



10. Índices macroclimáticos, precipitación y producción en Urabá

Se realizó un análisis de la asociación lineal de la precipitación mensual de la zona y algunos índices macroclimáticos. La base de datos de precipitación incluyó 16 estaciones manejadas por el IDEAM, ubicadas en los municipios de Turbo, Apartado, Carepa y Chigorodó con una longitud de registro mayor o igual a 20 años. La base de datos de variables Macroclimáticas incluyó las series de tiempo de las variables: MEI, NAO, ONI, SOI, temperatura superficial del Atlántico Norte (sst_atlann), temperatura superficial del Atlántico Sur (sst_atlans), temperatura superficial en la región Niño 1-2 (sst_niño1_2), temperatura superficial en la región Niño 3-4 (sst_niño3_4).

Adicionalmente se construyeron las series de precipitación acumulada de cada una de las estaciones para los trimestres DEF (Diciembre – Febrero), MAM (Marzo – Mayo), JJA (Junio – Agosto), SON (Septiembre – Noviembre) y se correlacionaron con los Índices trimestrales del ONI y la NAO.

10.1 Oscilación del Atlántico Norte (NAO)

Mesa (1997) define la NAO como la alternación de la masa atmosférica entre las regiones subtropical y subpolar del océano Atlántico Norte, se caracteriza por variaciones en el gradiente de presiones a nivel del mar en escalas mensual y estacional, en los vientos del oeste en las latitudes medias, en las temperaturas superficiales del mar y en el clima de las regiones continentales adyacentes. Se define en términos de la variabilidad de la presión en dos sitios claves, un centro de presión en las islas Azores, influenciado por el centro de alta presión subtropical, y el otro centro de presión sobre Islandia, lugar donde predominan las bajas de presiones. Cuando la alta subtropical está anormalmente fuerte y simultáneamente está anormalmente profunda la baja de Islandia, se presenta el modo positivo de la NAO y es cuando los vientos del oeste del Atlántico están anormalmente fuertes.

Por otro lado, la fase negativa se da cuando ambos centros de presión están anormalmente débiles lo que implica disminución en los vientos. Se sugiere que la precipitación promedio sobre el Caribe y las Américas tropicales podría variar significativamente en los extremos de la NAO (Rogers, 1984). Poveda *et al.* (2002b), encontraron correlaciones negativas, estadísticamente significativas entre la NAO del trimestre MAM y la precipitación del trimestre DEF.



10.2 Índice de Oscilación del Sur (SOI)

El SOI representa la componente atmosférica del ENSO, llamada Oscilación del Sur (SO), que es una onda estacionaria en la masa atmosférica que produce un gradiente de presiones entre el oeste y el este del Pacífico Ecuatorial. El índice SOI se define como la diferencia entre las presiones atmosféricas estandarizadas entre un centro de alta presión cerca de Tahiti (18°S, 150°O) y un centro de baja presión en Darwin (12°S, 131°E). Las anomalías negativas del SOI están asociadas a los eventos cálidos sobre el océano (El Niño), y las anomalías positivas están asociadas con los eventos fríos (La Niña).

10.3 Índice Multivariado del ENSO (MEI)

Este índice puede ser entendido como la media ponderada de seis variables sobre el Pacífico tropical, a saber: presión atmosférica a nivel del mar, componente zonal (este-oeste) y meridional (norte-sur) del viento en superficie, temperatura de la superficie del mar, temperatura del aire en superficie, y cantidad total de nubosidad. Los valores positivos del MEI representan la fase caliente de ENSO (El Niño).

10.4 Temperaturas en el Atlántico

Poveda *et al.* (2002b) encontraron correlaciones positivas de alrededor de 0.5 entre la temperatura del atlántico sur y la precipitación para los trimestres JJA y SON en la zona Caribe. Dichos autores también encontraron correlaciones negativas entre las series de temperatura del Atlántico Norte con la precipitación en la zona Caribe las cuales fueron estadísticamente significativas.

Temperatura del Atlántico Norte (sst_atlann)

Temperatura promedio del mar en el Atlántico Norte. Entre las latitudes 5° y 20° Norte y las longitudes 60° – 30° Oeste.

Temperatura del Atlántico Sur (sst_atlans)

Temperatura promedio del mar en el Atlántico Sur. Entre las latitudes 0° – 20° Sur y 30° Oeste – 10° Este.

10.5 Temperatura Superficial en el Océano Pacífico

La variabilidad de la Temperatura Superficial del Mar en la franja tropical del Pacífico, se mide en cuatro regiones:

Región Niño 4: Entre las latitudes 5° Norte y 5° Sur y las Longitudes 160° Este y 150° Oeste.

Región Niño 3: Entre las latitudes 5° Norte y 5° Sur y las Longitudes 90° y 150° Oeste.

Región Niño 3-4: Entre las Latitudes 5° Norte y 5° Sur y las Longitudes 120° y 170° Oeste.

Región Niño 1+2: Entre las Latitudes 0° y 10° Sur y las Longitudes 90° y 80° Oeste.



Temperatura superficial en la región Niño 1+2 (sst_niño1_2)

Temperatura Promedio de la superficie del mar en las regiones NIÑO1 y NIÑO2.

Temperatura superficial en la región Niño 3-4 (sst_niño3_4)

Temperatura Promedio de la superficie del mar en las regiones NIÑO3 y NIÑO4.

10.6 Índice Oceánico del Niño – ONI

Este índice es calculado como la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la temperatura de la superficie del mar en la Región Niño 3-4. Valores positivos del ONI, mayores o iguales a 0,5 por 5 meses consecutivos o más indican la ocurrencia de un evento El NIÑO. Valores negativos del ONI, inferiores o iguales a -0,5 por 5 meses consecutivos o más indican la ocurrencia de un evento La NIÑA.

10.7 Correlación lineal entre las índices macroclimáticos y la precipitación

En general las correlaciones de las diversas variables climáticas con las precipitaciones mensuales presentan bajos coeficientes de correlación lineal. Es generalizado el comportamiento de los índices del ENSO con la precipitación, El MEI, El ONI y las temperaturas del mar en las regiones Niño1_2 y Niño3_4 presentan correlaciones negativas indicando los efectos contrarios (El Niño y La Niña) con la precipitación. Los mayores coeficientes de correlación se obtienen con uno y dos meses de rezago disminuyendo luego paulatinamente. Las correlaciones con El SOI presentan comportamiento similar a los otros índices del ENSO pero con signo contrario. Los índices que describen la influencia de las condiciones atmosféricas y oceánicas del Atlántico sobre la precipitación mensual presentan todavía valores mucho más pequeños del coeficiente de correlación donde la NAO no presenta un comportamiento claro, pasando de coeficientes positivo a negativos y nuevamente positivos entre meses. Las temperaturas del mar en el Atlántico Norte y Sur presentan mejores correlaciones sobre todo en las estaciones ubicadas al norte de la Zona Bananera. El coeficiente de correlación lineal calculado por trimestres presenta mayor magnitud con una media de -0,53 para todas las estaciones, cuando se correlacionó el ONI del trimestre DEF con la precipitación de ese mismo trimestre. La máxima correlación para ese trimestre fue de -0,7 el cual se presentó en la estación 120101220111 ubicada en el municipio de Apartadó. El menor valor fue de -0,25 con la estación 1302002484 ubicada también en Apartadó pero al costado oriental de la serranía del Abibe en límites con el departamento de Córdoba. El valor del coeficiente de correlación también fue mayor para las correlaciones con la NAO. Los mayores valores se lograron cuando se calculó el coeficiente entre el índice de la NAO para el trimestre MAM y la precipitación del Trimestre JJA. Con coeficiente promedio de -0,3 y un máximo de -0,57 con la estación 12010071124 ubicada en Apartadó. Este grado de asociación muestra que estos índices pueden convertirse en una importante herramienta para la predicción de la precipitación en la zona.



Las siguientes figuras muestran la evolución de los coeficientes de correlación de la precipitación mensual con los índices macroclimáticos, se recorre el eje bananero de sur a norte. La figura 10.1 muestra las correlaciones para la estación 12010031094, ubicada en el municipio de Turbo pero a una latitud similar al municipio de Chigorodó.

En general, se observa un mayor valor de las correlaciones entre las temperaturas del Océano Atlántico con las estaciones ubicadas a mayor latitud, es decir, al norte del eje bananero.

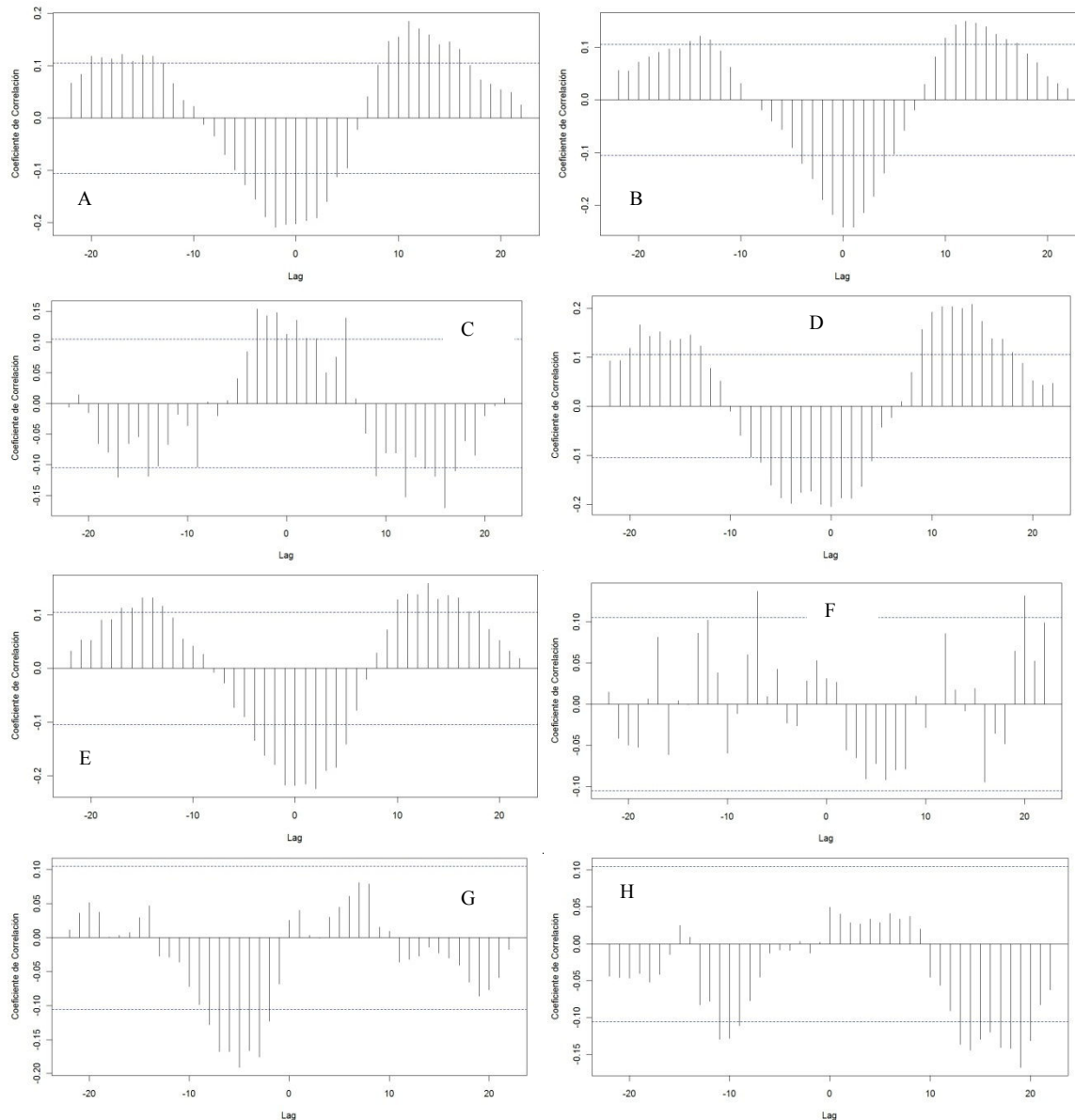


Figura 10.1: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la precipitación en la estación 12010031094. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans.



La figura 10.2 muestra las correlaciones con la estación 12010051104 ubicada en el Municipio de Carepa.

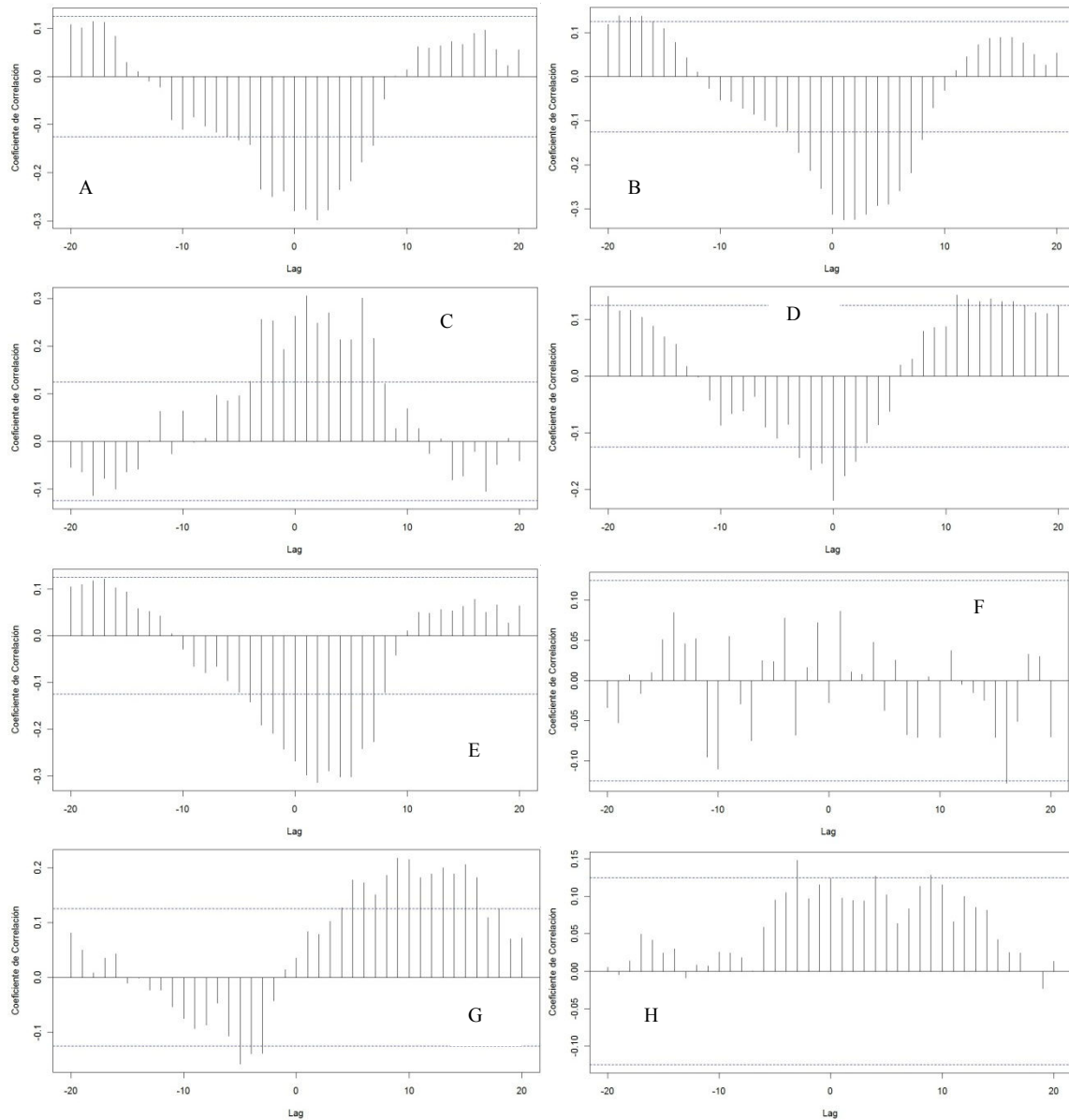


Figura 10.2: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la precipitación en la estación 12010051104. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans.



La figura 10.3 muestra las correlaciones con la estación 12010071124 ubicada en el municipio de Apartadó.

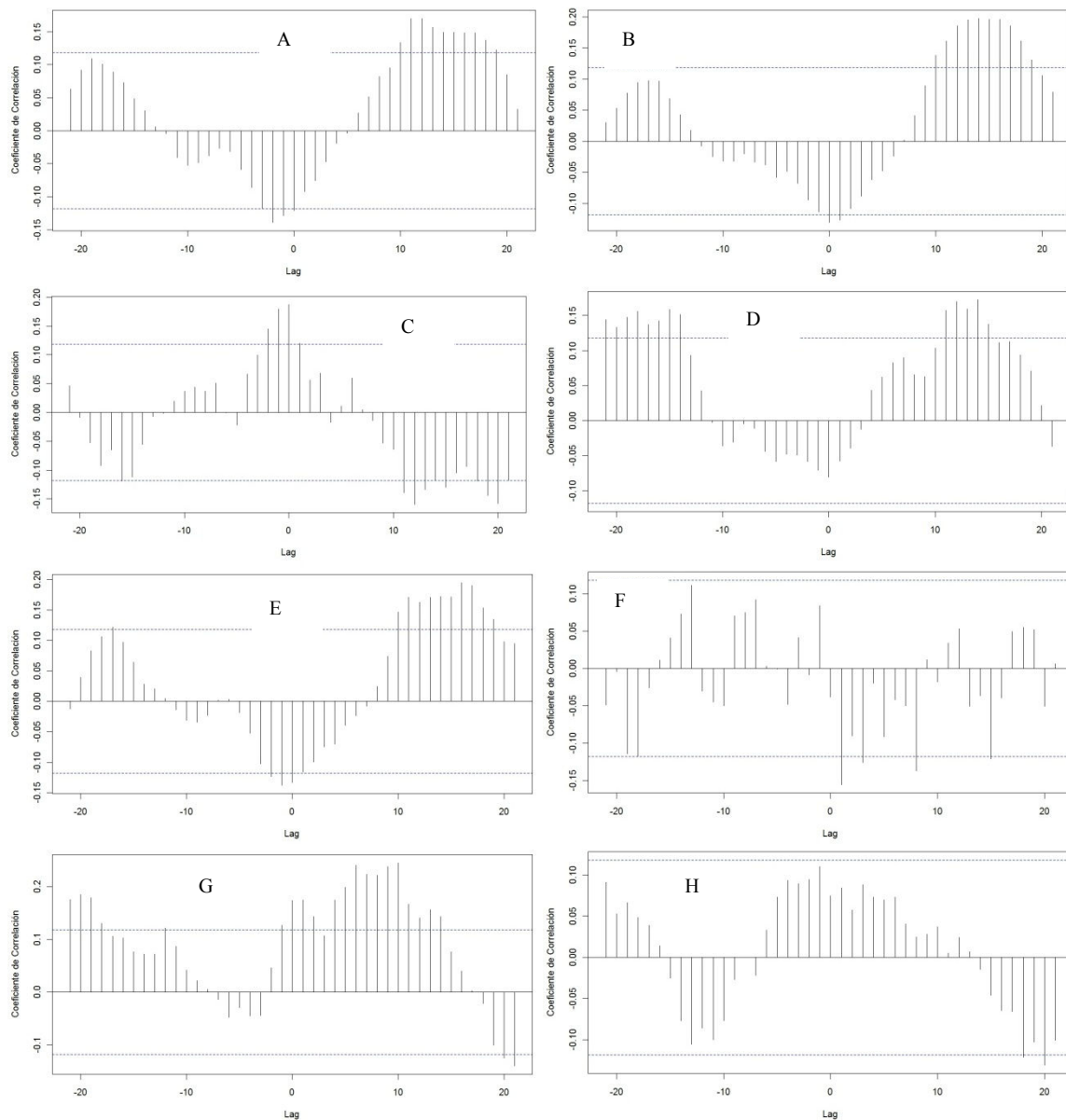


Figura 10.3: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la precipitación en la estación 12010071124. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans.



La figura 10.4 muestra las correlaciones con la estación 1202504701 ubicada en el Municipio de Turbo.

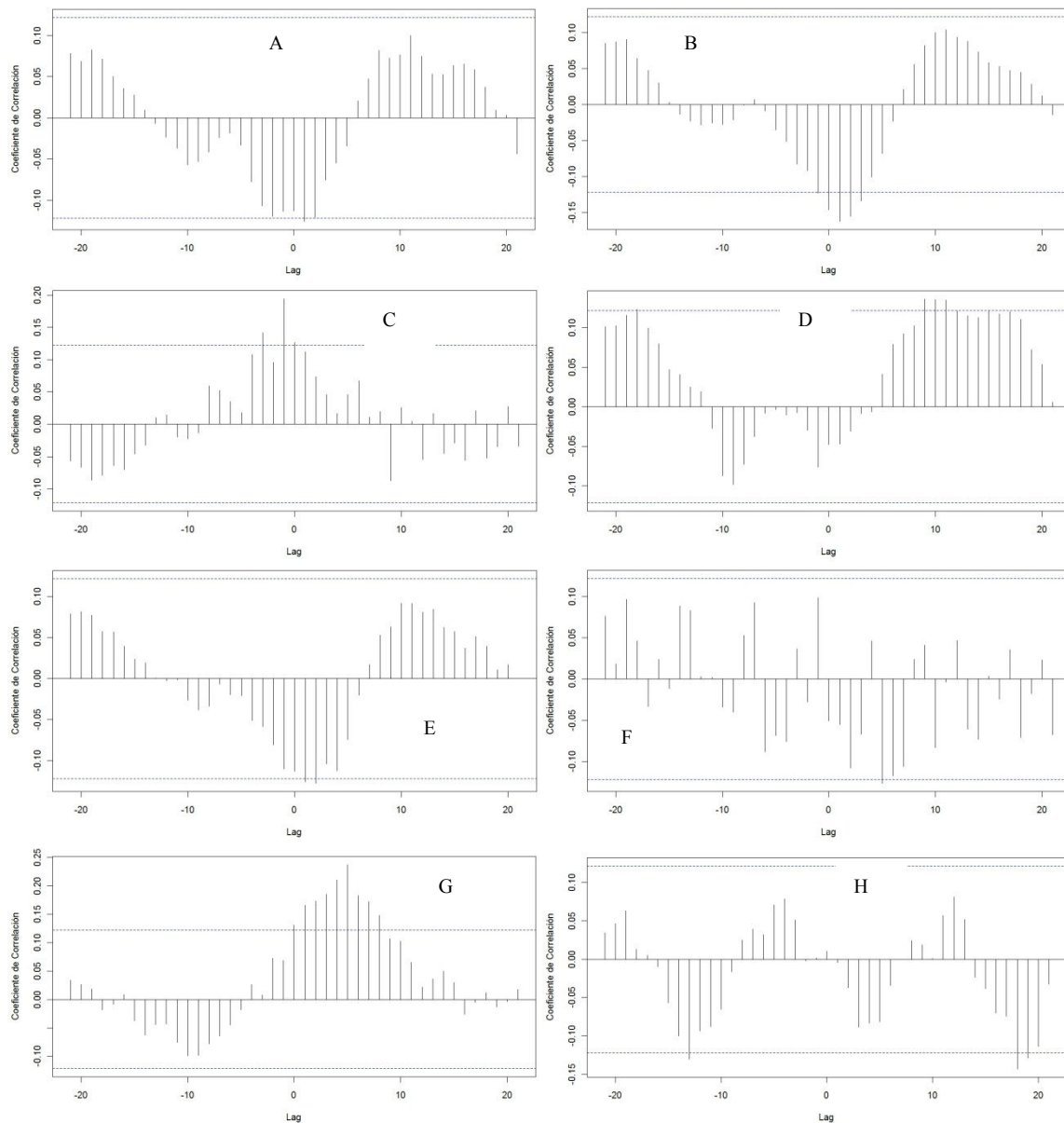


Figura 10.4: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la precipitación en la estación 1202504701. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans.



Las series trimestrales mostraron un mayor grado de asociación lineal, representado por un mayor valor del coeficiente de correlación, entre las variables climáticas y los índices NAO y ONI.

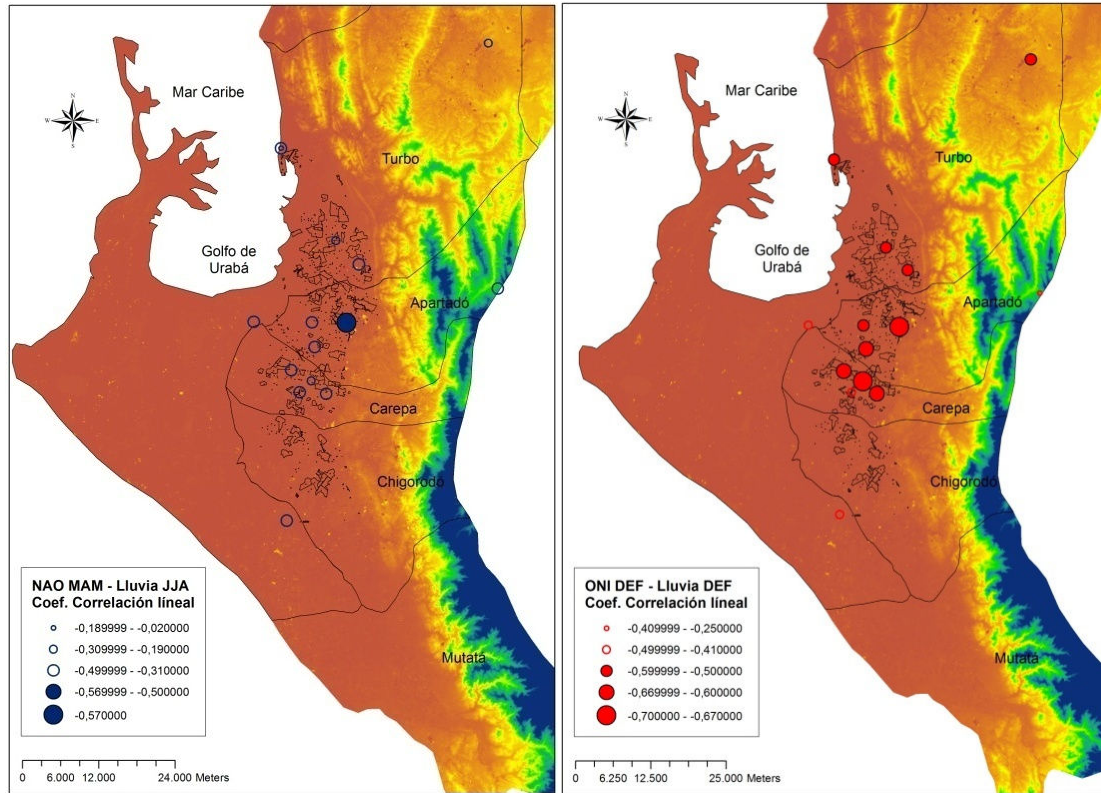


Figura 10.5: Mapa del coeficiente de correlación lineal entre las series trimestrales de la precipitación y la NAO y el ONI. A) NAO del trimestre MAM – y precipitación de JJA y B) ONI y precipitación del trimestre DEF.

10.8 Correlación lineal entre las índices macroclimáticos y la producción

Se analizó el grado de asociación lineal entre la producción mensual de la zona bananera de Urabá (Cajas exportadas / ha) y los Índices Macroclimáticos. Se encontró que los mayores coeficientes de correlación con los índices del ENSO se logran con rezagos de 5 y 6 meses, para luego disminuir gradualmente. Esto muestra el efecto del ENSO, primero sobre la precipitación, la humedad del suelo entre otras variables que posteriormente afectan la magnitud de la producción bananera.

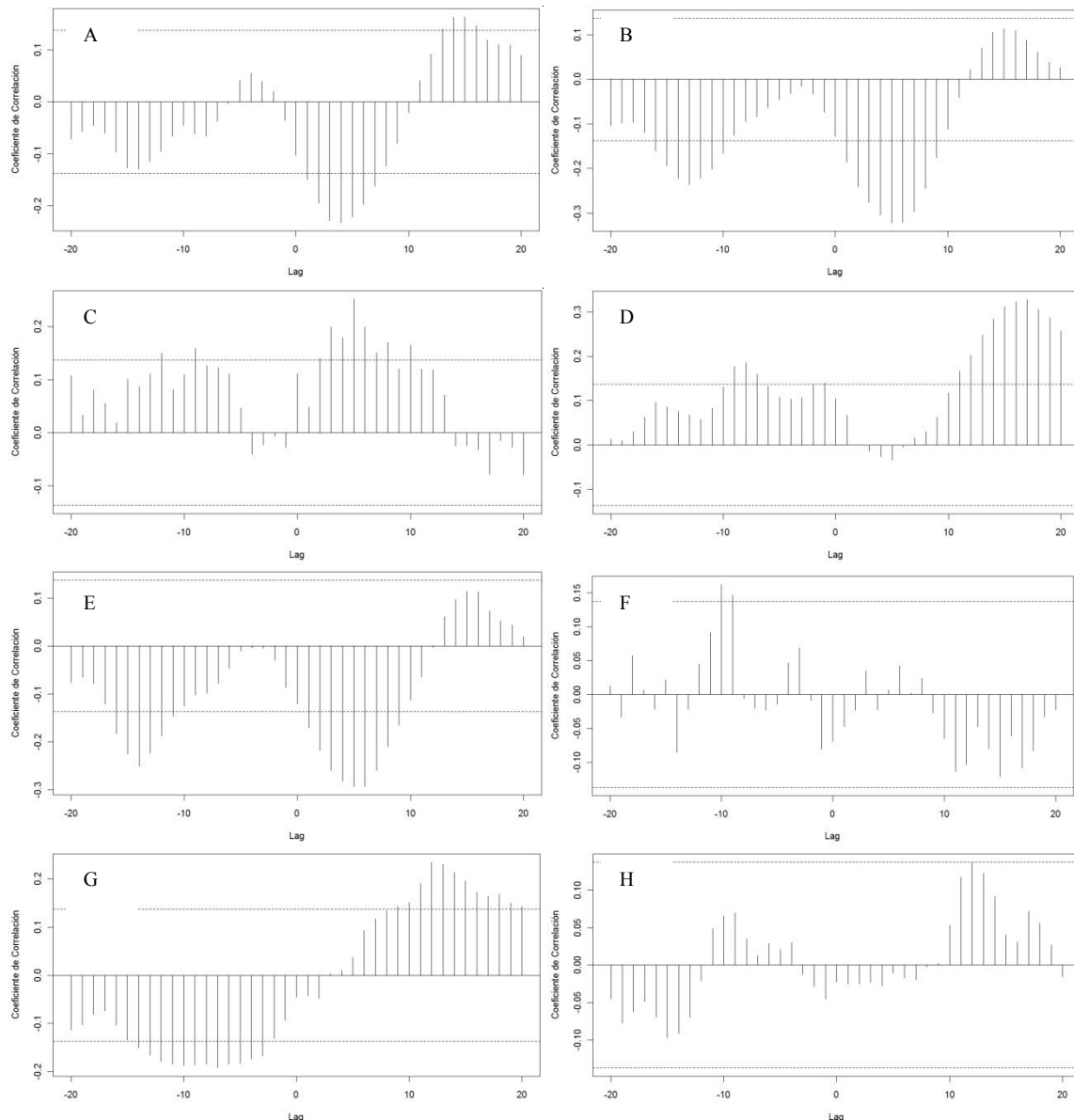


Figura 10.6: Coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y la producción Cajas Exportadas / Ha de Urabá. A) MEI, B) ONI, C) SOI, D) sst_niño1_2, E) sst_niño3_4, F) NAO, G) sst_atlann, H) sst_atlans.

En la figura 10.7 en general se observa que luego de ocurrido un evento El NIÑO (valores positivos del ONI) se presenta una reducción en la producción con cierto rezago, mientras que la ocurrencia de eventos La NIÑA (valores negativos del ONI) implican producciones por encima de la media, estos resultados respaldan lo hallado por [Ochoa et al. \(2010\)](#). Este comportamiento indica un efecto adverso mayor por la ocurrencia de El NIÑO, la explicación puede fundamentarse en varias razones, pero podría atribuirse a la buena infraestructura de drenaje en todas las fincas bananeras, mientras que muy pocas cuentan con infraestructura de riego, así mismo, puede explicarse en lo hallado por [Ochoa et al.](#)



(2010) y Martínez *et al.* (2010), quienes indican que el aumento en la cantidad de lluvia durante La NIÑA estimula la emisión foliar, permitiendo que el efecto de la Sigatoka Negra, una de las enfermedades más limitantes para la producción bananera en Urabá, sea menos grave al contar la planta con más hojas sanas en un momento determinado.

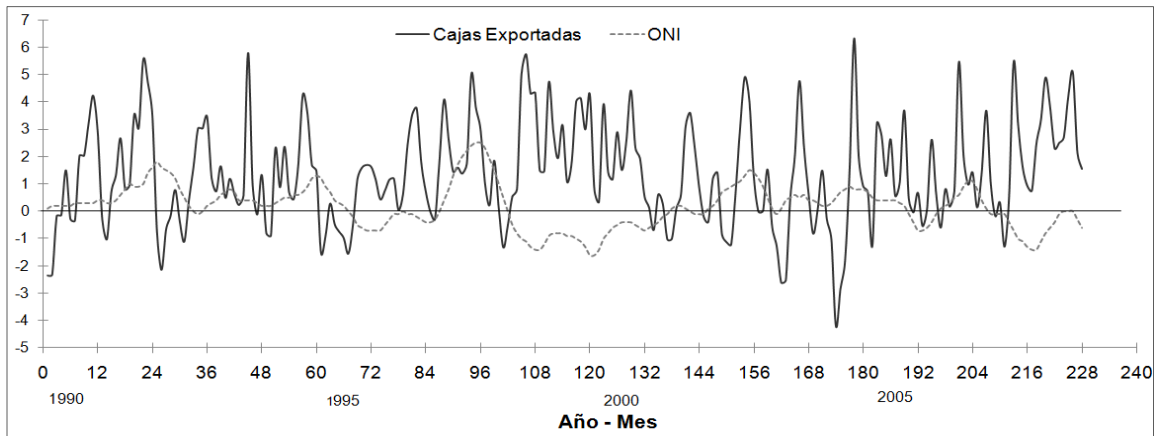


Figura 10.7: Serie de tiempo ONI y producción estandarizadas.



11. Conclusiones y recomendaciones

El modelo SIMBA-POP, desarrollado en Martinica, e implementado en esta tesis para Colombia (Urabá), es una herramienta capaz de reproducir la dinámica poblacional de una plantación de banano utilizando únicamente la temperatura como variable climática. Esta herramienta tal como fue concebida, tiene alta aplicabilidad en el diseño de estrategias para el manejo del cultivo de banano.

Aunque, el modelo logró una adecuada representación de las series de embolse y cosecha, solo con el uso de la temperatura (Grados día, GGD), del trabajo de [Turner y Fortescue \(2010\)](#), se recomienda la inclusión de variables como el fotoperiodo y el déficit hídrico, para el cálculo del llamado TDU (Unidades Térmicas de Desarrollo) y usar este, en vez de los GDD (Grados día) como variable direccionadora del desarrollo fenológico del cultivo en el modelo, de esta manera el modelo será extrapolado con mayor facilidad a otras regiones del mundo y tendrá un mejor nivel de pronóstico.

El proceso de calibración del modelo SIMBA – POP original ([Tixier et al., 2004](#)), en el cual los parámetros de la ecuación de selección de rebrotes fueron hallados, forzando a que entre las series simuladas y registradas existiera el mínimo error cuadrático, sin considerar parámetros físicos de control adicionales, provocó que la ecuación de rebrotes sobrevaloraran el número de rebrotes por año para compensar el número de plantas que se perdían como consecuencia de un error en la concepción del modelo al momento de la floración ([Ochoa, 2010](#)). Por ello, el modelo corregido se programó en Evolución 4.0 y se calibró siguiendo un estricto cumplimiento de parámetros físicos de control de un cultivo de banano en el Urabá Antioqueño, como por ejemplo el balance del número de plantas y rebrotes en la plantación.

Al correr el modelo con series de temperaturas medias típicas de períodos El Niño y La Niña, se encontró que durante El Niño se adelantan los picos de cosecha y embolse y durante la Niña se atrasan. Este fenómeno se explica como respuesta a una tasa de acumulación de grados-día relativamente mayor a la normal durante la ocurrencia de la fase cálida y lo contrario durante la ocurrencia de la fase fría del ENSO.

La serie de cosecha simulada bajo las fases extremas del ENSO, muestra que es posible que plantas que florecen (se embolsan) en distintas semanas puedan alcanzar la madurez fisiológica aproximadamente en el mismo tiempo, este resultado es importante ya que advierte que bajo condiciones de cambio es importante que las compañías, además del



control por calendario que normalmente tiene una plantación de banano (cintas), debe tomar decisiones considerando además la fenología de la planta (TDU o GDD). En este sentido la gestión del cultivo debería incorporar herramientas de simulación como SIMBA-POP en la programación de actividades de manejo, lo cual muy seguramente reduciría la incertidumbre asociada a la programación por calendario. Más aun ante El Niño y La Niña. Más aun ante el cambio climático.

El modelo SIMBA-POP calibrado y validado en este trabajo para la región de Urabá, corresponde sólo a la dinámica poblacional de una plantación de banano y es sólo un componente del modelo SIMBA. Por ello, es importante continuar con la implementación del modelo, principalmente en los submodelos de acumulación de biomasa, desarrollo del cultivo y balances hidrológico y de nitrógeno. El modelo completo calibrado, será una poderosa herramienta para el diseño de estrategias de optimización en el manejo del cultivo de banano.

Con base en la muestra analizada, se encontró que el embolse, las cajas exportadas y el ratio de la zona sur (Chigorodó y Carepa) son mayores a las registradas en la zona norte (Turbo y Apartadó), esto puede estar fundamentado en las diferencias de precipitación de las dos zonas en relación con la buena infraestructura de drenaje y la relativamente pequeña incorporación del riego en la zona.

La temperatura, y especialmente la precipitación sufren anomalías en sus magnitudes normales durante la ocurrencia de alguna de las fases del ENSO. Se encontraron aumentos de hasta el 30% respecto a un año normal de la precipitación durante la ocurrencia de La Niña, por el contrario la ocurrencia de El Niño ocasionó disminuciones hasta de un 39% respecto a la precipitación media anual. Se encontró, al menos para los eventos analizados, que estas anomalías eran mayores al sur y al occidente del eje bananero, precisamente las zonas más cercanas al Océano Pacífico.

Las anomalías en las variables climáticas van acompañadas de anomalías en los índices de producción. De esta manera se advierten disminuciones en las magnitudes del embolse, ratio y cajas exportadas durante la ocurrencia de El Niño y por el contrario aumento generalizado de estas variables durante la ocurrencia de La Niña.

El comportamiento del coeficiente de correlación lineal entre los índices macroclimáticos y las series de precipitación y producción, indica el efecto que tienen éstos sobre la magnitud de la precipitación, particularmente con uno y dos meses de rezago y posteriormente en la producción de banano con 6 a 7 meses de rezago. Este comportamiento es todavía más fuerte cuando se calcula el coeficiente de correlación lineal con series trimestrales. Estos resultados son alentadores y pueden encaminarse a la construcción de modelos de predicción que permitan reducir la incertidumbre relacionada con el clima en la producción de banano.

Los mapas de precipitación exhiben claramente un gradiente latitudinal de la precipitación en el eje bananero. Estos mapas se convierten en una herramienta de utilidad en el



conocimiento de la variabilidad espacio temporal de la precipitación y otras variables en el Urabá Antioqueño.

El análisis de correlaciones mensual muestra que las estaciones ubicadas al sur del eje bananero poseen una mayor correlación con las variables asociadas al océano Pacífico, mientras que las estaciones ubicadas al norte, aunque también presentan correlaciones estadísticamente significativas con las variables asociadas al océano Pacífico, presenta mayores valores del coeficiente con las variables asociadas al océano Atlántico al compararlas con las ubicadas al sur. Este resultado, reviste importancia para el entendimiento del clima en la región y los pronósticos de la precipitación y producción bananera, por lo tanto, se importante profundizar en su conocimiento. Este es otro punto donde se puede continuar el trabajo iniciado con esta tesis.

El registro de la información climática en las fincas de la compañía C.I. Banacol S.A. presenta deficiencias, sobre todo en la ubicación e instalación de los equipos en campo. Se recomienda dirigir esfuerzos para estandarizar el proceso de registros de datos climáticos. Es particularmente importante una adecuada instalación de los termómetros de máximas y mínimos con su correspondiente abrigo meteorológico con el fin de evitar sesgos en la medición de estas variables.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, se basaron en considerar que las 10 fincas analizadas, al pertenecer a una misma compañía y depender de una misma área técnica, adoptan tecnologías y poseen infraestructura similar. Por tanto, los análisis y resultados obtenidos tienen validez sobre la igualdad de condiciones para todas las fincas. Esto no es del todo cierto pues a nivel de finca, sin embargo existe cierta autonomía en las decisiones que se toman respecto al cultivo. Así mismo, las propiedades de los suelos repercuten en el cultivo y en la relación con las variables climáticas. De esta manera, tomando este trabajo como punto de partida, para un mejor entendimiento de las complejas relaciones clima – cultivo, un estudio posterior deberá partir primero de una apropiada clasificación de las fincas desde su capacidad de afrontar eventos extremos. Se deben incluir aspectos como: tipo y calidad de la infraestructura que posee, tipo de suelo, el nivel de tecnología incorporado, las características genéticas, y otras y la definición apropiada de las variables incluidas, así como la valoración de su importancia relativa.



12. Referencias Bibliográficas

- Allen, R., Pereira L., Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo – Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje 56. Roma. 298 p.
- Allen, R., Pereira L., Raes, D. y Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements- FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma. 298 p.
- Aristizábal, L.M. 2003. Fisiología Vegetal. Universidad de Caldas, Manizales. 306 p.
- Bananuka, J.A., Rubaihayo, P.R., y Tenywa, M.M. 1999. Reactions of *Musa* genotypes to drought stress. En: African Crop Science Journal. 7 (4), 1 – 3.
- Basso, L.H., De Castro, A.H., Pinheiro, J.M., M., J.A., Gomes, E.E., Carvalho, C.M., y Chohaku, G. (2004). Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in Sao Francisco Valley, Brazil. II – water crop coefficient, and physiological behavior. Revista Brasileira de Fruticultura. 26 (3), 464 – 467.
- Blanco, J. A., Narváez, B. y Vilorio, E. A. 2007. ENSO and the rise and fall of the tilapia fishery in northern Colombia. Fisheries Research. 88 (1-3) 100 – 108.
doi:10.1016/j.fishres.2007.07.015
- Blanco, J. A., Vilorio, E. A. y Narváez, B. 2005. ENSO and salinity changes in the Ciénaga grande de Santa Marta coastal lagoon system, Colombian Caribbean. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 66, 157 – 167. doi:10.1016/j.ecss.2005.08.001
- Bouma, M., G. Poveda, W. Rojas, M.L. Quiñones, J. Cox y J. Patz. 1997. Predicting high-risk years for malaria in Colombia using parameters of El Niño-Southern Oscillation. Trop. Med. Int. Health, 2, 1122-1127.
- Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M. H., Ruget, F., Nicoulaud, B., Gate, P., Devienne-Barret, F., Antonioletti, R., Durr, C., Richard, G., Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X., Plenet, D., Cellier, P., Machet, J. M., Meynard, J. M. y Delecolle, R. 1998a. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. Agronomie. 18, 311 – 346.
- Brisson, N., Lafontaine, H. O. y Dorel, M. 1998b. Effects of soil management and water regime on banana growth between planting and flowering. Simulation using STICS model. Acta Hort. 490, 229 – 238.



- Cayón, D.G. 2004. Ecofisiología y productividad del plátano. Memorias XVI Reunión Internacional Acorbat. En musalit.inibap.org/pdf/IN050648_es.pdf Consulta: Diciembre de 2010).
- Corporación Andina de Fomento. El fenómeno el Niño 1997 – 1998. Memoria, Retos y Soluciones. Vol III Colombia. Caracas. 2002. En: <http://www.unisdr.org/eng/library/Literature/8764.pdf> Consultada: Diciembre de 2010.
- Correa, J. F. y Giraldo, S. A. 2001. Índice de drenaje en una finca bananera. Trabajo Dirigido de Grado Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Cottin, R., 1987. Modélisation de la production bananière. Influence de quelques paramètres en Martinique. *Fruits* 42 (12), 691–701.
- De Bruin, S. 1991. Simulation of potential banana photosynthesis in the Atlantic zone of Costa Rica. *Turrialba*. 41 (3) 299 – 305.
- De Wit, C. T. 1986. Modelling Agricultural Production. *Acta Horticulturae*. 184. 59-70.
- Doorenbos, J., y Kassam, A.H. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Organizaciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. 212 p.
- Ehlers, W. y Goss, M. J. 2003. Water dynamics in plant production. CABI Publishing. Wallingfor. 273 p.
- Flenet, F., Villon, P. y Ruget, F. 2004. Methodology of Adaptation of the STICS Model to a New Crop: Spring Linseed (*Linum usitatissimum*, L.) En: *Agronomie*. 24, 367 – 381.
- Gauch, H.G., Hwang, J. G. y Fick, G. W., 2003. Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values. *Agronomy Journal* 95, 1442–1446.
- Ganry, J. 1973. Etude du développement du système foliaire du bananier en fonction de la température. Estudio del desarrollo del sistema foliar del plátano en función de la temperatura. *Fruits*. 28 (7 – 8) 499 – 516. Citado por: Turner, D. W. 1994. Capítulo 3: Bananas and Plantains. pp. 37 – 64. En: Schffer, B. y Andersen, P. C., Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volume II: Sub-tropical and tropical crops. Editorial CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 293 p.
- Ganry, J. & J.P. Meyer. 1975. Recherche d'une loi d'action de la température sur la croissance des fruits du bananier. *Fruits* 30(6) 375-392. Citado por: Turner, D. W. 1994. Capítulo 3: Bananas and Plantains. pp. 37 – 64. En: Schffer, B. y Andersen, P. C., Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volume II: Sub-tropical and tropical crops. Editorial CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 293 p.
- Ganry, J., 1978. Recherche d'une méthode d'estimation de la date de récolte du bananier à partir de données climatiques dans les conditions des Antilles. *Fruits* 33 (10), 669–679.
- Gaugeel, C. A., Sierra, F. y Arevalo, G. 2003. The problem of banana root deterioration and its impact on production: Latin America's experience. p. 13 – 22. En Memorias: Symposium International: Banana Root Systems: Towards and Better Understanding for its Productive Management. San José.
- Hillel, D., 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press. San Diego. 771 p.



Hooffmann, H.P. y Turner, D.W. 1993. Soil water deficits reduce the elongation rate of emerging banana leaves but the night/day elongation ratio remains unchanged. *Scientia Horticulture* 54 (1993), 1 – 12.

Hurtado, A. F., 2009. Estimación de los campos mensuales históricos de precipitación en el territorio Colombiano. Tesis de Maestría en Ingeniería – Recursos Hidráulicos. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. 104 p.

IDEAM. Instituto de Estudios Ambientales. 2002. Efectos Naturales y Socioeconómicos del Fenómeno del Niño en Colombia. Bogota. En: <http://comercio.ideam.gov.co/fenomenonino/DOCUMENTOELNINO.pdf> Consultada: Diciembre de 2010

IDEAM. Instituto de Estudios Ambientales. 2005. Atlas climatológico de Colombia. Bogota D. C. 219 p.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2007. Estudio semidetallado de suelos de las áreas potencialmente agrícolas. Urabá. Departamento de Antioquia. 489 p.

ILRI. International Institute for Land Reclamation and Improvement. 1977. Tomo I. Materias Preliminares. pp.1 – 257. En: Principios y Aplicaciones del Drenaje. Wageningen. 546 p.

IPCC, Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático. 2001. Tercer Informe de Evaluación Cambio Climático 2001 La base Científica. Resumen para Responsables de Políticas y Resumen Técnico. OMM y PNUMA. p. 94

Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín. 613 p.

Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J. y Ritchie, J. T. The DSSAT cropping system model. *Europ. J. Agronomy* 18, 235 – 265.

Link, E. J., 2005. Investigation and modeling of the optimization potential of adapted nitrogen fertilization strategies in corn cropping system with regard to minimize nitrogen losses. Disertación de Tesis Doctoral. Institut fur Pflanzenbau und Grunland. Universitat Hohenheim. 174 p.

Lizaso, J.L., Batchelor, W. D., Boote, K. J y Westgate, M. E. 2005. Development of a leaf – level canopy assimilation model for CERES-Maize. *Agronomy Journal*. 97, 722 – 733.

Mekwatanakarn W. y Turner D.W. 1989. A simple model to estimate the rate of leaf production in bananas in the subtropics, *Scientia Horticulturae*. 40 (1), 53 – 62. doi: 10.1016/0304-4238(89)90007-1.

Mekwatanakarn, W., 1987. A simulation model of production and flowering in bananas. Thesis of the University of Western Australia, p. 139. Citado por Tixier, P., Malezieux, E. y Dorel, M. 2004. SIMBA – POP: A Cohort Population model for Long – term Simulation of Banana Crop Harvest. *Ecological Modeling* 180, 407 – 417, doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.04.028.



- Martín de Santa, F. y De Juan Valero, J. A. 1993. *Agronomía del Riego*. Mundi – Prensa, Madrid. 732 p.
- Martínez A., 1983. *Ecología del Cultivo del Plátano*. p. 135 – 143. En: *Memorias: Primer Seminario Internacional sobre Plátano*. Universidad de Caldas. Manizales.
- Martínez, E., Buriticá, P. y Ochoa, A. 2010. *Influencia del ENSO sobre la Sigatoka Negra en banano en Urabá (Colombia) durante 2007-2010*. p. 121-124. *Memorias. XIX Reunión Internacional para la cooperación en la investigación y desarrollo de las Musáceas (banano y plátano) ACORBAT*. ACORBAT Internacional. Medellín.
- Mayorga, R y Hurtado, G. 2006. *La sequía en Colombia*. Instituto de Estudios Ambientales. IDEAM. Bogotá. 65 p.
- Mejía, G. y Gomez, J. 1998. *La Precipitación, el Brillo Solar y el Cultivo del Banano*. Carta Informativa: AUGURA. 201(1), 12 – 14.
- Mesa, O., Poveda, G. y Carvajal, L. F. 1997. *Introducción al Clima en Colombia*. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 390 p.
- Milera, S., y Corotti, C. 2005. *Implementación del modelo Cropsyst para la simulación del rendimiento del cultivo de maíz en una región de Argentina*. CIOMTA. Santa Fé, Argentina. 9 p.
- Mira, J. J. 2003. *Efectos del verano sobre la planta de banana y la producción bananera de Urabá*. En: *Boletín Técnico Cenibanano*. 2, 2 – 5.
- Mira, J. J. Diaz, A. y Hernandez, M. I. 2004. *Influencia del régimen de lluvias sobre la producción bananera de Urabá*. XXXIV Congreso Comalfi. Bogotá Mayo 5-7 de 2004
- Monteith, J. L., 1977. *Climate and the efficiency of crop production in Britain*. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*. 281, 277 – 294.
- Ochoa, A., Fernández, K. y Mira, J. J. 2010. *Influencia del fenómeno ENSO sobre la producción bananera colombiana durante el período 1990-2008*. p. 222-225. *Memorias. XIX Reunión Internacional para la cooperación en la investigación y desarrollo de las Musáceas (banano y plátano) ACORBAT*. ACORBAT Internacional. Medellín.
- Ochoa, A. 2010. *Comments on Tixier, P. et al., 2004. 'SIMBA-POP: A cohort population model for long-term simulation of banana crop harvest' [Ecol. Model. 180, 407-417], Ecological Modelling, 221 (12) 1648*. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2010.03.001.
- Ospina, J. G. 2006. *Validación del modelo DSSAT en diferentes condiciones agroecológicas de Colombia, una herramienta para optimizar las prácticas del cultivo de maíz (Zea mays L.)* Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 103 p.
- Patarroyo, F. 2004. *Incidencia de Factores Ambientales en la Producción de Banano*. En: *Información Preferencial: Banano / Bayercropscience*. p 8-11.
- Patiño, L. F. y Mejía, G. A. 1999. *Efectos de las condiciones climáticas en el desarrollo de la Sigatoka Negra del Banano*. En: *Sigatoka negra, situación actual y perspectivas para el año 2000, en la zona bananera del el Magdalena*. Foro Calima S.A., Santa Marta.



- Pizarro, F. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Editorial Agrícola Española, S.A Madrid. 521 p.
- Poveda, G., M. M. Gil y N. Quiceno, 1998. El ciclo anual de la hidriología de colombia en relación con el ENSO y la NAO, Bulletin Institute Francaise d'Etudes Andines, 27 (3): 721 – 731.
- Poveda, G., Jaramillo, A., y Mantilla, R. 2000. Amplificación de las anomalías de la humedad del suelo y del índice “NDVI” por El Niño en Colombia. En: Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Córdoba, 10 p.
- Poveda, G, Jaramillo, A., Gil, M. M., Quiceno, N., y Mantilla, R. I. 2001. Seasonality in ENSO – related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia, Water Resources Research. 37 (8), 2169 – 2178.
- Poveda, G., Ramirez, J. M., y Jaramillo, A. 2002a. Un modelo estocástico para la humedad del suelo bajo diferentes coberturas vegetales en la región cafetera de Colombia. Avances en Recursos Hidráulicos, No. 9, 47 – 56.
- Poveda, G., Velez, J. I., Mesa, O., Hoyos C. D., Correa P. L., Mejia J. F., Barco O. J., Salazar L. F., 2002b. "Cuantificación Lineal y no Lineal de la Influencia de Fenómenos Macroclimáticos sobre el Ciclo Anual de la Hidrología p. 1 -12. Colombiana" En: Memorias. XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Sociedad Nacional de Ingenieros.
- Poveda, G., O.J. Mesa y P.R. Waylen. 2003. Non-Linear Forecasting of River Flows in Colombia Based Upon ENSO, and its Associated Economic Value for Hydropower Generation. pp. 351-372. En: Diaz, H.F. y B. Morehouse (ed.). Climate and Water: Transboundary Challenges in the Americas, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Holanda.
- Poveda, G. 2004. La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 28 (197): 201 – 222.
- Poveda, G., Waylen, P., y Pulwarty, R. 2005. Annual and inter – annual variability of presente climate in northerm South America and Southern Mesoamerica. PALALEO, No 234 (2006), 3 – 27. doi:10.1016/j.palaeo.2005.10.03
- Quiceno, M. M. 2004. Influencias de la precipitación y evaporación sobre la producción de banano en una hacienda del urabá antioqueño: condiciones normales y El Niño. Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. p. 19. Sin publicar.
- Restrepo, H. 2000. Una teoría del movimiento del agua xilematica para interpretar algunas relaciones del clima con la producción de los cítricos. En: Taller sobre bioclimatología de los cítricos. La Habana.
- Robinson, J.C. y Alberts, A. J. 1986. Growth and yield responses of Banana (Cultivar “Williams”) to drip irrigation under drought and normal rainfall conditions in the subtropics. Scientia Horticulturae. 30. 187-202.



- Robinson, J.C. y Bower, J.P. 1987. Transpiration characteristics of banana leaves (cultivar “Williams”) in response to progressive depletion of available soil moisture, *Scientia Horticulturae*, 30 (4) 289 – 300. doi: 10.1016/0304-4238(87)90003-3.
- Robinson, J.C., y Alberts A.J. 1989. Seasonal variations in the crop water-use coefficient of banana (cultivar “Williams”) in the subtropics, *Scientia Horticulturae*, 40, (3) 215 – 225. doi: 10.1016/0304-4238(89)90114-3.
- Robinson, J.C. 2000. banana productivity-the impact of agronomic practices. *Acta Hort.* 540, 247 – 258.
- Rogers, J. C., 1984. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the northern hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1999 – 2015.
- Roldan, P. 2008. Modelamiento del patron de circulación de la bahía Colombia. Golfo de Urabá. Implicaciones para el transporte de sedimentos. Tesis de Maestría en Ingeniería – Recursos Hidraulicos. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. 97 p.
- Rounsevell, M. D. A., Evans, S.P. y Bullock, P. 1999. Climate change and agricultural soil: impacts and adaptation. En: *Climate Change* 43 (4), p. 683 – 709.
- Salazar, C. 2010. El drenaje agrícola en el cultivo de banano. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 486 p.
- Salisbury, F. y Ross, C. 1994. Fisiología de las Plantas. Paraninfo Thomson Learning, Wadsworth. 759 p.
- Sancho, H. 1996. Efectos del mal drenaje y su control sobre la productividad del cultivo del banano. p. 207 – 219. En: X Congreso Nacional Agronómico. II Congreso de Suelos. San José.
- Sánchez R., Vargas, G., González H. y Pabón D. 2001. Los Fenómenos cálido del Pacífico (El Niño) y frío del Pacífico (La Niña) y su incidencia de la estabilidad de laderas en Colombia. p. 1 -12. En: III Simposio Panamericano de deslizamientos. Cartagena.
- Sandoval, J., Pérez, L. y López, A. 1999. Aspectos relacionados con la obstrucción, sofocamiento foliar o arpeollamiento. *Corbana*. 25 (52). 179 – 196.
- Steduto, P. 2006, Biomasa Water – Productivity. Comparing the growth – engines of crop models. p. 1 – 16. En WUEMED Training course. “ Integrated approaches to improve drought tolerance in crops”. Department of Agroenvironmental Sciences and Technology, University of Bologna. Bologna.
- Stöckle, C. O., Donatelli, M. y Nelson, R. 2003. CROPSYST, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy* 18. 289 – 307.
- Stöckle, C. O, y Kemanian, A. R. 2004. Driving crop growth models: radiation - versus transpiration – use efficiency. En: 4th International Crop Science Congress. Brisbane.
- Stover R.H. & N.W. Simmonds. 1987. Bananas. 3rd ed. Tropical Agriculture Series. John Wiley & Sons, Inc. New York. Citado por Vaquero, R. 2003. Soils physical properties and banana root growth. p. 125 – 131. En *Memorias: Symposium International: Banana Root Systems: Towards and Better Understanding for its Productive Management*. San José.



- Taiz, L. y Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*. Third Edition. Sinauer Associates Inc., Sunderland, Mass. 690 p.
- Taylor, S. y Ashcroft, G. *Physical Edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils*. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 533 p.
- Taylor, S. E. y Sexton, O. J. 1972. Some implications of leaf tearing in Musaceae. *Ecology*. 53 (1) 143 – 149.
- Thomas D.S., Turner D.W. y Eamus D. 1998. Independent effects of the environmental on the leaf gas exchange of three banana (*Musa* Sp.) cultivars of different genomic constitution. *Scientia Horticulture* 75 (1998), 41 – 57.
- Tixier, P. 2004. *Conception assistée par modèle de systèmes de cultura durables: Application aux systèmes bananiers de Guadeloupe*. These Doctoral en Diplome De Doctorat Specialite Sciences Agronomiques. Ecole Nationale Superieure Agronomique De Montpellier. Guadeloupe. 237 p.
- Tixier, P., Dorel, M. y Malezieux, E. 2007. A Model – based Approach to Maximise Gross Income by Selection of Banana Planting Date. *Biosystem Engineering* 96 (4), 471 – 476, doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.01.003
- Tixier, P., Malezieux, E. y Dorel, M. 2004. SIMBA – POP: A Cohort Population model for Long – term Simulation of Banana Crop Harvest. *Ecological Modeling* 180, 407 – 417, doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.04.028.
- Tixier, P., Malezieux, E. y Dorel, M. y Wery, J. 2008. SIMBA, a model for designing sustainable banana – based cropping systems. *Agricultural System* 97, 139 – 150. doi:10.1016/j.agsy.2008.02.003.
- Tournebize, J., Kao, C., Nikolic, N. y Zimmer, D. 2004. Adaptation of the STICS Model to Subsurface Drained Soils. *Agronomie* 24, 305 – 313.
- Turner, D. W. 1994. Capitulo 3: Bananas and Plantains. pp. 37 – 64. En: Schffer, B. y Andersen, P. C., *Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volume II: Sub-tropical and tropical crops*. Editorial CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 293 p.
- Turner, D.W. 1985. *Bananas: Response to Temperatura*. Agfacts H6.2.6. Department of Agriculture New South Wales.
- Turner, D. W., Fortescue, J. y Tomas, D. 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.) *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 19 (4), 463 – 484.
- Turner, D. W. y Fortescue, J. A. 2010. The physiology of banana (*Musa* spp.) fruit growth – factors that affect bunch initiation. p. 291 – 296. En: *Memorias. XIX Reunión Internacional para la cooperación en la investigación y desarrollo de las Musáceas (banano y plátano) ACORBAT*. ACORBAT Internacional. Medellín.
- Turner, D. W. y Lahav, E. 1983. The growth of banana plants in relation to temperature. *Australian Journal of Plant Physiology*. 10, 43 – 53.
- UNAL. Universidad Nacional de Colombia. 2006. *Estudio de Impacto del cierre de la difluencia del Río León al caño Tumaradó*. Medellín.



- Van Ittersum, M. K., Leffelaar, P. A., Van Keulen, H., Kropff, F., Bastiaans, L. y Goudriaan, J. 2003, On Approaches and application of the Wageningen crop model. *Europ. J. Agronomy*. 18 (3 – 4), 201 – 234.
- Vaquero, R. 2003. Soils physical properties and banana root growth. p. 125 – 131. En *Memorias: Symposium International: Banana Root Systems: Towards and Better Understanding for its Productive Management*. San José.
- Verdoodt, A., Rans, E. V. y YE, L. 2004, Modeling. daily simulation of potential dry matter production of annual field crops in tropical environmental. *Journal of Agronomy* 96, 1739 – 1753.
- Wallach, D., Goffinet, B., 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. *Ecological. Modeling* 44, 299–306.
- Warrick, R.A., Giford, R.M. y Parry, M.L. 1985. CO₂, Climatic Change and Agriculture en: *The Greenhouse Effect, Climate Change, y Ecosystem*. En: <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope29/chapter09.html> Consultada: Mayo de 2010.
- Woomer, P. L., Bekunda, M. y Bwamiki, D. 1998. Modelling banana growth and soil organic matter dynamics with the century model. *African Crop Science Journal*. 6 (2) 205 – 214