad y la frecuencia del viento deben ser medidas u observadas regularmente en las estaciones meteorológicas a un nivel de 10 m sobre la superficie del suelo. Para las investigaciones se toman medidas a otras alturas intermedias, por ejemplo a 2 m, con el fin de establecer un perfil de vientos, de superficie cuando se estudia su incidencia sobre otras variables.

### Radiación y brillo solar

La duración del brillo solar o luminosidad debe ser registrado para establecer el fotoperíodo del lugar donde

se ubica la estación de observación. La información del brillo solar puede ser suplementada, incluyendo el registro de la radiación global y la efectiva para propósitos de investigación agrícola.

### Hidrometeoros y otros elementos del balance de agua en la atmósfera

El desarrollo del tiempo presente puede ser seguido con algunos detalles y observaciones por medio de los siguientes hidrometeoros: lluvias y lloviznas, granizadas, rocío, escarcha, niebla y neblinas. El efecto de estos hidrometeoros es muy importante en el desarrollo de las actividades agrícolas. La presencia, la actividad e intensidad de ataque de plagas y las enfermedades en cultivos están muy relacionadas con el estado de humedad de la atmósfera y del suelo.

### Nubes y nubosidad

En las estaciones agrometeorológicas se deben tomar medidas de la nubosidad y del tipo de nubes bajas, medias o altas en intervalos de tiempo cuando sea necesario, para establecer posibilidades de presencia de lluvia o de días con luminosidad variable y cuando se investiga el balance de radiación solar.

### Evaporación, transpiración y evapotranspiración

La evaporación del agua puede ser medida como una forma representativa de la transformación del agua del suelo en vapor o gas; en combinación con la transpiración de las plantas, puede determinar el potencial de evapotranspiración de un sistema agrícola, con el cual se estima el requerimiento o necesidad de agua a suplir. Todos los factores aquí involucrados tienen que ver con el balance de agua en el suelo, que se hace posible por la evaporación desde la superficie del suelo, la lámina de agua contenida en el suelo y del nivel freático del mismo.

### Temperatura y humedad del suelo

El programa de observaciones de la temperatura y de la humedad del suelo debe ser considerado en todas las categorías de estación agrometeorológicas. A mayor

profundidad del suelo los cambios y las fluctuaciones de su temperatura son menores, pero la humedad puede ser, por el contrario, mayor en capas inferiores. La temperatura a 5, 10, 20, 30, 50 y 100 cm y la humedad a 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 cm. En estos casos, la selección de medida del nivel de profundidad depende de la profundidad efectiva de las raíces.

Fenómenos atmosféricos (tormentas, rayos, truenos, etc.)

Es necesaria la observación de fenómenos atmosféricos relacionados con el mal tiempo presente, que afectan seriamente las actividades agrícolas como las tormentas eléctricas (rayos, relámpagos y truenos), granizadas, inundaciones, turbulencia y ráfagas de vientos fuertes.

### Observaciones de carácter biológico

Las observaciones de naturaleza biológica son consideradas necesarias para explicar los efectos del tiempo sobre los variados aspectos de la agricultura. Las observaciones biológicas pueden ser convenientemente agrupadas en cuatro campos:

#### Plagas

Esta información es requerida sobre la incubación de insectos nocivos, el crecimiento de la población de insectos o la invasión desde otras zonas.

#### Azares del tiempo

Esta información es necesaria para determinar las relaciones entre el crecimiento y desarrollo de los cultivos, y el estado del tiempo, considerando igualmente los posibles impactos generados como consecuencia de fenómenos tales como granizadas, heladas el rocío, etc.

#### Operaciones agrícolas

El conocimiento de los progresos obtenidos en el año agrícola está determinado por los pronósticos del tiempo, así que los productores pueden estar alerta a las implicaciones de la llegada del mal tiempo.

### Fuegos forestales

Esta información es requerida sobre el estado de los bosques, praderas y pastizales; la presencia de hojarasca y su predisposición al fuego es un inminente peligro. El viento fuerte en ráfagas y la alta temperatura del aire son factores climáticos propicios para los incendios forestales en todas las zonas donde se desarrollen actividades agrícolas.

### Observaciones precisas

Este tipo de observación es necesaria para la investigación fundamental y, además, apropiada para llevar a cabo en el trabajo de las estaciones principales de meteorología agrícola. Tales observaciones deben ser realizadas con un alto grado de exactitud por la pericia y experiencia del personal científico, entrenado para estas actividades.

### Observaciones para uso operacional

Bajo esta categoría, están las observaciones que son necesarias realizar e impartidas por el cuerpo técnico regional o central durante un año en particular para la toma de acciones administrativas. Por ejemplo, en la elaboración de pronósticos funcionales de producción a gran escala o en la asistencia de servicios técnicos para otras instituciones de investigación en el campo agrícola.

### Observaciones para uso agroclimatológico

Bajo esta categoría están las observaciones fenológicas de la plantación de cultivos comerciales, las frutales, las faenas de cosecha y el almacenamiento, el establecimiento de plantaciones forestales, la producción de animales domésticos y pecuaria; en general todas las actividades sobre la producción de la tierra, en las cuales son requeridas para diseñar un panorama del año agrícola. Estas observaciones difieren de las anteriores, puesto que son realizadas para la elección y estudio extenso de un fenómeno regional. Las observaciones son subsecuentemente analizadas, publicadas o guardadas como un registro permanente para las institu-

ciones gubernamentales, cuando no hay una urgencia de establecer niveles de rendimiento para los pronósticos de producción agrícola del gobierno central de un país.

## Observaciones de daños por mal tiempo

Este tipo de observaciones se relacionan con el mal tiempo, el cual puede causar pérdidas o daños de cultivos y animales de granja originados por nevadas, heladas, escarcha, rocío, lluvias torrenciales, condiciones del tiempo propicias para serios problemas de contaminación del aire; inesperadas olas de calor o frío, sequías, tormentas con viento y lluvia e inundaciones, tormentas de polvo y arena, y demás fenómenos. Los efectos secundarios del mal tiempo propensos a causar efectos adversos sobre la producción agrícola, incluyen también los incendios de bosques, praderas y pastizales, y la incidencia de plagas y enfermedades.

## Observaciones de fenómenos naturales

Estas observaciones están relacionadas con fenómenos que tienen que ver con las épocas de floración de especies nativas, árboles, malezas, barbechos, como también la migración de aves, la extinción de animales y los cambios periódicos en la estructura de especies endémicas.

## Variables e instrumentos de observación meteorológica

### Instrumentos

Los instrumentos utilizados en meteorología agrícola se clasifican en dos grandes grupos: instrumentos de medida directa, registro mecánico y automáticos digitales en estaciones permanentes; e instrumentos y equipos agrometeorológicos portátiles.

En las estaciones automáticas los instrumentos tienen dispositivos electrónicos y digitales, que hacen el registro en forma continua. En las estaciones convencionales los instrumentos son de medida directa y de registro mecánico con sistema de reloj, que permite medir la cantidad o variación de un parámetro me-

teorológico en un intervalo de tiempo determinado. Cenipalma está implementando la red de estaciones meteorológicas con equipos automáticos. Otras instituciones como el IDEAM, Cenicaña, Cenicafé y las CAR tienen instrumentos y equipos combinados de ambos tipos, automáticos y de medida directa y registro mecánico. Ver las Figuras 3 y 4.

### Variables meteorológicas

Toda condición atmosférica, cuyo conjunto define el estado del tiempo o del clima de un lugar determinado, para un momento o período de tiempo dados, es un elemento meteorológico, que se puede considerar como una variable.<sup>1</sup>

### Presión atmosférica

La presión atmosférica se define como el peso del aire por unidad de superficie. El aire como toda materia posee ciertas propiedades, en condiciones normales un litro (L) de aire pesa 1,293 g al nivel del mar. Según el principio de Pascal (Salvat, 1974), la presión no se ejerce solamente de arriba abajo, sino en todas direcciones. El barómetro de mercurio, ideado por Torricelli, es el instrumento que sirve para medir la presión atmosférica y con éste se determina que la altura de la columna de mercurio será aproximadamente de 760 mm a nivel del mar y a 0°C de temperatura, representando una masa de 1.033,22 g, que resulta de multiplicar 76 cm<sup>3</sup> de la columna por la densidad del mercurio 13,565 g/cm<sup>3</sup>. Ahora, teniendo en cuenta que los físicos definen la presión como fuerza por unidad de superficie, y que la fuerza (el peso) no es más que la masa multiplicada por la gravedad del lugar, se tendrá: 1.033,22 g (masa) x 980,665 cm/seg<sup>2</sup> (aceleración de la gravedad) = 1.013.961 dinas/cm<sup>2</sup>.

En la práctica meteorológica se usa como unidad de presión atmosférica el milibar (V. Bjerkness introdujo el milibar, que es 1.000 veces más grande), equivalente a 1.000 dinas por centímetro cuadrado, con lo

1 [www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000134/contenido/cap10/lec1.html](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000134/contenido/cap10/lec1.html)

que la presión normal al nivel del mar es 1.013,9 mbar milibares (mbar), o en unidades de presión de Pascal, 1.013,9 hectopascales (hPa). El milibar (mbar) se usa ahora por todos los servicios meteorológicos, aunque la presión también se puede expresar en unidades de hectopascales (hPa). En condiciones normales la presión atmosférica equilibra el peso de una columna de mercurio (Hg) de 760 mm de altura, luego las unidades de equivalencia son las siguientes: la presión atmosférica a nivel del mar es igual a 1 atmósfera normal = 1.013,9 milibares (mbar) = 1.013,9 hectopascales (hPa).

Instrumentos de medición: barómetro y barógrafo.



**Figura 7<sup>2</sup>.** Barómetro.

## Precipitación

La precipitación o lluvia es la caída de agua desde la atmósfera en cualquiera de sus formas líquida o sólida sobre la superficie terrestre. Si las gotas tienen un diámetro menor de 0,5 mm se determina como llovizna, si el diámetro es superior a 0,5 mm, como lluvia. Precipitaciones son igualmente la nieve y el granizo. La precipitación se mide en un instrumento llamado pluviómetro (Figura 8) que acumula una lámina de agua en un cilindro interior. La unidad de medida es el milímetro (mm), que equivale a la lámina de agua que

2 [https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ6kMS\\_aZoQOIsfuU77nw1oENjAqEJ1m8kQb-vH4KDYThuibRRVn](https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ6kMS_aZoQOIsfuU77nw1oENjAqEJ1m8kQb-vH4KDYThuibRRVn)

forma un litro (L) en una superficie de un metro cuadrado (m<sup>2</sup>). En las estaciones automáticas, el pluviómetro tiene dispositivos electrónicos y digitales de medida integrados por un sistema de balanza que pesa el agua lluvia caída. Los pluviógrafos mecánicos de registro con sistema de reloj (Figura 9) miden la precipitación caída en un intervalo de tiempo determinado. Con esta información se puede analizar algunas características de la precipitación, como la intensidad en mm/min, inicio del aguacero, tiempo de duración en horas y minutos, lo mismo que la cantidad total del aguacero.

Instrumentos de medición: pluviómetro y pluviógrafo.



**Figura 8.** Pluviómetro en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína.



**Figura 9.** Pluviógrafo en Indupalma.

## Temperatura del aire

En climatología la temperatura es el estado energético del aire, que se traduce en un determinado grado de calentamiento; se mide mediante termómetros de mercurio o con sensores electrónicos bien aireados (Figura 10) y protegidos de la radiación solar. En general, la temperatura es la sensación corporal de frío o calor, como una medida del contenido calorífico de un cuerpo.

Instrumentos de medición: termómetro y termógrafo.



**Figura 10.** Termómetro en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína.

## Temperatura del suelo

El suelo es de una importancia vital para la vida de las plantas, los animales y el hombre. Teniendo en cuenta que tanto los hombres, como los animales, se alimentan de vegetales se llega a la conclusión de que es el suelo, a través de las plantas, el punto de origen de la alimentación. El vegetal vive sobre el suelo, influido a su vez por el clima de donde suelo y clima son los factores que regulan el crecimiento de los vegetales. Ahora, dos factores importantes regulan el clima del suelo, la temperatura y la precipitación atmosférica, que son los que más influyen sobre las plantas, dando como resultado que el agua y el calor sean factores importantes para la agricultura.

El calor del suelo resulta de la energía solar que llega a la tierra, siendo la principal fuente de calor de que disponen los vegetales para su crecimiento. El suelo en consecuencia, actúa como agente receptor de calor para calentar el aire que está en contacto con él, por lo que dicho calor es liberado paulatinamente al aire. Las variaciones de temperatura del suelo suceden a las variaciones de insolación del día con un período retardado; además, cada tipo de suelo tiene diferente capacidad calorífica y conductividad térmica, lo que hace aún más complejo el problema. La temperatura de la superficie del suelo está sometida a notables contrastes y varía según la cobertura vegetal, la naturaleza del suelo, el contenido de humedad, la orientación, la pendiente, el color y otras características del suelo.

Como el calor solar inicia en la mañana, aumenta al medio día y decrece en la tarde, ello tiene un amplio efecto en la superficie del suelo. Después de la puesta del sol, predomina la radiación saliente sobre la entrante, el suelo y las bajas capas atmosféricas se van enfriando progresivamente, lo que significa un marcado efecto entre el día y la noche. Los días con alto brillo solar son calurosos y las noches, por el contrario, con notable enfriamiento de la tierra y presencia de heladas o nieblas.

Instrumento de medición: geotermómetro.



**Figura 11**<sup>3</sup>. Sensor de temperatura del suelo La vizcaína.

3 <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQW4eiNEQ63oLok2eTpFYywdW20BlStSaoRR-cOerr6EQGEuEf2>

## Radiación y brillo solar

El sol, con su temperatura de  $6.000^{\circ}\text{K}$  (Escala Kelvin,  $K = 273,15 + C$ ) es la fuente de casi toda nuestra energía, esta llega a la Tierra en forma de radiación solar, es decir, en ondas electromagnéticas que viajan a una misma velocidad: la de la luz, pero con diferentes longitudes de onda. También es la inagotable e ininterrumpida fuente de energía que alimenta el gigantesco “motor” de la máquina atmosférica. La Tierra recibe diariamente una cantidad de energía procedente del sol equivalente a  $17 \times 10^{13}$  kW kilovatios aproximadamente. En el límite de la atmósfera terrestre y en ángulo recto con los rayos se reciben  $2,00 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ , esta unidad  $\text{cal/cm}^2/\text{min}$  recibe el nombre de unidad Langley. Una caloría es equivalente a la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua de  $14,5^{\circ}\text{C}$  a  $15,5^{\circ}\text{C}$ .

La luminosidad o brillo solar expresado en número de horas de sol por día, se mide con un instrumento llamado heliógrafo Campbell Stokes, tal como se muestra en la Figura 12.

En cambio, los instrumentos de medida de la radiación solar o intensidad de energía miden la potencia incidente por unidad de superficie. Figura 13.

Instrumentos de medición: heliógrafo Campbell Stokes y piranómetro.



Figura 12. Heliógrafo Campbell Stokes.



Figura 13. Piranómetro en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína.

## Humedad del aire

Es el índice más práctico para definir el estado higrométrico o de humedad del aire. Se expresa por una fracción o relación en tanto por ciento (%) entre la humedad absoluta y la cantidad de vapor de agua, que contendría un metro cúbico ( $\text{m}^3$ ) de aire en físico si estuviera saturado a cualquier temperatura. También para una temperatura dada es el cociente entre la tensión de vapor a la temperatura actual  $e_a$  y la que podrá contener si estuviese saturado  $e_w$ . De esta expresión resulta así una fracción que, multiplicada por 100, nos da la humedad relativa en tanto por ciento (%). El valor de la escala de la humedad relativa  $H_r$  oscila entre cero (0), sequedad absoluta, y cien (100) saturación de vapor. La humedad absoluta es el peso en gramos (g) del vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire.

Instrumento de medición: higrómetro.



Figura 14. Higrómetro.

## Viento

El viento se define como la componente horizontal del movimiento del aire. Los vectores de movimiento del viento se determinan por la dirección, la cual se expresa en grados sexagesimales (entendiéndose que la medida significa el *azimut* de donde viene el viento, pues es la dirección que señala la veleta, instrumento utilizado para medirla), y por la velocidad que se expresa en km/h, millas náuticas/h (es decir en nudos), en metros por segundo o en grados Beaufort (que se suele expresar erróneamente como la llamada fuerza del viento), ya que en realidad se trata de una presión (fuerza ejercida sobre unidad de superficie plana colocada perpendicularmente).

Instrumentos de medición: veleta y anemómetro.



**Figura 15.** Anemómetro en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína.

## Nubes y nubosidad

Las nubes son masas visibles formadas por gotas de agua suspendidas en la atmósfera. Generalmente las nubes se encuentran desde el nivel del mar hasta una

altura aproximada de 18 km. Estas se estratifican de la siguiente forma:



**Figura 16.** Cúmulos presentes en la atmósfera sobre una plantación de palma de aceite. Foto: Ortega, N. (2009).

## Nubes bajas

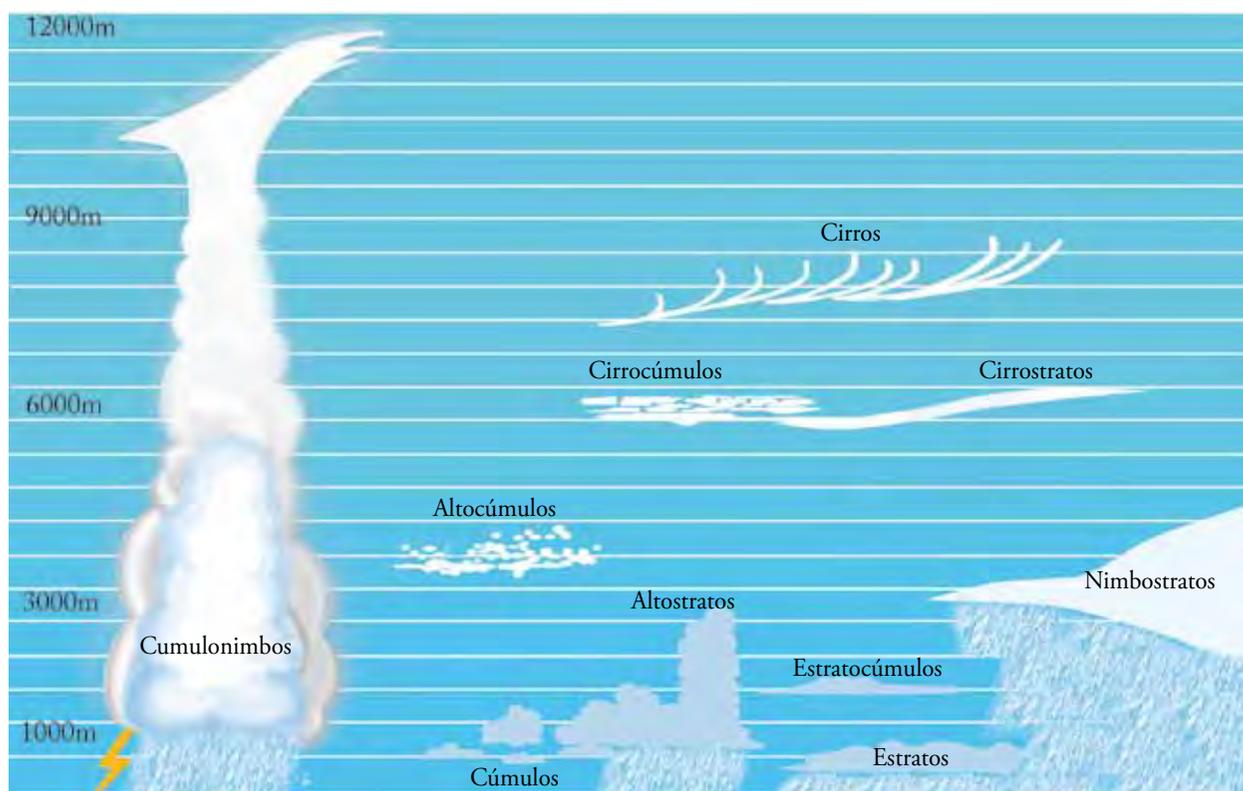
Se encuentran desde los 500 m sobre el nivel del mar hasta los 3.000 metros sobre el nivel del mar (msnm) de altitud. En ese nivel están los tipos de nubes: nimbostratos, estratocúmulos, cúmulos y cumulonimbos. Estos tipos de nubes generan lluvias torrenciales, especialmente los cumulonimbos o nubes de desarrollo vertical.

## Nubes medias

Están entre los 3.000 y 6.000 msnm de altitud. Son frecuentes en este nivel los alto-cúmulos, los altostratos, los cumulonimbos y los nimbostratos. Estas nubes son densas y pueden ocasionar lloviznas.

## Nubes altas

Se encuentran a alturas superiores a 6.000 msnm. Son frecuentes los tipos de nubes cirros, cirrocúmulos y cirrostratos. Estas nubes son translúcidas y no amenazan lluvias. En la Figura 17 se pueden observar los diferentes tipos de nubes ya mencionados.



**Figura 17.** Tipos de nubes altas, medias y bajas.

### Tensión del valor de agua

Llamamos presión del vapor de agua al peso que ejerce el vapor de agua contenido en el aire sobre la superficie. Se expresa en milibares (mbar) o en hectopascales (hPa), lo mismo que la presión máxima o tensión de saturación, que se define, para una temperatura dada como el peso de vapor de agua contenido en el aire cuando este se haya saturado. Cuanto mayor es la temperatura del aire, mayor será la cantidad de vapor que puede contener éste antes de condensarse. Existen dos procedimientos para alcanzar la saturación: uno es añadir más vapor de agua, y el otro enfriar el aire hasta que alcance el punto de saturación. La temperatura a la que debe ser enfriado para que el aire se sature y comience la condensación se denomina punto de rocío.

Instrumento de medición: psicrómetro.



**Figura 18<sup>4</sup>.** Psicrómetro.

### Rocío y escarcha

El rocío es la condensación del vapor de agua del aire en gotas pequeñas que aparecen sobre las hojas de las plantas, el césped, los pastizales, el suelo, etc. La temperatura a la que el vapor de agua (gas) pasa a líquido (gotas de agua) se denomina temperatura del punto de rocío. Entonces el punto de rocío también se puede definir, como la temperatura a la cual el vapor de agua existente en la atmósfera se condensa en forma líquida.

4 <http://www.directindustry.es/prod/blasting-sa/psicrometros-70208-577132.html>

La designamos como  $T_d$ . Cuando la temperatura está por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$ , el rocío se congela y se transforma o se convierte en escarcha, la cual es rocío congelado en pequeños cristales como en forma de escamas.

Instrumentos de medición: rociógrafo.



Figura 19<sup>5</sup>. Rociógrafo.

## Evaporación del agua

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como embalses, espejos de agua, lagos, ríos, suelos sin vegetación y suelos con vegetación mojada.

Instrumentos de medición: evaporímetro y tanque de evaporación clase A.



Figura 20. Tanque de evaporación.

5 <http://www.directindustry.es/prod/e-e-elektronik/aparatos-portatiles-de-medicion-del-punto-de-rocio-13965-205821.html>

## Transpiración

La transpiración tiene lugar en las hojas de las plantas a través de estomas y es el proceso de emisión de vapor de agua hacia la atmósfera, desde el suelo a través de las plantas. En este proceso influyen los mismos factores que afectan la evaporación del agua en la superficie libre, entre los más importantes se encuentran, la cantidad de radiación solar, la velocidad del viento sobre el dosel y la densidad de la cobertura vegetal.

Instrumento de medición: transpirómetro.



Figura 21<sup>6</sup>. Transpirómetro.

## Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración es la evaporación combinada desde todas las superficies y la transpiración de las plantas, exceptuando la omisión de una insignificante cantidad de agua usada en las actividades metabólicas de las plantas. El concepto de evapotranspiración potencial ha sido introducido debido a la dificultad que existe para separar con precisión los dos valores y por la conveniencia de usar este concepto que representa el consumo de agua en una plantación de un cultivo dado.

Instrumento de medición: evapotranspirómetro.

6 [http://www.seedmech.com/immagini/product\\_zoom/medidor\\_portable\\_fotosintesis\\_ci\\_340.jpg](http://www.seedmech.com/immagini/product_zoom/medidor_portable_fotosintesis_ci_340.jpg)



**Figura 22**<sup>7</sup>. Evapotranspirómetro.

### Humedad del suelo

Es la cantidad relativa de agua que puede retener el suelo después del movimiento hacia abajo, hacia arriba y horizontalmente a través de los espacios vacíos, motivado por la gravedad, la pendiente y otras fuerzas de energía. Generalmente se determina como la capacidad de retención de humedad del suelo o más conocida como el contenido de humedad a capacidad de campo.

Instrumentos de medición: tensiómetros y sondas extractoras de solución.



**Figura 23**. Tensiómetro del Campo Experimental Palmar de La Vizcaína.

7 [http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Anejos/Metodos\\_Determinacion\\_Evapotranspiracion/Metodos\\_Directos/Metodo6.jpg](http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Anejos/Metodos_Determinacion_Evapotranspiracion/Metodos_Directos/Metodo6.jpg)

## Instrumentos agrometeorológicos portátiles

Estos instrumentos han sido diseñados para ser utilizados en trabajo de campo, en centros de investigación o en forma individual en granjas agrícolas, y son preferidos por importantes cualidades de facilidad de manejo, operación y mantenimiento, como también por ser resistentes al trabajo pesado y de bajo costo. Aquí mencionamos algunos:

- Termómetros de máxima y mínima con funda protectora para medir temperatura del aire.
- Termómetros de máxima y mínima con soporte de anclaje para temperatura del suelo.
- Instrumentos de medida de humedad del suelo por método gravimétrico en laboratorio.
- Equipos electrónicos para medir la humedad del suelo en sitio a diferentes profundidades.
- Pluviómetro o pluviógrafo portátil para medir la precipitación en un experimento.
- Instrumentos simples portátiles de medida del viento, anemómetros de cazoletas.
- Rociógrafo para medir el rocío en superficies húmedas y superficie foliar de plantas.
- Radiómetro o actinógrafo para medir el balance neto de radiación solar.
- Fotómetro para medir la energía en el espectro estrecho de banda de onda corta.
- Psicrómetro de rotación mecánica para medir la temperatura del aire seco y húmedo.
- Trampa de esporas para investigación en problemas patológicos de plantas.
- Simulador de lluvia para experimentos bajo invernadero.

## Observación y registro de parámetros meteorológicos

Las observaciones de los parámetros meteorológicos se realizan bajo normas y formas estándares interna-

cionales de la Organización Meteorológica Mundial -OMM-, que establecen la hora fija de observación, las formas de registro y la codificación para proceso y cálculo. A continuación se describe el procedimiento como se llevan a cabo las observaciones y la forma de hacer los registros, el manejo de la información meteorológica:

### Observación

Casi todas las observaciones que se hacen de un elemento meteorológico pueden ser consideradas también como observaciones climatológicas. En vista de que los requisitos que han de satisfacer las observaciones meteorológicas y climatológicas son casi idénticos, las observaciones que se efectúan para estos fines son, por regla general, de gran valor desde el punto de vista agroclimatológico. De acuerdo a las normas de la -OMM-, en Colombia, las horas de observación de todos los parámetros meteorológicos se hacen a las 7, 13 y 19 horas del día, tanto en estaciones automáticas, como en estaciones convencionales con instrumentos de medida directa y de registro mecánico.

### Registro

Los registros de los diferentes parámetros meteorológicos se anotan en planillas y cada parámetro en su respectiva casilla del formulario diario o mensual, para el caso de las estaciones convencionales, y para el de las estaciones automáticas en base de registro digital. La sumatoria de los datos diarios representa la cantidad total acumulada o la variación del parámetro meteorológico del respectivo mes. Los valores mensuales son registrados en otro formato que representa la serie estadística mensual y anual de las variables climatológicas, las que se procesan para utilidad práctica.

A continuación se indican las principales variables agrometeorológicas que se espera sean observadas, calculadas, analizadas e interpretadas para los fines prácticos de la presente guía:

- Precipitación total diaria, mensual y anual en milímetros (mm).
- Días con precipitación total mensual y anual (número de días lluviosos).
- Temperatura del aire media diaria, mensual y anual en grados centígrados (°C).
- Temperatura del aire mínima media diaria, mensual y anual en grados centígrados (°C).
- Temperatura del aire máxima media diaria, mensual y anual en grados centígrados (°C).
- Temperatura del suelo media diaria, mensual y anual en grados centígrados (°C).
- Radiación y brillo solar total diario, mensual y anual en Cal/cm<sup>2</sup>x día y horas de sol.
- Humedad del aire media diaria, mensual y anual en porcentaje (%).
- Vientos, dirección, velocidad y frecuencia diaria, mensual y anual (Rosa vientos, m/s, %).
- Nubes y nubosidad en octavos de cielo cubierto (clase de nubes y octas).
- Tensión del vapor total diario, mensual y anual en milibares (mb) o hectopascales (hPa).
- Punto de rocío y escarcha media diaria, mensual y anual (°C, % y mm).
- Evaporación total diaria, mensual y anual en milímetros (mm).
- Evapotranspiración potencial diaria, media mensual y anual (mm).

En la siguiente unidad de aprendizaje (Unidad III) se hace la descripción de los métodos básicos de análisis climatológico, resultante de los cálculos y la interpretación de las variables climáticas en forma gráfica, a la vez, se exponen algunos ejemplos de dicha aplicación para determinadas actividades agrícolas con datos reales y actuales de las estaciones meteorológicas, ubicadas en las zonas representativas de la producción de palma de aceite en Colombia. Los principios fundamentales de la meteorología pueden ser aplicados a cualquier problema agrícola, pero en este caso, es para la palma de aceite. Por lo que es importante que desarrollen cierta

habilidad y destreza en conjunto, tanto investigadores o técnicos del sector palmero (agronomos, ingenieros, agricultores, etc.), como los climatólogos o agrometeorólogos para identificar y resolver los diferentes problemas relacionados de la influencia del tiempo y clima en la producción de palma aceite de las zonas o regiones con plantaciones ya establecidas.

## Práctica 2.1. Reconocimiento y observación de una estación meteorológica

En las actividades de investigación, planificación y operación agrícola, es necesario tener un conocimiento detallado de cada uno de los elementos que determinan el clima de una zona o región, para lograr una mayor y mejor producción de un renglón agrícola determinado.

Cada variable climática (precipitación, temperatura, humedad, viento, etc.) se obtiene mediante estaciones meteorológicas de diferentes categorías: principales, ordinarias, auxiliares, especiales y puestos pluviométricos (PM), de acuerdo con los elementos que se miden en ellas.

### Objetivo

Al finalizar esta unidad los participantes estarán en la capacidad de:

- Conocer y definir una estación agrometeorológica y su categoría.
- Identificar los instrumentos que se utilizan en una estación agrometeorológica.
- Realizar las observaciones y medidas de los valores que se están registrando en los instrumentos meteorológicos utilizados en la estación que usted está operando.
- Realizar y anotar las observaciones biológicas y de fenología de la palma.

### Orientaciones para el facilitador

Desplace a los participantes a la ubicación de la estación agrometeorológica de la plantación de palma o la

más cercana a su sitio de trabajo. Divida a los participantes en tantos grupos como instrumentos tenga la estación meteorológica, nombre cada grupo como uno de los instrumentos de la estación y entréguele el formulario para verificación de la estación meteorológica.

Para evitar desorden evite que dos grupos ingresen a la estación de manera simultánea.

Antes de ingresar a la estación haga que cada grupo complete la información de identificación de la estación. Luego, que completen la parte que hace referencia a los parámetros climáticos y a las observaciones biológicas, en este caso se deberán tomar nota del instrumento utilizado para cada parámetro y el valor que se está registrando en el momento. Antes de salir de la estación los integrantes del grupo deben explicar a todos los participantes cómo funciona el instrumento que les fue asignado.

### Orientaciones para el participante

Atienda las instrucciones del facilitador, reúname con un compañero y diligencie el formulario que se presenta a continuación:

### Formulario para revisión de la estación meteorológica

Nombre del grupo:
Identificación de la estación:
Número código estación:
Municipio:
Estación:
Departamento:
Coordenadas geográficas:
Elevación:
Institución:
Fecha:
Observador:

## Definición de la estación

Identificar los parámetros meteorológicos y anotar el dato del momento:

Parámetro:	Instrumento:	Valor:	Unidad
Medida:			
Temperatura media			
Temperatura mínima			
Temperatura máxima			
Precipitación o lluvia			
Humedad del aire			
Evaporación del agua			
Radiación solar			
Brillo solar			
Viento de superficie			
Presión atmosférica			
Nubes y nubosidad			
Tensión del vapor			
Punto de rocío			
Otros instrumentos			

### Observaciones de carácter biológico

#### Fenología

Crecimiento semanal o mensual del tallo

Grosor del diámetro semanal o mensual

Inicio floración

Inicio fructificación

Inicio maduración frutos

Inicio cosecha

Número de racimos promedio por planta

Peso promedio de racimos

### Otras observaciones biológicas de carácter científico

Fotoperíodo

Tasa de fotosíntesis

Transpiración

Otras: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre observador: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Para anotar los datos de las observaciones utilice el formulario de esta guía.

## Recursos necesarios

- Formularios de identificación.
- Una estación meteorológica instalada en campo.

## Glosario

**Bioclimatología:** se ocupa fundamentalmente del medio ambiente en el que se desarrollan numerosas formas de vida ligadas a la tierra y al clima.

**Climatología en altitud:** comprende los aspectos dinámicos o teóricos de la climatología de altura, fundada en el examen de los datos en altitud.

**Climatología local:** trata de los efectos de cambio del clima debido a la presencia de ciudades, lagos, reservorios, embalses, etc.

**Climatología sinóptica:** fundada en el estudio desde el punto de vista climático de los sistemas de presión, de la repartición de los tipos de tiempo y de la configuración de la circulación en la forma indicada por los mapas sinópticos.

**Fenología:** es la ciencia que relaciona el clima con las eventualidades periódicas en la vida de las plantas y de los animales. La fenología es la ciencia de las apariciones en relación con la marcha del tiempo atmosférico y hace especial mención de las fases críticas. Tiene varias especialidades, entre ellas: fitofenología, zoofenología, entomofenología y avifenología.

**Labranza:** es el conjunto de faenas o actividades del trabajo agrícola que se hace en los cultivos del campo para poner a producir la tierra.

**Macroclimatología:** comprende la descripción y el estudio de las propiedades del comportamiento de la atmósfera en gran escala, tal como lo presenta la red de estaciones terrestres, marítimas y de altitud, establecidas para los fines de la climatología sinóptica y climatología general.

**Mesoclimatología:** es el estudio en los mapas sinópticos de los fenómenos meteorológicos a pequeña o mediana escala, tales como la evolución de las zonas de precipitación no frontales.

**Microclima:** son las condiciones climáticas existentes dentro de un sector muy reducido, en ocasiones creadas artificialmente.

**Microclimatología:** es un sector dentro de la meteorología que se ocupa del influjo o cambio que el crecimiento de las plantas y la constitución del suelo ejercen en el microclima. La microclimatología trata de las propiedades y del comportamiento a pequeña escala de la atmósfera en las proximidades del suelo y, hasta cierto punto, en el mismo suelo.

**Topoclimatología:** comprende el estudio de los efectos de la configuración, inclinación y aspecto general del terreno en los cambios del clima.

## Referencias bibliográficas

- Cenipalma (2012). *Archivo Técnico Unidad de Geomática*. Bogotá: Ed.
- Cenicafé (1975). *Observaciones meteorológicas. Sección de Agroclimatología*. Chinchiná: Ed.
- Ideam (2012). *Archivo Técnico e información meteorológica*. Bogotá: Ed.
- Moreno, H. (1999). *Guía de operación y manejo de la estación meteorológica del Ideam*. Bogotá: Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia.
- Salvat, G.T. (1974). *La atmósfera y la predicción del tiempo*. Barcelona: Salvat Editores S.A.
- Organización Meteorológica Mundial (2010a). *Guía de Prácticas Climatológicas*. Ginebra: Ed.
- Organización Meteorológica Mundial (2010b). *Guía de Prácticas Hidrometeorológicas*. Ginebra: Ed.
- Organización Meteorológica Mundial (1974). *Manual del observador de Meteorología*. Ginebra: Ed.
- World Meteorological Organization (2010a). *Guide to Meteorological Instrument and observing Practices*. Geneva: Ed.
- World Meteorological Organization (2010b). *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. Geneva: Ed.





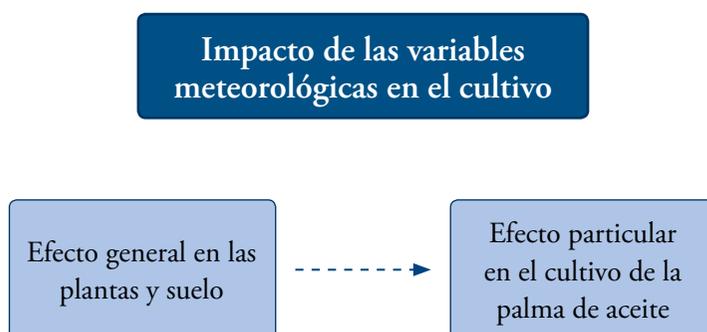
## Unidad de aprendizaje III. Efecto de las Variables Meteorológicas en los Cultivos de Palma de Aceite (*Elaeis Guineensis*)

Estructura de la unidad .....	67
Explicación de la estructura .....	67
Preguntas orientadoras .....	67
Objetivo .....	68
VARIABLES meteorológicas y su efecto directo en las plantas y suelos .....	68
VARIABLES climáticas y su relación con el cultivo de palma de aceite .....	69
Práctica 3.1. Batalla climática .....	79
Glosario .....	83
Referencias bibliográficas .....	83



**Figura 1.** Plantación de Palma de aceite inundada. Omoa, Honduras. Foto: Castellano, C. (2011).

## Estructura de la unidad



**Figura 2.** Estructura de aprendizaje de la unidad.

### Explicación de la estructura

Es recomendable que cada plantación de palma disponga continuamente de una estación meteorológica equipada para registrar variables como precipitación, horas de brillo solar, temperaturas mínimas y máximas, humedad del aire y evaporación. Afortunadamente, en los últimos años se han presentado grandes avances en el diseño de estaciones meteorológicas que actualmente permiten contar con instrumentos automáticos.

Esta estación debe cumplir con unos requisitos mínimos de ubicación y procesamiento para un adecuado registro de datos. De forma general, debe situarse sobre terreno plano a más de 50 m de cualquier obstáculo de tamaño considerable, debe encontrarse en un sitio cubierto de grama y encerrado para evitar la entrada de animales. Cualquiera que sea el equipo utilizado se debe contar con un conjunto mínimo de registros almacenado en una base de datos computable. Los registros deben contar con la observación de la mayor cantidad de variables que sea posible; sin embargo, los factores que, como veremos más adelante,

determinan el crecimiento y rendimiento de la palma corresponden a la precipitación total, anual y su distribución mensual, la radiación y brillo solar, la temperatura e intensidad del viento.

De acuerdo con lo anterior, la unidad de aprendizaje está orientada a resaltar la importancia del efecto de las variables meteorológicas y de la influencia del clima en la producción eficiente de la palma de aceite. Inicialmente se mostrará de forma general una descripción de los factores que influyen sobre las plantaciones, posteriormente se hará un análisis detallado del impacto climático y meteorológico sobre la producción en los cultivos de palma del país.

### Preguntas orientadoras

Como preámbulo al desarrollo de esta sección invite a responder las preguntas que han sido desarrolladas para evaluar el nivel de conocimiento del tema del participante y, así, ayudarle a dimensionar las habilidades, destrezas y actitudes que se buscan desarrollar con esta sección.

- ¿Cuál es el impacto de la temperatura en el cultivo?

- ¿Cuál es la importancia de la precipitación en el cultivo?
- ¿Cuál es el impacto de la humedad en el cultivo?
- ¿Cuál es el efecto del viento en el cultivo?
- ¿Cuál es el efecto de la radiación solar en el cultivo?
- Comprender las interacciones existentes entre las variables climáticas y las dinámicas que se manifiestan en los cultivos.

## Variables meteorológicas y su efecto directo en las plantas y suelos

### Objetivo

El alcance de la presente unidad de aprendizaje tiene dos objetivos principales:

- Presentar al lector los efectos del clima sobre el rendimiento y producción de la palma de aceite.

Antes de considerar la importancia de las variables meteorológicas en el crecimiento y producción de la palma de aceite, es conveniente indicar en forma general los efectos directos más importantes que pueden tener sobre las plantas y los suelos, los cuales se sintetizan en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Acción de las variables meteorológicas.

Variable	Plantas	Suelos
Temperatura	Favorece el crecimiento y la maduración del individuo. Aumenta la pérdida de agua por transpiración y la tendencia a la marchitez y desecación. Las temperaturas bajas restringen el crecimiento, floración y aparición de frutos.	Favorece la descomposición de las materias orgánicas, la meteorización y aumenta la solución de minerales y sustancias nitrogenadas. Favorece la actividad de microorganismos.
Precipitación	Esencial para el abastecimiento de agua. Favorece la formación de flores y frutos. En exceso, puede causar daños fisiológicos y materiales por fuerza mecánica.	Activa la disolución del suelo. En exceso, aumenta el contenido de humedad y la cantidad de escorrentía. Erosiona el suelo y lixivia nutrientes disminuyendo la fertilidad.
Humedad del aire	Favorece el crecimiento. Restringe las pérdidas de agua en la transpiración. Aumenta el contenido de vapor de agua. Favorece el desarrollo de microorganismos, patógenos y enfermedades.	Retrasa la desecación. Favorece la descomposición de las materias orgánicas y la reproducción de microorganismos. Favorece la disolución y acelera la oxidación. Aumenta la humedad.
Radiación solar	Rige el proceso de fotosíntesis. Eleva la temperatura sobre la superficie de las hojas. Con frecuencia, es causa específica de descomposición de abonos.	Eleva la temperatura de la superficie del suelo. Favorece la descomposición de materias orgánicas y meteoriza determinadas rocas.
Viento	Aumenta la pérdida de agua por tendencia al secado. Contribuye a la polinización, la dispersión de semillas y germinación. Puede causar daños mecánicos.	Erosiona el suelo al descubierto. Favorece la desecación del suelo y deposita suelo y polvo en otros lugares. Se suma al efecto mecánico de la lluvia para causar erosión.
Smog + evaporación + viento	Causa daños al depositar contaminantes sobre las hojas y la caída por lluvia ácida.	Aumenta la acidez de los suelos e incorpora partículas nocivas por la acción de lluvia ácida.
Rocío	Aporte de humedad a las plantas. Afecta fumigaciones y pulverizaciones de insecticidas.	Proporciona humedad al suelo. Ayuda a la fijación de herbicidas y abonos en el suelo.

Fuente: Lee, H.K.L. (1968). El clima y el desarrollo económico en los trópicos. Modificado: Moreno, H. (2012).

## Variables climáticas y su relación con el cultivo de palma de aceite

La palma de aceite es una planta oleaginosa que se cultiva en las tierras del Trópico Ecuatorial<sup>1</sup>, es muy sensible a los cambios bruscos del clima, especialmente falta de lluvias, bajas temperaturas y poca radiación solar. Los rendimientos del cultivo están siempre en función de la interrelación de las variables del clima,

la fertilidad de los suelos, las enfermedades y otros factores involucrados en la producción. Por ello, para optimizar la eficiencia de los cultivos, se dedica una parte importante al estudio del efecto de las variables climáticas.

Fairhurst y Harder (2003) concluyen de forma general que el rendimiento potencial de la palma de aceite es alto donde las condiciones climáticas están en los siguientes rangos (Tabla 2):

**Tabla 2.** Rangos favorables de las variables climáticas.

Variable climática	Rango	Unidades
Brillo solar (B.S.)	Mayor de 5,5	Horas/día
Radiación solar (R.S.)	Mayor de 16	MJ/m <sup>2</sup>
Precipitación anual (Pr)	2.000 a 2.500	mm/año
Precipitación mensual (Prm)	Mayor de 100	mm/mes, en todos meses del año
Déficit anual de agua (Def)	Menor de 200	mm
Humedad relativa (H.R.)	75 a 85	%
Temperatura media anual (T)	28	°C
Velocidad media del viento (V)	0 a 10	m / s

Fuente: Fairhurst, T *et al.* (2003). *Oil Palm: Management for large and sustainable yields*.

También concluyen que, una vez el lugar de la plantación ha sido seleccionado, el potencial de rendimiento está determinado por las condiciones climáticas y aun se hace extensivo hasta el costo y suministro del agua, condiciones que limitarían los posibles desarrollos de aprovisionamiento de humedad del suelo.

De esta forma se comparan las condiciones climáticas predominantes de las zonas palmeras de Colombia (Tabla 3), con el anterior marco de referencia, para establecer si las zonas palmeras regionales están dentro de los rangos climáticos de otras zonas del mundo.

**Tabla 3.** Condiciones climáticas de las zonas palmeras de Colombia.

Zona/Clima	Temp. °C	Prec. Mm	Días lluviosos	Brillo solar horas/día	H.R. %	Evap. mm	Déficit mm	Meses < 100 mm
Norte	28,8	1.589	131	6,9	71	1.913	674	4
Centro	27,9	2.901	194	5,9	78	1.523	174	1
Oriental	25,6	2.693	184	4,6	81	1.306	155	3
Suroccidental	25,5	2.919	259	2,6	88	1.202	00	0

Fuente: Moreno, H. (2012). *Cálculos y métodos agrometeorológicos para la guía Cenipalma*.

1 El término Trópico Ecuatorial, tal como se emplea aquí, denota las regiones que tienen temperaturas moderadamente elevadas y altos índices de humedad durante la mayor parte del año.

De acuerdo con los valores presentados en la Tabla 4, podemos establecer que las condiciones climáticas en las zonas palmeras colombianas, son adecuadas para

el buen desarrollo de las plantas; lo anterior, teniendo en cuenta las clases de aptitud climática para el cultivo de palma de aceite (Paramanathan, 2003).

**Tabla 4.** Clases de aptitud climática.

Aptitud climática	Unidades	Apto		Moderado	Marginal	Inadecuado
Grados de limitación		Ninguna	Ligera	Moderada	Grave	Muy grave
Variables						
Precipitación	mm	2500 - 3500	< 1700-2500 > 3500-4000	< 1450-1700 > 4000-5000	< 1250-1450 > 5000-6000	< 1250 > 6000
Estación seca (< 100 mm)	mes	Ninguno	1	1 - 2	2 - 3	> 3
Radiación solar	Mj <sup>m</sup> -2	13 - 15	< 11-13 > 15-17	< 9-11 > 17-19	< 7-9 > 19-21	< 7 > 21
Temperatura media anual	°C	25 - 29	< 22- 25 > 29-32	< 20-22 > 32-35	< 10-20 > 35-37	< 10 > 37
Viento	ms <sup>-1</sup>	5 - 8	< 3-5 > 8-10	< 3 > 10 - 15	- > 15-20	- > 20

A continuación, se describirán detalladamente el efecto de las variables meteorológicas que impactan el cultivo de la palma de aceite.

## Temperatura



**Figura 3.** Cielo despejado en vivero de palma de aceite. Foto: Toro, F. (2007).

En las zonas palmeras de Colombia, la palma de aceite se desarrolla en condiciones óptimas dentro de un rango de temperaturas promedio anual entre 25 y 29°C.

Las temperaturas inferiores a 21°C pueden retardar el crecimiento y causar estrés fisiológico, agravado cuando hay escasez de agua en el suelo.

En los meses de bajas temperaturas se retarda el crecimiento de los racimos, efecto que se presenta, incluso, en meses posteriores debido al aborto de flores causado por estas bajas temperaturas. A su vez, provocan retardo en el crecimiento apical y poco desarrollo de las hojas jóvenes (Moreno, H. 1992).

Según Fairhurst *et al* (2003), la palma de aceite se ha adaptado a condiciones presentes en tierras bajas húmedas tropicales y es particularmente sensible a bajas temperaturas. No se ha determinado un máximo de temperatura, pero puede tolerar algunas menores o iguales a 38°C (si la humedad relativa es suficiente); no obstante, los requerimientos de agua se incrementan con las temperaturas altas. En condiciones de baja humedad relativa y baja velocidad del viento, el incremento de ésta en la capa límite del follaje puede inducir cierre de los estomas; además, reducir la velocidad con que se realiza la fotosíntesis. La temperatura

media anual favorable para la palma de aceite está entre 22 y 32°C, un rango que prevalece en la mayoría de las regiones tropicales húmedas.

En uno de sus estudios, Henry (1957), (citado por Fairhurst, 2003) señala otros factores determinantes, entre ellos, la velocidad de crecimiento de plantas jóvenes de semilleros fue totalmente inhibida a temperaturas menores o iguales a 15°C, pero el crecimiento fue tres y hasta siete veces más rápido, cuando ésta se incrementó de 17,5 a 25°C; en consecuencia, temperaturas menores de 18°C retardan la maduración de frutos. También hay reportes de Sumatra (región palmera de Asia) que demuestran que las palmas sembradas en altitudes iguales a 500 metros llegan a pleno establecimiento un año más tarde y producen pequeños rendimientos en comparación con palmas sembradas en tierras bajas menores a 100 metros (Hartley, 1988). Esto puede ser, en parte, a la reducción de la radiación solar en altas elevaciones, donde la cobertura diaria de la nubosidad es más persistente que a elevaciones bajas (Fairhurst, 2003). Aparte de los efectos de la temperatura, es importante destacar también los efectos de la precipitación y la distribución mensual en la producción de los cultivos de palma.

## Precipitación



**Figura 4.** Probabilidad de lluvia sobre cultivo de palma. Foto: Toro, F. (2009).

## ¿Cómo actúan las lluvias sobre la vegetación?



**Figura 5.** Tarde lluviosa en la plantación de Hacienda La Cabaña. Foto: Nancy Franco.

Generalmente, las lluvias actúan en la vegetación directamente, por el choque de las gotas contra las plantas e indirectamente, como origen del agua necesaria para su desarrollo. Las lluvias arrastran en gran parte el polvo que el viento acumula sobre las hojas haciendo que desempeñen mejor sus funciones fotosintéticas.

Las lluvias oportunas son muy beneficiosas en la época de siembra de un cultivo, ya que proporcionan a la tierra la humedad necesaria para que haya un buen implante. Las lluvias de abril a junio favorecen la floración, la formación de espigas y frutos, así como el rebrote de hojas. Las lluvias muy abundantes son perniciosas en la época de fecundación de flores y en la maduración de frutos; además, facilitan del desarrollo de enfermedades por hongos y bacterias lo que afecta la labor de cosecha.

En desarrollo de la planta, la lluvia juega un papel muy importante, especialmente en el aspecto alimenticio ya que disuelve elementos minerales y abonos del suelo para que puedan ser absorbidos por las raíces e incorporados a la planta; además, proporciona directamente abonos nitrogenados a los cultivos, nitrógeno transformado proveniente de la atmósfera.

La distribución de la lluvia a través del año es más importante que la cantidad total alcanzada al final del

mismo. Desde el punto de vista agrícola, para que la lluvia sea útil y bien distribuida es necesario que manifieste su efecto en un buen implante y crecimiento, desarrollo de tallos, hojas, flores, frutos y espigas. Por el contrario, en la época de maduración, cosecha y recolección, se necesita que las lluvias sean escasas. Es fácil tener en cuenta que los dos extremos son malos: la sequía y la excesiva humedad. Si las lluvias son escasas en el primer semestre, los cultivos pueden sufrir estrés hídrico y producen poco; pero cuando son muy abundantes, se humedecen demasiado y la maduración se retarda, lo mismo que la cosecha y recolección.

En algunas ocasiones el exceso de humedad en el suelo ocasiona un efecto perjudicial por sobresaturación de humedad del suelo denominado "clorosis", el cual se caracteriza por la decoloración de las hojas y posterior muerte, causada por la pudrición radicular. Las lluvias de baja intensidad o las lloviznas son buenas para la vegetación puesto que el suelo las embebe fácilmente. En cambio, las lluvias torrenciales ocasionan condiciones desastrosas para la agricultura, erosionando los suelos y provocando inundaciones.

### ¿Qué efectos directos causa la precipitación en la palma de aceite?

En particular, la palma de aceite transpira de 5 a 6 mm/día de agua durante todo el año. Un suministro continuo de humedad sobre el suelo es necesario para mantener las funciones fisiológicas de los tejidos de la palma y para el transporte de nutrientes y su asimilación dentro de ella. Un adecuado abastecimiento de precipitación es quizá el factor climático que genera mayor beneficio a la palma para su crecimiento y desarrollo. La palma de aceite se adapta a períodos de sequía accionando el cierre de los estomas hacia el mediodía, retardando la apertura de hojas y disminuyendo la producción de racimos (NG citado por Fairhurst *et al.*, 2003).

Un prolongado estrés hídrico debido a sequías ocasiona un descenso en la proporción de flores sexuales (relación de flores femeninas sobre la floración total),

la cual causa disminución en el rendimiento entre los siguientes 19 y 22 meses. Una sequía muy severa puede generar el aborto de flores femeninas, por lo que, un adecuado abastecimiento de agua es muy importante durante la maduración de frutos y para la formación de racimos, favoreciendo una amplia relación de racimo/contenido de aceite. El promedio ideal de precipitación es de 2.000 a 3.500 mm por año, equitativamente bien distribuidos durante todo período y un mínimo de 100 mm por mes.

En cualquier región, la precipitación óptima puede estar relacionada con la retención de agua del suelo y del drenaje, como también con el desarrollo de las raíces de la palma. Por ejemplo, sobre un suelo de textura liviana y suelos arenosos (donde el drenaje es excesivo), las palmas pueden ser afectadas por estrés de sequía después de una semana sin lluvia; mientras que palmas plantadas sobre suelos arcillosos pueden ser menos afectadas por estrés de humedad. Simultáneamente, palmas plantadas en suelos profundos bien estructurados con un sistema radicular bien formado son más resistentes a la sequía, que las plantadas sobre suelos superficiales donde el desarrollo radicular está limitado por la presencia de capas impermeables compuestas por gravas o rocas. Estos ejemplos ilustran la importancia de una adecuada valoración de las interrelaciones presentes entre los factores del clima y los suelos, así como sus efectos combinados para el desarrollo potencial de producción. Las palmas jóvenes son particularmente susceptibles a la sequía de forma más intensa que aquellas que ya han desarrollado su sistema radicular en forma apropiada.

En un estudio realizado por Unipalma (Moreno H. 1992), se analizaron los requerimientos ecológicos de la palma de aceite y se estableció que:

- La palma es bastante exigente en los requerimientos de agua, lo que implica una disponibilidad suficiente de humedad en el suelo, para suplir las pérdidas en la evaporación, la transpiración y para el uso consuntivo en la conversión del proceso fisiológico de fotosíntesis y de formación de tejidos.

- Los períodos de sequía afectan la palma disminuyendo notablemente la floración y fecundación, la formación de frutos y de racimos, inclusive, se presenta secamiento de racimos jóvenes.
- La falta de agua en la época de formación de racimos provoca disminución en el número de racimos y también reducción en el peso promedio de los mismos.
- El estrés hídrico de la palma por sequía afecta la emisión del número de hojas jóvenes y a las que emergen les provoca el enrollamiento, lo que se conoce como “flecha del cogollo”.

Un régimen adecuado de pluviometría para la palma de aceite puede presentarse entre 2.000 y 2.500 mm/año, bien distribuidos mensualmente para regular el balance de agua del cultivo y donde no haya meses con déficit hídrico superior a los 100 mm por mes.

Por otra parte, Fairhurst *et al.*, 2003, afirmaron que los síntomas mayormente visibles del estrés de sequía en la palma de aceite (en orden de incremento en severidad) son:

- Acumulación de hojas no abiertas.
- Prematura desecación de los bordes duros en las hojas inferiores (particularmente en plantas recientemente sembradas).
- Rompimiento de hojas verdes.
- Desecación de racimos (resultado del aborto).
- Colapso de coronas.
- Palmas muertas.

En el caso de Malasia, la irrigación ha mejorado el rendimiento de la palma de aceite de 60 a 95% (media aumentada a 74%), y el tope de producción fue aumentado de 18,5 a 35,8 toneladas de racimos de fruta fresca por hectárea, debido mayormente a un incremento en el número de racimos (Foong y Lee, 2000 citado por Fairhurst y Hardter, 2003).

Períodos muy prolongados de sequía (de 3 a 4 meses) generan problemas de reducción en el rendimiento,

así como un incremento en el riesgo de daños por incendios. Las variaciones en la precipitación mensual y anual deben ser pocas para evitar la incidencia de largos y continuos picos (altos y bajos) durante los períodos de producción, mensuales o anuales. Es importante tener disponibilidad confiable y detallada de datos de precipitación de, por lo menos, un período de 5 a 10 años, sobre todo cuando se está valorando el potencial de producción de un cultivo.

Donde la precipitación es insuficiente, pero se puede adicionar el suministro de agua, los rendimientos, igualmente pueden ser incrementados con la irrigación. Así que, en lugares donde el estrés de humedad ha sido eliminado por la disponibilidad de irrigación, también es necesario incrementar la cantidad de fertilizantes minerales a aplicar para aprovechar y sostener el aumento del potencial de producción.

En lugares donde la precipitación anual excede los 5.000 mm, uno o dos meses secos con menos de 100 mm de precipitación podrían ser beneficiosos para la palma. La precipitación excesiva afecta la polinización haciendo pobre la fecundación de flores, incrementa la incidencia de plagas y enfermedades, causa inundaciones, pérdidas de nutrientes debido a la alta disolución y lixiviación, y la interrupción de operaciones de campo, particularmente en áreas bajas de inundación.

El cubrimiento del suelo con el raquis de los racimos sin fruta o follaje podado es una buena práctica que puede reducir los efectos de la sequía y la pérdida de nutrientes por la lixiviación y la escorrentía superficial en áreas de alta precipitación. La precipitación puede variar rápidamente en cortas distancias, así que siempre vale la pena registrar la precipitación diaria (tiempo de duración y mm) y el número de días lluviosos por mes para la aplicación en lo pertinente. Este registro provee suficiente información para calcular el balance de agua sobre una base mensual y anual (Surre citado por Fairhurst y Hardter, 2003). Este es el balance de agua propuesto:

$$B = Res + R - ETP$$

Donde B es balance de agua al final del período considerado, Res es la reserva de agua del suelo al comienzo del período considerado, R es la precipitación durante el período y ETP es la evapotranspiración potencial durante el mismo período.

Una vez aplicado el anterior balance de agua en el cultivo, se puede deducir qué altos rendimientos pueden esperarse, donde el déficit de humedad anual del suelo sea menor a 200 mm. Los cultivos de palma de aceite no deberían ser plantados donde el déficit anual sea mayor de 500 mm, sin que antes esté planeado suplir el déficit de agua con irrigación (Jacquemard, 1998 citado por Fairhurst *et al.*, 2003). Ghazalli (1984) ideó un índice agrícola de precipitación (ARI), que es la relación de la precipitación sobre la evapotranspiración potencial. Cuando la precipitación es menor que la cantidad requerida para la evapotranspiración, el almacenamiento de agua en el suelo será agotado y seguido por una sequía. Lógicamente, la sequía ocurrirá más rápidamente en suelos con pobre retención de humedad.

La palma de aceite se adapta bien a la alta humedad relativa que prevalece en la mayoría de las regiones húmedas del trópico, donde la cantidad y frecuencia de lluvia es muy alta. Surre y Ziller (citado por Fairhurst, 2003) recomendaron un requerimiento mínimo de 75% de humedad relativa, basado en observaciones hechas en áreas donde la palma de aceite es cultivada. En lugares donde las condiciones de humedad son adversas, los estomas se cierran y la fotosíntesis también se reduce, debido a que la presión del vapor de agua está en un nivel menor o igual a 1,8 kilopascales, lo que es equivalente a un rango de humedad relativa de 65% a 30°C (Jacquemard citado por Fairhurst *et al.*, 2003).

La incidencia de la sequía está relacionada con dos factores: la cantidad de precipitación y el tipo de suelo; puesto que algunos suelos tienen una enorme capacidad de almacenar agua y permitir gran desarrollo radicular, el cual da amplia tolerancia a la sequía en la palma de aceite. Los registros de un largo período de precipitación mensual y de días lluviosos pueden ser importantes para calcular déficits de agua, además son una gran

ayuda para la planeación de programas de fertilización (Goh, *et al.*, citado por Fairhurst *et al.*, 2003).

## Adaptación de los cultivos al clima.

### ¿Por qué analizar el problema?

Por su complejidad, puesto que el agua que la atmósfera seca absorbe por evaporación de la tierra va ligada a otras variables meteorológicas; mientras que la absorción de agua por el suelo (capacidad de retención y drenaje) va condicionada a la naturaleza y constitución de éste. Además, para muchos cultivos no basta con saber la cantidad total de lluvia media del año (ni la cantidad mensual), sino la que cae en un determinado período del año; es decir, en el “período crítico” del ciclo vegetativo de la planta o en sus estados de floración o maduración. Así que en cada región se debería sembrar los tipos de cultivos que sean los más adecuados al clima y a las condiciones de suelo, previo estudio particular de la climatología y del suelo de la región.

Como ya se mencionó, la lluvia no lo es todo, también interesan otros factores meteorológicos como la humedad del aire, la radiación y el brillo solar, los grados día de temperatura acumulada (llamada integral térmica) a lo largo del ciclo vegetativo de la planta. Además, es importante analizar el tiempo frío y seco, el tiempo cálido y húmedo, la oportunidad de lluvias en el período vegetativo y esperar que no se presenten sequías, o tormentas en forma inoportuna en tiempo de cosecha.

## Humedad del aire



**Figura 6.** Cultivo de palma de aceite en Tumaco cubierto por la humedad del aire en la mañana. Foto: Toro, F. (2012).

Entre los requerimientos climáticos, la palma de aceite exige alta humedad del aire, siendo favorable un promedio mensual de 75%. Ambientes secos con menos de 50% de humedad relativa afectan la palma incrementando la tasa de transpiración.

### ¿De dónde sale la humedad del aire que necesitan las plantas?

Del agua que se evapora de los espejos de agua, reservorios, riegos, embalses, ríos, lagos y mares; así como la que se transpira de las praderas, pastizales, cultivos, palmares y bosques; se incorpora al aire desde abajo y se mezcla con el aire seco; así tenemos aire húmedo (aire seco más vapor de agua).

En parte por disminución de la temperatura, ese aire húmedo provoca la condensación del vapor en pequeñas gotas de agua, convirtiéndose en rocío, que se reincorpora humedeciendo las hojas de las plantas y el suelo. Por ello, el aire caliente de los meses secos puede retener mucho más vapor de agua que el aire frío de los meses lluviosos. En consecuencia, el contenido de vapor del aire aumenta a partir de la evaporación (aire caliente + vapor) y decrece con la condensación (aire frío - vapor). Esto debido a que las noches frías, con descenso de temperatura, favorecen la condensación, mientras que los días cálidos provocan la evaporación (García *et al.*, 1978).

### Radiación y brillo solar



**Figura 7.** Alta radiación solar sobre cultivo de palma de aceite. Foto: Toro, F. (2009).

La palma de aceite es una planta heliófita, exigente en el requerimiento de luz solar. Ésta es necesaria para la planta desde varios puntos de vista, a saber: en primer lugar, en forma de energía calórica para regular el balance térmico (acción de la temperatura en formación de tejidos); en segundo lugar, la radiación solar en ondas del espectro visible, muy importante para el proceso fisiológico de la fotosíntesis; y, en tercer lugar, la duración del brillo solar o luminosidad, importante para el fotoperiodo de las plantas (Moreno, H. 1992). También se ha considerado que en la palma la luz solar influye en la maduración de los frutos y en el contenido de grasas.

En los requerimientos climáticos de la palma de aceite, se considera que 1.500 horas/año de brillo solar son necesarias para su buen rendimiento y para estimar el potencial de producción de un cultivo. En lugares donde hay excesiva nubosidad y cobertura permanente del espacio, se manifiesta la reducción de la radiación solar, en consecuencia, disminución en la producción.

De otra parte, Fairhurst, T *et al.* (2003), analizaron el efecto de la radiación solar en el rendimiento de la palma de aceite y consideran lo siguiente:

- La palma de aceite es una planta que se adapta muy bien en lugares donde el brillo solar es superior a 5 horas/día en todos los meses del año y hasta 7 horas/día en algunos meses.
- Después de la precipitación, la radiación solar es el segundo de los factores climáticos más importantes: sin embargo, los requerimientos exactos en términos de cualquiera de los dos, horas de brillo solar o radiación fotosintética activa, aún no han sido bien definidos.
- Alrededor de 2.000 horas/año de brillo solar o 5,5 horas/día es deseable, siempre y cuando esa cantidad de brillo solar no esté asociada con una sequía y temperaturas excesivamente altas.

Por otro lado, el instrumento conocido con el nombre de solarímetro Campbell Stokes, fue diseñado para estimar apenas una baja cantidad de radiación

solar cuando hay cobertura permanente de nubosidad ya que ésta disminuye el efecto de aumento de la bola de cristal y la gráfica de registro no es quemada de un extremo al otro.

Las neblinas atmosféricas pueden reducir significativamente la radiación solar, donde no hay datos disponibles de ésta o de brillo solar, los datos de la nubosidad pueden ser utilizados. Un promedio diario de nubosidad menor de 7 octas es deseable en zonas cultivadas con palma.

En otros estudios se ha intentado establecer las relaciones entre el efecto de la radiación solar y los rendimientos, entre ellos:

- El crecimiento, la asimilación neta y la producción de inflorescencias femeninas se reducen en palmas muy sombreadas (Hartley, 1988).
- El rendimiento sobre un período de 28 meses fue positivamente correlacionado con la radiación solar del período previo de 12 meses anteriores (Hartley, 1988).
- La proporción de extracción de aceite se incrementó cerca de 18 a 20 meses después de un período largo de horas de brillo solar (Chow y Chan citados por Fairhurst *et al.*, 2003).
- Las relaciones fruto: racimo y mesocarpio: fruto y el tiempo de extracción de aceite se redujeron después de un período alto de brillo solar (Prabowo y Foster, 1998).

En similares circunstancias no es difícil separar el efecto de la radiación solar de otros factores que afectan la productividad, cuando se comparan diferentes lugares de producción. Cada plantación de palma, como mínimo debería registrar las horas de brillo solar en un heliógrafo Campbell Stokes. La radiación fotosintéticamente activa es cerca de la mitad del total de radiación y ésta puede ser medida con un piranómetro.

## El viento



**Figura 8.** Volcamiento de palma por fuerte viento. Foto: Ospitia, R. (2004).

El viento es un factor muy importante para el agricultor, siendo el responsable directo o circunstancial de las características climatológicas de una zona o región. Con él van vinculados muchos fenómenos meteorológicos favorables o adversos para la agricultura, e inclusive la afectación de los suelos (a causa de la erosión).

Por otro lado, el viento, con sus variadas características (seco, húmedo, frío, cálido, moderado, huracanado, etc.), influye decisivamente en el tipo de cultivos de una determinada zona o región de forma útil o adversa, según sean los casos.

Entre los beneficios agrícolas del viento podemos citar:

- Renovación del aire, que favorece la transpiración de las plantas.
- Transporte de polen y fecundación de flores.
- Aumento de la dureza del tronco y ramas y hace más fuerte el enraizamiento.
- Los vientos suaves, someten a los tallos de los cultivos a una gimnasia rítmica que les viene muy bien para engrosar.
- En las regiones frías, al remover las capas de aire frío que hay junto al suelo, el viento evita el enfriamiento nocturno por irradiación. También barre las nieblas duraderas y persistentes.
- El viento ayuda al secado de superficies húmedas y al de los suelos muy encharcados.

Como efectos perjudiciales ocasionados por el viento podríamos citar:

- Desecación y endurecimiento de los suelos después de las lluvias o riegos.
- Volcamiento de plantas. Deformación de la copa de los árboles en zona de vientos muy persistentes en una sola dirección.
- Bruscas variaciones térmicas asociadas al viento: los vientos fríos pasman las flores y fructificación; también queman los brotes y capullos. Los vientos cálidos y secos de los períodos secos deshidratan las plantas y arbustos.
- Arranca hojas, flores y troncha ramas; debido a vientos violentos. Arrasa invernaderos y semilleros.
- Los vientos persistentes y fuertes arrancan del suelo la capa de tierra fértil, causando la erosión eólica. Otras veces invaden con arenas las tierras de cultivo (dunas, etc.).

El viento es el acompañante inmediato y, a veces, el responsable directo de muchos meteoros adversos a la agricultura: borrascas y saltos de viento asociados con nubes tormentosas; vientos fríos y secos acompañan

las invasiones de aire paramuno o nival, ocasionando un régimen de bajas temperaturas; ocurrencia de vientos cálidos y secos, asociados a las olas de calor en verano; rachas de viento posteriores al paso de los frentes fríos, con su cortejo de intensos chubascos y copiosos aguaceros, etc.

### Acción de los vientos en las zonas costeras del litoral

Los vientos asociados al régimen de brisa de mar ocasionan grandes daños en la vegetación próxima a las costas y playas. Hay zonas donde los vientos fuertes procedentes del mar vienen cargados de sal, de yodo y aún de arena, perjudicando notablemente los cultivos y plantas de huertas y jardines. Los frutales no prosperan bien; en cambio, los árboles de buen fuste y las palmeras se desarrollan bastante bien.

En algunas zonas de las costas, el viento transporta arenas finas, conformando montículos, que luego son arrastrados hacia el interior. Estos montículos se denominan dunas. Cuando una duna avanza va ocupando y esterilizando lentamente las tierras cultivadas. Para fijar las dunas se pueden plantar especies de gramíneas o ciperáceas, las cuales son muy flexibles y se extienden sobre el suelo, cubriendo la arena y evitando así que sea arrastrada. Las líneas de protección se ponen en dirección perpendicular a los vientos dominantes. Entre estas líneas se intercalan pinos de hábito marítimo, los cuales, con sus raíces fuertes, fijan el terreno.

### Efectos directos del viento en la palma de aceite

La palma de aceite tiene una corona amplia y blanda, la cual no puede resistir vientos fuertes. Por eso no es aconsejable plantar palma de aceite en áreas donde ocurren frecuentemente tormentas tropicales. Los vientos suaves, especialmente durante los períodos de radiación solar intensiva son convenientes; sin embargo, en conjunto, éstos promueven dos efectos: el enfriamiento convencional y el de la transpiración de la superficie foliar.

## El rocío

El rocío proporciona un notable aporte de humedad a los suelos; ello permite suministrar humedad a cultivos y vegetación en zonas secas, donde las lluvias son escasas y aleatorias. Por su importancia agrícola se presta atención especial a esas “condensaciones ocultas”, más bien “incontroladas”, que complementan o sustituyen a las precipitaciones atmosféricas medidas con el pluviómetro (llovizna, lluvia, aguaceros, nevadas, etc.). El rocío suele observarse en épocas de sequedad temprana y es frecuente presentarse en terrenos bajos y llanos, donde puede haber más humedad por transpiración.

En la época seca, después de un intenso rocío, a la salida del sol (como el aire está muy transparente) las condensaciones se evaporan muy rápidamente, llevando el calor de evaporación de los brotes, hojas y flores y provocando una brusca caída de la temperatura que afecta los órganos tiernos de los vegetales. En el caso de que la temperatura sea baja y la humedad sea muy alta, estos rocíos mojan el suelo y los objetos; son los denominados rociones, muy importantes para los cultivos y la vegetación, éstos aportan diminutas gotas de agua que quedan adheridas a los objetos y arbustos, escurriendo después al suelo.

## Importancia del rocío

Los rocíos son muy interesantes desde el punto de vista agrícola, pues proporcionan aportes de humedad a cultivos, prados, malezas y vegetación en general. En regiones donde la temperatura es alta durante el día y existen abundantes y próximas fuentes de humedad, el aire llega a almacenar mucho vapor de agua durante el día, que luego, por la noche, al bajar la temperatura, se deposita sobre tierras y vegetación en forma de rocío. Los aportes nocturnos del rocío constituyen un notable refuerzo de las escasas precipitaciones atmosféricas.

Las nubes rasantes y pasajeras que son muy frecuentes en los Andes son aptas para mantener algo húmedos los cultivos con rocío. Particularmente en la zona de media ladera y en posición de barlovento, predominan los flujos de viento cálido y húmedo, lo mismo sucede con las brisas marinas que predominan en las costas litorales.

Donde hay bruscos contrastes térmicos entre día y noche, el rocío resulta muy importante para mantener húmedos los cultivos, particularmente después de los chaparrones aislados que se presentan al inicio de la época seca.

## Ventajas y desventajas agrícolas del rocío

Las características agrometeorológicas del rocío en la agricultura presentan sus pros y sus contras por lo que cabe tener en cuenta lo siguiente:

- En la época seca, después de una noche despejada, se forma abundante rocío sobre los cultivos y en la vegetación natural, esto es una ventaja.
- En verano, cuando se utiliza maquinaria para cosechar en la mañana, el rocío constituye un inconveniente porque voltea los tallos e impide que las cuchillas corten bien los tallos doblados. Por la tanto, no puede efectuarse esta labor a primeras horas de la mañana, hay que esperar a que el sol caliente lo suficiente para que el rocío se evapore y el follaje esté seco.
- También durante esta época, los depósitos de rocío constituyen un problema o “caldo de cultivo” en el que pueden proliferar y germinar esporas, bacterias y gérmenes infecciosos dando lugar a enfermedades de diversos tipos (sobre todo royas, bacterias, etcétera), especialmente cuando la temperatura sube con cambios fuertes.
- Las aplicaciones con fumigaciones y pulverizaciones de polvos hechas desde el terreno o desde avionetas tienen una acción limitante en el rocío; la humedad anula el efecto de las partículas del polvo de los insecticidas y rebaja la concentración de las aplicaciones líquidas. Al contrario, los rocíos ayudan a fijar los tratamientos de herbicidas y de abonos sobre las plantas y suelos.

Las principales ventajas agrícolas del rocío ya se han tratado antes, aunque no sobra repetir que lo más importante es que aporta humedad a las hojas y raíces en épocas de escasez de agua; especialmente en los intervalos secos que median entre los temporales de lluvia de

invierno y los chaparrones de verano. En resumen, la importancia agrícola del rocío es bien clara, sin embargo, y de acuerdo con el tipo de cultivo, es conveniente decidir sobre su registro y los instrumentos de medida, ya que la operación y manejo de equipos resultan un poco difíciles de controlar.

Una vez logrado el objetivo de esta unidad de aprendizaje es pertinente indicar que el servicio agrometeorológico

debe proveer reportes mensuales y boletines anuales (rutinarios) con la información meteorológica procesada en formato gráfico, conjuntamente con la interpretación, los cuales deben ser elaborados y expedidos por el grupo técnico encargado. Este tema será ampliamente explicado en la unidad de aprendizaje IV. El reporte deberá contener como mínimo la siguiente información (Tabla 5):

**Tabla 5.** información mínima de un reporte meteorológico.

Elemento	Instrumento	Unidades
Precipitación y días lluviosos	Pluviómetro o pluviógrafo	mm/día, días/mes
Temperatura media diaria, mínima y máxima diarias	Termómetros de mínima y máxima	°C
Radiación y brillo solar	Heliógrafo y piranómetro	horas/día, cal/mín x cm <sup>2</sup>
Viento	Veleta y anemómetro	dirección, frecuencia, m/seg
Evaporación	Tanque de evaporación	mm/día
Humedad relativa	Higrómetro y psicrómetro	%

### Práctica 3.1. Batalla climática

#### Objetivo

Reforzar en los participantes la importancia del conocimiento de las variables meteorológicas y su efecto en el desarrollo del cultivo.

#### Orientaciones para el facilitador

Esta actividad es una competencia en la que se enfrentan dos participantes, un jugador asume el rol de defensor con el objetivo de mantener las condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de su propio cultivo y el otro busca limitar el desarrollo del cultivo del oponente.

#### Instrucciones para el participante

Un jugador ejercerá las funciones de atacante y otro las de defensor. Se debe tomar un tablero de juego y escribirle un nombre a la plantación. Primero se juega el ataque y luego la defensa, una vez se tienen las dos tarjetas llenas se realiza la confrontación y se diligencia el tablero en el mes de juego.

#### Ataque

Debe tomar una tarjeta de ataque.

**Ataque**

Mes

Fenómenos atmosféricos

*Lluvia torrencial*

*Cielo despejado*

*Ventisca*

*Nubosidad*

Variable %

*Precipitación*

*Humedad relativa*

*Horas brillo solar*

*Vel. viento*

*Temperatura*

Diligencie el nombre del mes de juego.

Seleccione un fenómeno atmosférico de la lista, tenga en cuenta que los fenómenos tienen época de

aplicación por tanto tendrá que tener en cuenta la época del mes que se encuentra en juego. considere los efectos del fenómeno atmosférico sobre el contendor que se resumen en la siguiente tabla:

Fenómeno atmosférico	Época de aplicación	Efecto	Acción de defensa
Lluvia torrencial	Lluvia	-1 punto al defensor, si la precipitación está por encima del rango óptimo	Drenajes Riego
Cielo despejado	Seca	-1 punto al defensor, si la humedad relativa está por debajo del rango óptimo	
Ventisca	Seca	-1 punto al defensor, si la velocidad del viento está por encima del rango óptimo	
Nubosidad	Lluvia	-1 punto al defensor, si el brillo solar está por debajo del rango óptimo	

En las casillas de las variables meteorológicas debe colocar el porcentaje con el que se aumentará o disminuirá (escriba + o -) el valor que le asigne a cada una el defensor, recuerde que el porcentaje debe ser mayor o igual a 0 y menor o igual a 30.

No deje ver su tarjeta hasta que el defensor no haya diligenciado la tarjeta de defensa.

### Defensa

El jugador que defiende toma una tarjeta de defensa.

Defensa	
Mes	
Acciones	
<input type="checkbox"/>	Drenaje
<input type="checkbox"/>	Riego
Variable	Valor
Precipitación (mm)	<input type="text"/>
Humedad relativa (%)	<input type="text"/>
Horas brillo solar (hora)	<input type="text"/>
Vel. viento(km/s)	<input type="text"/>
Temperatura (°C)	<input type="text"/>

Escriba el nombre del mes en juego.

Elija una acción de defensa, tenga en cuenta que estas acciones afectarán la puntuación luego de obtener los valores finales de las variables de la siguiente manera:

Acción	Valor final de la precipitación	Efecto en el puntaje
Drenaje	Precipitación por debajo del rango	-1 punto
	Precipitación por encima del rango	+ 1 punto
Riego	Precipitación por debajo del rango	+ 1 punto
	Precipitación por encima del rango	- 1 punto

Adicionalmente, revise los efectos que tiene la acción para contrarrestar algunos fenómenos atmosféricos, esto le servirá en la defensa.

Escriba los valores para cada una de las cinco variables meteorológicas en las casillas correspondientes. Debe tener en cuenta el valor colocado aumentado o disminuido por los porcentajes, que proporcione el atacante. Siempre debe buscar obtener condiciones climáticas favorables para el cultivo en el mes de juego.

### Confrontación

El defensor debe tomar las tarjetas (ataque y defensa) del mes en juego, luego debe calcular los valores fina-

les de las variables sumando o restando, según sea el caso, el porcentaje determinado por el ataque al valor que previamente asignó a la variable. El valor final debe colocarlo en el tablero de juego para cada una de las variables. Luego debe confrontar los valores con la ficha de óptimos mensuales, si el valor de cada variable está dentro del rango óptimo se adquiere un punto, de lo contrario no suma.

Óptimos mensuales		
Variable	Mín.	Máx.
Precipitación (mm)	100	150
Humedad relativa (%)	75	100
Horas brillo solar (horas)	150	210
Vel. viento (km/h)	2,5	5
Temperatura (°C)	25	35
<p><i>Nota: los valores aquí expresados tienen un fin didáctico y no expresan la realidad de los requerimientos de la palma de aceite</i></p>		

Al final se debe colocar en la fila de total la suma de los puntos adquiridos por estar en los rangos óptimos.

Luego se continúa con el siguiente mes.

### Liquidación del juego

Cuando se hayan terminado los doce meses del juego se realiza la liquidación del juego. Consiste en sumar o promediar los valores mensuales de las variables con el

fin de contrastarlos con la ficha de óptimo anuales. Si los valores están dentro del óptimo se anotan 5 puntos en la columna total.

Óptimos anuales		
Variable	Mín.	Máx.
Precipitación (mm) acum.	2500	3500
Humedad relativa (%) prom.	75	100
Horas brillo solar (horas) acum.	1800	2520
Vel. viento (km/h) prom.	2,5	5
Temperatura (°C) acum.	25	35
<p><i>Nota: los valores aquí expresados tienen un fin didáctico y no expresan la realidad de los requerimientos de la palma de aceite</i></p>		

Luego se suman los valores de la fila total con los valores de la columna total. Si la suma es inferior a 50 gana el atacante, si es superior gana el defensor.

### Recursos necesarios

- Un tablero de juego por cada enfrentamiento
- Doce tarjetas de defensa por juego
- Doce tarjetas de ataque por juego
- Una ficha de rangos óptimos mensuales
- Una ficha de rangos óptimos anuales
- Dos esferos
- Una calculadora

Tablero de juego

Total	Pregunta extra	Temperatura	Viento	Brillo solar	Humedad relativa	Precipitación	Inicio	 Plantación: _____
							Enero	
							Febrero	
							Marzo	
							Abril	
							Mayo	
							Junio	
							Julio	
							Agosto	
							Septiembre	
							Octubre	
							Noviembre	
							Diciembre	
							Total	

## Glosario

**Convección:** transporte de calor u otra propiedad por movimiento del aire, corrientemente en sentido vertical de la atmósfera.

**Frente:** límite inclinado entre dos masas de aire de temperaturas diferentes.

**Psicrómetro:** instrumento para la medida de la humedad del aire consistente en un termómetro seco y otro mojado.

**Proceso adiabático:** proceso en el que el calor ni entra en la sustancia ni sale de ella.

**Smog:** palabra inglesa compuesta de *smoke* = humo y *fog* = niebla. El *smog* se origina con frecuencia en momentos del tiempo en calma atmosférica. Se constituye por las impurezas pulverulentas de la atmósfera y pueden actuar como núcleos de condensación y determinar la formación de una niebla intensa que impide la dispersión del hollín contaminante (humo).

**Turbulencia:** movimiento irregular del aire causado por remolinos superpuestos al flujo general.

## Referencias bibliográficas

- Boonruska, T. (1991). *Oil Palm irrigation in Thailand. Proceedings Unilever Plantations Research Meeting*. Malasya .
- Chang, J. (1971). *Climate and agriculture: An Ecological Survey*. Chicago, Il: Aldine Publishing Company.
- Eslava, J. (1993). Climatología y diversidad climática de Colombia. *Revista Academia colombiana ciencias*. 18 (71): 507-538.
- Fairhurst, T. y Hardter, R. (2003). *Oil Palm: Management for large and sustainable yields*. First edition. Singapore: Oxford Graphic Printers Ltd.
- FAO (1990). *Evapotranspiración de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenajes. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.
- García, L. y García, L. (1978) *Diez temas sobre el clima*. Segunda edición. Madrid: Ministerio de Agricultura.
- ICA (1970). La palma africana. *Boletín de divulgación*, (25). Hartley, C. W. S. (1986). *La palma de aceite*. Segunda edición. Méjico: .Editorial Continental.
- HIMAT (1993). *Zonificación agroclimática del cultivo del algodón en Colombia. Sección de Agrometeorología y Aplicaciones*. Bogotá.
- Lee, D. H. K. (1968). *El clima y el desarrollo económico en los trópicos*. Primera edición. Méjico: Unión Tipográfica Editorial Hispano América.
- Moreno, H. (1992). *Estudio para el diseño de un programa eficiente de riego para las plantaciones de palma de Santa Bárbara, Chaparral y Cuernavaca*. Villavicencio: UNIPALMA, S.A.
- OMM (1970). Guía de prácticas climatológicas. *OMM* (100). TP. 44. Ginebra.
- Paramanathan, S. (2003). Land Selection of Oil Palm. En T. Fairhurst, & R. Hardter, *Management for large and Sustainable yields*, p. 37.
- Salvat, G.T. (1974). *La atmósfera y la predicción del tiempo*. Barcelona: Salvat Editores, S. A.
- Sverre, P. (1968). *Introducción a la meteorología*. Cuarta edición. Madrid: Espasa – Calpe, S.A.
- WMO (2010). Guide to agricultural meteorological practices. Edition 2010. *WMO*, (134). Update 2012. Geneva.
- WMO (2011). Guide to climatological practices. Third Edition. *WMO* – (100). Geneva.





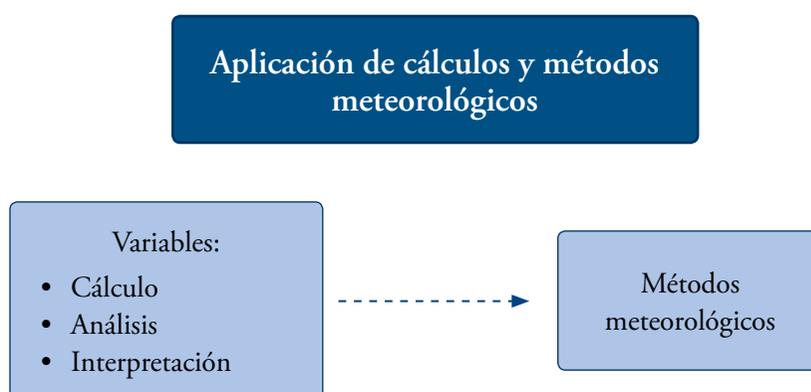
## Unidad de aprendizaje IV. Aplicación de cálculos y métodos agrometeorológicos en el manejo agronómico

Estructura de la unidad .....	87
Explicación de la estructura .....	87
Preguntas orientadoras .....	87
Objetivos.....	88
Precipitación o lluvia .....	88
Temperatura del aire.....	90
Temperatura del suelo .....	92
Radiación y brillo solar.....	93
Humedad del aire.....	95
Viento .....	95
Escala de vientos de Beaufort.....	96
Nubes y nubosidad.....	98
Tensión del vapor de agua .....	98
Rocío y escarcha .....	99
Evaporación .....	99
Transpiración .....	99
Evapotranspiración potencial.....	100
Aplicación de metodos agroclimatologicos.....	101
Clasificacion de climas según el método de Thornthwaite.....	109
Clasificación de climas por el Sistema de Caldas – Land .....	111
Sistema para clasificar formaciones vegetales de Colombia según Leslie R. Holdridge .....	113
Índices climáticos de las zonas palmeras de Colombia .....	115
Práctica 4.1. Cálculos agrometeorológicos .....	116
Ejercicios.....	116
Glosario .....	119
Referencias bibliográficas .....	119



**Figura 1.** Desarrollo del cultivo de palma de aceite. Foto: Toro, F. (2012).

## Estructura de la unidad



**Figura 2.** Estructura de aprendizaje de la unidad.

### Explicación de la estructura

Los métodos y cálculos aplicados en esta unidad de aprendizaje hacen parte de los métodos de la climatología descriptiva y la forma de presentar e interpretar la información climatológica. Tiene gran importancia porque facilita las indicaciones de carácter general sobre las diversas formas de presentación de los datos climatológicos. Los datos climatológicos y los resultados de un análisis suelen presentarse, con frecuencia, en tablas, pero resulta más útil y a veces incluso indispensable interpretar esas tablas y cuadros por medio de gráficos, diagramas, mapas y textos descriptivos complementarios.

La inclusión de diagramas que muestren, por ejemplo, las variaciones de la temperatura o las cantidades diarias de la precipitación, registradas durante un mes determinado en ciertas estaciones meteorológicas, o en ciertas zonas del territorio, pueden destacar el valor de un resumen mensual; además, resulta muy conveniente incluir en los reportes mensuales y en los boletines anuales, diagramas y mapas que indiquen la

distribución en el tiempo y la distribución geográfica (en el espacio) de la temperatura, de la insolación, de la radiación solar, de las precipitaciones y de los otros elementos climatológicos de importancia. Para el objeto de esta guía, el proceso de cálculo, análisis e interpretación de las variables climatológicas se describe en las páginas que siguen y se representan en forma detallada con cuadros, figuras, diagramas y mapas, para su comprensión y aplicabilidad.

### Preguntas orientadoras

Como preámbulo al desarrollo de esta sección, intente responder a las preguntas que han sido desarrolladas para evaluar su nivel de conocimiento del tema y para ayudarlo a dimensionar las habilidades, destrezas y actitudes que se buscan desarrollar en usted con esta sección.

¿Qué cálculos meteorológicos sabe realizar?

¿Cómo interpreta los resultados de los cálculos?

¿Qué métodos meteorológicos utiliza comúnmente?

## Objetivos

Con el objetivo de haber alcanzado el conocimiento básico con los temas desarrollados en los capítulos anteriores, es importante articular el anterior conocimiento con el uso práctico de métodos agroclimatológicos en la agricultura. Con este enfoque, el capítulo presenta los pasos más sencillos y rutinarios dados en los métodos de cálculo e interpretación de variables agroclimatológicas, los cuales deben ser aplicados en la toma de decisiones para el proceso de explotación del cultivo de la palma de aceite y de las labores rutinarias de campo. De esta manera, el usuario de la guía queda capacitado para desarrollar lo siguiente:

- Calcular e interpretar diferentes indicadores de la atmósfera, tiempo y clima. Elaborar gráficos, diagramas, mapas y reportes de la distribución temporal y espacial de las variables climáticas. Aplicar métodos para el análisis de los diferentes resultados e indicadores en la toma de decisiones. Evaluar la relación y efecto de las amenazas de los azares climáticos en el desarrollo de cultivos. Elaborar el balance hídrico climático y agrícola para establecer necesidades de riego y drenaje. Elaborar e interpretar diagramas y mapas temáticos del clima para uso agroclimatológico. Clasificar el clima de las zonas de palma de Colombia.
- Aplicar el conocimiento agroclimatológico como herramienta de apoyo a otras disciplinas relacionadas con la investigación agrícola.

Además, en forma operativa, se espera que los usuarios y técnicos del agro de cualquier nivel estén en la capacidad de identificar, analizar e interpretar los diferentes indicadores del estado atmosférico del momento, cuando se encuentren en la situación de decidir y actuar frente a determinadas condiciones del tiempo local.

## Precipitación o lluvia

### Cálculo

Para calcular la precipitación mensual se hace la suma de los registros de la lluvia caída en los días lluviosos; esta cantidad corresponde al valor mensual, a la vez, la

suma de las cantidades mensuales acumuladas corresponde al valor anual total.

Los datos así registrados constituyen las series estadísticas de la variable climática precipitación, algunas veces con lagunas por datos faltantes. En el caso de series estadísticas con datos faltantes, éstos se pueden calcular aplicando el procedimiento estadístico de correlación y regresión lineal directa de la forma siguiente:

$$Y_{mm} = A + b * (X_{cb})$$

Donde  $Y_{mm}$  es el valor de la precipitación en mm de la estación dependiente y  $X_{cb}$  es el valor de la precipitación en mm de la estación base o independiente. El modelo funciona, siempre y cuando, la ubicación de las estaciones a correlacionar cumpla con requisitos homólogos de cercanía, topografía, tipos de instrumentos, término de observación y sistema de medida. Para ilustrar el modelo de homogenización de series pluviométricas, se presenta un ejemplo de correlación y regresión lineal desarrollado con varias estaciones pluviométricas de un estudio de la región del Sumapaz (Moreno, H. 1993).

### Análisis

Los datos de la precipitación acumulada en totales mensual y anual constituyen las series estadísticas de la variable climática (precipitación) para ser analizadas mediante proceso de depuración de datos, cálculo de datos faltantes (lagunas) y homogenización de series, para luego aplicar el método estadístico de correlación y regresión lineal, también, por el método de doble masa, este último no se emplea aquí. Cuando las series están consolidadas, se interpreta la información por varios métodos para ser aplicados en forma práctica. La primera forma es la variación y distribución en el tiempo (histogramas de distribución), la segunda forma es la variabilidad en el espacio (mapas de isoyetas), y la tercera es la determinación del óptimo pluviométrico (gradiente pluviométrico), también llamado régimen pluviométrico por efecto de la topografía.

## Interpretación

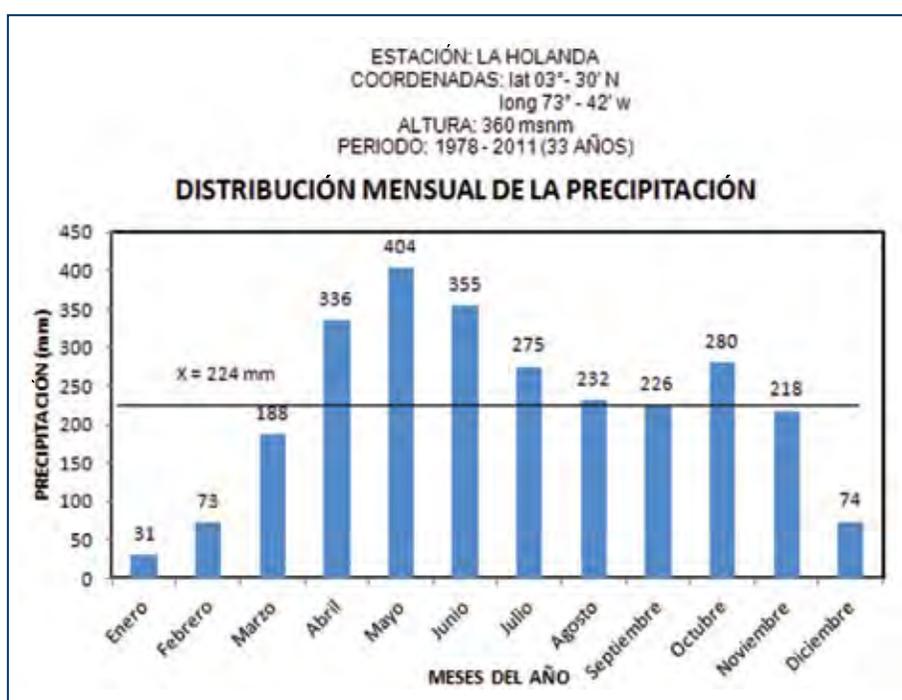
Aquí se presenta una interpretación objetiva de la variable climática precipitación en la dimensión del tiempo y en la dimensión del espacio.

## Distribución y variación en el tiempo

La distribución y variación de los regímenes de precipitación de una zona o región determinada se establece representado los valores estadísticos en un histograma que muestra cómo se distribuye la precipitación mes a mes durante el año, a su vez, indica los meses lluviosos con exceso de agua y los meses secos con menor

precipitación, comparados con la media mensual durante el período histórico. El histograma de la Figura 3 muestra la distribución mensual de la precipitación en la estación meteorológica La Holanda, ubicada en una zona de influencia del cultivo de palma, en el municipio de Granada, departamento del Meta.

Los meses por debajo del promedio mensual del año no necesariamente se pueden considerar de sequía hídrica climática, hasta tanto lo determine el balance hídrico climático, como tampoco de sequía agrícola, porque esta condición la debe indicar el balance hídrico agrícola respectivo.



**Figura 3.** Histograma de distribución mensual de la precipitación.

## Distribución y variación en el espacio

Diferente a la interpretación anterior, la distribución y variación de la precipitación se analiza ahora en el espacio horizontal de una zona o región, se representa en un mapa de curvas de isoyetas, (curvas de igual precipitación) interpretación de la ocurrencia de lluvias de igual cantidad en diferentes lugares, cuya topografía tiene cierta similitud en los accidentes topográficos.

Las líneas isoyetas se construyen con datos promedios multianuales, interpolando y extrapolando en un mapa de la zona la representación de las series estadísticas históricas de cada estación meteorológica. Las series estadísticas de precipitación ya han sido depuradas y homogenizadas con igual tratamiento estadístico como se hizo en el caso anterior, esto para que sean datos de confiabilidad en la determinación de un mapa

climático de utilidad práctica. El proceso de adecuar la información, la elaboración de mapas de isoyetas, como la interpretación y la aplicabilidad práctica, puede ser ampliado en un taller complementario, por la complejidad del tema.

## Días lluviosos

Son los días en los cuales han ocurrido lluvias o precipitaciones con diferentes intensidades, desde mínima intensidad, lloviznas, hasta fuertes precipitaciones, denominadas aguaceros o chubascos. Durante los períodos lluviosos hay precipitaciones de mínima, moderada y alta intensidad. La utilidad práctica de esta variable climática tiene que ver con la recurrencia de días lluviosos en la posibilidad o imposibilidad de

realizar faenas agrícolas y en la programación de aplicaciones de insumos y de uso de maquinaria.

Es necesario considerar la interpretación de esta variable climática ya que se relaciona con el arreglo de series de días lluviosos que se representan en histogramas de distribución mensual, para establecer la relación climática con la distribución consecuente de lluvias de una zona. Un ejemplo bien representativo se muestra en la Figura 4, que indica la distribución de las series de días lluviosos de la llanura intermedia oriental observados en la estación meteorológica La Holanda del municipio de Granada, departamento del Meta. La distribución mensual de los días lluviosos muestra un régimen pluviométrico monomodal bien definido; seco de diciembre a marzo y lluvioso de abril a noviembre.

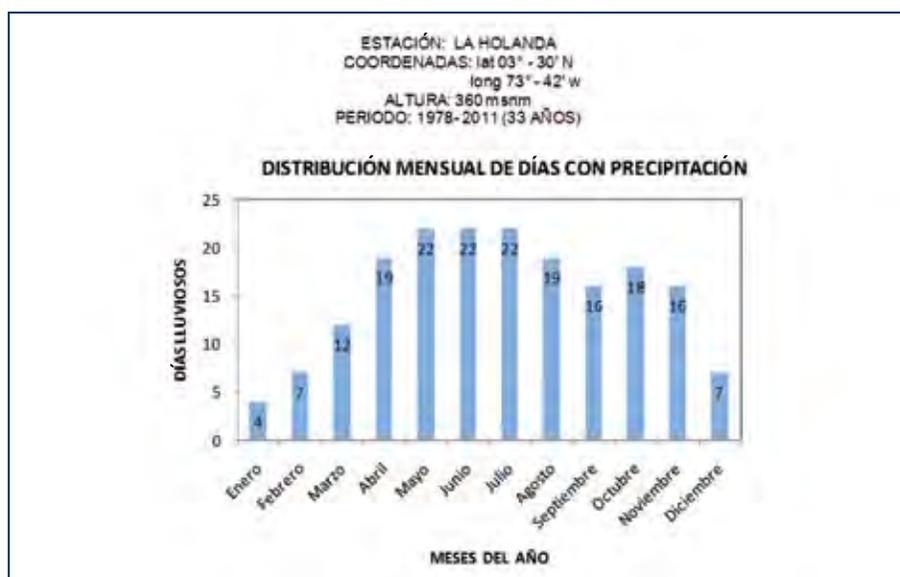


Figura 4. Distribución mensual de días lluviosos en La Holanda, Granada – Meta.

## Temperatura del aire

### Cálculo

#### Temperatura media

La variable climática temperatura del aire se calcula de varias formas, según sea el término de observación y la obtención de los datos, diarios, mensuales o anuales registrados en las estaciones meteorológicas

convencionales o automáticas. De los registros diarios observados en las estaciones convencionales a las 7, 13 y 19 HLC (Hora Legal Colombiana), se obtiene un promedio diario, resultante de:

$$T_{md} = \{Ta(7) + Ta(13) + 2Ta(19)\} / 4$$

De los promedios diarios, se obtiene un promedio mensual así:

$$T_{mm} = \{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{31}\} / 31$$

Según sean los días del mes (28, 29, 30 o 31)

De los promedios mensuales, se obtiene un promedio anual de la siguiente manera:

$$T_{ma} = \{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{12}\} / 12$$

En las estaciones meteorológicas automáticas se puede obtener directamente el promedio diario, dado que el registro se hace automáticamente en la base de datos (memoria) que va gravando el dato en intervalos de tiempo, minutos, horas, días y meses. Entonces la temperatura promedio diaria de las 24 horas del día es:

$$T_{mm} = [T_{01} + T_{02} + T_{03} + \dots + T_{22} + T_{23} + T_{24}] \text{ } ^\circ\text{C} / 24$$

Cuando no existen registros diarios de temperatura a las 7, 13 y 19 HLC ni registros horarios, pero sí hay registros de la temperatura mínima y de la máxima diaria, entonces se puede calcular la temperatura media diaria en forma aproximada en función de estas dos temperaturas así:

$$T_{md} = [T_{\min} + T_{\max}] / 2$$

Los ejemplos que siguen a continuación para mostrar el proceso de cálculo de la temperatura se hacen con datos, unos reales y otros hipotéticos:

### Temperatura mínima media del aire

La temperatura mínima diaria se obtiene con base en un sólo dato de mínima del día que se presenta, una sola vez en el día, y en horas de la madrugada, o sea, entre las 3:00 a.m. y las 6:00 p.m. El promedio mensual se calcula, ahora con base en los datos diarios de mínima, de la siguiente forma:

$$T_{\min\text{-med}} = \{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{31}\} / 31,$$

Igual, para los días del mes (28, 29, 30 o 31)

El promedio anual se calcula, así:

$$T_{\min\text{-año}} = [T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{12}] / 12$$

Para el cálculo de la temperatura mínima media mensual con datos de estaciones automáticas, se procede igual que antes.

### Temperatura máxima media del aire

El cálculo aritmético es el mismo que se hizo con la temperatura de mínima, pero teniendo en cuenta que la temperatura máxima del día se presenta una sola vez y en horas de la tarde entre las 13:00 y 15:00. Los promedios de temperatura máxima con datos de estaciones automáticas, se calculan de igual forma como se procedió con el cálculo de la temperatura mínima media. El cálculo de la temperatura máxima media mensual se procede igual que en la temperatura mínima media.

### Cálculo de las temperaturas media, mínima y máxima anuales por regresión lineal

Cuando no se dispone de datos de temperatura directamente observados en las estaciones meteorológicas, pueden estimarse con base en un método estadístico de regresión lineal inversa, para el cual se requiere de modelos preestablecidos con registros de un número suficientemente grande de datos en diferentes estaciones localizadas a lo largo y ancho del territorio colombiano. La información requerida para formular el modelo son los datos de la temperatura media anual y los datos de la altura de las respectivas estaciones. La información del binomio (X, Y) corresponde a: Y (variable dependiente) para la temperatura media anual del lugar en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) y X (variable independiente) para la altura de la estación (lugar) en metros sobre el nivel del mar (msnm). El modelo es el siguiente:

$$Y \text{ (} ^\circ\text{C)} = A - b * (X_{\text{msnm}})$$

El proceso para estimar las temperaturas mínima y máxima media anual es similar al de la temperatura media anual. Las ecuaciones calculadas del modelo estadístico con datos de temperatura de Colombia (Moreno, H. 1993), son las siguientes:

$$\text{Temperatura Media Anual, } Y \text{ (}^\circ\text{C)} = 28.582 - 0,0057 * (H_{\text{msnm}})$$

$$\text{Temperatura Mínima Media Anual, } Y \text{ (}^\circ\text{C)} = 18.888 - 0,00532 * (H_{\text{msnm}})$$

$$\text{Temperatura Máxima Media Anual, } Y \text{ (}^\circ\text{C)} = 32.753 - 0,0047 * (H_{\text{msnm}})$$

## Análisis

Como ya se mencionó anteriormente, las variaciones de la temperatura del aire de una zona se analizan desde la dimensión del tiempo y de la dimensión del espacio. En la dimensión del tiempo las variaciones son de fluctuación periódica de acuerdo con el calor del período seco o al frío del período lluvioso. En la dimensión del espacio las fluctuaciones de la temperatura son por in-

fluencia de la topografía (topoclimatologa) local de montanas, colinas, valles y llanuras, o de la cercanía de grandes cuerpos de agua, embalses, lagos, ríos y mares.

## Interpretación

La interpretación apropiada de las fluctuaciones de la temperatura de una zona o región se presenta en forma de curvas de variabilidad con respecto al tiempo de duración. La Figura 5, representa las variaciones de la temperatura media, mínima, y máxima mensual y anual de la estación La Holanda, zona palmera de la llanura del departamento del Meta. En la dimensión del espacio, las variaciones de la temperatura se representa en mapas de isotermas (curvas isopletas) que muestran la tendencia de la temperatura con respecto a la configuración del terreno.

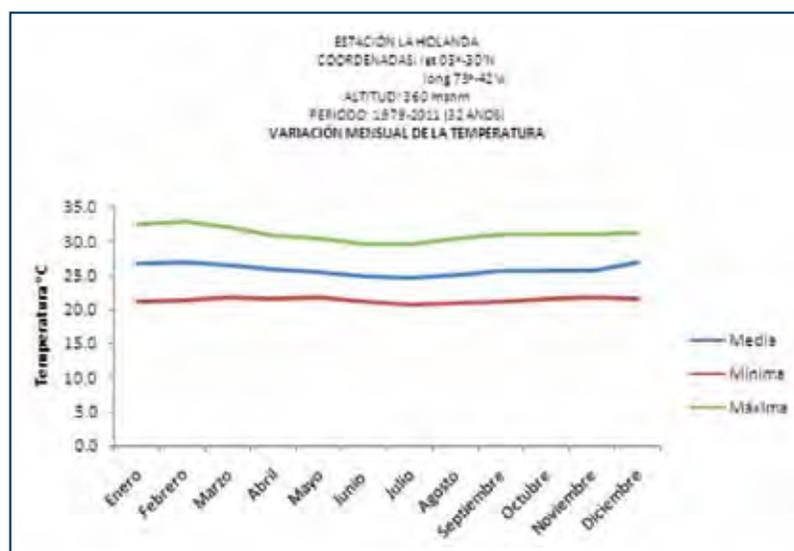


Figura 5. Variación mensual de la temperatura.

## Temperatura del suelo

### Cálculo

Todo lo que se refiere a la temperatura del suelo de un determinado lugar se debe proceder conforme a las normas estándares de observación (términos y horas), registros (fecha y épocas del año) y profundidades (centímetros) de observación. La temperatura mínima

del suelo se registra entre las 4:00 a.m. y 6:00 a.m., cuando este pierde rápidamente el calor y alcanza su mínimo valor en la mañana. La temperatura máxima del suelo se registra entre las 14:00 y 16:00 horas del día, debido a que hacia el mediodía el aire de las capas que estn en contacto con el suelo han alcanzado su máxima temperatura y por conducción y desfase; hacia el atardecer se llega a la máxima temperatura

del suelo. La relación y variación más exacta entre la temperatura del aire de las capas adyacentes a la superficie y la temperatura del suelo se traducen en un ciclo periódico que se repite día y noche y día a día, (García, 1978).

### Medida de la temperatura en el interior del suelo

Lo más indicado para determinar la temperatura del suelo es hacer medidas a varios niveles de profundidad, especialmente a 0, 5, 10, 20, 30, 50 y 100 centímetros, con termómetros especiales diseñados para tal fin, denominados geotermómetros. Los siguientes son los modelos de geotermómetros más indicados: a) El geotermómetro acodado de subsuelo en ángulo obtuso y vástago largo, es el más indicado porque sirve para diferentes profundidades. b) Geotermómetro blindado en varias longitudes está rematado en una caperuza protectora de cobre en forma puntiaguda para mejor penetración al suelo. c) Para medir las temperaturas a grandes profundidades del suelo se utilizan geotermómetros eléctricos con diseño especial.

### Análisis

Como la propagación de la onda térmica del suelo fluye hacia abajo, dentro de la tierra, sufre protuberante decrecimiento, lo que ocasiona que a partir de un metro de profundidad la temperatura del suelo es bastante uniforme y, al alcanzar los 10 metros, ya casi no cambia y puede considerarse prácticamente como constante.

### Interpretación

En el período lluvioso, la temperatura del suelo aumenta continuamente según sea la profundidad, a causa del enfriamiento de las capas superficiales y mejor conservación del calor en profundidad; en el período seco el comportamiento de la temperatura es completamente opuesto, por estar la superficie más cálida mientras que, a mayor profundidad, menor temperatura por liberación de calor que sube por conducción. Cabe anotar que cada tipo de suelo tiene sus propias características térmicas y régimen térmico

a lo largo del año, dependientes también de su propia composición, orientación al sol, contenido de humedad, cobertura vegetal y presencia de heladas.

## Radiación y brillo solar

### Cálculo

La radiación solar en la superficie de la Tierra se puede calcular mediante los siguientes métodos:

La radiación solar recibida en un punto de la Tierra en un momento dado depende de la latitud, de la estación del año y de la hora del día. Solamente una porción de la energía solar, radiación de onda corta, que llega a la atmósfera logra alcanzar la superficie de la Tierra, 66% en días claros a 22% en días muy nublados. La ecuación según sea la nubosidad del día es la siguiente:

$$R_N = R_G (0,803 - 0,340 C - 0,458 C^2),$$

$R_N$  es la radiación neta incidente en la superficie terrestre.  $R_G$  es la radiación solar global en el límite de la atmósfera, valores dados en tablas.  $C$  es la nubosidad promedio del día, mes o año en porcentaje (%), o en fracción decimal.

Si se conoce el número de horas de brillo solar efectivo ( $n$ ) y el número de horas del día astronómico ( $N$ ), dado en tablas astronómicas, la ecuación es la siguiente:

$$R_N = R_G \{a + b (n/N)\}$$

$R_N$  y  $R_G$  tienen el mismo significado anterior.

El brillo solar efectivo promedio ( $n$ ) en horas sol día, mensual o anual, resulta del cálculo de horas que estuvo el sol presente y registrado en un sistema de bandas de papel especial que señala las huellas quemadas al paso de los rayos solares (ver Figura 6). El tipo de banda que se coloca en Colombia depende de la época del año, la gráfica curva larga o curva norte se coloca de 16 de abril al 31 de agosto, la gráfica recta o central se coloca del 1 de marzo al 15 de abril y del 1 de septiembre al 15 de octubre, la gráfica curva corta o curva sur se coloca del 16 de octubre al 28 de febrero. El brillo solar astronómico ( $N$ ) en horas está calculado en tablas.

Cuando se conoce el albedo  $r$  (que es la proporción de radiación reflejada desde la superficie de la Tierra), la cantidad de radiación solar que penetra la superficie terrestre y que calienta el suelo, se calcula por la siguiente ecuación:

$$R_N = R_G (1 - r)$$

$R_N$  radiación solar neta incidente,  $R_G$  radiación solar global y  $r$  albedo.

La radiación proveniente de la superficie de la Tierra (reflejada) se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$R_b = \sigma T_a^4 \{0,56 - 0,09 (e_d)^{1/2}\} \{0,1 + 0,9 (n/N)\}$$

$\sigma = 8,17 \times 10^{-11} \text{ cal/cm}^2/\text{°K}^{-4}/\text{min}$  (Constante de Stefan)

$e_d$  = Presión del vapor a saturación a  $T_a$  expresada en mm de Hg.

$T_a$  = Temperatura del aire en grados absolutos (°K)

Cuando se dispone de un instrumento de precisión para medir el flujo de radiación solar incidente no es necesario utilizar ecuaciones teóricas para estimar la radiación solar, porque el mismo puede registrar flujos de radiación directa, difusa y reflejada.

La radiación solar neta ( $R_n$ ) absorbida por una superficie de albedo ( $r$ ) será entonces:

$$R_n = R_N (1 - r) - R_b$$

El uso de fórmulas para calcular la radiación se debe a que es más fácil encontrar datos de horas de brillo solar, longitud del día astronómica y nubosidad, que lecturas de radiación efectiva medida con instrumentos.

## Análisis

Para comprender mejor el proceso de la información relacionada con el brillo solar es conveniente tomar los registros en las estaciones meteorológicas con el instrumento heliógrafo y arreglar los datos en series estadísticas mensuales y anuales, para luego procesar la información de acuerdo con la utilidad y aplicación que requiere el investigador.

## Interpretación

Con los valores arreglados de nubosidad y brillo solar se procede a estimar la radiación solar por los diferentes métodos. El método más utilizado es el de la aplicación de la ecuación de Angstrom:

$$R_N = R_G \{a + b (n/N)\}$$

Con este procedimiento se pueden elaborar tablas de cálculo de la radiación solar para el territorio colombiano. Un ejemplo práctico se presenta en la Figura 6 que muestra la representación del brillo solar para la estación meteorológica La Holanda.

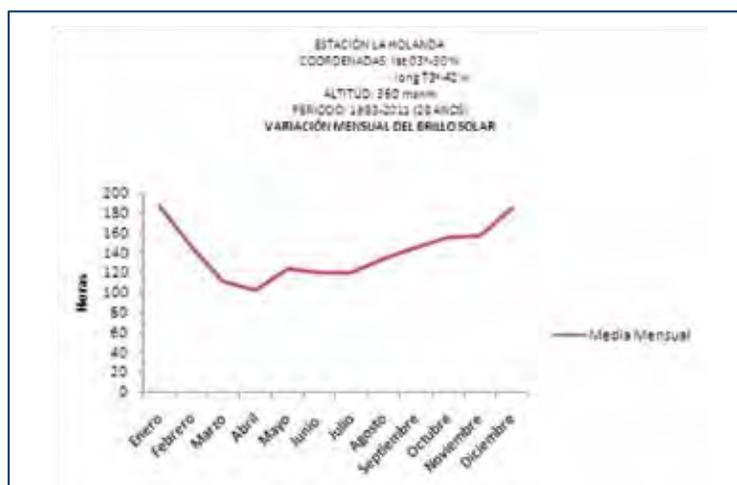


Figura 6. Distribución mensual brillo solar, estación La Holanda.

Dado que las tablas sólo muestran datos estadísticos, la mejor representación e interpretación de ellos son los gráficos, diagramas y los mapas construidos a partir de ellos. Así que de esta forma se presentan en la Figura 6 la variación en el tiempo del brillo solar.

## Humedad del aire

### Cálculo

La humedad relativa se mide directamente con instrumentos sencillos como el higrómetro de cabellos o el polímetro de Lambrecht. Cuando no se dispone de instrumentos de medida directa, la humedad relativa del aire se puede calcular por varios métodos teóricos, pero no es fácil disponer de otras variables climatológicas que permiten estimar los valores.

Los valores promedios diarios, mensuales y anuales se pueden calcular con base en los datos registrados en los instrumentos y arreglados en series estadísticas para el proceso de análisis correspondiente. La forma más práctica de cálculo es la siguiente:

$$\text{Humedad relativa media diaria, } H_r = \{(7) H_{r1} + (13) H_r + (13) H_{r2}\} / 3$$

$$\text{Humedad relativa media mensual, } H_r = \{H_{r1} + H_{r2} + H_{r3} + \dots + H_{r31}\} / 31$$

$$\text{Humedad relativa media anual, } H_r = \{H_{r1} + H_{r2} + H_{r3} + \dots + H_{r12}\} / 12$$

Cuando se utilizan instrumentos de estaciones automáticas el cálculo del promedio diario resulta de la siguiente operación aritmética:

$$H_r = \{H_{r1} + H_{r2} + H_{r3} + \dots + H_{r24}\} / 24$$

### Análisis

La variable climatológica humedad relativa ( $H_r$ ) representa la tendencia y cambio del contenido de vapor de agua en el aire, con la característica que en las horas de la mañana y en la noche la humedad del aire aumenta; en las horas del mediodía y de la tarde la humedad disminuye marcando una oscilación perió-

dica diaria y similar durante la mayor parte de los días del mes. En cambio, en el transcurso del año la curva fluctuación mensual se hace pronunciada ascendente en los meses de lluvia y pronunciada descendente, en los meses secos de poca humedad.

### Interpretación

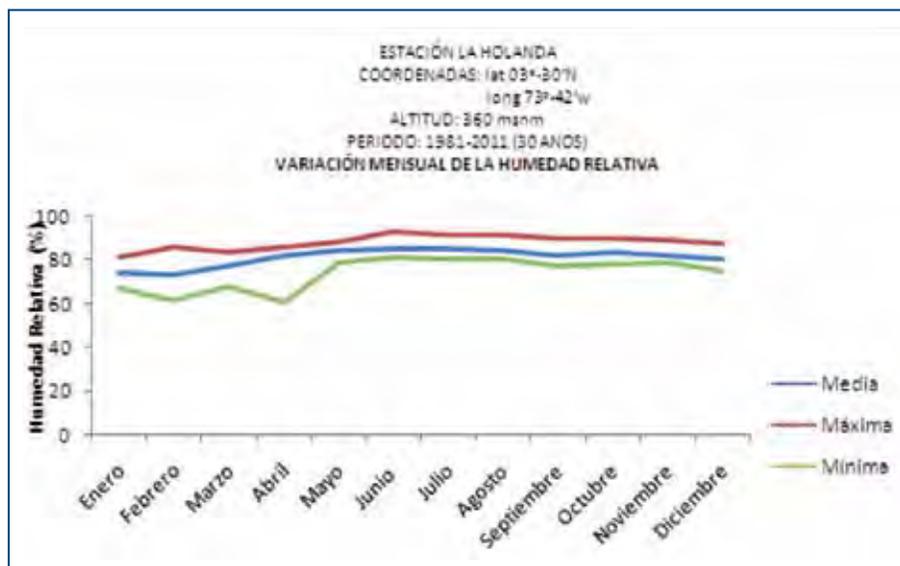
La variable climática humedad relativa significa el estado higrométrico del aire en un momento dado y la tendencia de la variabilidad está influenciada por la temperatura del aire, determinando que en las horas de la mañana la temperatura es baja y la humedad relativa alta. Caso contrario ocurre en las horas de la tarde cuando la temperatura del aire es alta y la humedad baja. Estas tendencias de oscilación se presentan de forma fluctuante y cíclica a lo largo del mes. En el transcurso del año, las fluctuaciones de menor humedad se presentan en los meses de verano y la fluctuación de mayor humedad relativa en el aire se presenta en los meses de invierno. Esta tendencia cíclica se puede observar de forma clara en la Figura 7.

## Viento

### Cálculo

La fuerza del viento es aproximadamente igual al cuadrado de la velocidad sobre la superficie de presión. La dirección se suele referir al punto más próximo de la rosa náutica, o rosa de los vientos, que consta de ocho rumbos principales entre los cuales se efectúan subdivisiones intermedias (Figura 8); la velocidad o fuerza se mide con instrumentos llamados anemómetros que pueden ser de cazoletas, que giran más o menos rápidamente según la velocidad del aire. Otros tipos aprovechan el efecto de succión o compresión que se originan porque la presión que ejerce el aire en movimiento es mayor que la del mismo en reposo, de tal manera que se mide esa diferencia de presión que depende de la velocidad del viento (Tubo de Pitot).

Existe una escala de 12 grados para tener una idea precisa de la fuerza del viento por observación ocular. Fue propuesta por el almirante inglés Sir Francis Beaufort y aceptada internacionalmente hasta el presente.



**Figura 7.** Variación humedad relativa media mensual de la estación La Holanda.

## Análisis

El viento es un factor muy importante para el agricultor, puesto que es el responsable directo o circunstancial de las características climatológicas de una zona. Con él van vinculados muchos fenómenos meteorológicos favorables o adversos para la agricultura, incluso problemas de erosión de los suelos. Para entender la magnitud y calificación con que actúa la fuerza del viento se ilustra la interpretación de la escala de Beaufort (para su mejor interpretación, vea la Tabla 1 en la siguiente página).

## Interpretación

En los mapas agroclimatológicos la dirección de viento, fuerza y velocidad son representados en mapas, en

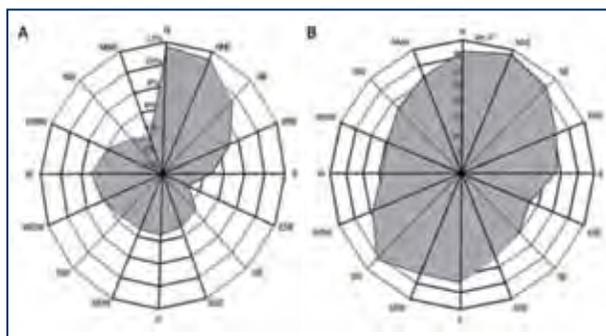
los cuales están representados la dirección por la rosa de vientos; en los tumbos se expresan las frecuencias dominantes y en el círculo central del mapa el número de calmas, todo en tanto por ciento del total de las observaciones.

## Escala de vientos de Beaufort

La escala Beaufort fue creada por el almirante irlandés Francis Beaufort que comenzó a prestar sus servicios a la Armada Real Británica cuando tenía apenas trece años de edad. En 1.806 creó la escala homónima para expresar la fuerza del viento. Consta de doce grados que definen la relación causa/efecto de las diversas intensidades del viento sobre la superficie del mar. Esta escala fue adoptada en 1874 por el Comité Meteorológico Internacional.

**Tabla 1.** Interpretación de la fuerza del viento de la escala de Beaufort.

Definición	Nudos	m/seg	km/h	Condición en tierra	Condición en el mar
F0-Calma	s< 1	0-0,2	< 1	El humo sube verticalmente.	El mar está como un espejo.
F1-Ventolina	1-3	0,3-1,5	1-5	La dirección del viento se define por la del humo, pero no por las veletas y banderas.	Rizos sin espuma.
F2-Flojito (Brisa muy débil)	4-6	1,6-3,3	6-11	El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, veletas y banderas.	Olas pequeñas que no llegan a romper.
F3-Flojo (Brisa débil)	7-10	3,4-5,4	12-19	Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se despliegan las banderas.	Olas algo mayores cuyas crestas comienzan a romper. Borreguillos dispersos.
F4-Bonacible (Brisa moderada)	11-16	5,5-7,9	20-28	El viento levanta los árboles pequeños. En los estanques se forman olas pequeñas.	Las olas se hacen más largas. Borreguillos numerosos.
F5-Fresquito (Brisa fresca)	17-21	8,0-10,7	29-38	Se mueven los árboles pequeños. En los estanques se forman olas pequeñas.	Olas moderadas alargadas. Gran abundancia de borreguillos, eventualmente algunos rociones.
F6-Fresco (Brisa fuerte)	22-27	10,8-13,8	39-49	Se mueven las ramas grandes de los árboles. Se utilizan con dificultad los paraguas.	Comienzan a formarse olas grandes. Las crestas de espuma blanca se extienden por todas partes. Aumentan los rociones.
F7-Frescachón (Viento fuerte)	28-33	13,9-17,1	50-61	Todos los árboles se mueven. Es difícil andar contra el viento.	El mar engruesa. La espuma de las crestas empieza a ser arrastrada por el viento, formando nubecillas.
F8-Temporal	34-40	17,2-20,7	62-74	Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.	Olas de altura media y más alargadas. De las crestas se desprenden algunos rociones en forma de torbellinos. La espuma es arrastrada en nubes blancas.
F9-Temporal fuerte	41-47	20,8-24,4	75-88	Ocurren desperfectos en las partes salientes de los edificios, cayendo chimeneas y levantando tejados.	Olas gruesas. La espuma es arrastrada en capas espesas. Las crestas de las olas comienzan a romper. Los rociones dificultan la visibilidad.
F10-Temporal duro	48-55	24,5-28,4	89-102	Se observa rara vez. Arranca árboles y ocasiona daños de consideración en los edificios.	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. La espuma se aglomera en grandes bancos, siendo arrastrada por el viento en forma de espesas estelas blancas. En su conjunto la superficie del mar parece blanca. La visibilidad se reduce.
F11-Temporal muy duro	56-63	28,5-32,6	103-117	Observada muy rara vez. Ocasiona destrozos en todas partes.	Olas excepcionalmente grandes (los buques de pequeño y mediano tonelaje pueden perderse de vista). El mar está completamente cubierto de bancos de espuma blanca extendida en la dirección del viento. Se reduce aún más la visibilidad.
F12-Temporal huracanado	64-71	32,7-36,9	118-133		El aire está lleno de espuma y de rociones. El mar está completamente blanco debido a los bancos de espuma. La visibilidad es muy reducida.



**Figura 8.** Polígono y rosa de vientos. Fuente: OMM, 2010. Guide to Agricultural Meteorological Practices.

## Nubes y nubosidad

### Cálculo

La nubosidad que se aprecia sin aparatos es de observación visible y para esto se supone que todos los tipos de nubes que se observan en un momento dado se agrupan unas a continuación de otras, quedando imaginariamente el cielo dividido en dos partes, una despejada y otra cubierta. Las observaciones deben hacerse siempre desde un mismo punto de la estación y considerando la bóveda celeste visible desde este punto.

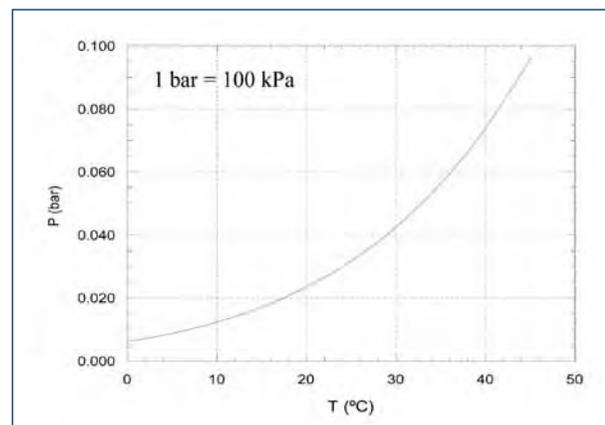
El cálculo de la nubosidad se hace dividiendo el cielo en ocho partes (octas) y teniendo en cuenta que el cero es cielo sin nubes (totalmente descubierto); cuatro octas es la mitad del cielo cubierto y ocho es el cielo totalmente cubierto. Los otros valores (octas) son intermedios. Los registros de la nubosidad se hacen a las 7, 13 y 19 horas y se anotan en el formulario correspondiente.

## Tensión del vapor de agua

### Cálculo

Para medir el grado de humedad del aire y la cantidad de vapor de agua se utiliza el psicrómetro de ventilación artificial tipo Assman (Figura 9), que consta de dos termómetros, uno seco que mide la temperatura real del aire y el otro húmedo o mojado, llamado así porque su depósito de mercurio está rodeado por una muselina húmeda. Con la lectura de los dos termó-

metros y las tablas confeccionadas para tal efecto se calcula exactamente la humedad relativa y la tensión del vapor. Para equivalencia la unidad de presión atmosférica a nivel del mar es:  $10^5$  newtons/m<sup>2</sup> = 1 bar = 1.000 milibares (mb) = 1.000 hectopascas (hPa).



**Figura 9.** Curva de saturación de vapor de agua.

Fuente: Salvat GT. 1974. La atmósfera y la predicción del tiempo.

### Análisis

La tensión actual del vapor de agua es la parte de presión que corresponde a la ejercida por el vapor de agua existente en el aire; se mide como se mencionó anteriormente, en milibares o en milímetros de mercurio. Se puede designar por el símbolo  $e_a$ .

La tensión de saturación es cuando el aire no puede retener más vapor de agua y por tanto decimos que queda saturado, la presión que ejerce, entonces, el vapor de agua se llama tensión máxima de vapor o tensión de saturación. Igualmente se mide en milibares o en milímetros de mercurio (mm de Hg).

Déficit de saturación: es la cantidad de agua que aún falta para saturar un metro cúbico de aire con vapor de agua. Se mide igual que en las unidades anteriores. Se representa como la diferencia que hay entre la saturación y la tensión de vapor actual. Se puede denominar con la fórmula:

$$\Delta_e = e_w - e_a$$

## Rocío y escarcha

### Cálculo

Para el objetivo de esta guía el rocío se puede medir directamente con un instrumento especial denominado rociógrafo. Cuando el rocío se congela se transforma en escarcha. Los registros obtenidos se procesan en igual forma como se hace con los de la humedad relativa.

## Evaporación

### Cálculo

La evaporación se mide con el instrumento llamado tanque de evaporación clase A y la unidad de medida utilizada es el milímetro (mm). Un milímetro es el espesor de una lámina de agua que forma un litro en una superficie de un m<sup>2</sup>.

Los registros diarios obtenidos con este instrumento se hacen a las 7, 13 y 19 HLC. Así mismo los datos mensuales son la recopilación de los datos diarios y, en consecuencia, los valores anuales es la sumatoria de los valores mensuales.

Existen varios métodos teóricos para calcular la evaporación del agua cuando no hay instrumentos de medida directa, entre ellos, el más sencillo es aplicar la ecuación empírica de Dalton:

$$E_o = 0,40 (e_w - e_a) (1 - 0,17 u_2) \text{ mm/día}$$

$E_o$  = Evaporación de la superficie del agua en mm/día por el método aerodinámico simplificado de Dalton.

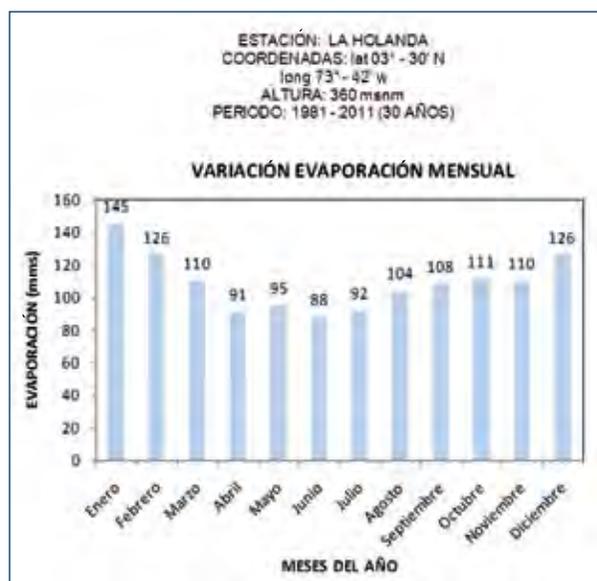
$e_w$  = Tensión del vapor de agua en mb sobre la superficie de evaporación.

$e_a$  = Presión del vapor de agua a una altura de 2 metros sobre la superficie del suelo.

$U_2$  = Velocidad del viento en millas por hora a una altura de 2 metros.

## Interpretación

La variación de la evaporación mensual se muestra en la Figura 10 que corresponde a los registros mensuales de la evaporación de la estación La Holanda, municipio de Granada, departamento del Meta.



**Figura 10.** Variación de la evaporación mensual en la Estación Holanda (1981-2001).

## Transpiración

### Cálculo

En plantaciones de cultivos sólo un porcentaje del suelo está a libre exposición, lo cual disminuye la evaporación. Debido a esto, para establecer el consumo promedio diario (en mm/día) del cultivo por transpiración, se emplea sólo el valor de la transpiración ( $T_r$ ). Una de las fórmulas empíricas más utilizadas en nuestro medio es la siguiente:

$$T_r = ET \times P_s / 85$$

ET = Evapotranspiración potencial

$P_s$  = Porcentaje de área sombreada (%) por planta del cultivo.

## Evapotranspiración potencial

### Cálculo

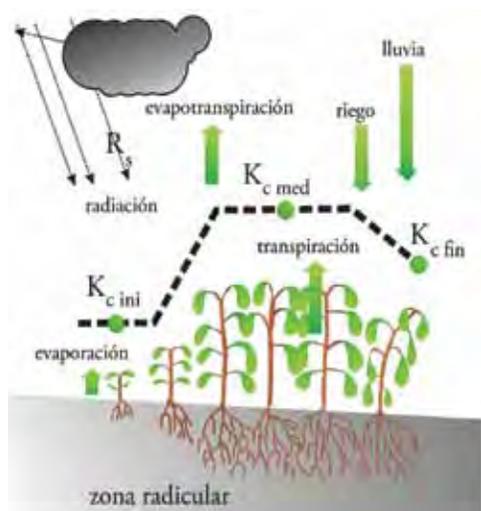
El agua necesaria a reponer al suelo es aquella consumida por la planta (transpiración) y la que se evapora directamente del suelo (evaporación) que conjugadas conforman lo que se conoce como evapotranspiración potencial del cultivo (ETP).

Para determinarla existen varios métodos empíricos con fundamento en variables climatológicas; sin embargo, uno de los más utilizados es el tanque de evaporación clase A. Las mediciones que se realizan en este instrumento, expresadas en una lámina de agua en milímetros (mm), determinan la evaporación diaria (Ev). Para calcular la evapotranspiración del cultivo se hace necesario multiplicar este valor por un coeficiente de cultivo (Kc) que depende del tipo de cultivo y estado de crecimiento. La ecuación es la siguiente:

$$ET = K_c \times E_v; \text{ ET y } E_v \text{ expresadas en mm/día}$$

### Análisis

En la siguiente figura, se pueden determinar los parámetros biofísicos que intervienen en la cuantificación de la evapotranspiración potencial de un cultivo determinado.



**Figura 11.** Esquema de evapotranspiración potencial. (Fuente: FAO, 1990).

### Interpretación

Para determinar el requerimiento de agua de un cultivo (cualquiera que sea) la evapotranspiración potencial (ETP) se puede calcular por métodos empíricos o por métodos directos. Sin embargo, los métodos directos son muy complicados por la construcción e implementación de equipos y accesorios complementarios. Ahora para el cálculo por métodos indirectos (fórmulas empíricas) se requiere de registros de todas las variables climatológicas que no es fácil obtener en toda categoría de estación meteorológica; es el caso del método de Penmann y por eso no se aplica para esta guía. De acuerdo con esta apreciación, el método que resultaría más práctico es el de Thornthwaite expresado por la ecuación abajo referenciada, dado que utiliza dos variables climáticas; temperatura media mensual y el índice de calor mensual para la ETP y para el balance hídrico climático los promedios mensuales de la ETP y de la precipitación. Para el cálculo se aplica:

$$ETP = 16 (10T/I)^a$$

De donde ETP es la evapotranspiración potencial en mm para meses de 30 días y 12 horas día de luminosidad. T es la temperatura media mensual en grados centígrados, a es una constante que varía de acuerdo a la altitud y latitud, I es el índice de calor anual.

Para calcular I, primero se calcula el índice de calor mensual (i), siendo:

$$i = (T/5)^{1.514}$$

$$I = i_{ene} + i_{feb} + i_{mar} + \dots + i_{dic}, \text{ I, índice de calor anual}$$

Para determinar la constante (a) se debe usar la siguiente ecuación:

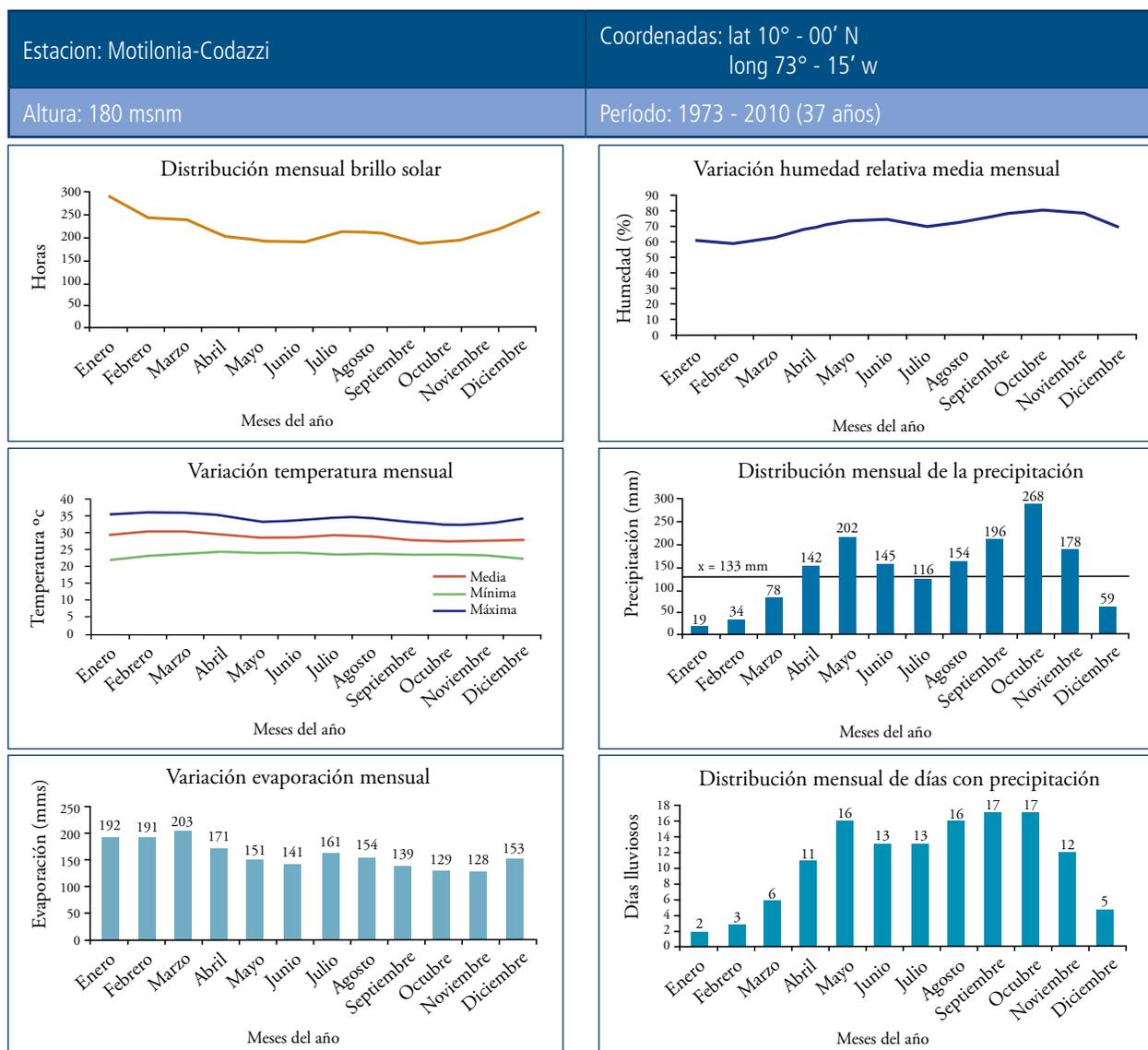
$$a = 0,000000653I^3 - 0,0000771I^2 + 0,01792I + 0,49239$$

## Aplicación de metodos agroclimatologicos

### Diagramas climáticos

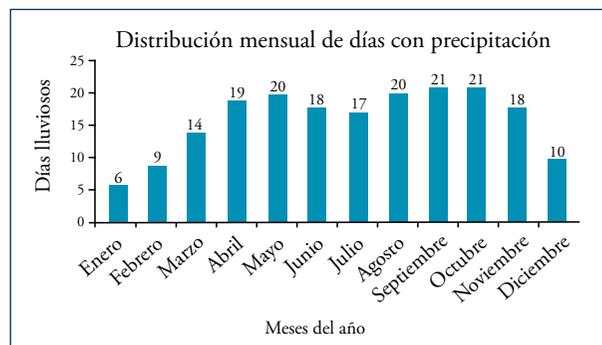
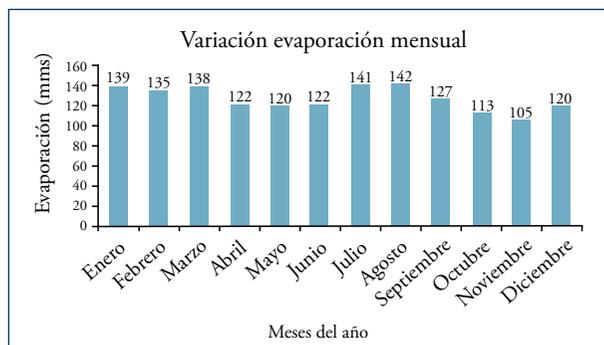
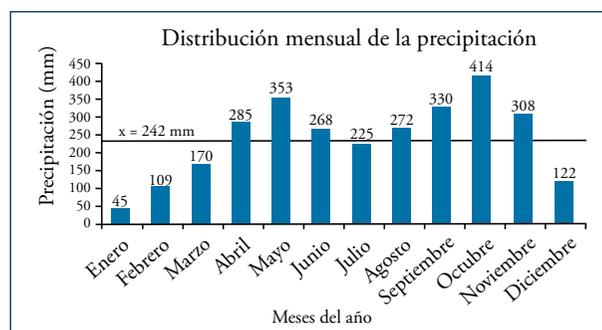
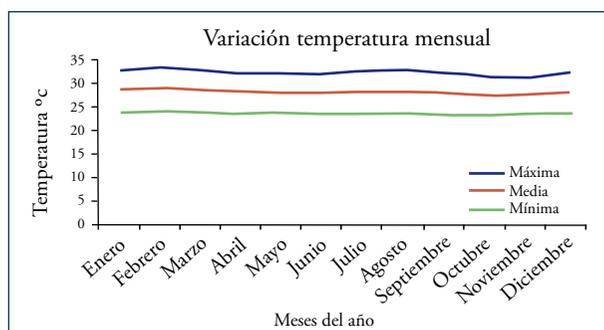
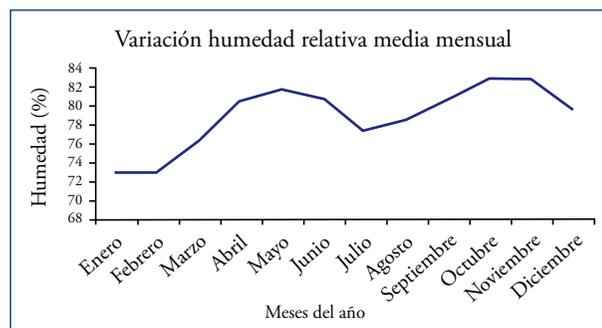
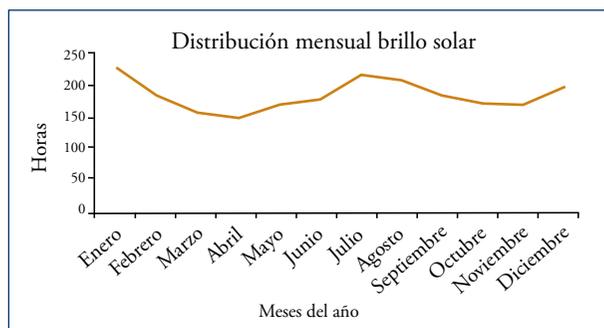
En la introducción de esta unidad de aprendizaje se resaltó la importancia de representar, en forma objetiva, los datos registrados de las variables climatológicas como un método lógico de análisis. Es decir que la elaboración de cuadros, gráficos, diagramas, mapas y boletines es la forma indicada para reportar el resumen

analítico del estado del tiempo presente y del clima reinante de una zona. Siguiendo esta metodología se presenta la descripción esquemática de las condiciones predominantes del clima de las cuatro zonas palmeras de Colombia. Los diagramas siguientes muestran la variabilidad del clima en el tiempo como resultado del análisis de series estadísticas climáticas de 35 años de promedio registradas en las zonas cultivadas en palma de aceite al norte, centro, oriente y suroccidente de Colombia.



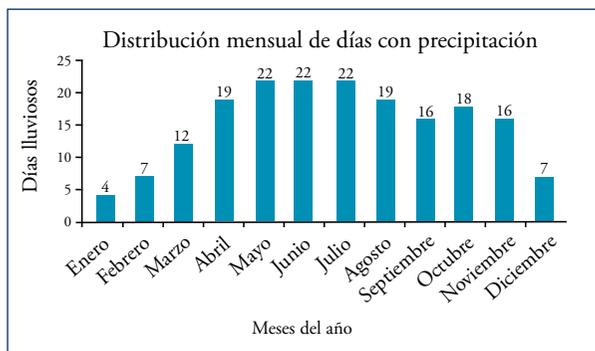
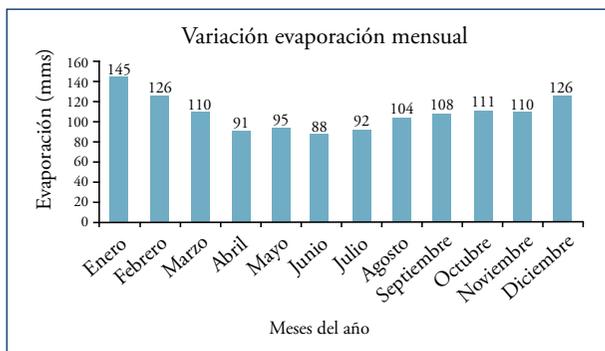
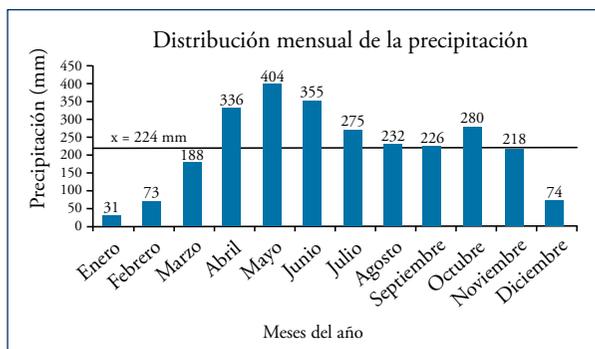
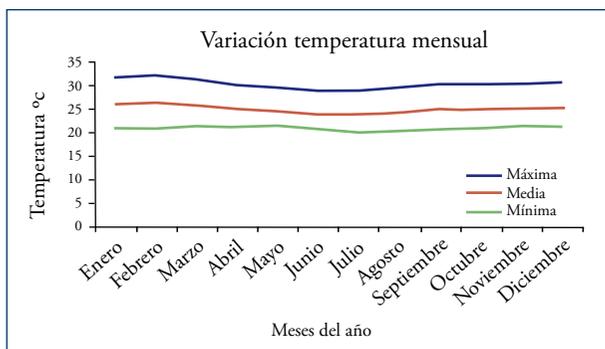
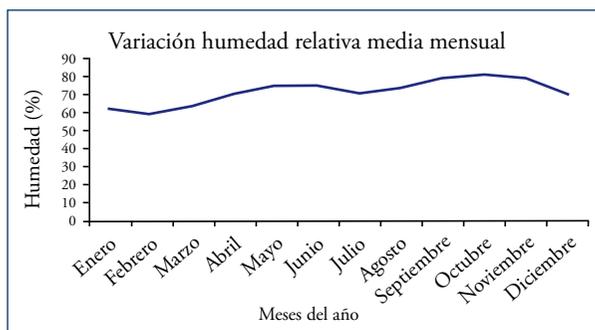
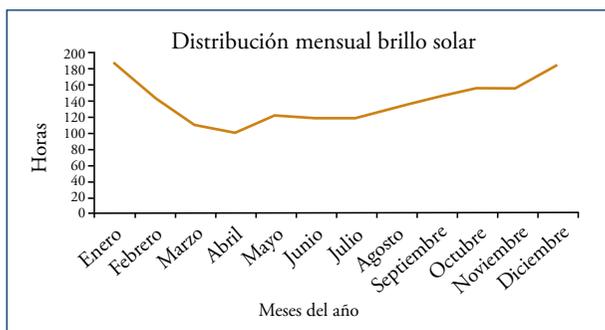
**Figura 12.** Gráficas del comportamiento de las principales variables meteorológicas de la estación Motilonia - Codazzi durante 2011.

Estacion: Apto Yarigües	Coordenadas: lat 07° - 01' N long 73° - 48' w
Altura: 126 msnm	Período: 1973 - 2012 (39 años)

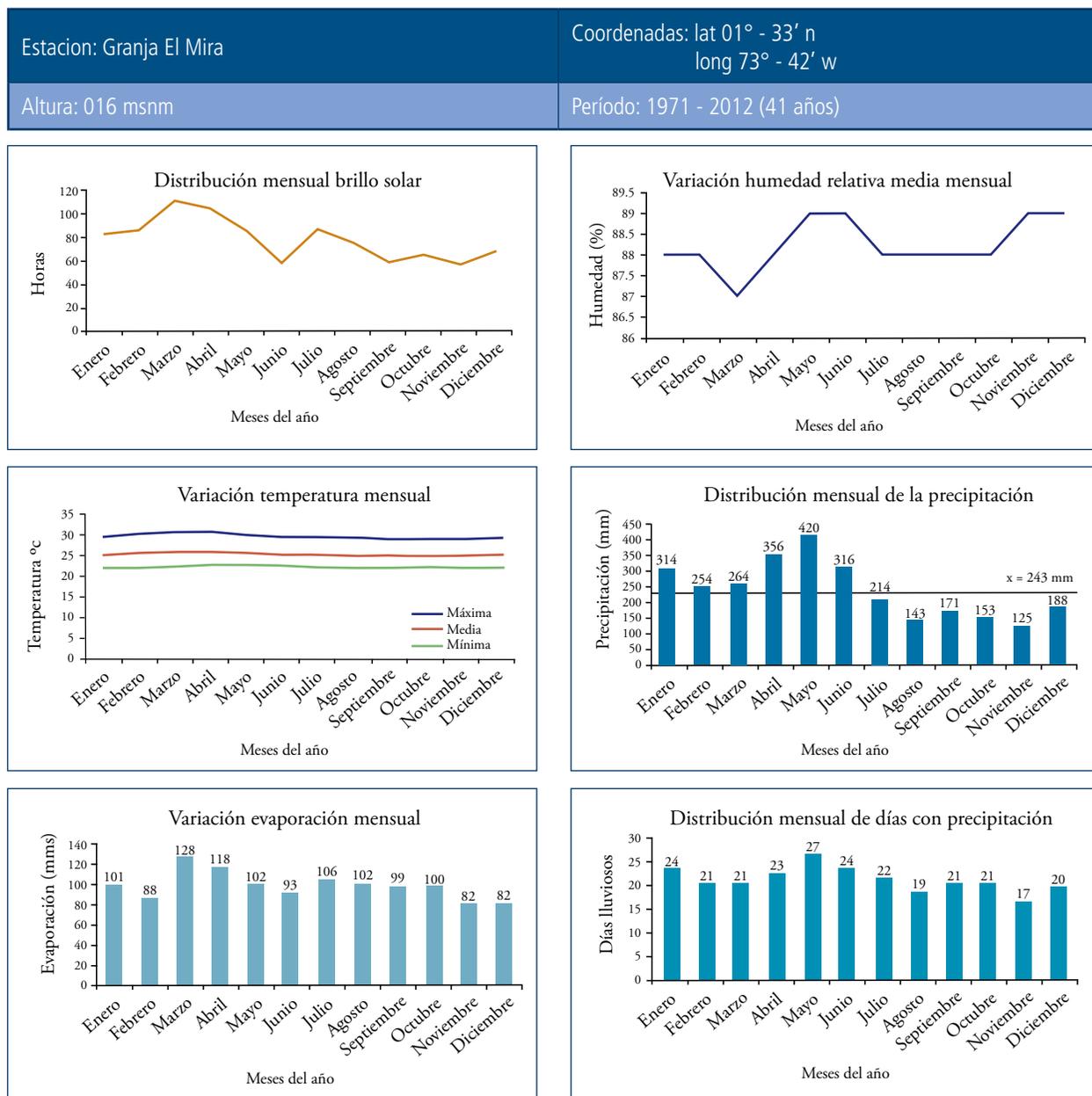


**Figura 13.** Gráficas del comportamiento de las principales variables meteorológicas de la estación Apto Yarigües durante 2011.

Estación: La Holanda	Coordenadas: lat 03° - 30' n long 73° - 42' w
Altura: 360 msnm	Período: 1983 - 2011 (28 años)



**Figura 14.** Gráficas del comportamiento de las principales variables meteorológicas de la estación La Holanda - Meta durante 2011.



**Figura 15.** Gráficas del comportamiento de las principales variables meteorológicas de la estación El Mira - Tumaco durante 2011.

### Determinación del balance hídrico climático por el método de Thornthwaite

Para determinar el balance hídrico por el método de Thornthwaite es necesario elaborar el cuadro de cálculo y el esquema de representación gráfica con las variables

climáticas que entran en el balance. Para ilustración se presenta el balance hídrico de la estación representativa de cada una de las cuatro zonas palmeras de Colombia: Codazzi Zona Norte, Yariguéz Zona Central, La Holanda Zona Oriental y Granja El Mira Zona Suroccidental. Ver en las páginas siguientes el cálculo de los balances hídricos y los gráficos respectivos.

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL													
Datos de precipitación y temperatura media mensual-Agustín Codazzi - Cesar													
	Enero	Febrero	Primer paso Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Precipitación	18,5	33,9	77,6	143,5	201,7	144,6	115,7	153,9	195,7	267,7	178,3	99,3	1580,4
Temperatura	28,4	30,2	30,3	30,3	29,6	28,7	28,6	29,1	28,8	28	27,5	27,5	28,8
Segundo paso													
Cálculo del índice de calor mensual (i)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
i	14,62	15,22	15,30	15,30	14,77	14,06	14,02	14,39	14,17	13,58	13,23	13,28	13,05
Tercer paso													
Cálculo del valor de a (exponencial)													
a		3,224743686	2,235848596	3,0516309573	0,49239								
Cuarto Paso													
Cálculo ETP Mensual													
ETP (mm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
ETP (mm)	190,16	234,77	238,01	296,09	170,48	187,81	181,52	173,19	152,43	140,47	142,80	154,93	2103
Quinto paso													
Cálculo de la evapotranspiración potencial corregida													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
M	11,61	11,80	11,06	12,34	12,58	12,70	12,65	12,45	12,19	11,91	11,68	11,55	
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Km	1,00	0,92	1,04	1,03	1,08	1,06	1,09	1,07	1,03	1,03	0,97	0,99	
ETP corregida (mm)	190,08	197,18	226,49	201,69	184,63	172,55	197,68	189,67	154,80	144,10	138,94	154,09	2152,88
Sexto paso													
CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Precipitación (mm)	19	34	78	142	202	145	116	154	196	268	178	99	1588
ETP corregida (mm)	190	197	226	202	185	178	198	186	155	144	139	154	2153
Δ (mm)	-172	-163	-149	-60	17	-33	-82	-32	41	124	39	-55	-564
Almacenamiento (mm)	0	0	0	0	17	0	0	0	41	100	100	5	263
Δ Almacenamiento (mm)	0	0	0	0	17	-17	0	0	41	59	0	-95	3
ETR	19	34	78	142	189	162	119	154	159	144	139	154	1479
Déficit (mm)	172	163	149	60	0	33	82	32	0	0	0	0	876
Exceso (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	39	0	104

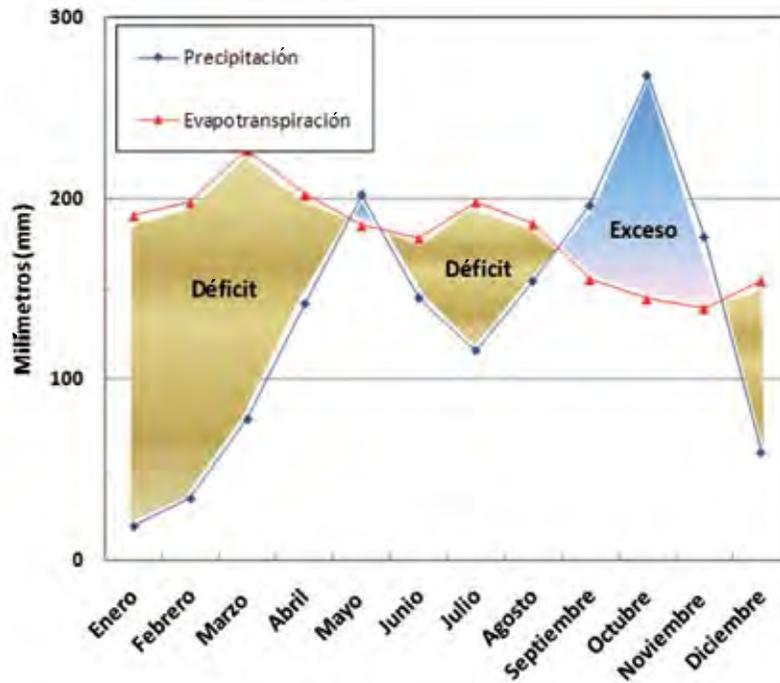


Figura 16. Gráfico del balance hídrico climático de la estación Agustín Codazzi - Cesar.

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL													
Datos de precipitación y temperatura media mensual- Estación Yariquíes - Barrancabermeja													
	Enero	Febrero	Primer paso Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Precipitación		45,4	108,8	170,3	284,5	352,8	258,3	224,8	272	329,8	414,2	307,9	2900,5
Temperatura	28,5	28,7	28,4	28,4	27,9	27,7	27,8	28	27,9	27,5	27	27,2	27,8
Segundo paso Cálculo del índice de calor mensual (I)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
I	18,94	18,94	14,08	13,87	13,30	13,36	14,43	13,58	13,50	13,21	12,85	12,99	13,43
Tercer paso Cálculo del valor de a (exponencial)													
a		3,763515132	4,14	2,017221036	2,888951456	0,49239							
Cuarto Paso Cálculo ETP Mensual													
ETP (mm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
	186,88	171,57	164,77	152,63	148,15	250,38	154,91	157,61	141,78	133,77	137,40	150,38	1826
Quinto paso Cálculo de la evapotranspiración potencial corregida													
W	11,76	11,90	12,06	12,27	12,44	12,52	12,49	12,35	12,18	11,97	11,81	11,72	
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Rm	1,01	0,93	1,04	1,02	1,07	1,04	1,08	1,06	1,01	1,03	0,98	1,01	Total
ETP corregida (mm)	168,81	158,76	170,86	156,10	158,67	254,92	166,56	162,29	145,79	137,39	135,20	151,80	1869,11
Sexto paso CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO													
Precipitación (mm)	49	109	170	285	353	258	225	272	330	414	308	122	2901
ETP corregida (mm)	189	159	171	156	159	257	167	162	146	137	135	152	1869
Δ (mm)	-123	-50	-1	128	194	111	58	110	184	277	173	-30	1031
Almacenamiento (mm)	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	79	870
Δ Almacenamiento (mm)	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	-30	70
ETR	45	109	170	156	158	157	167	162	146	137	135	152	1695
Deficit (mm)	-123	30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174
Exceso (mm)	0	0	0	28	294	111	58	110	184	277	173	0	1135

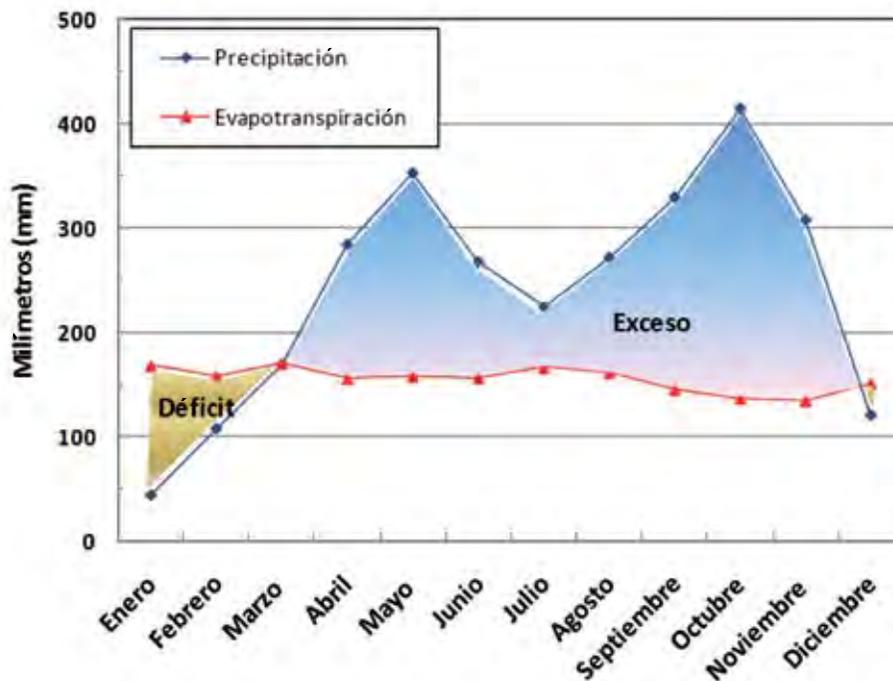


Figura 17. Gráfico del balance hídrico climático de la estación Yariquíes - Barrancabermeja.

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL														
Datos de precipitación y temperatura media mensual- Estación La Holanda - Meta														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
Precipitación		31.4	72.8	108	333.8	401.9	355.3	274.0	252.2	226.6	279.8	221.7	73.8	2853.9
Temperatura		26.3	26.8	26.8	25.7	25.3	24.7	24.0	24.9	25.5	25.3	25.0	25.8	25.6
Cálculo del índice de calor mensual (I)														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
I		12.49	12.70	12.42	11.92	11.84	11.23	11.10	11.37	11.78	11.78	11.45	11.99	142.25
Cálculo del valor de a (separación)														
a		1.883420804	1.502225807	2.5508371458	0.48239									
Cálculo ETP Mensual														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
ETP (mm)		129.47	134.47	127.84	116.79	110.76	102.19	100.80	105.00	113.70	113.70	115.26	118.31	1388
Cálculo de la evapotranspiración potencial corregida														
N		11.96	14.01	11.09	12.14	12.29	12.32	12.36	11.24	12.14	12.04	11.96	11.02	
Días		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
km		1.09	0.91	1.04	1.02	1.06	1.09	1.06	1.05	1.01	1.04	1.00	1.08	Total
ETP corregida (mm)		133.13	125.57	133.14	118.05	117.11	104.91	106.78	110.58	115.00	117.07	114.93	121.48	1429.90
CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
Precipitación (mm)		31	73	108	336	404	351	275	237	227	281	220	74	2034
ETP corregida (mm)		133	130	133	118	117	105	107	111	115	118	115	121	1419
Δ (mm)		-102	-57	55	217	287	250	168	122	112	162	105	-48	1275
Almacenamiento (mm)		0	0	68	100	100	100	100	100	100	100	92	92	-987
Δ Almacenamiento (mm)		0	0	55	45	0	0	0	0	0	0	0	-48	52
ETP		31	73	133	119	117	105	107	111	116	118	116	121	1265
Déficit (mm)		102	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135
Exceso (mm)		0	0	0	172	287	250	168	122	112	162	105	0	1377

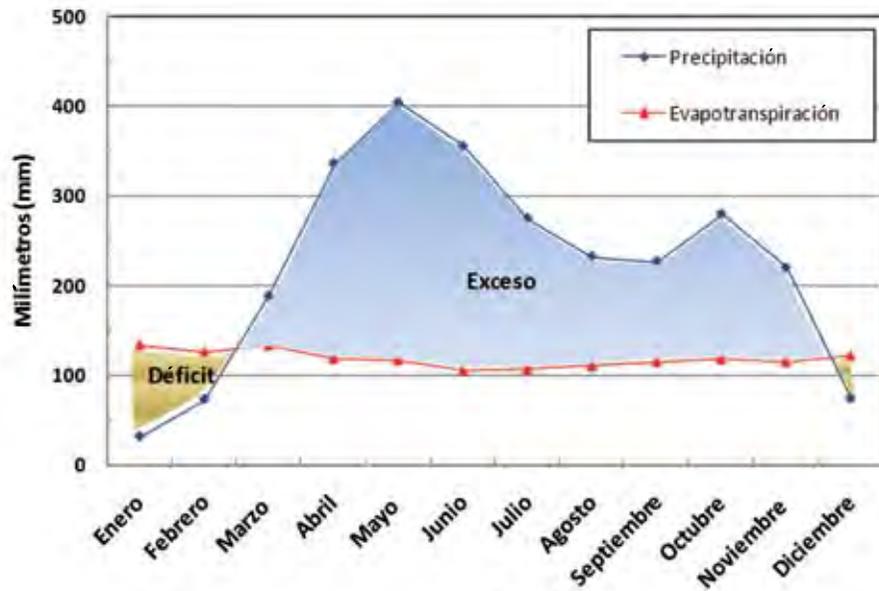


Figura 18. Gráfico del balance hídrico climático de la estación La Holanda - Meta.

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL														
Datos de precipitación y temperatura media mensual- Estación Mira - Tumaco														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
Precipitación		313.8	253.8	264.2	356.4	420.2	315	213.7	143	171.3	152.8	125.4	188.2	2918.8
Temperatura	25.9		25.8	26.2	26.1	25.9	25.4	25.4	25.2	25.1	25.2	25.3	25.3	
Cálculo del índice de calor mensual (I)														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
I	11.78		11.99	12.28	12.21	12.06	11.71	11.71	11.57	11.50	11.57	11.50	11.64	141.55
Cálculo del valor de a (exponencial)														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
a		1.851982297	1.544792472	2.5385643743	0.49239									
		3.34												
Cálculo ETP Mensual														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
ETP (mm)	114.01	118.55	124.79	123.21	120.09	112.53	112.53	109.60	108.15	109.60	108.15	111.05	1372	
Cálculo de la evapotranspiración potencial corregida														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
h	12.04	12.68	12.30	12.19	12.19	12.21	12.30	12.17	12.17	12.08	11.68	12.68	13.68	
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	
Kim	1.04	0.94	1.04	1.02	1.02	1.02	1.05	1.05	1.01	1.04	1.00	1.04	1.04	
ETP corregida (mm)	118.21	111.26	130.07	124.73	126.03	114.48	118.21	114.81	109.26	114.02	108.58	113.07	1404.73	
Cálculo del balance hídrico														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
Precipitación (mm)	314	254	264	314	420	316	214	143	171	153	125	188	2919	
ETP corregida (mm)	118	111	130	125	126	114	118	115	109	114	109	113	1405	
A (mm)	196	143	134	232	294	202	95	28	62	39	17	73	1518	
Almacenamiento (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1200	
Δ Almacenamiento (mm)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
ETR	118	111	130	125	126	114	118	115	109	114	109	113	1405	
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Exceso (mm)	96	143	134	232	294	202	95	28	62	39	17	73	1414	

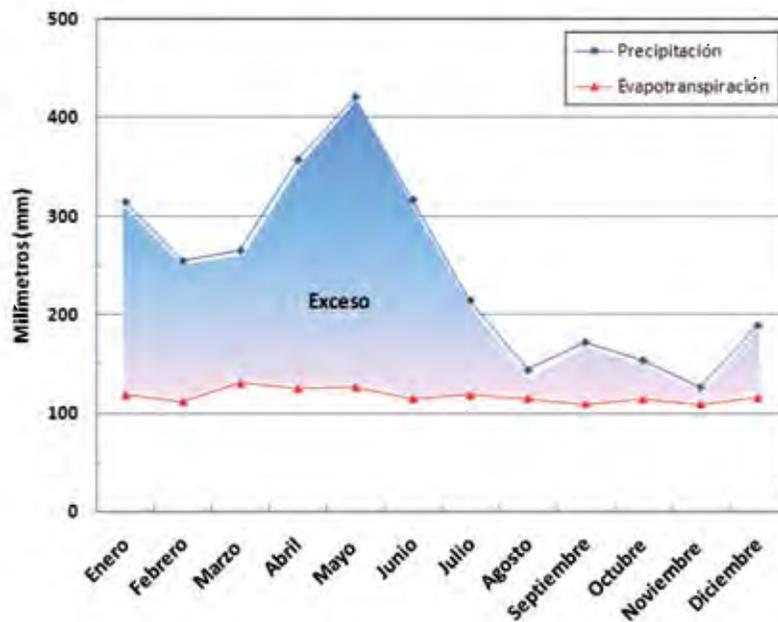


Figura 19. Gráfico del balance hídrico climático de la estación El Mira - San Andrés de Tumaco.

## Clasificación de climas según el método de Thornthwaite

El siguiente tema es una síntesis del sistema de clasificación de climas según el método de Thornthwaite (OMM, 1972. Manual del Observador de Meteorología). El sistema comprende los siguientes componentes:

**Provincias de humedad:** el campo de cada uno de los índices definidos se divide en grados, que el autor denomina provincias; hay 5 provincias de humedad y 6 provincias térmicas, resultando de su combinación 30 tipos posibles de clima, aunque muchas de las combinaciones no se dan en la realidad.

Las denominaciones y anotaciones adoptadas para las provincias climáticas son las siguientes:

### Provincias de humedad

Tipo	Denominación	Vegetación	Índice $i_m$
A	Muy húmedo	Selva	Mayor a 100
B	Húmedo	Bosque	De 20 a 100
C	Subhúmedo	Pradera	De -20 a 20
D	Semiárido	Estepa	De -40 a -20
E	Árido	Desierto	Menor a -40

### Provincias térmicas

Tipo	Denominación	Índice etp
A'	Tropical	Mayor 114
B'	Mesotermal	De 57 a 114
C'	Microtermal	De 28,5 a 57
D'	Tundra	De 14 a 28,5
E'	Glacial	Menor de 14

Cada provincia de humedad y de temperatura se subdivide atendiendo al régimen normal de precipitación y de la temperatura. Los subtipos de humedad se designan por las letras r, s, w, d, y son los siguientes:

R	Humedad abundante todo el año
S	Humedad deficiente en verano
W	Humedad deficiente en invierno
D	Humedad deficiente todo el año

Los subtipos térmicos se designan con las letras a', b', c', d', según el grado de concentración del calor anual dentro de los meses de verano son los siguientes expresando el tanto por ciento de concentración del índice ETP:

a'	Menor de 48%
b'	De 48 a 68
c'	De 68 a 88
d'	Mayor de 88

Para la debida interpretación de estos números es necesario advertir que los valores muy altos no indican que el verano sea muy caluroso; por ejemplo, en las inmediaciones del polo la concentración del calor llega casi al cien por cien debido a la existencia de la noche invernal de seis meses.

Esta clasificación se puede perfeccionar subdividiendo los intervalos asignados a  $I_m$  y ETP. Las fórmulas climáticas se completan con el uso de subíndices.

## Índices de Thornthwaite

Thornthwaite modificó y perfeccionó su clasificación en varias ocasiones. A continuación expondremos la última versión de este sistema, después de la que data de 1948. Se basa en la definición de dos nuevos índices: uno de ellos es  $I_a$  "índice de aridez", y el otro se llama  $I_b$  "índice hídrico anual". El primero depende principalmente de la temperatura, y refleja el régimen térmico; mientras que el segundo refleja el régimen precipitación - evapotranspiración, aunque, como se ve, sobre ambos influye la evapotranspiración.

La evapotranspiración potencial mensual, cuando no se dispone de observaciones directas, se calcula en

función de la temperatura media, por medio de la fórmula empírica, o con el empleo de tablas; el resultado debe corregirse según la duración del día, o sea según el mes y la latitud del lugar, corrección que también se efectúa por medio de tablas. La evapotranspiración potencial anual, ETP, es sencillamente la suma de los valores mensuales.

Para calcular el “índice hídrico anual”,  $I_m$ , hay que empezar por calcular los índices hídricos mensuales que se obtienen dividiendo la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración por esta última. Cuando la precipitación es mayor que la evapotranspiración, el índice mensual se llama de humedad, y en caso contrario de aridez.

La siguiente fórmula indica el cálculo del índice mensual.

$$I_m = I_h - 0,6 I_a.$$

Donde

$$I_h = \text{Exceso anual} / \text{ETP} \times 100$$

$$I_a = \text{Déficit anual} / \text{ETP} \times 100$$

$$\text{ETP}_{\text{verano \%}} = \left\{ (\text{ETP}_{\text{junio}} + \text{ETP}_{\text{julio}} + \text{ETP}_{\text{agosto}}) / \text{ETP}_{\text{anual}} \right\} \times 100$$

Todos estos índices se expresan en %. Naturalmente,  $I_m$  puede resultar positivo o negativo.

Para determinar el tipo de clima de cada una de las zonas de cultivo de palma de aceite en Colombia, siguiendo la metodología del sistema de clasificación de C.W. Thornthwaite, se identificaron los siguientes climas regionales:

**Zona Norte, Codazzi – Cesar:** Clave  $C_1wAa'$  que significa: Régimen de humedad ( $C_1$ ) Clima seco, (w) con falta de agua en el período de lluvias. Régimen térmico (A) Megatérmico y ( $a'$ ) Porcentaje alto de ETP en el período seco.

**Zona Centro, Yariguíes – Barrancabermeja:** Clave  $B_2rAa'$  que significa: Régimen de humedad ( $B_2$ ) Clima húmedo nivel medio, (r) sin falta de agua en el período lluvioso, Régimen térmico (A) Megatérmico y ( $a'$ ) Porcentaje alto de ETP en el período de seco.

**Zona Oriental, La Holanda Granada – Meta:** Clave  $B_4rAa'$  que significa: Régimen de humedad ( $B_4$ ) Clima húmedo nivel alto, (r) sin falta de agua en el período de lluvias, Régimen térmico (A) Megatérmico y ( $a'$ ) Porcentaje alto de ETP en el período seco.

**Zona Sur, Granja El Mira – Tumaco:** Clave,  $ArAa'$  que significa: Régimen de humedad (A) Clima húmedo nivel muy alto, (r) sin falta de agua en el período lluvioso, Régimen térmico (A) Megatérmico y ( $a'$ ) Porcentaje alto de ETP en el período seco.

La aplicación con detalles y la interpretación del sistema de clasificación de C. W. Thornthwaite se hará en taller presencial.

## Clasificación de climas por el Sistema de Caldas – Land

Como se ha mencionado en tratados de climatología, la clasificación climática con base en la temperatura fue utilizada por los griegos y aunque la división se basaba en líneas latitudinales definidas por la geometría Tierra-Sol (trópicos y círculos polares), los nombres asignados (zona tórrida, templada y fría) indicaban que se reconocía la temperatura como el elemento climático determinante, pero no tenían en cuenta la humedad.

El sistema de clasificación climática establecido por el sabio Francisco José de Caldas en 1802, aplicado al trópico americano, se fundamentó únicamente en los valores de la temperatura, pero con respecto a su variación altitudinal y no latitudinal. Por su parte, Lang en 1915 estableció su clasificación con base en una sencilla relación entre la precipitación y la temperatura.

El sabio Francisco José de Caldas, teniendo en cuenta la influencia de la altura en la variación de temperatura, determinó los pisos térmicos en la región Andina - Tropical. Lang se fundamentó en el cociente entre la precipitación anual (mm) y la temperatura media anual ( $^{\circ}C$ ), este cociente se llama índice de efectividad de la precipitación o factor de lluvia de Lang; con el que definió seis clases de climas, desde desiertos hasta superhúmedos. Ninguno de los dos sistemas por sí solos tiene aplicabilidad o funcionalidad aceptables, por lo

cual Schaufelberguer, en 1962, propuso su unificación e implementó el sistema de clasificación climática de Caldas – Lang, por ello, utiliza la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos, y la efectividad de la precipitación, que muestra la humedad.

### Modelo climático de Caldas

De acuerdo con lo expuesto por Schaufelberguer (1962), la clasificación climática en el trópico americano se inició en 1802, cuando se reunieron en Quito los investigadores Alejandro Humboldt (alemán), Aimé Bonpland (francés), y Francisco José de Caldas (colombiano); este último disponía de una copiosa información relativa a las alturas sobre el nivel del mar y su influencia en la variación de las temperaturas. Expuesta y analizada la información, por Caldas, se determinaron los pisos térmicos para la región Andina -Tropical. Humboldt informó a los naturalistas europeos sobre lo convenido en la reunión, respetándose incluso la designación de los pisos térmicos en castellano propuesta por Caldas, la cual ha perdurado hasta hoy.

Entre 1982 y 1984 Hettner (citado por Schaufelberguer, 1962) comprobó la teoría de Caldas al realizar un estudio de climas de altura en la cordillera oriental, confirmando el gradiente de la temperatura con la altitud. Se estableció una relación empírica que muestra que a una altitud de 1.000 msnm corresponde una temperatura media de 23,8°C, a 2.000 msnm se alcanzan los 18°C, a 3.000 msnm se observan 12,7°C y a 4.000 msnm se tienen valores de 7°C.

Los límites de Caldas indican cinco pisos térmicos (Tabla 2):

**Piso térmico cálido:** localizado entre 0 y 1000m de altitud, con valores de temperatura superiores a 24°C y un margen de altitud en el límite superior hasta 400 m, según sean las características locales.

**Piso térmico templado:** comprende altitudes situadas entre 1.000 msnm y 2.000 msnm, con temperaturas mayores o iguales a 17,5°C y con un margen de amplitud en sus límites superior e inferior de 500 m.

**Piso térmico paramuno:** corresponde a las áreas situadas sobre los 3.000 m de altitud y bajo el límite

de las nieves perpetuas. Con el propósito de detallar más las condiciones climáticas se subdividen dos zonas de páramo: la primera de mayor temperatura, denominada “páramo bajo” con altitud que oscila entre 3.200 y 3.700 msnm y que se caracteriza por estar en el intervalo de los 7°C a los 12°C; la segunda conocida como “páramo alto” consecuentemente esta sobre los 3.700 msnm y va hasta los 4.200 msnm aproximadamente, (Suárez y Gómez, 1968).

### Modelo climático de Lang

En el año de 1915, Richard Lang (en Schaufelberguer, 1955) estableció su clasificación fundamentado en la relación obtenida al dividir la precipitación anual (P, en mm) por la temperatura media anual (T, en °C). Este cociente se llama también índice de efectividad de la precipitación o factor de lluvia de Lang. Los rangos para esta clasificación se muestran en la Tabla 3.

### Modelo climático de Caldas-Lang

La unión de los dos sistemas caracteriza las unidades climáticas con base en los elementos climatológicos principales y que tienen mayores efectos o acción sobre la vida en la Tierra. El sistema unificado Caldas-Lang define 25 tipos climáticos. Estos se denominan teniendo en cuenta primero el valor de la temperatura media anual (piso térmico según Caldas) y a continuación con el valor de la precipitación media anual se da la denominación según el factor de Lang (grado de humedad según Lang).

Con el propósito de lograr una adecuada representación, simplificamos convencionalmente los nombres resultantes del sistema de clasificación; de esta forma se evita la saturación gráfica, en los mapas, y se facilita su simbología; para ello se utilizan las letras iniciales de los nombres correspondientes a cada clima, como se aprecia en la Tabla 4.

### Procedimiento para determinar los tipos de climas según Caldas-Lang

- a. Se localiza el sitio geográfico conociendo preferiblemente su altitud en msnm.

- b. Se obtienen los valores anuales de temperatura media (°C) y de precipitación media (mm).
- c. Por medio de la temperatura o la altitud (Tabla 2), se determina el piso térmico al cual pertenece, lo que indica la primera parte del nombre del tipo de clima.
- d. Con base en la Tabla 2 y para determinar la segunda parte del nombre del tipo climático se utiliza la razón entre precipitación y temperatura. Para obtener el factor de lluvia o índice de efectividad de la precipitación de Lang ( $FL = P/T$ ).

**Tabla 2.** Modelo climático de Caldas.

Pisos Térmicos según Caldas				
Piso térmico	Clave	Rango de altura (msnm)	Temperatura (°c)	Variación de la altitud por condiciones locales
Cálido	C	0 a 1.000	$T \geq 24$	Límite superior $\pm 400$
Templado	T	1.001 a 2.000	$24 > T \geq 17,5$	Límite superior e inferior $\pm 500$
Frío	F	2.001 a 3.000	$17,5 > T \geq 12$	Límite superior e inferior $\pm 400$
Páramo bajo	PB	3.001 a 3.700	$12 > T \geq 7$	
Páramo alto	PA	3.701 a 4.200	$T < 7$	

**Tabla 3.** Modelo climático de Lang.

b) Grado de humedad ( $FL=P/T$ )	Clase de clima	Símbolo
0 a 20,0	Desértico	D
20,1 a 40,0	Árido	A
40,1 a 60,0	Semiárido	Sa
60,1 a 100,0	Semihúmedo	Sh
100,1 a 160,0	Húmedo	H
Mayor a 160,0	Superhúmedo	Sh

**Tabla 4.** Tipos de climas según el sistema Caldas – Lang.

Clave	Tipo de clima	Clave	Tipo de clima
CSh	Cálido superhúmedo	FSh	Frío superhúmedo
CH	Cálido húmedo	FH	Frío húmedo
Csh	Cálido semihúmedo	Fsh	Frío semihúmedo
Csa	Cálido semiárido	Fsa	Frío semiárido
CA	Cálido árido	FA	Frío árido

Continúa

Clave	Tipo de clima	Clave	Tipo de clima
CD	Cálido desértico	FD	Frío desértico
TSh	Templado superhúmedo	PBSH	Páramo bajo superhúmedo
TH	Templado húmedo	PBH	Páramo bajo húmedo
Tsh	Templado semihúmedo	PBsh	Páramo bajo semihúmedo
Tsa	Templado semiárido	PBSa	Páramo bajo semiárido
TA	Templado árido	PASh	Páramo alto superhúmedo
TD	Templado desértico	PAH	Páramo alto húmedo
		NP	Nieves perpetuas

**Fuente:** UN. 1993. Climatología y diversidad climática. Fac. Ciencias, Departamento Geociencias.

Para el objetivo de la presente guía, la interpretación del sistema de clasificación Caldas – Land se hace aplicando la clasificación en determinar el tipo de clima de cada una de las zonas palmeras de Colombia:

**Zona Norte, Agustín Codazzi – Cesar:** Clave CSa, que significa: Régimen térmico (C) Piso térmico cálido, Régimen de humedad (Sa) Semiárido.

**Zona Central, Yarigués – Barrancabermeja:** Clave CH que significa: Régimen térmico (C) Piso térmico cálido y Régimen de humedad (H) Húmedo.

**Zona Oriental, La Holanda Granada - Meta:** Clave CH que significa: Régimen térmico (C). Piso térmico cálido y Régimen de humedad (H) Húmedo.

**Zona Suroccidental, Granja El Mira – Tumaco:** Clave CH que significa: Régimen térmico (C) Piso térmico cálido y Régimen de humedad (H) Húmedo.

## Sistema para clasificar formaciones vegetales de Colombia según Leslie R. Holdridge

El sistema que se utilizó para clasificar las formaciones vegetales de Colombia es el mismo propuesto por L. R. Holdridge para clasificar las formaciones vegetales del mundo. Holdridge (1953) sostenía que cuando el hombre trató de establecer la relación entre las plantas y el medio ambiente donde crecían, iniciaba el estudio

del medio ambiente. Entonces, éste es el complejo de los factores que ejercen influencia sobre los organismos vivos.

Entre los numerosos factores del medio ambiente, los del clima están más generalizados, en términos geográficos, en su influencia sobre la vegetación. Los factores climáticos más importantes que se deben tener en cuenta al estudiar la vegetación son la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración. Por medio del sistema de Holdridge es posible determinar directamente, para lugares de los cuales se tiene registros climatológicos, la clasificación correspondiente a la formación vegetal.

Para la aplicación del sistema, Holdridge propone la siguiente definición de una formación vegetal: “Una formación es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, las que, tomando en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo”.

Los límites climáticos de las formaciones fueron resueltos después de años de observación en el campo, junto con el estudio de las observaciones de otros científicos, las cuales se encuentran en la literatura. Una vez construida una parte del bosquejo se notó la regularidad del esquema y fue fácil extender el bosquejo para incluir las formaciones restantes del globo. La temperatura es el primer factor de gran importancia

para la vegetación del mundo, pero otro segundo factor de gran importancia para la vegetación es la humedad y como medida de este factor para comparación se puede usar la precipitación anual.

En la región tropical (caso colombiano), para los climas normales o asociaciones climáticas, hay una correlación muy marcada entre la cantidad de precipitación anual y el período de sequías. Un tercer factor de importancia, la evapotranspiración potencial, la cual se debe calcular en la cantidad equivalente de milímetros (mm) de agua en un sitio y resulta de multiplicar el valor de la biotemperatura media mensual en grados centígrados por el factor 58,93 (para sistema de Holdridge). Seguidamente para calcular la relación de evapotranspiración potencial, se divide la evapotranspiración en mm por la precipitación media anual, también en mm.

En la delimitación de las formaciones vegetales de Colombia se utilizaron estudios de vegetación y edáficos, trabajo de reconocimiento de campo, datos meteorológicos, fotografías aéreas, mapas básicos y levantamientos topográficos. De este trabajo resultó el mapa base planimétrico de las formaciones vegetales

de Colombia, escala 1:1.000.000, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

**Interpretación del mapa:** cada formación vegetal está indicada en el mapa por un símbolo, un color y un tono distinto. El símbolo es la abreviatura del nombre de la formación, la parte minúscula corresponde al nombre específico dada por la humedad, y la mayúscula al piso altitudinal. Por ejemplo, el bosque húmedo montano se representa por el símbolo bh - M.

Para el caso colombiano, queda entendido que todas las formaciones son de la región latitudinal tropical. Las transiciones entre dos formaciones quedan separadas por una raya oblicua entre ellas. Por ejemplo, la transición entre el bosque húmedo tropical (bh-T) y el bosque muy húmedo tropical (bmh-T) se identifica así: bh-T/bmh-T.

**Interpretación de diagrama triangular:** se puede identificar la formación vegetal observando solamente la celda del diagrama triangular de Holdridge, donde una vez obtenido el nombre de la formación, se da el símbolo y con la leyenda del título se va con la clave al mapa. A continuación se determinan los factores esquemáticos del diagrama de Holdridge.

**Tabla 5.** Diagrama del Sistema de Holdridge.

Biotemperatura °C	Región Latitudinal	Piso Altitudinal	Precipitación Media anual	ETP	Relación ETP/P	Provincia Humedad
0 a 1,5	Polar	Nival	0 a 125	< 118	0,0 a 0,25	Superárido
1,5 a 3,0	Subpolar	Alpino	125 a 250	18 a 177	0,25 a 0,50	Perárido
3,0 a 6,0	Boreal	Subalpino	250 a 500	177 a 353	0,50 a 1,00	Árido
6,0 a 12,0	Templada fría	Montano	500 a 1000	353 a 707	1,00 a 2,00	Semiárido
12,0 a 24,0	Templada subtropical	Montano bajo	1000 a 2000	707 a 1414	2,00 a 4,00	Subhúmedo
Mayor de 24	Tropical	Tropical	2000 a 4000	1414 a 1886	4,00 a 8,00	Húmedo
			4000 a 8000		8,00 a 16,0	Perhúmedo
			> 8000		16,0 a 32,0	Superhúmedo

**Tabla 6.** Claves y nombre de las formaciones vegetales de Colombia.

Clave	Nombre	Clave	Nombre
md – T	Maleza desértica tropical	bmh – ST	Bosque muy húmedo subtropical
me – T	Monte espinoso tropical	bp – ST	Bosque pluvial subtropical
bms – T	Bosque muy seco tropical	bs – MB	Bosque seco montano bajo
bs – T	Bosque seco tropical	bh – MB	Bosque húmedo montano bajo
bh – T	Bosque húmedo tropical	bmh – MB	Bosque muy húmedo montano bajo
bmh – T	Bosque muy húmedo tropical	bp – MB	Bosque pluvial montano bajo
bp – T	Bosque pluvial tropical	bh – M	Bosque húmedo montano
me – ST	Monte espinoso subtropical	bmh – M	Bosque muy húmedo montano
bs – ST	Bosque seco subtropical	bp – M	Bosque pluvial montano
bh – ST	Bosque húmedo subtropical	pp – SA, p- SA, tp – A, N	Subalpino, alpino y nival

**Fuente:** Espinal, L. S. y Montenegro L. 1963. Formaciones Vegetales de Colombia. Instituto Agustín Codazzi. Bogotá.

El sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge se desarrolló hace varias décadas en Colombia y actualmente tiene gran aceptación. Aplicando esta metodología en las zonas palmeras de Colombia se han determinado las siguientes zonas de vida:

**Zona Norte, Agustín Codazzi:** Clave Bs-T, que significa: bosque seco (Bs) tropical (T).

**Zona Central, Yariguíes – Barrancabermeja:** Clave Bh-T, que significa: bosque húmedo (Bh) tropical (T).

**Zona Oriental, La Holanda Granada – Meta:** Clave Bh-T, que significa: bosque húmedo (Bh) tropical.

**Zona Suroccidental, Granja El Mira – Tumaco:** Clave Bh-T, que significa: bosque húmedo (Bh) tropical (T).

### Índices climáticos de las zonas palmeras de Colombia

En las Tablas 7 y 8 se presenta un resumen de la descripción climatológica y los índices climáticos representativos de las zonas palmeras de Colombia, donde se desarrolla la metodología para los cálculos y la aplicación de los métodos agroclimatológicos orientados al cultivo de palma de aceite, objetivo principal de esta la guía.

**Tabla 7.** Condiciones climáticas calculadas para una estación meteorológica representativa de las zonas palmeras.

ZONA	T°C	Pr.mm	ETPc.mm	Exc.mm	Def.mm	lh %
Codazzi	28,1	1588,5	2452,9	104	674	4,8
Yariguíes	27,9	2900,6	1864,1	1135	174	60,7
Holanda	25,6	2693,9	1419,3	1377	155	97,0
Mira	25,5	2918,7	1404,8	1414	0,0	100,6

**Tabla 8.** Índices climáticos calculados para una estación meteorológica del IDEAM representativa de cada zona palmera.

ZONA	Ia %	Im %	ETPv %	C.W.T	C – L	L.R.H
Codazzi	31,3	-14,0	26,1	C <sub>1w</sub> Aa'	Cal-Semi.	Bs – T
Yariguíes	9,3	55,1	26,0	B <sub>2r</sub> Aa'	Cal-Hum.	Bh - T
Holanda	10,9	90,5	22,7	B <sub>4r</sub> Aa'	Cal-Hum.	Bh - T
Mira	0,0	100,6	24,7	A <sub>r</sub> Aa'	Cal-Hum.	Bh - T

## Interpretación

**T °C:** Temperatura promedio anual en grados centígrados.

**Pr mm:** Precipitación promedio anual en milímetros.

**ETPc mm:** Evapotranspiración potencial corregida anual en milímetros.

**Exc mm:** Exceso de agua anual en milímetros.

**Def mm:** Deficiencia de agua anual en milímetros.

**Ih %:** Índice de humedad del período húmedo en porcentaje.

**Ia %:** Índice de aridez del período seco en porcentaje.

**Im %:** Índice de humedad anual en porcentaje.

**ETPv %:** Evapotranspiración del período seco en porcentaje.

**C.W.T:** Tipo de clima según Sistema de Charles W. Thornthwaite.

**C – L:** Tipo de clima según sistema de Caldas – Lang.

**L.R.H:** Zona de vida o formación vegetal según Sistema de Leslie R. Holdridge.

## Práctica 4.1. Cálculos agrometeorológicos

### Objetivo

Esta práctica busca que los participantes efectúen cálculos aplicados a algunos ejemplos de caso.

### Orientaciones para el facilitador:

Forme grupos de máximo tres integrantes entre los participantes.

Entregue la hoja de ejercicios y dos hojas en blanco para la solución de los ejercicios.

Proporcione un tiempo máximo de una hora para la solución de los ejercicios.

Al finalizar la hora, recoja las hojas de resultados y elija de manera aleatoria a los participantes para que sustenten la solución que propusieron en el tablero, y estimule la interpretación de los resultados.

### Instrucciones para el participante:

Desarrolle cada uno de los ejercicios entregados por el facilitador en las hojas de soluciones.

Si tiene inconvenientes no dude en solicitar ayuda del facilitador.

### Ejercicios

**Ejercicio 1:** Calcular la precipitación anual de la estación Núñez para el año 1980 con base en la precipitación anual de la estación Cabrera 903 mm.

Si  $A = 703,686$  mm y  $b = 0,703$ .

$$\text{Solución: } Y_{(\text{mm-Núñez})} = 703,686_{\text{mm}} + (0,703 * 903_{\text{mm}}) = 1.338,5 \text{ mm}$$

**Ejercicio 2:** Calcular la precipitación promedio anual de la estación Peñas Blancas para el año 1985 con base en la precipitación ocurrida en la estación de Pasca 1100 mm en ese mismo año. Si  $A = 950,565$  mm y  $b = 0,550$ . Desarrolle el ejercicio aplicando los conocimientos adquiridos.

**Ejercicio 3:** En una estación meteorológica de Villavicencio el día miércoles 31 de agosto de 2011, se ob-

servaron los siguientes registros de temperatura: a las 7 horas, 21,0°C; a las 13 horas, 30,0°C; y a las 19 horas 28,0°C. Calcular la temperatura media del día.

Solución: Temperatura Media Diaria =  $[21^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C} + 2(28^{\circ}\text{C})]/4 = 26,75^{\circ}\text{C}$

**Ejercicio 4:** Calcular la temperatura media diaria en esa misma fecha para la estación ubicada en la plantación donde usted trabaja, o de la estación más cercana a su trabajo. Desarrollar el ejercicio aplicando los conocimientos adquiridos.

**Ejercicio 5:** Calcular la temperatura media diaria de septiembre 30 de 2011 de una estación meteorológica automática de Villavicencio si los datos horarios registrados de temperatura son los siguientes: [(01 a.m.) 23,5; 24,5; 25,8; 26,7; 26,5; 26,8; (07 a.m.) 26,8; 27,5; 27,6; 27,8; 27,9; 30,0 (13 p.m.) 30,5; 30,7; 30,9; 31,0; 31,5; 31,8; (19 p.m.) 31,0; 31,5; 30,0; 29,5; 29,0; (24 M) 28,5] °C.

Solución: Temperatura Media Diaria =  $[23,5 + 24,5 + 25,8 + \dots + 29,5 + 29,0 + 28,5]^{\circ}\text{C} / 24 = 28,63^{\circ}\text{C}$ .

**Ejercicio 6:** Calcular la Temperatura Media Diaria de la misma fecha del ejercicio 5 en la estación meteorológica automática de la plantación donde usted está trabajando.

**Ejercicio 7:** Calcular la temperatura media mensual de la estación meteorológica de Puerto López con los siguientes promedios mensuales: enero (26,8), febrero (27,2), marzo (27,0), abril (25,7), mayo (25,2), junio (24,4), julio (24,1), agosto (24,8), septiembre (25,3), octubre (25,5), noviembre (25,7), diciembre (25,9).

Solución: Temperatura Media Anual =  $[26,8 + 27,2 + \dots + 25,7 + 25,9]^{\circ}\text{C} / 12 = 25,63^{\circ}\text{C}$ .

**Ejercicio 8:** Calcular la temperatura media anual de la estación meteorológica ubicada en la plantación donde usted trabaja, o de la estación más cercana a su sitio de trabajo.

**Ejercicio 9:** Calcular la temperatura diaria aproximada del día 30 de agosto de 2011 en la estación meteorológica de Puerto López, si la mínima fue de 18°C y la máxima de 32°C.

Solución: Temperatura Media Diaria <sub>aprox.</sub> =  $[18 + 32]^{\circ}\text{C} / 2 = 25,0^{\circ}\text{C}$ .

**Ejercicio 10:** Calcular la temperatura media diaria aproximada en la misma fecha del ejercicio 9, con las temperaturas mínima y máxima registradas en la plantación de palma donde usted trabaja. Desarrollar por su propia cuenta.

**Ejercicio 11:** Calcular las temperaturas media, mínima media y máxima media de Bogotá si la altura es 2.600 metros sobre el nivel del mar.

Solución: Temperatura Media Anual =  $28,582^{\circ}\text{C} - 0,0057(2.600 \text{ msnm}) = 13,76^{\circ}\text{C}$

Temperatura Mínima Media Anual =  $18,888^{\circ}\text{C} - 0,00532(2.600 \text{ msnm}) = 5,05^{\circ}\text{C}$

Temperatura Máxima Media Anual =  $32,753^{\circ}\text{C} - 0,0047(2.600 \text{ msnm}) = 20,53^{\circ}\text{C}$ .

**Ejercicio 12:** Estimar la temperatura media, mínima y máxima promedio anual para la estación meteorológica ubicada en la plantación de palma de aceite donde usted está trabajando. Utilice los modelos de regresión lineal arriba mencionados.

**Ejercicio 13:** Calcular la radiación solar neta incidente para el mes de marzo de la estación Barranca de Upía, teniendo en cuenta que en esa estación durante el mes de marzo el promedio de nubosidad es de 55,3%.

Solución:  $R_n = 930 \text{ Cal/cm}^2/\text{min} (0,803 - 0,340*0,553 - 0,458*0,553^2) = 441,67 \text{ Cal/cm}^2/\text{min}$ .

**Ejercicio 14:** Calcular la radiación solar neta incidente para el mes de julio, en la estación de la plantación de palma donde usted trabaja, si la nubosidad de ese mes es 65%. La radiación astronómica es equivalente al valor de la tabla de radiación astronómica, según sea la latitud del lugar.

**Ejercicio 15.** Calcular la radiación solar neta para el mes de agosto en la estación meteorológica La Libertad del municipio de Villavicencio – Meta, si el brillo solar promedio mensual para ese mes es de 145 horas.

Solución:  $R_N = R_G \{a + b (n/N)\} = 904,20 \text{ Cal/cm}^2/\text{mín} \{0,29 + 0,50 (145/378,2)\} = 435,55 \text{ Cal/cm}^2/\text{mín}.$

**Ejercicio 16:** Calcular la radiación solar neta incidente en la estación meteorológica de la plantación de palma donde usted está trabajando, teniendo en cuenta que la radiación solar global astronómica es equivalente a  $930 \text{ Cal/cm}^2/\text{mín}.$

**Ejercicio 17:** Calcular la radiación solar neta incidente para el mes de septiembre en la estación meteorológica de La Libertad del municipio de Villavicencio - Meta, si el albedo ( $r$ ) de un suelo recién arado es de 60%.

Solución:  $R_N = R_G (1 - r) = 920,40 \text{ Cal/cm}^2/\text{mín} (1 - 0,60) = 368,16 \text{ Cal/cm}^2/\text{mín}$

**Ejercicio 18:** Calcular la radiación solar neta incidente para el mes de septiembre en la estación meteorológica de la plantación de palma donde usted está trabajando, si el albedo del suelo cubierto de palma es de 30%.

**Ejercicio 19:** Calcular la humedad relativa media diaria de la estación meteorológica La Holanda en el municipio de Granada, departamento del Meta, si el higrómetro registró los siguientes datos. A las 7 horas, 65%; a las 13 horas, 45%; y a las 19 horas, 70%.

Solución:  $\text{Humedad Relativa Media Diaria} = \{65\% + 45\% + 70\% \} / 3 = 60\%$

**Ejercicio 20:** Calcular la humedad relativa media diaria en la estación meteorológica ubicada en la plantación de palma de aceite donde usted labora. Si tiene registros mensuales, calcule la media mensual y la media anual, por su propia cuenta.

**Ejercicio 21:** Calcular la humedad relativa, si la tensión actual del vapor de agua ( $e_a$ ) es 18,6 mb a una temperatura ambiental de  $20^\circ\text{C}$  y la tensión de saturación a la misma temperatura es de 25,4 mb.

$$H_r = (e_a / e_w) \times 100 = (18,6 \text{ mb}/25,4 \text{ mb}) \times 100 = 73,2\%$$

**Ejercicio 22:** Calcular la Evapotranspiración Potencial (ETP) para el mes de enero en una plantación de palma de aceite en pleno crecimiento, ubicada en el municipio de Codazzi – Cesar, si la evaporación del tanque clase A es 145 mm y la temperatura media mensual de  $29,4^\circ\text{C}$ . De acuerdo con datos de coeficientes de cultivo ( $K_c$ ), para la palma en crecimiento  $K_c = 0,70$  y en pleno desarrollo  $K_c = 1,0$  (Moreno H, 1992).

Solución: Datos,  $E_v = 145 \text{ mm}$ ,  $T = 29,4^\circ\text{C}$ ,  $K_{c \text{ inicio}} = 0,7$ ,  $K_{c \text{ pleno}} = 1,0$

Método tanque clase a:

$ETP = E_v * K_c = 145 \text{ mm} * 0,7 = 101,5 \text{ mm}.$  Plantación en inicio de desarrollo.

$ETP = E_v * K_c = 145 \text{ mm} * 1,0 = 145 \text{ mm}.$  Plantación en pleno desarrollo

Método Thornthwaite:

$$i_{\text{enero}} = (T/5)^{1,514} = (29,4/5)^{1,514} = 14,62$$

$$I = i_{\text{enero}} + i_{\text{febrero}} + i_{\text{marzo}} + \dots + i_{\text{diciembre}}$$

$$I = 14,6 + 15,2 + 15,3 + \dots + 13,7 = 170,3$$

$$a = 0,000000653I^3 - 0,0000771I^2 + 0,01792I + 0,49239 = 0,000000653 (170,3)^3 - 0,0000771 (170,3)^2 + 0,01792 (170,3) + 0,49239 = 4,53$$

$$ETP_{\text{enero}} = 16(10T/I)^a = 16 (10 * 29,4/170,3)^{4,53} = 190,16 \text{ mm}, \text{ ETP no corregida.}$$

Factor de corrección ( $F_c$ ), según días del mes y días de 12 horas,  $F_{c \text{ enero}} = 1,00$

$$ETP_{\text{corregida}} = ETP * F_c = 190,16 \text{ mm} * 1,00 = 190,08 \text{ mm}.$$

$$ETP_{\text{cultivo}} = ETP_c * K_c = 190,08 \text{ mm} * 0,7 = 133,06 \text{ mm. Plantación inicio crecimiento.}$$

$ETP_{\text{cultivo}} = ETP * Kc = 190,08 \text{ mm} * 1,00 = 190,08$   
mm. Plantación en pleno desarrollo.

**Ejercicio 23:** Calcular la Evapotranspiración Potencial para el cultivo de palma de la plantación donde usted trabaja, para el mes de diciembre, si la Temperatura Media Mensual es de 28,1°C y la evaporación del tanque clase A de 126 mm. Desarrollar los dos métodos (Tanque A y Thornthwaite) y Kc de plantación en inicio de crecimiento y en pleno desarrollo de producción.

### Recursos necesarios:

Un tablero

Marcador

Hojas para ejercicios

Hojas blancas para resultados

Una calculadora por grupo

Un lápiz y borrador por grupo

### Referencias bibliográficas

- Chang, C. (1971) *Climate and Agriculture. An Ecological Survey*. Aldine Publishing Company. Chicago.
- Cenicafé. (1975). Observaciones meteorológicas. Boletín Técnico No. 4. Chinchiná.
- Eslava, J. (1993). Climatología y diversidad climática de Colombia. *Revista Academia colombiana ciencias*. 18 (71): 507-538.
- Espinal, L. S. & Montenegro, E. (1963). Formaciones Vegetales de Colombia. *Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Departamento Agrológico. Bogotá.
- Fairhurst, T. y Hardter, R. (2003). *Oil Palm: Management for large and sustainable yields*. First edition. Singapore: Oxford Graphic Printers Ltd.
- FAO (1990). *Evapotranspiración de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenajes. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.
- García, L. & García, L. (1978) *Diez temas sobre el clima*. Segunda edición. Madrid: Ministerio de Agricultura.
- Holdridge, L. R. (1947). *Determination of World Plant Formation from Simple Climate Data*. Science, Vol. 105, No. 2727, pp. 367-368 .
- IDEAM. (2001). *Manual del Observador Meteorológico*. Medellín.
- IDEAM. (1986). *La evapotranspiración potencial del territorio colombiano por Penmann*. Título 9855. Bogotá.
- Instituto Colombiano Agropecuario. (1970). La palma africana. *Boletín de Divulgación No. 25*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (1993). *Zonificación agroclimática del cultivo del algodón en Colombia*. Sección de Agrometeorología y Aplicaciones. Bogotá.

### Glosario

**Higrómetro:** instrumento para medir la humedad del aire.

**Histograma:** gráfico de distribución de frecuencias estadísticas en el que el número de magnitudes que presenta un determinado margen de valores viene representado por un trazo vertical en el gráfico.

**Isohietra o isoyeta:** línea que une lugares geográficos con líneas curvas que representan igual precipitación promedio mensual o anual.

**Isoterma:** línea que une lugares geográficos con líneas curvas que representan igual temperatura promedio mensual o anual.

**Kelvin:** unidad de temperatura termodinámica en el Sistema Internacional de Unidades, llamada antes grado kelvin (°K). Su símbolo es K.

**Veleta:** pieza metálica giratoria que se coloca en lo alto de un edificio para señalar la dirección del viento.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1979). *Colombia Geográfica*. Revista Volumen VI, No 2. Bogotá.
- Moreno, H. (1992). *Estudio para el diseño de un programa eficiente de riegos para las plantaciones de palma africana de Santa Bárbara, Chaparral y Cuernavaca*. Villavicencio: Unipalma.
- Moreno, H. (1993). *Caracterización climatológica e hidrológica para el Plan de ordenamiento de la Cuenca del Río Sumapaz*. Bogotá.
- Moreno, H. (2001). *Curso de Climatología Agrícola. Departamento Agua y Suelos*. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Moreno, H. (2003). *Curso de Administración y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Escuela de Posgrado Ciencias Agrarias. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Organización Meteorológica Mundial 1993. *Manual del Observador de Meteorología*. Ginebra.
- Organización Meteorológica Mundial. (1970). *Guía de prácticas climatológicas*. OMM – No. 100. TP. 44. Ginebra.
- Organización Meteorológica Mundial. (1996). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. OMM No 8. Ginebra.
- Sagredo, J. (1975). Ecología. *Diccionarios Rioduero*. Madrid: Ediciones Rioduero.
- Salvat G.T. (1974). *La atmósfera y la predicción del tiempo*. Barcelona: Salvat Editores.
- SENA – UN. (1988). Riego por goteo. *Cartilla para Ingenieros, Estudiantes y Agricultores*. Bogotá.
- Sverre, P. (1968). *Introducción a la meteorología*. Barcelona: Espasa – Calpe S.A. Cuarta edición.
- Universidad Nacional de Colombia. (2001). *Energía: Sus perspectivas, su conversión y utilización en Colombia*. EEB – PUIE. Bogotá.
- World Meteorological Organization. (2010). *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. Geneva.

## Anexos.

Anexo 1. Estaciones meteorológicas en plantaciones de palma de Colombia .....	123
Anexo 2. Clasificación de estaciones meteorológicas por parámetros y aplicación .....	125



## Anexo 1. Estaciones meteorológicas en plantaciones de palma de Colombia.

Zona	Empresa	Latitud	Longitud
Central	Bucarelia	7,22979	-73,518610
Central	San Rafael	7,23485	-73,736928
Central	Pravia	7,65403	-73,672710
Central	Nogal	7,12412	-73,110010
Central	Yarima	6,80802	-73,692970
Central	San Francisco	7,30074	-73,856490
Central	Yarigui	3,95864	-73,626530
Central	Agricolombia	6,76378	-73,698630
Central	Promotora (La Llana)	8,33690	-72,475440
Central	Palmeras del Cucu	7,73589	-73,845950
Central	La Loma	8,70440	-73,729060
Central	El Palmar	7,22299	-73,564980
Central	Indupalma	7,71954	-73,459140
Central	Promipalma	8,10972	-73,426920
Central	La Vizcaína	6,97258	-73,683510
Central	Catatumbo	8,49573	-72,653380
Norte	La Sierra	10,54271	-74,154270
Norte	Palmagro	9,19273	-73,605678
Norte	Montecarmelo	9,88518	-73,287823
Norte	Oleoflores (Maria la Baja)	9,92242	-75,330464
Norte	Palmeras de la Costa	10,11256	-74,024155
Norte	Aceites	10,65111	-74,328439
Norte	Frupalma	10,70374	-75,276592
Oriental	Las Corocoras	4,35231	-73,136500
Oriental	La Mejorana	3,97019	-73,627269
Oriental	La Libertad	4,66599	-73,089510
Oriental	Palmasol	3,53181	-73,556453

Continúa

---

Oriental	Santana	4,56296	-72,906290
Oriental	Sapuga	4,14216	-72,025519
Oriental	Manuelita	3,89599	-73,330522
Oriental	Inparme	4,29148	-72,971220
Oriental	La Exclusiva	4,02358	-73,342420
Oriental	Sigra	4,27819	-73,456545
Oriental	Altamira	4,76262	-72,096341
Oriental	Ariari	3,81765	-73,542310
Oriental	Corozito	4,45672	-73,578250
Oriental	Unipalma	4,55966	-73,176352
Suroccidental	C.I. El Mira	1,55006	-78,695210
Suroccidental	C.Manigua	1,46589	-78,649027
Suroccidental	Agrigan	1,38671	-78,538263
Suroccidental	Salamanca	1,47045	-78,747137
Suroccidental	Astorga	1,59013	-78,640252

## Anexo 2. Clasificación de estaciones meteorológicas por parámetros y aplicación.

1° Orden	2° Orden	3° Orden	4° Orden	Parámetros	Agrometeorológica	Climatológica	Sinóptica
				Precipitación	*	*	*
				Temperatura máxima	*	*	*
				Temperatura mínima	*	*	*
				Temperatura de bulbo seco	*	*	*
				Temperatura de bulbo húmedo	*	*	*
				Humedad relativa	*	*	*
				Vientos	*	*	*
				Radiación solar	*	*	
				Insolación	*	*	
				Evaporación	*	*	
				Temperatura del suelo a 5 cm de la superficie	*	*	
				Presión atmosférica		*	*
				Temperatura superficial del tanque	*		
				Viento a 50 cm de la superficie	*		
				Temperatura del suelo a 5, 10, 20, 30, 50 y 100 cm de profundidad	*		

Las estaciones meteorológicas se clasifican en:

### Meteorológica de 1er orden (M - 1er O)

1	Precipitación
2	Temperatura máxima
3	Temperatura mínima
4	Temperatura del bulbo seco
5	Temperatura del bulbo húmedo
6	Humedad relativa
7	Vientos
8	Radiación solar
9	Insolación

Continúa

10	Evaporación
11	Temperatura del suelo a 5 cm de superficie
12	Temperatura superficial de tanque de evaporación
13	Vientos a 50 cm de superficie
14	Geotermómetros de 5, 10, 20, 30, 50 y 100 cm de profundidad

### Meteorológica de 2do orden (M - 2do O)

1	Precipitación
2	Temperatura máxima
3	Temperatura mínima
4	Temperatura del bulbo seco
5	Temperatura del bulbo húmedo
6	Humedad relativa
7	Vientos
8	Radiación solar
9	Insolación
10	Evaporación
11	Temperatura del suelo a 5 cm de superficie
12	Presión atmosférica

### Meteorológica de 3er orden (M - 3er O)

1	Precipitación
2	Temperatura máxima
3	Temperatura mínima
4	Temperatura del bulbo seco
5	Temperatura del bulbo húmedo
6	Humedad relativa
7	Vientos
8	Presión atmosférica

### Meteorológica de 4er orden (M - 4er O)

1	Precipitación
---	---------------



*“CENIPALMA expresamente advierte a todos los usuarios, miembros, consultantes, y demás terceros interesados, que las investigaciones que adelanta, los informes o resultados que socializa, exposiciones, presentaciones, conferencias, documentos, así como en general la información que difunde como consecuencia de los estudios, inferencias y demás análisis realizados al interior de la misma o contratados por ella, -sin perder su rigor y profundidad profesional-, sólo tienen carácter INFORMATIVO, DE CONSULTA, DE DIFUSIÓN Y DE REFERENCIA ESTADÍSTICA, ACADÉMICA O CIENTÍFICA; puesto que en ningún caso constituyen axiomas para su estricta observancia, ya que deben interpretarse como RECOPIACIONES DE EXPERIENCIAS ANALIZADAS o CONSEJOS, para que sean estudiados, utilizados, o aplicados por quienes acceden a ellos DE ACUERDO CON SU PROPIO CRITERIO, BAJO SU EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD, SEGÚN SU LEAL SABER Y ENTENDER; por cuanto cada situación resulta única y particular, que requiere de tratamientos o soluciones específicas que escapan de la competencia de CENIPALMA. Por tanto, se trata de socializaciones SEGÚN EL ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA Y DE LOS AVANCES CIENTÍFICOS idóneamente realizados, que han sido valorados por esta última hasta ese momento, sin tener en cuenta escenarios concretos detallados, ni casos particulares”.*

El estudio de los procesos atmosféricos y su influencia en la agricultura es un factor de suma importancia a la hora de planificar y manejar adecuadamente los cultivos. La creciente demanda de alimentos y de productos derivados de actividades agrícolas ha despertado en los palmicultores un gran interés por conocer cuáles son y cómo se distribuyen (espacial y temporalmente) los fenómenos atmosféricos frente al desarrollo y la productividad de los cultivos. Es por ello que, en la presente guía, se plantean cuatro unidades de aprendizaje que exponen los conceptos, instrumentos y métodos meteorológicos que se deben considerar para definir actividades agrícolas encaminadas a optimizar los recursos económicos, ambientales y sociales involucrados. En la primera unidad de aprendizaje se presentan los elementos y factores dinámicos que generan el estado del tiempo y del clima; en la segunda, se definen las principales variables meteorológicas, los equipos e instrumentos de medida de las mismas; la tercera, presenta la relación que existe entre las variables meteorológicas y el óptimo desarrollo del cultivo de palma de aceite, así como los requerimientos mínimos a tener en cuenta para el establecimiento del mismo; y por último, en la cuarta unidad se describen algunos métodos y ecuaciones que permiten realizar cálculos orientados a la generación de variables meteorológicas a partir de información recolectada en campo.

**Centro de Investigación en Palma de Aceite**

Calle 20A N° 43A - 50 Piso 4 Bogotá D.C.

PBX: 208 6300 Fax: 244 4711

[www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org)

## **Autores de esta guía**

### **Hernando Moreno Correcha**

Ingeniero Agrónomo (Universidad del Tolima) y Magíster en Ciencias de Administración y Manejo de Cuencas Hidrográficas (Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela); realizó un curso de postgrado internacional en Meteorología Agrícola en el Instituto Central de Meteorología de Israel y tiene más de 20 años de experiencia en proyectos de desarrollo integral de aguas y tierras, gestión medioambiental y agroindustria con entidades del ámbito privado y oficial nacional.

### **Angie Molina Villarreal**

Ingeniera Catastral y Geodesta (Universidad Distrital Francisco José de Caldas) con experiencia en el manejo y estructuración de información geográfica, procesamiento digital de imágenes satelitales y análisis de datos espaciales; es Auxiliar de Investigación del Área de Geomática, Programa de Agronomía, del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.

### **Víctor Orlando Rincón Romero**

Ingeniero Catastral y Geodesta (Universidad Distrital Francisco José de Caldas) y Magíster en Sistemas de Información Geográfica (Universitat de Girona, Italia); tiene experiencia en diseño e implementación de sistemas de información geográfica, georreferenciación, estructuración y análisis de información para la toma de decisiones y manejo de paquetes SIG; Asistente de Investigación del Área de Geomática, Programa de Agronomía de Cenipalma, en el Campo Experimental Palmar de la Vizcaína (Barrancabermeja, Colombia).

Cenipalma advierte expresamente a todos los usuarios, miembros, consultantes y demás terceros interesados que las investigaciones que adelanta, los informes o resultados que socializa, las exposiciones, presentaciones, conferencias, documentos, así como la información que difunde como consecuencia de los estudios, inferencias y demás análisis realizados al interior de la entidad o contratados por ella –sin perder su rigor y profundidad profesional–, solo tienen carácter informativo, de consulta, de difusión y de referencia estadística, académica o científica. En ningún caso constituyen axiomas para su estricta observancia, ya que en el mejor de los casos podrían interpretarse como simples consejos o recopilaciones de experiencias analizadas, para ser estudiadas, utilizadas o aplicadas por quienes acceden a ellas, de acuerdo con su propio criterio, bajo su exclusiva responsabilidad, según su leal saber y entender. Esto, en razón de que cada situación resulta única y particular, y requiere de tratamientos o soluciones específicas que escapan de la competencia de Cenipalma. Por tanto, se trata de socializaciones según el estado actual de la técnica y de los avances científicos idóneamente realizados, que han sido valorados por el Centro hasta el momento presente, sin tener en cuenta escenarios concretos detallados ni casos particulares.