



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **IMPACTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN DE BANANO EN EL URABÁ ANTIOQUEÑO**

**Germán Wbeimar Guarín Giraldo, Ing. Agrícola**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente  
Medellín, Colombia

2011

# **IMPACTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN DE BANANO EN EL URABÁ ANTIOQUEÑO**

**Germán Wbeimar Guarín Giraldo, Ing. Agrícola.**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería – Recursos Hidráulicos**

Director  
Ph. D. Andrés Ochoa Jaramillo  
Asesor  
M.Sc. Carlos Alfredo Salazar Molina

Línea de Investigación:  
Agroclimatología  
Grupo de Investigación:  
Centro de Investigaciones del Clima de Colombia

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente  
Medellín, Colombia

2011

A mi esposa NANCY y mi hija MARIA CAMILA, a quienes este trabajo les robó parte de su tiempo. Gracias por su comprensión y amor.

A mis padres, MARIA HIGINIA Y MIGUEL ALBEIRO, de quienes recibí el ejemplo para luchar hasta alcanzar las metas propuestas. Gracias por estar siempre pendientes de mí.

A mis hermanos, especialmente CRISTIAN, Quien a pesar de su corto transcurrir por este mundo, Me enseñó que se debe vivir alegremente sin importar las adversidades.

A la memoria de mi hermano CRISTIAN y mi abuela MAMÁ ANA.

## **Agradecimientos**

A los profesores Carlos Alfredo Salazar Molina y Andrés Ochoa Jaramillo. Gracias por su amistad, por sus consejos y por las buenas asesorías que permitieron que este trabajo cumpliera con los objetivos propuestos.

A la empresa C.I BANACOL S.A, especialmente al ingeniero Javier Ochoa, gracias por el interés en el trabajo, por brindar información climática y de producción y por las asesorías sobre el comportamiento de una plantación de banano.

A los profesores del Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, en los que vi y veo responsabilidad, dedicación, alto nivel académico, amor por la profesión y la Institución. Agradezco especialmente al profesor Germán Poveda Jaramillo, a quien reconozco el alto nivel con que desarrolla su labor docente – investigativa.

A los Jurados: el Profesor Jaime Ignacio Vélez del posgrado en Aprovechamiento en Recursos Hidráulicos y el Director de CENIBANANO el Ingeniero John Jairo Mira. Gracias por su interés en el trabajo, sus comentarios y correcciones que contribuyeron a enriquecer su contenido.



## Resumen

En Colombia existen unas 42600 ha sembradas de banano de las cuales cerca de 32600 ha están en el Urabá Antioqueño haciendo de esta la región más importante productora de banano en el país. La dinámica de la producción de banano depende fuertemente de las condiciones climáticas, en particular de la temperatura y la precipitación.

En este trabajo se implementó el modelo SIMBA-POP (Tixier *et al.*, 2004; Ochoa, 2010) para simular la dinámica poblacional de plantaciones de banano en 10 fincas productoras de Urabá. El modelo, basado en el concepto de cohortes y cadenas de cohortes, simula la evolución temporal de la plantación con base en leyes fisiológicas y estocásticas para los procesos de rebrote, floración y cosechado de las plantas. SIMBA-POP asume una plantación sin limitantes de agua, sin daños por parásitos y/o huracanes y considera la temperatura como única variable climática.

Se estudió la variabilidad anual e interanual de las series de precipitación, temperaturas máxima, media y mínima para el clima y las series de embolse, producción y ratio como indicadores del comportamiento del cultivo comercial de banano en el Urabá Antioqueño. En cuanto a la precipitación, se estudió su efecto en los ciclos de producción, embolse y ratio. Se construyeron series de tiempo de precipitación acumulada y se relacionaron con el embolse, ratio y cajas exportadas. Se realizó una clasificación según análisis de frecuencia bivariada. El efecto de la temperatura se estudió con el modelo SIMBA – POP, en escenarios El NIÑO y LA NIÑA. Previamente el modelo sufrió un proceso de modificación, calibración y validación con las series históricas a las que se tuvo acceso.

Se analizó el grado de asociación lineal entre índices macroclimáticos de los Océanos Pacífico y Atlántico y las series de precipitación y producción en el eje bananero. Para el caso, se calculó el coeficiente de correlación lineal con series mensuales y trimestrales.

Se calculó el gradiente latitudinal de precipitación en el eje bananero, se encontraron diferencias de precipitación anual aproximadamente de 35 mm por kilómetro desplazado desde Chigorodó hacia turbo, en la dirección norte. Los mapas construidos constituyen un aporte al conocimiento de la variabilidad climática del Urabá y su relación con la producción de banano.

Los resultados mostraron que SIMBA-POP es capaz de reproducir el ciclo anual de producción; particularmente reproduce bien los tiempos de los picos y los valles de producción, aunque la magnitud de estos valles y picos es considerablemente sensible a los parámetros del modelo. Durante El NIÑO el modelo muestra un adelantamiento de entre 1 y 2 semanas en el pico del ciclo anual de embolse respecto a lo que ocurre en condiciones Normales del ENSO. Este comportamiento obedece a un aumento leve en la temperatura, lo cual acelera los procesos de rebrote, floración y cosecha. Durante La NIÑA el ciclo de embolse muestra un retraso respecto al



ciclo anual habitual. El retraso obedece a una disminución en la temperatura, por lo que debe transcurrir un mayor tiempo para alcanzar las unidades térmicas necesarias para iniciar cada uno de los procesos (rebrote, floración y cosechado). En los ciclos de cosecha para los escenarios El NIÑO y La NIÑA se advierte la presencia de picos y valles anómalos. Dichos picos corresponden a una concentración de cosecha como consecuencia de que varias cohortes alcanzan la madurez y son cosechadas simultáneamente. De esta manera en un cultivo donde la programación de cosecha es realizada por calendario, independientemente de las condiciones climáticas, es posible cosechar racimos con un grado de madurez diferente al esperado, lo que puede ocasionar pérdida de fruta por maduración en el proceso de transporte hasta el sitio de destino. Por lo tanto, la gestión del cultivo debería incorporar herramientas de simulación como SIMBA-POP en la programación de actividades de manejo, especialmente ante El NIÑO, La NIÑA y el cambio climático.

Palabras clave: *SIMBA – POP, banano, variabilidad climática, ENSO, EL NIÑO, LA NIÑA, simulación dinámica.*



## Abstrac

In Colombia there are about 42600 ha planted banana, of which about of 32600 hectares are in the Urabá Antioqueño, doing of this one the most important producing region of banana in the country. The dynamics of production banana depends strongly on weather conditions, particularly temperature and precipitation.

In this work there was implemented the model SIMBA-POP (Tixier *et al.*, 2004; Ochoa, 2010) to simulate the population dynamics of banana plantations in 10 producing farms of Urabá. It based on concept of cohorts and cohort chains, the model simulate the time evolution of plantation based on physiological and stochastic laws for the processes of new sucker, flowering and harvested bunches. SIMBA-POP assumes a plantation without limitations of water, without damage by pests and / or hurricanes and considers the temperature as the only variable climate.

We studied, the annual and interannual variability of the series of precipitation, and temperatures maximum, mean and minimum for climate and series of bagging (flowering), production and ratio as indicators of behavior of commercial cultivation of bananas in Antioquian Uraba. For precipitation, we studied its effect on production cycles, bagging (flowering) and ratio. Constructed time series accumulated precipitation and related to bagging, ratio and exported boxes. Classification was made according to bivariate frequency analysis. The effect of temperature was studied with the model SIMBA - POP, in scenarios El NIÑO and La NIÑA, Previously the model has undergone a modification, calibration and validation with historical series to which they had access.

We analyzed the degree of linear association between indexes of macroclimatic Pacific and Atlantic Oceans and the series of precipitation and banana production in Uraba. We calculated the linear correlation coefficient with monthly and quarterly series.

We calculated the latitudinal gradient of rainfall in Uraba, we found differences of annual precipitation about 35 mm per kilometer traveled from Chigorodó to Turbo, in the north. The constructed maps constitute a contribution to the knowledge of the climatic variability of the Urabá and his relation with the production of banana.

The results showed that SIMBA-POP is capable of reproducing the annual cycle of production; particularly it reproduces well the times of the peaks and the valleys of production, though the magnitude of these valleys and peaks is considerably sensitive to the parameters of the model. During El NIÑO, the model shows an advance of between 1 and 2 weeks in the annual cycle peak bagging on what happens in normal conditions of the ENSO. This behavior is due to a slight increase in temperature, which accelerates regrowth, flowering and harvested. During La NIÑA cycle bagging shows a delay compared to the usual annual cycle. The delay is due to a decrease in



temperature, so you should spend more time to reach thermal units required to initiate each of the processes (sucker appearance, flowering and harvesting). In the cycles of harvest scenarios El NIÑO and La NIÑA is aware of the presence of peaks and valleys anomalous. These peaks correspond to a concentration of harvest as result of several cohorts reach maturity and are harvested simultaneously. Thus in a culture where programming is done by harvesting calendar, regardless of weather conditions, is possible to harvest bunches with a different maturity than expected, which may cause loss of fruit ripening in the transport process to the target site. Therefore, crop management should incorporate tools SIMBA-POP simulation and programming in management activities, especially with El NIÑO, La NIÑA and climate change.

Keywords: *SIMBA – POP, banana, climate variability, ENSO, El NIÑO, La NIÑA, dynamic simulation.*





## Contenido

	Pág.
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo General.....	4
2.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>3. Características climáticas de la zona bananera en el Urabá Antioqueño .....</b>	<b>5</b>
3.1 Precipitación .....	7
3.2 Temperatura.....	7
3.3 Otras variables climáticas.....	8
3.4 Efectos del fenómeno ENSO en la región .....	9
<b>4. Relaciones hídricas en el sistema suelo – planta – atmósfera .....</b>	<b>12</b>
<b>5. Generalidades del cultivo de banano .....</b>	<b>15</b>
5.1 Producción de banano en el Urabá Antioqueño .....	16
5.2 El cultivo de banano y su relación con los factores ambientales .....	18
<b>6. Modelos de simulación en la agricultura .....</b>	<b>23</b>
6.1 Modelo STICS.....	29
6.2 Modelo CROPSYST .....	31
6.3 Modelo DSSAT .....	31
6.4 Modelo SIMBA .....	32
<b>7. Información recopilada y utilizada .....</b>	<b>36</b>
7.1 Modelo digital de terreno .....	36
7.2 Características de los suelos .....	36
7.3 Variables Macroclimáticas .....	36
7.4 Variables climáticas.....	37
7.5 Variables de Producción.....	37
<b>8. Modelamiento de una plantación de banano SIMBA-POP.....</b>	<b>39</b>
8.1 Construcción del modelo SIMBA-POP modificado en EVOLUCION 4.0 .....	42
8.1.1 Consideraciones para el modelamiento.....	49
8.1.2 Selección de la finca para la calibración del modelo .....	50



8.2	Calibración y validación del modelo SIMBA - POP.....	59
8.2.1	Calibración del modelo SIMBA – POP modificado.....	59
8.2.2	Validación del modelo SIMBA – POP modificado.....	65
8.3	Simulación de escenarios de producción bananera en Urabá (Colombia) según las fases del fenómeno ENSO.....	67
<b>9.</b>	<b>Variabilidad climática en Urabá y la producción bananera .....</b>	<b>70</b>
9.1	Series de Tiempo de Temperaturas y Precipitación .....	70
9.1.1	Temperatura Máxima.....	70
9.1.2	Temperatura Media .....	71
9.1.3	Temperatura Mínima.....	71
9.1.3	Precipitación.....	76
9.1	Relaciones Precipitación – Producción .....	81
9.2	Relaciones Precipitación – Embolse.....	86
9.3	Relaciones Precipitación – Ratio.....	91
9.4	Análisis de Frecuencias Bivariado .....	94
9.4.1	Cajas Exportadas/ha – Precipitación acumulada.....	98
9.4.2	Embolse/ha – Precipitación acumulada.....	99
9.4.3	Ratio – Precipitación acumulada.....	100
9.5	Comparación zonas norte y sur del eje bananero .....	101
<b>10.</b>	<b>Índices macroclimáticos, precipitación y producción en Urabá.....</b>	<b>105</b>
10.1	Oscilación del Atlántico Norte (NAO).....	105
10.2	Índice de Oscilación del Sur (SOI).....	106
10.3	Índice Multivariado del ENSO (MEI).....	106
10.4	Temperaturas en el Atlántico.....	106
10.5	Temperatura Superficial en el Océano Pacífico .....	106
10.6	Índice Oceánico del Niño – ONI.....	107
10.7	Correlación lineal entre las índices macroclimáticos y la precipitación .....	107
10.8	Correlación lineal entre las índices macroclimáticos y la producción .....	112
<b>11.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>115</b>
<b>12.</b>	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>118</b>
<b>A.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>126</b>
A.1	Balance de humedad del suelo.....	126
A.2	Precipitación Acumulada – Cajas Exportadas.....	132
A.3	Precipitación Acumulada – Racimos Embolsados .....	139
A.4	Precipitación Acumulada – Ratio.....	145



## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 7-1: Resumen de la información de producción y características de las fincas suministradas por la empresa C.I Banacol S.A. ....	38
Tabla 8-1: Coeficiente de Correlación lineal entre las series de embolse estandarizadas. .	55
Tabla 8-2: Índices para medir incidencia de la Sigatoka Negra.....	56
Tabla 8-3: Relación entre el embolse en año NIÑO – NIÑA / promedio multianual.....	56
Tabla 8-4: Calibración del SIMBA – POP modificado.....	62
Tabla 8-5: Calibración del SIMBA – POP modificado para la simulación de picos y valles. .....	63
Tabla 9-1: Intervalos de precipitación acumulada y cajas exportadas, embolse y ratio para el análisis de frecuencia bivariado. ....	97
Tabla 9-2: Categorías de precipitación en el análisis de medias.....	102
Tabla A-1: Parámetros de un cultivo de Banano usados en la simulación. ....	127
Tabla A-2: Propiedades hidrofísicas de los suelos usadas en la simulación.....	127



## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 3.1: Eje Bananero del Urabá Antioqueño (Mira <i>et al.</i> , 2004).....	5
Figura 3.2: Características Orográficas del Urabá Antioqueño. ....	6
Figura 3.3: Ciclo de Evaporación de la estación Uniban. ....	8
Figura 3.4: Ciclo Anual de Horas de Sol en la estación Uniban. ....	9
Figura 5.1: Partes de una Planta de Banano. (Champion 1963 reportado por Tixier 2004 a). .....	15
Figura 5.2: A) Esquema de la estructura y jerarquía de un sistema de drenaje en una finca típica de banano en Urabá. B) Diseño propuesto para el drenaje superficial al interior del Botalón (Salazar, 2010). ....	17
Figura 5.3: Esquema general de un cultivo de banano (Salazar, 2010). ....	18
Figura 5.4: Plantas de banano con síntomas de déficit hídrico. A) Planta arrepollada. ....	20
Figura 6.1: Modelamiento siguiendo: A) La vía del carbono y B) La vía de la radiación. La integración de las parte (b) y (c) de cada figura indica la vía transpiratoria (Steduto, 2006). .....	26
Figura 6.2: Diagrama simplificado de producción cuando la luz es el factor limitante (De Wit, 1986). ....	27
Figura 6.3: Diagrama simplificado de producción cuando el agua es el factor limitante (De Wit, 1986). ....	27
Figura 6.4: Flujo del cálculo para acumulación de biomasa en Cropsyst (Stöckle <i>et al.</i> , 2003). ....	29
Figura 6.5: Diagrama del modelo SIMBA. (Tixier <i>et al.</i> , 2008). ....	33
Figura 6.6: Esquema para la simulación de la producción de Banano. ....	35
Figura 8.1: Estructura de cohortes del SIMBA-POP. (Tixier <i>et al.</i> , 2004).....	40
Figura 8.2: Diagrama de programación del SIMBA – POP en Evolución 4.0 .....	43
Figura 8.3: Diagrama Flujo-Nivel del contador de temperatura. ....	44
Figura 8.4: Diagrama Flujo-Nivel de los Flujos de Semanas y Temperatura. ....	45
Figura 8.5: Flujo de Cohortes. ....	47
Figura 8.6: Rebrotos Seleccionados por Cohorte .....	48
Figura 8.7: Esquema de la evolución de una planta de banano en Urabá. ....	50



Figura 8.8: Ubicación Espacial de las Fincas Bananeras Seleccionadas .....	51
Figura 8.9: Embolse en dos fincas cultivadas con <i>Musa</i> spp., grupo AAA, cv. Valery. ....	52
Figura 8.10: Embolse en fincas con variedades. <i>Musa</i> spp., grupo AAA, cvs. Valery, Gran Enano y Williams.....	52
Figura 8.11: Comportamiento del embolse en dos fincas con diferente cultivar.....	52
Figura 8.12: Comportamiento del embolse en dos fincas con diferente cultivar.....	53
Figura 8.13: A) Ciclo de racimos embolsados y B) Ciclo de cajas exportadas de las diez fincas analizadas.....	54
Figura 8.14: Series de racimos embolsados/Ha para las diez fincas analizadas. ....	54
Figura 8.15: Series de cajas exportadas /Ha para las diez fincas analizadas. ....	54
Figura 8.16: Ciclo anual del A) YLS y B) YWLS para las 10 fincas analizadas. ....	55
Figura 8.17: Embolse de la finca María Rosario.....	57
Figura 8.18: Embolse de las finca Doña Ángela.....	57
Figura 8.19: Curva de masa simple del embolse semanal de la finca María Rosario.....	58
Figura 8.20: Curva de masa simple del embolse semanal de la finca Doña Ángela.....	58
Figura 8.21: Box-plots del embolse semanal de la finca María Rosario.....	58
Figura 8.22: Box-plots de la serie de embolse semanal de la finca Doña Ángela. ....	59
Figura 8.23: Curvas de racimos embolsados acumulados.....	61
Figura 8.24: Semana al pico simulada y registrada para 10 combinaciones de parámetros	63
Figura 8.25: A) Curva de racimos embolsados acumulados para la combinación de parámetros 35. B) Semana al pico simulada y registrada para la combinación de parámetros 35 .....	64
Figura 8.26: Serie de Racimos Simulados y Registrados para la Finca Doña Ángela.....	64
Figura 8.27: Curva de racimos embolsados acumulados para la finca Doña Ángela. ....	65
Figura 8.28: A) Curva de racimos embolsados acumulados para la finca María Rosario. .	66
Figura 8.29: Serie de racimos simulados y registrados para la finca María Rosario. ....	66
Figura 8.30: Ciclo de racimos embolsados y cosechados para la finca María Rosario. ....	66
Figura 8.31: A) Ciclo anual de racimos embolsados y B) Ciclo anual de racimos cosechados: simulados y registrados (promedio de 10 fincas). ....	68
Figura 8.32: Ciclo anual de racimos embolsados y cosechados para años El NIÑO y La NIÑA.....	69
Figura 9.1: Distribución espacial de: A) Temperaturas máximas. B) Temperaturas medias. C) Temperaturas mínimas anuales en el eje bananero del Urabá Antioqueño. Las barras en cada columna representan el error de estimación de la media. ....	72
Figura 9.2: Distribución de las temperaturas máximas según las fases del ENSO. A) El NIÑO 2002 – 2003. B) La NIÑA 2007-2008. ....	73
Figura 9.3: Distribución de las temperaturas medias según las fases del ENSO. A) El NIÑO 2002 – 2003. B) La NIÑA 2007-2008. ....	73



Figura 9.4: Distribución de las temperaturas mínimas según las fases del ENSO. A) El NIÑO 2002 – 2003. B) La NIÑA 2007-2008. ....	74
Figura 9.5: Comportamiento de la temperatura: A) Máxima, b) Media y C) Mínima de la estación Tulenapa respecto al ENSO. La línea representa el promedio multianual. ....	75
Figura 9.6: Comportamiento de la temperatura media en la finca Tapartó. A) Ciclo anual. B) Masa simple. C) Box-plot. D) Serie de tiempo. ....	75
Figura 9.7: Gradiente latitudinal de precipitación en el eje bananero. ....	76
Figura 9.8: Distribución de la precipitación anual en el eje bananero. ....	78
Figura 9.9: Precipitación según el ENSO. A) El NINÑO 2002-2003, La NIÑA 2007 – 2008. ....	78
Figura 9.10: Anomalía de precipitación para los años El NIÑO A) 2002, B) 2004 y La NIÑA C) 2008 respecto al promedio anual. ....	79
Figura 9.11: Ciclo anual de la precipitación en Urabá. ....	80
Figura 9.12: Comportamiento de la precipitación en la finca Alameda. A) Box-plot. B) Serie de tiempo. C) Ciclo anual. D) Masa simple. ....	81
Figura 9.13: Esquema de producción bananera en Urabá. (Mira <i>et al.</i> , 2004) ....	82
Figura 9.14: Ciclo anual de cajas exportadas / ha para las fincas analizadas. ....	82
Figura 9.15: Comportamiento de la producción (cajas exportadas) en la finca Alameda. A) Ciclo anual, B) Masa simple, C) Box-plot, D) Serie de tiempo. ....	83
Figura 9.16: Ciclo anual de la profundidad del nivel freático promedio en la finca Alameda. Las barras negras representan el error de estimación de la media. ....	83
Figura 9.17: Efecto del ENSO en la productividad (cajas exportadas/Ha). A) El NIÑO 2002 – 2003. B) La NIÑA 2007-2008. ....	84
Figura 9.18: Precipitación acumulada vs Cajas exportadas para la finca Alameda. ....	85
Figura 9.19: Precipitación acumulada vs Cajas exportadas para la finca Rita María. ....	85
Figura 9.20: Precipitación acumulada vs Cajas exportadas para la finca Doña Ángela. ....	86
Figura 9.21: Precipitación acumulada vs Cajas exportadas para la finca Banafinca. ....	86
Figura 9.22: Punta de bacotas para control de embolse. ....	87
Figura 9.23: Ciclo de embolse de las 10 fincas analizadas. ....	87
Figura 9.24: Comportamiento del embolse en la finca Alameda. A) Ciclo anual, B) Masa simple, C) Box-plot, D) Serie de tiempo. ....	88
Figura 9.25: Efecto del ENSO en el Embolse. A) El NIÑO 2002 – 2003. B) La NIÑA 2007-2008. ....	88
Figura 9.26: Precipitación acumulada vs Racimos embolsados para la finca Banafinca. ..	90
Figura 9.27: Precipitación acumulada vs Racimos embolsados para la finca PorFrancia. ..	90
Figura 9.28: Precipitación acumulada vs Racimos embolsados para la finca Rancho Amelia. ....	90
Figura 9.29: Ciclo de ratio de las 10 fincas analizadas. ....	91



Figura 9.30: Comportamiento del Ratio en la finca Alameda. A) Ciclo anual, B) Masa simple, C) Box-plot, D) Serie de tiempo.....	92
Figura 9.31: Efecto del ENSO en el Ratio A) El NIÑO 2002 – 2003. B) La NIÑA 2007-2008.....	92
Figura 9.32: Precipitación acumulada anterior vs Ratio para la finca Alameda.....	93
Figura 9.33: Precipitación acumulada anterior vs Ratio para la finca Rita María.....	93
Figura 9.34: Precipitación acumulada anterior vs Ratio para la finca Doña Ángela.....	94
Figura 9.35: Precipitación acumulada anterior vs Ratio para la finca Banafinca.....	94
Figura 9.36: Clasificación y códigos numérico y de color para el análisis de frecuencia bivariado.....	95
Figura 9.37: Ejemplo para la interpretación de las figuras de frecuencia bivariada.....	96
Figura.9.38: Análisis de frecuencias bivariado. Cajas exportas/ha y precipitación acumulada. Finca Alameda.....	98
Figura 9.39: Análisis de frecuencias bivariado. Cajas exportas/ha y precipitación acumulada. Finca María Rosario.....	99
Figura 9.40: Análisis de frecuencias bivariado. Cajas Exportas/ha y precipitación acumulada. Finca Alameda.....	100
Figura 9.41: Análisis de frecuencias bivariado. Cajas exportas/ha y precipitación acumulada. Finca Rita María.....	100
Figura 9.42: Análisis de frecuencias bivariado. Ratio y precipitación acumulada. Finca Alameda.....	101
Figura 9.43: Frecuencias bivariado. Ratio y precipitación acumulada. Finca Rita María	101
Figura 9.44: Gráfico de cuantiles de cajas exportadas, embolse y ratio para las dos zonas.....	102
Figura 9.45: Grafico de comparación de medias de embolse con intervalos LSD del 95%.....	103
Figura 9.46: Grafico de comparación de medias de ratio con intervalos LSD del 95%...	103
Figura 9.47: Grafico de comparación de medias de cajas exportadas con intervalos LSD del 95%.....	104
Figura 10.1: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la precipitación en la estación 12010031094. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans.....	108
Figura 10.2: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la precipitación en la estación 12010051104. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans.....	109
Figura 10.3: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la precipitación en la estación 12010071124. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans.....	110



Figura 10.4: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la precipitación en la estación 1202504701. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans. ....	111
Figura 10.5: Mapa del coeficiente de correlación lineal entre las series trimestrales de la precipitación y la NAO y el ONI. A) NAO del trimestre MAM – y precipitación de JJA y B) ONI y precipitación del trimestre DEF. ....	112
Figura 10.6: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la producción Cajas Exportadas / Ha de Urabá. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans. ....	113
Figura 10.7: Serie de tiempo ONI y producción estandarizadas. ....	114
Figura A.1: Balance hidrológico del suelo. Fuente (Allen <i>at al.</i> 2006) .....	126
Figura A.2: Evolución de la humedad del suelo. Estrato impermeable ubicado a 4.4 mts. ....	128
Figura A.3: Evolución de la humedad del suelo. Estrato de K = 125 mm/día ubicado a 4.4 mts. ....	128
Figura A.4: Precipitación típica de años secos, normales y húmedos para la estación Tulenapa. ....	129
Figura A.5: Evolución de la humedad del suelo. Año seco. Estrato de K = 125 mm/día ubicado a 4,4 mts. ....	130
Figura A.6: Evolución de la humedad del suelo. Año Normal. Estrato de K = 125 mm/día ubicado a 4.4 mts. ....	130
Figura A.7: Evolución de la humedad del suelo. Año Húmedo. Estrato de K = 125 mm/día ubicado a 4.4 mts. ....	131
Figura A.8: Precipitación acumulada vs Cajas exportadas para la finca Alameda. En el eje X la precipitación acumulada de 1 hasta 30 semanas. En el eje Y la producción semanal. ....	135
Figura A.9: Análisis de frecuencias bivariado. Cajas Exportas/ha y precipitación acumulada. Finca Alameda. ....	138
Figura A.10: Precipitación acumulada vs Racimos embolsados para la finca Alameda. En el eje X la precipitación acumulada de 1 hasta 30 semanas. En el eje Y la embolse semanal. ....	141
Figura A.11: Análisis de frecuencias bivariado. Racimos Embolsados/ha y precipitación acumulada. Finca Alameda. ....	144
Figura A.12: Precipitación acumulada anterior vs Ratio para la finca Alameda. En el eje X la precipitación acumulada de 1 hasta 30 semanas. En el eje Y el ratio promedio semanal. ....	147
Figura A.13: Análisis de frecuencias bivariado. Ratio y precipitación acumulada. Finca Alameda. ....	150





## 1. Introducción

La producción agrícola a campo abierto es altamente sensible al comportamiento de las variables climáticas. Un cultivo bien adaptado a un ambiente, y con un adecuado nivel tecnológico podrá expresar su máximo desarrollo como respuesta a unas características genéticas, siempre y cuando el ambiente mantenga sus componentes en un rango óptimo. Variaciones en esos niveles óptimos y particularmente la ocurrencia de eventos extremos, como sequías o inundaciones prolongadas, afectan fuertemente el desarrollo del cultivo. El efecto puede ser directo o indirecto, pues la variabilidad climática implica cambios en las relaciones del cultivo con los factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (humedad del suelo, disponibilidad de nutrientes, etc.). Un aumento de temperatura puede ocasionar un cese del proceso fotosintético, pero indirectamente en combinación con una alta humedad relativa y precipitación puede favorecer el desarrollo de algunos microorganismos responsables de enfermedades altamente limitantes en la producción. A su vez un buen suministro de agua, volumen y distribución, favorece un desarrollo vigoroso y acelerado de la planta, brindándole una mayor resistencia al ataque de enfermedades.

En Colombia existen unas 42600 ha sembradas de banano de las cuales cerca de 32600 ha están en el Urabá Antioqueño convirtiendo la región en la más importante productora de banano de Colombia. El banano y el plátano son la base de la economía del Urabá Antioqueño.

El cultivo del banano es particularmente susceptible a eventos estresantes. La humedad del suelo y la temperatura son factores determinantes en su producción, afectan el crecimiento, el desarrollo de la planta y del fruto.

A escala anual la variabilidad climática en la región de Urabá está regida principalmente por la fluctuación del Frente Intertropical de Convergencia, los meses de diciembre, enero, febrero y marzo normalmente son de bajas precipitaciones mientras que el periodo comprendido entre mayo y noviembre presenta elevadas precipitaciones. A escala interanual el fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENSO) es uno de los eventos que causa mayor anomalía en las precipitaciones y otras variables climáticas en la región. Durante la fase cálida (El Niño), ocurre una sensible disminución en la cantidad de lluvias en Urabá y un leve aumento en la temperatura. Durante La Niña por el contrario aumenta el volumen de precipitación en la zona y disminuye la temperatura media.



El cambio climático puede afectar la intensidad y frecuencia con que se presenta el fenómeno ENSO. Como consecuencia los niveles de humedad del suelo pueden ser bastante extremos: pasando de periodos prolongados de baja humedad a periodos de elevados niveles freáticos. Por otro lado el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico tiene efectos benéficos en las tasas fotosintéticas y en las relaciones agua-planta-atmósfera, especialmente para las plantas C3, las cuales responden debido a efectos atenuantes de la apertura estomática y en la fotosíntesis neta. Tanto las plantas C4 como las C3 pueden hacerse más resistentes a los periodos de sequía al aumentar la eficiencia en el uso del agua.

Siendo la producción y comercialización del banano, el eje de la economía de la región del Urabá Antioqueño, es de gran importancia conocer cómo la variabilidad climática ha afectado y afectará la distribución, calidad y cantidad de la producción de banano, con el fin de desarrollar herramientas y planear estrategias que permitan el sostenimiento y crecimiento de la industria bananera en Colombia.

El presente trabajo se basó en el análisis de la variabilidad anual e interanual de las series de precipitación, temperaturas máxima, media y mínima para el clima y las series de embalse, producción y ratio como indicadores del comportamiento del cultivo comercial de banano en el Urabá Antioqueño. En cuanto a la precipitación, se estudió su efecto en los ciclos de producción, embalse y ratio. El efecto de la temperatura se estudió con base en el modelo SIMBA – POP, el cual sufrió un proceso de modificación, calibración y validación con las series históricas a las que se tuvo acceso.

Para cumplir con los objetivos trazado el trabajo se estructuró en 8 capítulos. Los capítulos 3, 4 y 5, corresponden a la revisión bibliográfica del estado actual del conocimiento del clima en Urabá, las relaciones hídricas del cultivo, los efectos del clima sobre cultivo de banano y los acercamientos al modelamiento de un cultivo agrícola en general, para luego pasar al modelamiento particular de un cultivo de banano. Estos capítulos permiten diagnosticar, y generar estrategias y metodologías para abordar el proceso de simulación y el estudio de las relaciones clima – cultivo de banano.

En el capítulo 7, se describe el tipo de información, longitud y periodos de registros a la que se tuvo acceso y con la cual se desarrolló el presente trabajo.

En el capítulo 8 se detalla el proceso de modificación, construcción, calibración y validación del modelo SIMBA – POP (Tixier *et al.*, 2004), en Evolución 4.0, para las condiciones del Urabá Antioqueño. Al final del capítulo con base en las series de temperaturas típicas en las fases del ENSO, se realiza una simulación del comportamiento de la población de banano bajo condiciones de El NIÑO y La NIÑA.

En el capítulo 9 se abordan el análisis de la variabilidad espacio temporal de las series de temperatura, precipitación, embalse, ratio y cajas exportadas en la región de Urabá. Se analizó el ciclo anual y se construyeron mapas de variabilidad interanual de las diferentes



series de tiempo. Se construyeron series de precipitación acumulada hasta por 35 semanas y se relacionaron con las fases fisiológicas del cultivo. Se hizo un análisis de medias, de series de tiempo y de frecuencia bivariada, donde se clasifican en rangos las series de producción, ratio y embolse según las precipitaciones acumuladas antecedentes.

El capítulo 10 aborda las relaciones entre algunas variables macroclimáticas que representan condiciones de los océanos Pacífico y Atlántico y la precipitación y producción del eje bananero. Se calculó el coeficiente de correlación lineal entre las variables macroclimáticas y las series de precipitación y producción estandarizadas. Se realizó análisis con series mensuales y trimestrales.

Finalmente, en el capítulo 11 se realiza una discusión sobre los resultados obtenidos, se concluye y se dan recomendaciones para el desarrollo de trabajos futuros, que tomen como punto de partida la presente investigación y que puedan continuar en la profundización del conocimiento de las muy complejas relaciones entre la variabilidad climática y la producción agrícola.



## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Estudiar la variabilidad espacio – temporal a escala anual e interanual de las series de temperatura, precipitación y de los estados del cultivo de banano y sus interacciones, con el fin de conocer con mayor propiedad la respuesta del cultivo ante los cambios naturales en las variables climáticas, de tal manera que permitan el desarrollo y consolidación de herramientas para el pronóstico a corto, mediano y largo plazo.

### 2.2 Objetivos Específicos

Realizar revisión bibliográfica del estado actual del conocimiento de las relaciones hídricas en el sistema clima –banano – suelo, especialmente la respuesta del banano ante situaciones de estrés hídrico y cambios de temperatura.

Realizar revisión bibliográfica sobre el modelamiento de un cultivo agrícola, las aproximaciones en la simulación de cultivo de banano, de su representación físico-matemática, especialmente la valoración de los parámetros indispensables para la modelación, mediante el empleo de modelos genéricos o específicos.

Realizar el modelamiento físico-matemático de la población de un cultivo comercial de banano en el Urabá antioqueño, su interacción y respuesta a variaciones en la temperatura media, con la programación, calibración y validación del modelo SIMBA – POP.

Valorar el efecto de la variabilidad climática, especialmente precipitación y el estado vegetativo del banano, en el número de racimos embolsados, cajas exportadas y ratio en las fincas objetos de estudio.

Valorar por medio de correlaciones cruzadas y rezagos, la influencia de las variables macro-climáticas en las características de la precipitación y su efecto en la producción de banano en el Urabá antioqueño.



### 3. Características climáticas de la zona bananera en el Urabá Antioqueño

El Urabá Antioqueño se encuentra localizado en el extremo sur de la costa Caribe Colombiana, en cercanías a los límites entre Colombia y Panamá, está conformado por once municipios. La industria bananera está concentrada en el denominado eje bananero que inicia al oriente del Municipio de Chigorodó, cubre los Municipios de Carepa, Apartado y Turbo, limita al norte con el Río Guadualito en el corregimiento El Tres, al sur con la Comunal Santillana, al oriente con el piedemonte de la serranía de Abibe y al occidente con el Río León y el Golfo de Urabá. Se extiende aproximadamente entre los 7° 43,779' a los 8° 01,035' de latitud norte y entre los 76° 36,677' y los 76° 44,802' de longitud oeste (IGAC, 2007). Actualmente la empresa C.I Banacol S.A. posee las fincas más septentrional (Monterrey 3) y meridional (Finca 4) del eje bananero.

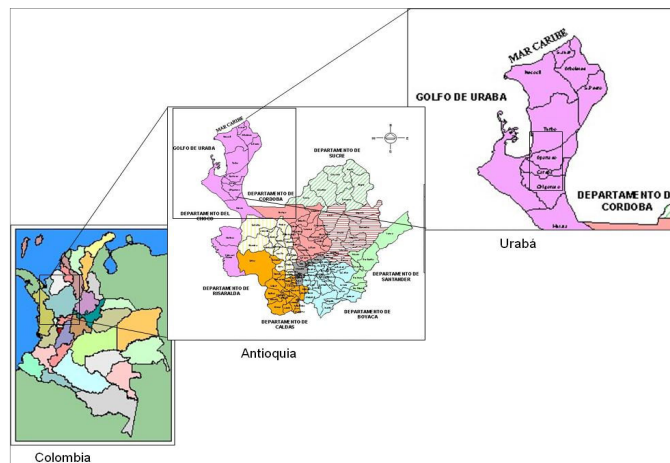


Figura 3.1: Eje Bananero del Urabá Antioqueño (Mira *et al.*, 2004).

El eje bananero de Urabá está ubicado a un altitud que oscila entre los 10 y 40 metros sobre el nivel del mar, su promedio anual de precipitación es de 2.650 mm, su humedad relativa es de 87%, su temperatura media anual es de 27 grados centígrados y su brillo solar es de unas 1.700 horas año. El suelo, el clima y el manejo de la plantación interactúan con las capacidades intrínsecas de las plantas para obtener finalmente una buena productividad, que en este cultivo se expresa en cajas de 18,14 kilogramos exportadas por hectárea (Mejía y Gómez 1998).



Desde el punto de vista regional, Urabá está localizado en el límite septentrional de la faja de fluctuaciones anual del llamado Frente Intertropical de Convergencia (F.I.C.), La fluctuación de dicho frente, es uno de los factores determinantes de la variación climática que ocurre en distintos períodos de un año. La influencia del F.I.C. depende de su posición hacia el norte o hacia el sur, de tal suerte que en los meses de enero, febrero y marzo, cuando la zona de convergencia alcanza su posición más meridional (cerca a los 5° de latitud sur), la región se ve sometida al régimen de altas presiones, con vientos superficiales provenientes del norte que atraviesan la región en sentido noroeste y con velocidades superiores a los 15 km/h, produciéndose un período de menor cantidad relativa de lluvias. En sentido contrario, cuando la zona de convergencia alcanza su posición más septentrional, la región es sometida a la influencia de masas húmedas que se desplazan en sentido sur sureste, provenientes del océano Pacífico que originan las lluvias más frecuentes en el período que va de mayo a noviembre (Salazar, 2010). La dirección de los vientos y su evolución temporal anual fue estudiada por Roldan (2008) confirmando que para los meses entre enero y abril, los vientos persistentes son los que provienen del norte, posteriormente aparece una transición de norte a sur durante el mes de mayo, a partir del cual los vientos predominantes son los que vienen del sur. Mapas de vientos superficiales trimestrales se pueden observar en Mesa *et al.* (1997) respaldando estos comportamientos.

Debido a que la divisoria de aguas hacia el océano Pacífico es de serranías de baja altura (Baudó y los Saltos), y la región es morfológicamente estructurada por un valle anegadizo, las masas húmedas provenientes del océano Pacífico chocan contra la cordillera Occidental (serranía de Abibe). Por esta razón es que se encuentran precipitaciones superiores a 4.000 mm anuales hacia la zona de Mutatá y hacia las cumbres orientales de la serranía, siendo mucho mayor la precipitación en la zona de Chigorodó que en la de Turbo (Salazar, 2010).

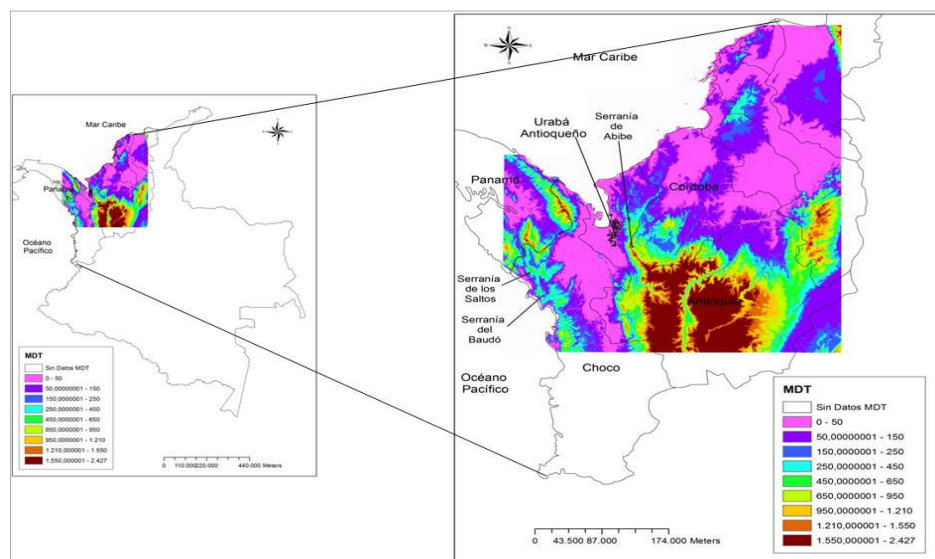


Figura 3.2: Características Orográficas del Urabá Antioqueño.



### 3.1 Precipitación

Las precipitaciones son de tipo convectivo de gran intensidad, con una duración más bien corta y un radio espacial no muy extenso (menos de 500 km<sup>2</sup>). La secuencia espacial y temporal de la lluvia es muy diversa, pero puede decirse que su efecto es asimilable al producto de una tormenta extendida sobre un área grande y de una larga duración. La lluvia fuerte es el resultado de masas saturadas de humedad que ascienden de la tierra y son condensadas debido a la disminución de la temperatura cuando finaliza el día (Salazar, 2010)

La precipitación de la zona presenta un ciclo bimodal: un período más largo de lluvia entre Mayo, y Julio y otro de más corto período de Octubre a Noviembre. El ciclo anual de precipitación coincide con el paso de la Zona de Convergencia Inter-Tropical –ZCIT– sobre la zona. La estación más seca coincide con la posición más al sur de la ZCIT de Diciembre a Marzo y con la activación de los vientos Alisios del Noreste. La precipitación media anual es de 2500 mm para la estación Turbo y 2675 mm para la estación Unibán (Roldan, 2008)

Debido a que la disminución de la precipitación en los meses de Junio – Agosto, es poco apreciable Salazar (2010); IGAC (2007) indican que la zona posee un régimen unimodal de precipitación. Esta apreciación es apoyada por los resultados de Hurtado (2009) quien encontró que en la región del Urabá, los meses de enero, febrero y marzo presentan valores por debajo de los 100 mm/mes, en abril la precipitación pasa a órdenes de magnitud de 220 mm/mes, en mayo se superan los 300 mm/mes, de junio a octubre la media mensual se ubica entre los 250 y 300 mm/mes, en noviembre ligeramente inferior a los 250 mm/mes y en diciembre cae por debajo de los 200 mm/mes. Esta región se caracteriza por un comportamiento sostenido de precipitación moderada entre los meses de abril a diciembre y un fuerte verano en los tres primeros meses del año. En Panamá el comportamiento es muy similar, donde los valores más altos para la precipitación se presentan sin poca variación entre los meses de mayo y noviembre entre los 220 y 280 mm/mes.

### 3.2 Temperatura

La temperatura del aire en Urabá presenta un comportamiento muy regular a lo largo del año, con variaciones inferiores a 1°C, entre los meses fríos y los cálidos. En general se presenta un incremento de la temperatura media mensual en los meses de febrero, marzo y abril, y una disminución en los meses comprendidos entre septiembre y noviembre. La temperatura media se encuentra entre 26,6°C y 27,3 °C. (IGAC, 2007; IDEAM, 2005; Salazar, 2010; Roldan, 2008)





### 3.3 Otras variables climáticas

Los valores de humedad relativa son altos durante todo el año. Los promedios regionales se encuentran en el 85% (UNAL, 2006). Los meses de mayor humedad son los pertenecientes al núcleo del período lluvioso. En mayo y junio la humedad relativa media alcanza su punto máximo. Los mínimos son del orden del 62%, que se presentan normalmente al medio día. Con frecuencia, las condiciones de saturación se alcanzan en las primeras horas de la mañana. La mayor parte del año se presenta días nublados o parcialmente cubiertos (Roldan, 2008)

Urabá se caracteriza por ser de alta nubosidad, que afecta el número de horas sol, humedad relativa cercana al 100% en la madrugada, e igualmente alta temperatura, estos factores son los de mayor incidencia sobre los procesos de evaporación en la zona (Salazar, 2010). La demanda evaporativa es un poco mayor en el primer trimestre del año, principalmente al final de la temporada seca, el mes de marzo, en este trimestre se presentan las menores humedades relativas y las horas de sol son mayores, es decir, se presenta menor nubosidad. El ciclo de la evaporación registrada en el tanque tipo A en la estación Uniban se muestra en la figura 3.3.

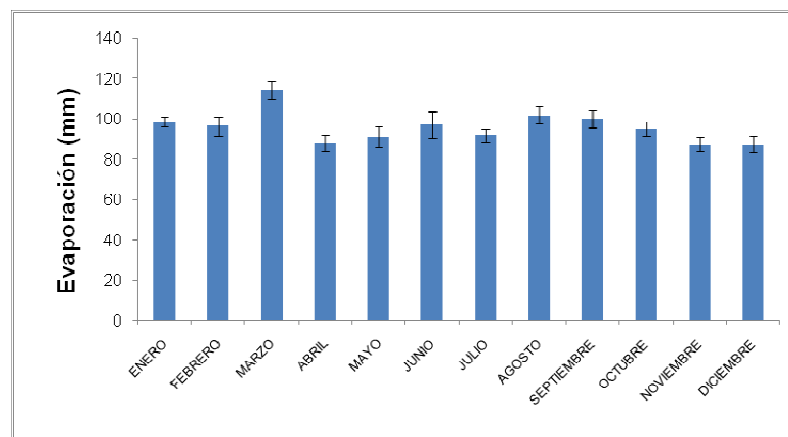


Figura 3.3: Ciclo de Evaporación de la estación Uniban.

La alta nubosidad reinante limita el número de horas sol de la zona. En forma general el área de incidencia de la zona bananera permanece con nubes bajas durante gran parte del día, la cercanía del golfo y la barrera geográfica que representa La Serranía de Abibe, genera este fenómeno. El número de horas sol presenta cambios importantes en meses extremos, siendo enero el mes de mayor número de horas sol y junio el de menor.

El valor medio del porcentaje de cobertura de nubes es de 0,7, presentando algunas veces valores mínimos de 0,2 y máximos de 0,9. El porcentaje de cobertura de nubes exhibe un ciclo anual, con mínimos en las primeras horas de la mañana, alrededor de las 6 a.m., y máximos alrededor de las 13 p.m. (Roldan, 2008)





En el municipio de Apartadó, se evidencia la tendencia regional a aumentar el número de horas de brillo solar a medida que se realiza un desplazamiento al occidente, pues la nubosidad es mayor en el oriente debido a las condiciones que impone la serranía en cuanto al ascenso de masas húmedas que al condensarse aumentan la cantidad de nubes evitando así la entrada de luz solar a la superficie. En la estación Aeropuerto los Cedros la cantidad de luz solar en el año es de 1633 horas en la longitud de 76°42', mientras que en la estación UNIBAN, la cual está ubicada un poco más al oriente es de 1530. En general, la insolación se concentra en las horas de la mañana hasta poco después del mediodía (Salazar, 2010).

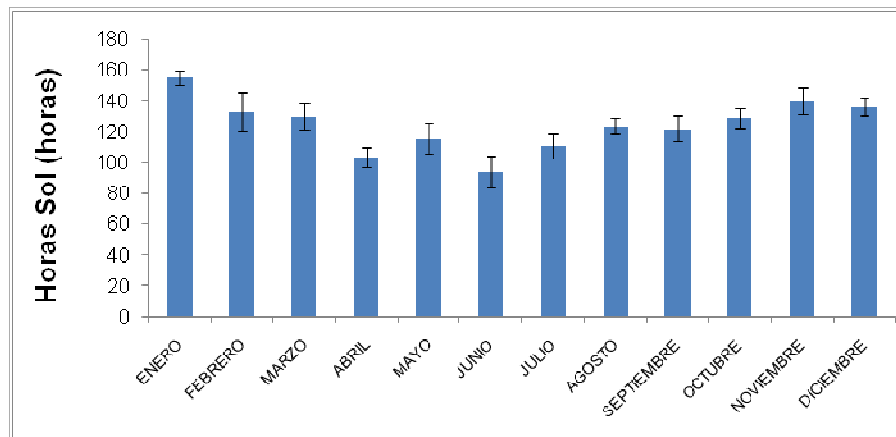


Figura 3.4: Ciclo Anual de Horas de Sol en la estación Uniban.

### 3.4 Efectos del fenómeno ENSO en la región

A escala interanual el fenómeno El NIÑO – Oscilación del Sur (ENSO), es uno de los eventos que causa mayor anomalía en las precipitaciones y otras variables climáticas en Colombia (Mesa *et al.*, 1997; Poveda *et al.*, 1998; Poveda, 2004) Durante la ocurrencia de la Fase Cálida (El NIÑO), se presenta un desplazamiento del centro del Frente Intertropical de Convergencia hacia el sur y hacia el oeste de su posición normal, existe una perturbación de la advección de humedad desde el océano Pacífico, situación que se combina con la retroalimentación positiva que existe cuando ocurren eventos extremos. (Mesa *et al.*, 1997). Estos factores entre otros causan una sensible disminución en la cantidad de lluvias en la zona durante la ocurrencia de El NIÑO. Durante la fase fría del ENSO, La NIÑA, ocurre un aumento en el volumen de precipitación en la zona.

La ocurrencia de las fases del ENSO afecta la mayoría de actividades en Colombia. Se ha estudiado la relación existente entre la ocurrencia de El Niño y la Niña y la generación de energía, la prevención de desastres naturales como inundaciones y deslizamientos de tierra, la prevención de epidemias de malaria, cólera y otras enfermedades tropicales, la dinámica del ecosistema acuático, la dinámica de la humedad del suelo, y por supuesto la producción agropecuaria (Poveda *et al.*, 2003; Poveda *et al.*, 2001a, 2001b, 2002; Sánchez *et al.* 2001; Blanco *et al.* 2007; Blanco *et al.* 2005; Bouma *et al.*, 1997).



El cambio climático global afecta la intensidad con que se presenta el fenómeno ENSO, el cual influye en la distribución e intensidad de las lluvias y finalmente en los niveles de humedad del suelo. La región de Urabá, como sucede en gran parte de la costa Atlántica y la zona Andina es afectada durante la aparición del fenómeno El NIÑO, el cual ocasiona una disminución en la cantidad de lluvias y un aumento en la temperatura media. En general se presentan un incremento en un grado 1°C en la temperatura media y una disminución anual de la precipitación en aproximadamente un 40% (IDEAM, 2002). Por ejemplo (Mayorga y Hurtado, 2006) reportan que durante la aparición del fenómeno El NIÑO: en Urabá, la sequía ligera fue predominante, tanto en distribución espacial como en frecuencia; Identificándose déficit hídricos moderados y extremos durante los periodos comprendidos entre julio/72-diciembre/73, marzo/76-febrero/78, mayo/86-septiembre/87 y noviembre/96-abril/98. Años en los que se presentaron eventos El Niño de diversa intensidad.

Las alteraciones en la distribución e intensidad de las precipitaciones y de otras variables climáticas afectan necesariamente la disponibilidad hídrica en una región. Aunque la humedad del suelo puede disminuir por debajo de los límites apropiados para la producción agrícola, presentándose niveles de sequía aun en años normales, generalmente la ocurrencia de El NIÑO se asocia con eventos de sequía. (Mayorga y Hurtado, 2006). En el Urabá Antioqueño las alteraciones, debido a la fase cálida del ENSO ocurridas entre los años 1991 y 1998, han significado periodos secos más acentuados y extensos y periodos lluviosos más cortos con volumen de precipitación mucho mayor, esta situación generó una drástica disminución en la producción de banano en la hacienda Horizontes, ubicada en el municipio de Carepa durante la aparición de los fenómenos de El NIÑO 91-92 y 94 – 95. (Quiceno, 2004)

La ocurrencia de la fase cálida del ENSO en 1997 y 1998 afectó la producción de cultivos anuales como los cereales de secano (el maíz, el frijol y la soya) y las plantaciones de banano, cacao y caña de azúcar orientadas a la exportación. El banano sufrió pérdidas en plantaciones y producción por aproximadamente 25000 millones de pesos. (Corporación Andina de Fomento, 2002)

Ochoa *et al.* (2010) estudiaron el efecto de las tres fases del ENSO en la producción de banano (cajas exportadas) en las dos principales zonas productoras de Colombia, Urabá y Santa Marta, su análisis comprendió el período entre 1990 y 2008, en el cual hubo 7 ocurrencias de El NIÑO, 4 de La NIÑA, y 11 de condiciones normales. Encontraron que en términos generales la producción total es mayor cuando se presenta la fase fría del ENSO (La NIÑA). Durante La NIÑA el primer pico de producción en el año se amplifica y dura más, mientras el segundo pico no se altera en mayor medida. El impacto de la fase cálida (El NIÑO) es menos fuerte; durante esta fase el rendimiento es menor excepto en enero en ambas zonas y en junio y los últimos tres meses del año en Urabá.

El ENSO afecta la incidencia de la Sigatoka Negra en la producción de banano en Urabá, Durante la fase cálida, El NIÑO, la enfermedad tiene un mayor impacto en la plantación,



por el contrario, durante la ocurrencia de La NIÑA el impacto de la enfermedad en la plantación es menor como consecuencia de una mayor tasa de emisión foliar, en la fase normal, se advierte un efecto intermedio entre las otras dos fases (Martínez *et al.*, 2010). En otro sentido, para Patiño y Mejía, (1999) las lluvias excesivas favorecen las epidemias de la Sigatoka Negra, obligando al uso de fungicidas sistémicos, lo que se traduce en mayor costo y en un número mayor de ciclos promedio de fumigación, a la vez obligan a intensificar las labores del cultivo en las bananeras de Urabá como: el control de malezas, la limpieza de canales, los deshojes fitosanitarios, la incorporación de fertilizantes, mantenimiento general del sistema de drenaje y las inspecciones de Sigatoka Negra en las plantaciones.

Claramente el ENSO es un modulador del clima en Colombia afectando la producción agrícola y particularmente la bananera.

A futuro, si no existieran cambios o estos fueran leves en la amplitud de El NIÑO, es probable que el calentamiento mundial produzca mayores extremos en la desecación y en las fuertes cantidades de lluvia y un aumento del riesgo de sequías y crecidas asociadas al fenómeno El NIÑO (IPCC, 2001).

Este panorama, alerta sobre las acciones, medidas o disposiciones que deben tomar las empresas productoras, así como los entes privados y públicos encargados de planificar políticas y mecanismos que permitan asegurar la sostenibilidad de la producción bananera en Colombia. En este sentido, el presente trabajo es una puerta de entrada al conocimiento de las relaciones entre la precipitación, temperatura y la producción de banano y el desarrollo de herramientas de simulación que permitan plantear escenarios hipotéticos de mediano y largo plazo y ayuden en la toma de las decisiones adecuadas.



## 4. Relaciones hídricas en el sistema suelo – planta – atmósfera

El agua, además de ser el solvente de una gran cantidad de sustancias esenciales para el desarrollo de la planta, participa en la mayor parte de sus procesos fisiológicos: fotosíntesis, respiración, hidrólisis de almidones, es la responsable de la turgencia y rigidez de las células y la diseminación de estructuras vegetales como esporas, frutos y semillas. Al ser un insumo en el proceso fotosintético, el agua, tiene una influencia directa en la producción de los cultivos, además, indirectamente, el déficit hídrico ocasiona el cierre de los estomas, estructuras que controlan el intercambio gaseoso ( $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ) entre la atmósfera circundante a la hoja y la cavidad subestomática. La disminución o paro de este intercambio gaseoso afecta el proceso fotosintético, lo que finalmente, según la intensidad, se verá reflejado en una disminución en la producción comercial (Doorenbos y Kassam, 1979; Martin de Santa y De Juan, 1993; Salisbury y Ross, 1994; Aristizábal, 2003; Ehlers y Goss, 2003)

El conjunto suelo – planta – atmósfera constituye un sistema integrado y dinámico a través del cual el agua se mueve gracias a una continuidad hidráulica entre el suelo y la cavidad subestomática y según los gradientes energéticos que existen entre el suelo y la atmósfera. El agua se mueve desde los lugares de potencial hídrico mayor hacia los lugares de potencial hídrico menor (Martin de Santa y De Juan, 1993; Hillel, 1994; Ehlers y Goss, 2003; Martin de Santa *et al.* 2005). Al existir una continuidad hidráulica en todo el sistema, se puede representar el agua como un hilo que es tensado por los gradientes energéticos que existen entre cada uno de sus extremos, esta es la teoría de la tensión – cohesión (Salisbury y Ross, 1994; Martin de Santa y De Juan, 1993; Aristizábal, 2003). En un extremo del hilo, está el potencial hídrico que posee la atmósfera y en el otro extremo está el potencial hídrico del suelo, la planta actúa como un conducto vivo, capaz de regular el movimiento, a través del cual se mueve el agua en el sistema.

Cuando ocurre el proceso transpiratorio, en condiciones de buena hidratación del suelo, en el extremo inferior del hilo ocurre una entrada del agua del suelo a la raíz de la planta. Sin embargo, cuando la exigencia transpiratoria excede la ganancia por absorción, por un elevado gradiente de los potenciales entre la atmósfera y el suelo, ocurren problemas en la continuidad del hilo xilemático y por lo tanto se presenta un déficit hídrico. Este déficit es el resultado de una compleja combinación de factores pedológicos, biológicos y atmosféricos, cada uno de los cuales interactúa para regular el nivel de absorción hídrica y



la salida del agua (Martin de Santa y De Juan, 1993; Restrepo, 2000; Martin de Santa *et al.*, 2005).

La energía con la que el agua es retenida en el suelo se incrementa cuando la humedad del suelo disminuye. Es decir, cuando el suelo está seco, el nivel energético del agua es más negativo (Taylor y Ashcroft, 1972; Hillel, 1994; Jaramillo, 2002) y por lo tanto se necesita un gradiente energético mayor para lograr la evapotranspiración de esa agua. De esta manera, en condiciones de alta demanda evaporativa, el gradiente energético entre el suelo y la atmósfera se incrementa, y el proceso transpiratorio se mantendrá hasta cuando la planta, por llegar a unos límites físico - fisiológicos, regule el flujo de agua mediante el cierre de sus estomas, como respuesta a ese exceso de gradiente ocasionado ya sea por secado del suelo, por una atmósfera demasiado seca o por la combinación de los dos.

Los cambios en la humedad del suelo reflejan en mucho el comportamiento de la precipitación (Poveda *et al.*, 2002a, Laio *et al.*, 2002) y la temperatura y consecuentemente la dinámica de crecimiento y producción de las plantas. Un aumento de la temperatura afecta el contenido de agua en el suelo mediante su influencia en el proceso de evapotranspiración, mientras que cambios en la precipitación ocasionarán mayor o menor disponibilidad de agua. Así mismo, el uso del agua por parte de la planta es influenciado por el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub>. Aumentos en la concentración de CO<sub>2</sub>, en presencia de niveles adecuados de radiación, normalmente ocasionan incrementos en las tasas fotosintéticas y mejoran la eficiencia en el uso del agua, (Warrick *et al.*, 1985; Salisbury y Ross, 1994; Aristizabal, 2003; Rounsevel *et al.*, 1999; Taiz y Zeiger, 2002). Sin embargo, la fotosíntesis es restringida por el déficit de humedad del suelo, la disponibilidad de nutrientes, la temperatura y la humedad del aire (Rounsevel *et al.*, 1999; Salisbury y Ross, 1994; Aristizabal, 2003; Martin de Santa y De Juan, 1993). Es común observar aumentos de las tasas fotosintéticas del 30 – 50% o más en plantas con fotosíntesis C3 y del 5-15% en plantas con metabolismo C4 o CAM, cuando la concentración del CO<sub>2</sub> en el aire es duplicada. El banano es una planta C3.

En Colombia, el ciclo anual de distribución de la precipitación es principalmente regido por la oscilación de la Zona de convergencia intertropical (ZCIT), la variabilidad espacial es introducida por la presencia de los Andes y la cuenca del río Amazonas, y por los límites con los océanos Atlántico y Pacífico y la interacción suelo-atmósfera. A escala interanual, el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) es el principal modulador de la hidrología Colombiana. Durante la ocurrencia del evento El Niño, en la mayor parte de Colombia se presentan anomalías negativas en la precipitación, en la humedad del suelo, en la actividad vegetal y en los caudales de los ríos (Mesa *et al.*, 1997, Poveda *et al.*, 2000, 2001, 2005). Durante la presencia de La Niña, Poveda *et al.* (2001, 2002a) encontraron que en la zona cafetera colombiana, la humedad del suelo no refleja el ciclo bimodal anual normal, y el suelo permanece cerca del estado de saturación.

El agua en el suelo puede afectar el desarrollo de las plantas tanto por exceso como por su déficit. El mal drenaje ocasiona exceso de CO<sub>2</sub>, disminución del oxígeno (O<sub>2</sub>) en el suelo y muchas veces crea un ambiente favorable para el desarrollo de ciertas enfermedades. Las



plantas pueden sufrir daños por toxicidad o por la inhibición de la respiración del sistema radicular, la disminución del  $O_2$  del suelo, ocasiona la desaparición de los microorganismos aerobios, siendo reemplazados por los anaerobios y consecuentemente la cantidad de nitrógeno asimilable para las plantas disminuye: principalmente debido a la disminución en las tasas de descomposición de la materia orgánica y a la eficiencia en la tasa de fijación. Así mismo, aumentan las tasas de volatilización (ILRI, 1976; Pizarro, 1978).

Las bajas concentraciones de nitrógeno en el suelo afectan el crecimiento de las plantas. Sin embargo, estudios reportados por Warrick *et al.* (1985) para especies  $C_3$  no leguminosas, demuestran que la ganancia en materia seca de plantas con deficiencia y suficiente cantidad de nitrógeno se incrementó al doblar la concentración normal de  $CO_2$ .

Las relaciones hídricas en el sistema suelo – planta – atmósfera son realmente complicadas. La respuesta de la planta (producción) al comportamiento del clima (precipitación, temperatura) es compleja y responde tanto en forma directa, como indirectamente en relación con enfermedades y plagas que logran mejores condiciones de desarrollo con ciertos niveles de temperatura y/o precipitación. Esta complejidad obliga, a definir unas condiciones especiales de una planta o un cultivo, para poder separar las respuestas a las variables climáticas. En esta vía, en condiciones ideales: un cultivo libre de enfermedades, sin deficiencias nutricionales, y bien adaptado, un suministro adecuado de agua permitirá a la planta expresar su máximo rendimiento. Cuando una planta puede transpirar a su máxima tasa tiene su máxima producción. Si esta transpiración disminuye por limitaciones en el aporte de agua consecuentemente la producción se verá afectada por la medida en que pueden atenderse las necesidades hídricas totales durante todo el ciclo. (Doorenbos y Kassam, 1979; Martín de Santa y De Juan, 1993; Allen *et al.*, 1998).

*Las variaciones en los rendimientos de los diferentes cultivos dependen de factores tecnológicos, económicos y naturales, especialmente climáticos. Los primeros son los más estables o menos modificables en el corto plazo y, en general, le imprimen un carácter creciente a las tendencias de los rendimientos. Los factores económicos, como la disponibilidad de crédito o de existencias de insumos, pueden variar significativamente en el corto plazo y afectar la gestión productiva. Los factores climáticos, en particular los niveles de precipitación y de humedad, inciden sobre la productividad de los cultivos, de acuerdo con las diferentes necesidades de cada uno de ellos y sus respectivas resistencias al estrés hídrico (IDEAM, 2002).*



## 5. Generalidades del cultivo de banano

La Familia Musaceae (Bananos y Plátanos) son plantas herbáceas rizomatosas que tienen una altura entre 0.8 y más de 1.5 m. Son de origen Asiático, no toleran las heladas, tanto las especies silvestres como las cultivadas muestran una amplia rango de adaptación al suministro de agua y temperatura.

Cada retoño de banano produce una serie de hojas, hasta que en la parte superior nace directamente una inflorescencia que emerge del centro de los pseudotallos en posición vertical; semejando un enorme capullo púrpura o violáceo, para iniciar el llenado de la fruta. Este proceso es guiado internamente y no es influenciado directamente por el fotoperíodo o la temperatura. Cada planta produce una serie de racimos, uno de cada rebrote lateral. Luego que la fruta alcanza la madurez, es cosechada y el pseudotallo muere, todo o parte de este es cortado y un nuevo racimo emergerá de la siguiente generación proveniente del rebrote previamente seleccionado. Brotes laterales producen puyones (rebrotos), que juntos con los padres forman la planta. Usualmente tres generaciones son visibles. (Madre, Hija, Nieta). Este proceso puede repetirse por 50 generaciones o más; el elemento perenne en una planta de banano es el rizoma superficial o subterráneo, que posee meristemas a partir de los cuales nacen entre 200 y 500 raíces fibrosas, que pueden alcanzar una profundidad de 1,5 m y cubrir 5 m de superficie. Cada rebrote produce  $40 \pm 10$  hojas antes de producir partes reproductivas. Los rebrotos, los cuales son numerosos, inician el crecimiento cuando la madre ha producido 12 hojas o un poco después de la emergencia del racimo (Turner, 1994).

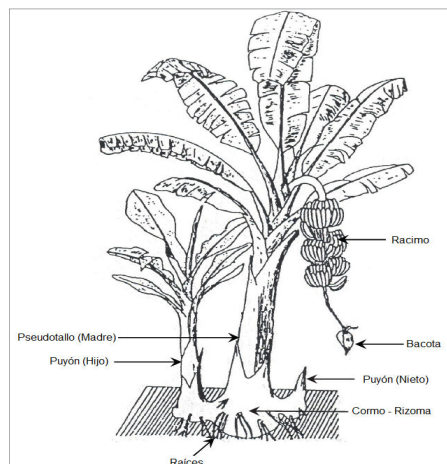


Figura 5.1: Partes de una Planta de Banano. (Champion 1963 reportado por Tixier 2004 a).





## 5.1 Producción de banano en el Urabá Antioqueño

Los sistemas de producción de banano en todas las zonas productoras tienen similitudes en cuanto a las prácticas que se requieren para mantener una plantación comercialmente activa. Sin embargo cada zona caracterizada por su geología, morfología, hidrología, climatología entre otros, obliga a que se adopten unas configuraciones específicas en la estructura del sistema productivo.

Por ejemplo la estructura de costos de la zona bananera de Santa Marta es diferente a la estructura de costos de la Zona de Urabá. Para Santa Marta el riego es un factor importante en los costos totales de producción mientras que para la Urabá la construcción y mantenimiento del drenaje superficial y subsuperficial es un factor más preponderante, como consecuencia de la deficiente infraestructura de riego en la zona y de las elevadas precipitaciones.

La geomorfología de la actual zona bananera de Urabá, la conforman planicies aluviales desarrolladas por aportes de sedimentos que convergen bien al Río León o al Golfo y está comprendida entre las estribaciones de la Cordillera Occidental, la serranía de Abibe y el Golfo de Urabá que es bañado por los Ríos Atrato y León. Los ríos que bañan la zona, bajan de la cordillera e inmediatamente abandonan la zona montañosa serpentean el valle en forma aproximadamente paralela, desbordándose en varios puntos, pero sin abandonar su cauce, constituyendo un patrón de drenaje sub-paralelo en suelos aluviales de baja pendiente. Un patrón de drenaje sub-paralelo, con ríos cortos y poco profundos, necesariamente tiende a generar desbordamientos y acumulación de materiales finos en las partes bajas de la cuenca. Cuando se tienen ríos con estas características, el nivel freático no tiende a drenar hacia los ríos, sino por el contrario tiende a ser paralelo a ellos. Ello permite establecer que todo el flujo del drenaje de la zona bananera tiene una dirección predominante de Oriente-Occidente (Salazar, 2010).

La geología y morfología combinada con la climatología de Urabá caracterizada por elevadas precipitaciones durante la mayor parte del año. Obliga a que el cultivo de banano tenga un buen sistema de drenaje para evacuar los excesos de precipitación representados en la elevación del nivel freático, escorrentía y/o acumulación superficial por efecto del microrelieve.

Físicamente una finca de banano en el Urabá antioqueño está constituida por canales de drenaje jerarquizados en Primarios, Secundarios y Terciarios para drenaje subsuperficial y canales cuaternarios que según su tamaño se clasifican en cunetas, sangrías y bateas<sup>1</sup> para drenaje superficial. Esta infraestructura se combina con la estructura para el transporte de la fruta hasta la empacadora representada principalmente por cable vía aéreo de tal suerte

<sup>1</sup> En el área Técnica de la empresa Banacol S.A. las bateas son consideradas como el menor de los canales de drenaje superficial, con un corte de 20 cm.





que estas estructuras deben estar dispuestas de forma tal que causen las menores físicas en las diferentes labores agrícolas y especialmente en el corte, recolección y transporte de fruta hasta la empacadora, con el fin de conservar adecuadamente el racimo cosechado. De esta manera la mínima unidad de área de plantación de banano que se replica está conformada por el “botalón” el cual representa el área entre dos canales terciarios limitados por un lado por un canal secundario y por el otro por el cable vía. En el centro del botalón está ubicado el cultivo, el cual puede estar sembrado en triángulo o rectángulo para formar densidades de plantación que están alrededor de los 1750 plantas / ha. Figuras 5.2 y 5.3.

Este tipo de configuraciones implica tener consideraciones especiales al momento incorporar balances hidrológicos de la humedad del suelo como parámetro para la simulación del comportamiento del cultivo, ya que afectan el proceso de precipitación – escorrentía – infiltración.

En términos globales en el Urabá antioqueño los canales terciarios representan el 60%, los secundarios el 30% y los primarios el 10% de la longitud total de canales de una finca bananera. Y el área ocupada por canales subsuperficiales y por tanto no cultivable representa un 14,6% del área bruta de la finca (Salazar, 2010).

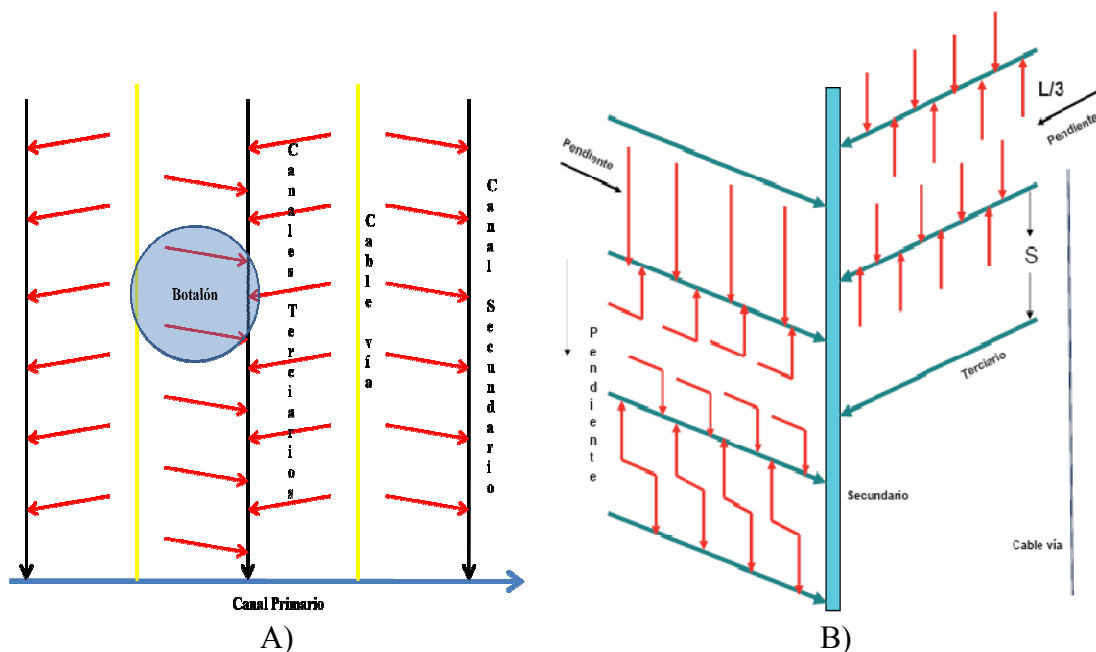


Figura 5.2: A) Esquema de la estructura y jerarquía de un sistema de drenaje en una finca típica de banano en Urabá. B) Diseño propuesto para el drenaje superficial al interior del Botalón (Salazar, 2010).



Figura 5.3: Esquema general de un cultivo de banano (Salazar, 2010).

## 5.2 El cultivo de banano y su relación con los factores ambientales

El agua es probablemente el factor más limitante en la producción de banano. Se ha observado que el crecimiento y la producción decrecen drásticamente cuando el intervalo entre riegos o lluvias aumenta y cuando la humedad del suelo cae por debajo del 35% del total de agua disponible en condiciones de alta evaporación (5 a 6 mm/día) y todavía con adecuada humedad se encuentran reducción en la transpiración con altas demandas evaporativas. Esta reducción en la transpiración afecta la productividad del cultivo como consecuencia del cierre temprano de los estomas, y la menor difusión de  $\text{CO}_2$  a la cavidad subestomática afectando el proceso fotosintético. Dependiendo del periodo vegetativo en que ocurra el déficit hídrico, la planta de banano puede ver afectado el normal desarrollo de hojas, flores y calidad y tamaño de frutos. (Cayón *et al.*, 1998; Bassoi *et al.*, 2004; Doorenbos y Kassam 1979; Patarroyo, 2004; Turner *et al.*, 2007). Se ha encontrado que en Clones AAA, Cavendish subgrupo “William”, en época de verano, potenciales mátricos de -55 kPa en la zona radicular son suficientes para causar estrés hídrico. -40 kPa fueron asociados a una disminución en el 50% de la transpiración. tensiones mátricas, en un cultivo sano de banano, previamente bien irrigado de -12, -25, -53 y -70 kPa, inducen una proporcional reducción en la tasa fotosintética en cerca de 8, 18, 44 y 82%. (Robinson y Bower, 1987; Hoffmann y Turner, 1992; Robinson, 2000; Robinson y Alberts, 1986). Bananuka *et al.*, (1999) al estudiar 6 diferentes genotipos de Musa encontró que todos presentaron reducción en la altura y circunferencia del pseudotallo a una tensión mátrica mayor a 400 mbar (40 kPa). Los requerimientos hídricos dependen del clon, de la radiación solar diaria, de la densidad poblacional, de la edad del cultivo y del área foliar.

La humedad del suelo y la temperatura son factores determinantes en la producción de banano, afectan el crecimiento, el desarrollo de la planta y del fruto (Martínez, 1983; Turner y Lavav, 1983; Turner, 1985; Robinson y Alberts, 1986; Sancho, 1996; Vaquero, 2003; Cayón *et al.*, 1998; Mejía y Gómez, 1998; Bananuka *et al.*, 1999; Bassoi *et al.*,



2004; Patarroyo, 2004; Hoffmann y Turner, 1992; Mira, 2003; Turner, 1994). La dinámica de su cosecha depende del clima en particular de la temperatura, al menos en el caso de un apropiado suplemento de agua y minerales (Tixier *et al.*, 2004; Tixier *et al.*, 2007; Turner y Fortescue, 2010). El plátano y el banano, a pesar de su origen tropical, son sensibles a los cambios en el fotoperiodo. Largos fotoperiodos incrementan la tasa de desarrollo, por lo tanto el banano y el plátano pueden describirse como plantas facultativas de periodo largo, para las cuales fotoperiodos largos, aunque no esenciales, promueven el florecimiento (Turner *et al.*, 2007; Turner y Fortescue, 2010).

El Banano y el Plátano son clasificadas de acuerdo al número de genomas *Musa Acuminata* (A) y *Musa Balbisiana* (B). Estudios sugieren que el genoma (B) puede conferir un incremento en la tolerancia en la sequía del banano (Thomas *et al.*, 1998). Bananuka *et al.* (1999) en experimento con el clon Lep Chan Kut (BBB) encontró resultados contrarios a la evidencia inicial que el genoma *balbisiana* pueda conferir resistencia a la sequía.

En el Urabá Antioqueño un análisis de los datos de precipitación y producción entre 1998 y 2000 mostró que el estrés hídrico es más o menos incidente en la producción, cuanto más o menos sensible sea el estado de desarrollo de la planta en que se presente el evento estresante. El año 1999, con la mayor precipitación presentó 21.6% más producción que 1998 y 16.6% más que el año 2000 que fue el año de menor precipitación (Patarroyo, 2004).

El efecto del déficit hídrico en el banano es acumulativo y por tanto la productividad es más sensible a este que a cualquier otro factor. Causa: muerte prematura de hojas, arpillamiento, aborto de racimos, reducción del contenido de clorofila en hoja, acelera la maduración de hojas, reduce emisión foliar (Una hoja cada 12 – 16 días vs una hoja cada 6 días en épocas lluviosas), estimula formación de etileno haciendo que la maduración de la fruta se produzca de manera prematura, disminución o paro de la toma de nutrientes (muerte de raíces). En Urabá, después de periodos de sequía mayores a 8 semanas, se requiere entre 24 – 26 semanas después del inicio sostenido de las lluvias para recuperar la productividad. El número de bacotas embolsadas por hectárea, se recupera y alcanza valores cercanos a 50 transcurridas aproximadamente 13 semanas después del inicio sostenido de las lluvias. Las últimas 12 – 13 hojas deben emerger sin déficit hídrico (Mira, 2003)

En Urabá el menor número de bacotas embolsadas por hectárea en una semana, se presenta durante los últimos días de la temporada seca, como consecuencia del crecimiento retardado que viene teniendo la planta, coincidiendo también con el mayor número de racimos abortados cuando hay una situación de estrés hídrico grave. En las épocas secas se presenta fruta de bajo peso, delgada y que no cumple con las especificaciones de calidad exigidas por los países consumidores. Los periodos prolongados de sequía han ocasionado problemas en la plantación que se reflejan en retornos y ratios bajos y mermas elevadas (Mira, 2003; Mejía y Gómez, 1998).



A)

B)

Figura 5.4: Plantas de banano con síntomas de déficit hídrico. A) Planta arrepollada.  
B) Planta arrepollada con racimo abortado.

Condiciones climáticas extremas pueden resultar en un deterioro gradual del sistema radicular. Bajo condiciones de extrema sequía, como ocurre frecuentemente en la región de Santa Marta el deterioro del sistema radicular puede ser gradual si la sequía se da en condiciones de luz moderada; sin embargo bajo condiciones severas el colapso es rápido. En Urabá, con frecuentes y fuertes eventos de lluvia, el deterioro del sistema radicular es gradual, los efectos no son inmediatos sino que ocurren a mediano y largo plazo dentro del ciclo reproductivo de la planta. Tales condiciones ocurren cuando hay un ineficiente sistema de drenaje y/o la profundidad del nivel freático es menor de 0,9 metros (Gauggel *et al.*, 2003; Correa y Giraldo, 2001; Stover y Simmonds, 1987 citados por Vaquero, 2003). El efecto primario del exceso de agua en la planta de banano es una inducción de estrés por deficiencia de oxígeno en la zona radicular, ocasionando desordenes fisiológicos y daños en sistema radicular. Excesos de agua por 48 horas conllevan notoria disminución del crecimiento; periodos mayores (72 – 96 horas) resultan en daño irreversible (Patarroyo, 2004). Periodos de inundación o baja profundidad del nivel freático ocasionan reducción del rendimiento, tamaño reducido de las plantas, detención del crecimiento de raíces, muerte de raíces si la inundación se prolonga, emisión de raíces adventicias, hojas pálidas, y reducción en el peso del racimo, en el número de manos y en la longitud del dedo central para las manos superior e inferior (Sancho, 1996; Mira, 2003).

Cayón (2004), indica que para plátano Dominico-Hartón, se observó que los racimos de mayor peso se desarrollaron en época lluviosa y menor altitud, y los frutos provenientes de mayor altitud presentaron mayor contenido de cascara y menor contenido de pulpa en las dos épocas climáticas.

“El estrés hídrico, en la región de Urabá, se caracteriza por ser consecuencia bien del exceso o de la deficiencia hídrica” (Patarroyo, 2004; Mira, 2003; Salazar, 2010; IGAC, 2007)





En el banano la temperatura afecta los diferentes procesos fisiológicos: La fotosíntesis, la respiración, la absorción de nutrientes, la tasa de aparición y elongación de nuevas hojas, el crecimiento del fruto, entre otros. Temperaturas por encima de 38 °C o por debajo de 14 °C ocasionan un cese en el proceso fotosintético. En plantas de cv. Williams la temperatura óptima para producción de materia seca es cerca de 21 °C, aproximadamente 10°C menos que la tasa de aparición de nuevas hojas, como consecuencia de una mayor tasa de respiración sin cambio en la tasa fotosintética. Plantas de banano que crecen en áreas cálidas presentan menores cormos y pseudotallos que los que crecen en áreas frías. A una temperatura de 20°C una planta de banano presenta mayor peso seco, que una que crece a 30 °C. Así mismo, la temperatura afecta el retorno de la plantación y por tanto el número de racimos cosechados en un tiempo dado. Se ha determinado que la productividad es similar en el rango entre los 20°C y 30°C debido a que los racimos a una mayor temperatura tienen un mayor retorno pero un menor peso, y por el contrario a bajas temperaturas el retorno es menor pero los racimos tienen mayor peso. (Turner y Lahav, 1983; Turner, 1994). Bajas y altas temperaturas causan una disminución en la tasa de expansión de las hojas. La temperatura óptima para este proceso es de 28 °C (Ganry, 1973 reportado por Turner, 1994). La temperatura tiene un efecto dominante en la tasa de aparición de nuevas hojas, donde su efecto es cinco veces mayor a otros factores ambientales como fotoperiodo, edad o densidad de plantación. Valores por encima de 30 °C o por debajo de 22 °C pueden afectar su ritmo. Las diferencias en la tasa de aparición de nuevas hojas entre cultivares son mayores a temperaturas de 25 °C y menos reducidas a 10 °C. (Sandoval *et al.*, 1999; Turner, 1994). Cuando la temperatura se incrementa, la tasa de acumulación de nutrientes es más rápida que la tasa de acumulación de materia seca, por lo tanto ocurre un incremento en la concentración de nutrientes en las plantas, se encontró que el valor óptimo para este proceso se encuentra alrededor de los 30 °C. Para el crecimiento del fruto la temperatura mínima es de 14.5 °C y su tasa de crecimiento por unidad de calor está influenciada además por el suministro de nutrientes y el vigor de la planta, temperaturas por debajo de 11°C afectan la diferenciación de los tejidos y los racimos presentan hasta un 40% menos de manos con fruta de calidad. El periodo de crecimiento del fruto varía entre 90 y 220 días, dependiendo de la temperatura y el suministro de agua (Ganry y Meyer, 1975 reportados por Turner, 1994,)

Además de la temperatura el crecimiento de las raíces es función de factores como fertilidad del suelo, suministro de agua, densidad aparente y factores internos de la planta. Se encontró un aumento sostenido en la tasa de extensión de las raíces cuando la temperatura del suelo se incrementó de 10°C a 26°C. (Robinson y Alberts, 1989; Turner, 1994).

Un desempeño óptimo para una planta de Banano se logra a una temperatura de 27 °C (Turner, 1994; Mira, 2003).

Es importante expresar la respuesta de un cultivar a la temperatura como la duración térmica (°C d) necesaria para producir una hoja, ya que dicha relación, (duración térmica y desarrollo) tiene la ventaja de que puede utilizarse en diferentes ambientes con buen éxito. Sin embargo en la planta de banano debe adoptarse cuidadosamente debido a que la



ontogénesis de la planta es un parámetro importante para predecir la tasa de aparición de nuevas hojas (Turner, 1994), y de igual manera el fotoperiodo y el déficit hídrico están involucrados en el desarrollo de la planta (Turner *et al.*, 2008; Turner y Fortescue, 2010).

Tal como sucede con el banano, la temperatura y la altitud son factores determinantes en el desarrollo y crecimiento del plátano. A temperaturas bajas la actividad metabólica es muy lenta, retardándose la emisión foliar y la división celular en el meristemo de crecimiento, lo cual reduce el desarrollo y el rendimiento anual, a pesar de que la calidad y el tamaño del fruto no se afectan. Los síntomas de las hojas sometidas a temperaturas bajas son similares a los de deficiencia de agua y luz, pierden la turgencia, se tornan cloróticas y mueren posteriormente (Cayón, 2004)

La humedad relativa, como una medida del déficit de presión de vapor del aire, es un factor que determina el nivel energético del agua atmosférica y por lo tanto su demanda evaporativa en combinación con otros factores ambientales, regulando las relaciones hídricas de las plantas. Hojas de plátano Dominicó – Hartón, sometidas a estrés hídrico presentaron una reducción en las tasas de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática. La tasa fotosintética fue mayor en presencia de humedad relativa media, presentando una reducción de 50% cuando esta aumentó o disminuyó (Cayón, 2004).

El viento afecta la planta de banano vía procesos mecánicos y fisiológicos, ocasionando efectos benéficos y dañinos en la plantación. Altas velocidades de viento (25 a 30 m/s) causan daño mecánico por volcamiento en las plantaciones. Se ha estimado que más de la mitad del efecto del viento sobre la producción es ocasionado por el rasgado de las hojas afectando negativamente el peso del racimo, esto sucede como consecuencia de un incremento en la respiración de la hoja, que desencadena en los procesos de senescencia, y lleva a la pérdida prematura de la hoja afectada y a una disminución de la capacidad fotosintética de la planta (Lorch, 1958 citado por Turner 1994; Mira, 2003). En plátano, si el rasgado de las hojas no implica pérdida de área foliar activa, no representa un riesgo para el desempeño funcional y productivo de la planta. Sin embargo vientos constantes hacen golpear la fruta con las hojas y las bolsas de los racimos causando cicatrización y aumentando su pérdida (Mejía y Gómez, 1998; Cayón, 2004). Velocidades de viento bajas (0 – 4 m/s) son benéficas ya que disminuyen el espesor de la capa límite de la hoja permitiendo un mayor intercambio de vapor de agua, CO<sub>2</sub> y calor entre la hoja y el ambiente. Por otro lado el rasgado de las hojas es considerado un factor benéfico, ya que disminuye el riesgo de daño térmico en las hojas (Taylor y Sexton, 1972; Turner, 1994). En la región de Urabá los vientos constantes y fuertes son comunes en la época seca (Mira 2003, Mejía y Gómez, 1998).