

CONDICIONES CLIMÁTICAS QUE FAVORECEN LA INFESTACIÓN DE SIGATOKA NEGRA *MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS* MORELET, [AMORFO: *PSEUDOCERCOSPORA FIJIENSIS* (MORELET) DEIGHTON], EN EL ÁREA BANANERA DE TEAPA, TABASCO, MÉXICO

Data de submissão: 09/05/2023

Data de aceite: 03/07/2023

Lorenzo Armando Aceves-Navarro

Colegio de Postgraduados - Campus Tabasco.
Área del Conocimiento Ambiente.
Carretera Cárdenas-Huimanguillo
ORCID ID: 0000-0002-9301-9223

José Francisco Juárez López

Colegio de Postgraduados - Campus Tabasco.
Carretera Cárdenas-Huimanguillo
ORCID ID: : 0000-0002-7145-1509

Benigno Rivera-Hernández

Universidad Popular de la Chontalpa.
Carretera Cárdenas-Huimanguillo,
Tabasco
ORCID ID: 0000-0003-1713-4710

Agrícola Arrieta-Rivera

Tecnológico Nacional de México/ IT de la Zona Olmeca.
Cuerpo Académico Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.
Prol. Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco, México
ORCID ID: 0000-0002-8107-9739

climáticas para la aparición y desarrollo de la Sigatoka Negra en la zona bananera del área de influencia de la estación climatológica 027045 de Teapa, Tabasco, México. Se analizaron 59 años de información de temperatura máxima y mínima diarias (1961-2019), de la estación climatológica 027045 de Teapa, Tabasco, México. La humedad relativa se estimó a partir de datos de temperatura mínima y promedio diaria. Para determinar qué tan favorables son las condiciones climáticas para el desarrollo de la Sigatoka Negra en Teapa, se utilizó una clasificación de favorabilidad climática. Los resultados muestran que, en el área de influencia de la estación climatológica 027045 de Teapa, Tabasco México; no existen condiciones climáticas Altamente Favorables para la incidencia y desarrollo de esta enfermedad, y que los meses de primavera-verano son predominantemente los menos favorables; mientras que los meses de otoño-invierno (octubre a marzo) son los más favorables para el desarrollo de la Sigatoka Negra, por lo que se deben diseñar programas integrados de manejo para estos meses.

PALABRAS CLAVE: *temperatura, humedad relativa, rendimiento, frecuencia relativa, modelos de predicción.*

RESUMEN: El objetivo del presente estudio fue caracterizar que tan favorables o desfavorables son las condiciones

CLIMATIC CONDITIONS THAT FAVOR INFESTATION OF BLACK SIGATOKA MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS MORELET, [ANAMORFO: PSEUDOCERCOSPORA FIJIENSIS (MORELET) DEIGHTON], IN THE BANANA GROWING REGION OF TEAPA, TABASCO, MEXICO

ABSTRACT: The objective of this study, was to characterize how favorable or unfavorable are the climatic conditions for the appearance and development of Black Sigatoka in the banana growing region of the area of influence of the weather station 027045 in Teapa, Tabasco, Mexico. Fifty-nine years of daily maximum and minimum temperature information (1965-2019) from the weather station 027045 in Teapa, Tabasco, Mexico, were analyzed. Relative humidity was estimated from daily minimum and mean temperature data. To determine how favorable the climatic conditions are for the development of Black Sigatoka in Teapa, a climatic favorability classification was used. The results show that, in the area of influence of the climatological station 027045 of Teapa, Tabasco, Mexico, there are no Highly Favorable climatic conditions for the incidence and development of this disease, and that the spring-summer months are predominantly the less favorable; while the autumn-winter months (October to March) are the most favorable for the development of Black Sigatoka; hence integrated management programs should be designed for these months.

KEYWORDS: temperature, relative humidity, banana, yields, relative frequency, prediction models.

1 | INTRODUCCIÓN

La Sigatoka Negra es una enfermedad infecciosa que ataca las hojas del banano y del plátano a nivel global. Es un hongo ascomiceto *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, [anamorfo: *Pseudocercospora fijiensis* (Morelet) Deighton], cuya reproducción puede ser sexual o asexual (Soares *et al.*, 2021). La Sigatoka Negra es considerada la más dañina y costosa de las enfermedades del banano porque su control es de alrededor del 27% de los costos de producción (Júnior *et al.*, 2008) y porque puede reducir los rendimientos desde un 25% hasta un 100% cuando no se tienen métodos y prácticas agronómicas adecuadas para controlar sus efectos (Nfor *et al.*, 2011).

Las variables climáticas que favorecen la aparición, incidencia y severidad del ataque de Sigatoka Negra, son predominantemente la temperatura, la humedad relativa del aire, la precipitación, así como la duración del humedecimiento de las hojas que ejerce su mayor efecto en la aparición de los primeros síntomas (Álvarez *et al.*, 2013; Khan *et al.*, 2015).

El rango de temperaturas óptimas para el desarrollo de la enfermedad es de 25 °C a 28 °C (Bebber, 2019; Orozco *et al.*, 2008). Mientras que humedades relativas iguales o mayores al 92% permiten predecir la probabilidad de un brote de esta enfermedad (Khan *et al.*, 2015). Jacome and Schuh, (1992), reportan que a elevada humedad relativa ($\geq 92\%$) la infección por conidios no requiere del humedecimiento de la hoja; en cambio si se requiere para la infección por ascosporas (Júnior *et al.*, 2008).

En un intento por clasificar la favorabilidad de las condiciones climáticas de una

localidad o región para la incidencia y desarrollo de la Sigatoka Negra, Júnior *et al.* (2008) proponen una clasificación con base a temperatura y humedad relativa. Mediante, la mejora de la calidad de los pronósticos del tiempo y clima; es posible hacer estimaciones sobre la probabilidad de ocurrencia de enfermedades en las plantas y predecir la aparición o ausencia de epidemias severas. Entre las variables más importantes para los modelos de enfermedades, se encuentran la precipitación, la humedad relativa y la temperatura (Bombelli *et al.*, 2013).

Los antecedentes descritos anteriormente muestran la necesidad de investigar la ocurrencia de Sigatoka Negra, en el estado de Tabasco. Es por esto que el presente trabajo tiene como objetivo estimar el tiempo en que se presentaran o se manifestaran las condiciones climáticas de temperatura y humedad relativa que favorecen la infección de Sigatoka Negra.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

Información climatológica y manejo de los datos. Se extrajeron datos promedio diarios de temperatura máxima y mínima (T_{max} y T_{min}) de 59 años de información (1961-2019), de la estación climatológica de Teapa, Tabasco, México (27044), de la base de datos ERIC III desarrollada por el IMTA (2009) y se completó con registros reportados por el Servicio Meteorológico Nacional hasta el año 2019, para la misma estación (SMN, 2021), que se localiza en el meridiano 92° 57' 12" al oeste del meridiano de Greenwich y el paralelo 17° 32' 56" Latitud Norte. Donde la temperatura media anual oscila entre 24 y 26 °C con precipitación total anual entre 2,000 y 4,000 mm (Zavala-Cruz *et al.*, 2016). Los datos extraídos fueron transcritos a una hoja de Excel para facilitar su manejo operativo y obtener la temperatura media diaria (T_{med}) con la siguiente ecuación:

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (1)$$

Posteriormente, se obtuvieron los promedios mensuales de cada uno de los meses de los 59 años de registro (708 datos). Luego, para cada mes se obtuvo su promedio total, para así obtener solo 12 valores promedios de T_{med} ; uno por cada mes del año. Finalmente, se obtuvo un único valor del promedio anual de todos los 59 años. Lo mismo se realizó para los datos de humedad relativa.

Estimación de la humedad relativa (HR). Como la HR no es un dato que el Eric III o el Servicio Meteorológico Nacional proporcione, y es una variable de difícil acceso; ésta se estimó de manera porcentual, en términos de la relación de la presión parcial del vapor de agua actual entre la presión parcial del vapor de agua a saturación, con la ecuación reportada por Allen *et al.*, (2006):

$$HR = \left(\frac{e_a}{e_s} \right) * 100 \quad (2)$$

Dónde al despejar a e_a queda:

$$e_a = \frac{THR}{100} * e_s \quad (3)$$

Dónde: HR es la humedad relativa (%) y “e_a” es presión parcial del vapor de agua actual (kPa), que para Teapa se obtuvo de la siguiente ecuación de regresión desarrollada por Aceves, (2021):

$$e_a = - 1.1089 + (0.1809 * T_{min}) \text{ con } R^2 = 0.886 \quad (4)$$

“e_s” es la presión parcial del vapor de agua a saturación (kPa), que se obtiene a partir de datos de temperatura media, con la siguiente ecuación, reportada por Allen et al. (2006):

$$e_s = 0.61078 * \exp \left[\frac{(17.269 * T_{med})}{(T_{med} + 237.3)} \right] \quad (5)$$

Así, conocidos “e_a” y “e_s”, se pudo estimar los valores de la humedad relativa (HR) promedio diaria, mensual y anual; utilizando la ecuación (2).

Clases de favorabilidad climática para Sigatoka Negra. Las clases de favorabilidad climática para el desarrollo de la Sigatoka Negra en cada mes del año, se determinó utilizando datos de temperatura y humedad relativa promedio mensual. La clasificación se realizó utilizando las clases de favorabilidad climática propuesta por Júnior *et al.* (2008), que se muestra en la Tabla 1.

Clase de favorabilidad	Descripción	Intervalos de temperatura (°C)	Intervalos de humedad relativa (%)
1	Altamente Favorable	25 a 28	> 90
2	Favorable	25 a 28	80 a 90
3	Relativamente Favorable	20 a 25 o 28 a 35	> 80
4	Poco Favorable	20 a 35	70 a 80
5*	Desfavorable	< 20 a > 35	< 70

(*) La clase de favorabilidad 5 ocurre si la humedad relativa es menor al 70% a cualquier intervalo de temperatura.

Tabla 1. Clases de favorabilidad para el desarrollo de Sigatoka Negra en función de los intervalos de temperatura y humedad relativa (Júnior et al., 2008).

Determinación de las clases de favorabilidad. Con los datos de temperatura y humedad relativa promedio mensual de cada año de registro de la estación meteorológica de Teapa, se determinó la clase de favorabilidad para cada uno de los 708 meses observados durante el periodo (1961-2019). Así como para los promedios de cada uno de los meses (promedio de 59 datos por mes) y finalmente el promedio total anual. La clase

de favorabilidad en base a temperatura y humedad relativa fue determinada utilizando los límites que se muestran en la Tabla 1. Posteriormente, en cada mes, se determinó la frecuencia relativa, para estimarle a cada mes la probabilidad de cada una de las 5 clases y su periodo de retorno correspondiente.

Análisis de frecuencias relativas. El análisis de frecuencias relativas de temperatura y humedad relativa de manera individual o combinada, se obtuvo al dividir el número de ocurrencia de un intervalo específico (referido en la Tabla 1), respecto al total del registro histórico. De esta manera se determinó la frecuencia relativa para cada una de las 5 clases y para cada mes de los 59 años de registro.

3 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto aislado de la temperatura sobre el desarrollo de Sigatoka Negra. Al analizar los 708 valores promedio mensuales de temperatura, se observó que la categoría de Desfavorable no ocurrió en ninguno de los 708 meses. En el 72.3% del tiempo estudiado, la temperatura estuvo entre Relativamente Favorable y Altamente Favorable para el desarrollo de la Sigatoka Negra. Las temperaturas de los meses de septiembre y octubre, se clasifican como Altamente Favorables para que se presente o manifieste la enfermedad de Sigatoka Negra, dados que los valores de estos meses fluctúan entre los 25-28 °C. Solo el 27.7% del tiempo analizado fue Poco favorable. Es decir, las condiciones térmicas en 3 de cada 4 años son propicias para el desarrollo de la enfermedad en el área de influencia de la estación de Teapa, Tabasco.

Efecto aislado de la humedad relativa sobre el desarrollo de Sigatoka Negra. Los resultados mostraron que la humedad relativa promedio durante los 59 años de estudio, fue alta (78.8%). En ningún mes del periodo analizado, hubo valores de $HR \geq 90\%$. Es decir, las condiciones Altamente Favorables no ocurrieron a nivel promedio mensual. El 98% del tiempo analizado de humedad relativa tuvo valores superiores al 70%. Es decir, solo el 2% del tiempo la humedad relativa fue menor al 70%; por lo que las condiciones Desfavorables para el desarrollo de Sigatoka Negra ocurrirán una vez cada 50 a 51 años; lo que es poco probable. Mientras que las condiciones Poco Favorables fueron el 58.2% del tiempo analizado (HR entre 70% a 80%). En cambio, las condiciones de Relativamente Favorables a Favorables fueron de solo el 39.8% del tiempo ($HR > 80\%$). Esto significa que, en la estación climatológica de Teapa, Tabasco, predominan las condiciones de Poco Favorables a Desfavorables la mayor parte del tiempo, tomando en cuenta aisladamente a la HR . Esto es, se presentarán esas condiciones 6 veces de cada 10 años.

Efecto combinado de la temperatura y la humedad relativa promedio total sobre el desarrollo de Sigatoka Negra. Al obtener un solo valor promedio de los 59 años de registro de temperatura y humedad relativa, se pudo determinar de acuerdo a lo reportado en la Tabla 1, que en general, las condiciones climáticas son Relativamente

Favorables para que se manifieste la enfermedad de Sigatoka Negra en banano en el área de influencia de la estación climatológica de Teapa.

Efecto combinado de la temperatura y la humedad relativa promedio mensual, sobre el desarrollo de Sigatoka Negra en el periodo total analizado. La Tabla 2, muestra el tiempo relativo de cada clase de favorabilidad (condiciones climáticas) que ocurrieron durante el periodo (1961-2019) para los 708 meses analizados. En esa tabla se puede apreciar que no existieron condiciones Altamente Favorables para el desarrollo de la Sigatoka Negra durante ese periodo. Asimismo, se muestra que la mayor parte del tiempo (56.9%) las condiciones fueron Poco Favorables para el desarrollo de la enfermedad, con un periodo de retorno de una vez cada 2 años. En cambio, las condiciones Relativamente Favorables fueron 28% del total del tiempo analizado; equivalentes a un periodo de retorno de una vez cada 4 años. Se puede apreciar también, que, las condiciones Favorables tienen un periodo de retorno de una vez cada 8 años (13.1%). Finalmente, las condiciones Desfavorables tuvieron un periodo de retorno de una vez cada 50 a 51 años (2%).

Condición climática	Tiempo analizado (%)	Periodo de retorno
	(1961 - 2019)	(años)
Favorable	13.1	8
Relativamente Favorable	28.0	4
Poco Favorable	56.9	2
Desfavorable	2.0	51

Tabla 2. Tiempo relativo de la ocurrencia de las diferentes clases de favorabilidad y sus periodos de retorno correspondientes, durante el periodo de 1961 a 2019, en el área de influencia de la estación climatológica de Teapa, Tabasco, México.

La Tabla 2, muestra la frecuencia relativa y su correspondiente periodo de retorno, para las diferentes condiciones climáticas que se presentaron en los 708 meses y que indican la frecuencia en que pueden ocurrir en cualquiera de los 12 meses del año. Asimismo, se puede resaltar, que alrededor del 60% del tiempo analizado, las condiciones climáticas van de Poco Favorables a Desfavorables para el desarrollo e infección de la Sigatoka Negra. Al analizar todos los meses, las condiciones Altamente Favorables no ocurren; mientras que las Desfavorables si ocurren una vez cada 51 años.

Los resultados del análisis de cada uno de los 708 meses de temperatura y humedad relativa para determinar la clase de favorabilidad y su frecuencia relativa, se muestran en la Figura 1. En ella se puede observar que en el mes de enero las condiciones climáticas son 100% Relativamente Favorables (Clase 3), y además, esta clase es mayoritaria sin llegar al 100%, en los meses de noviembre, diciembre y febrero. En cambio, los meses de julio, agosto y septiembre son 100% Clase 4 (Poco Favorable) y esta clase es mayoritaria en los meses de abril, mayo, junio y octubre. También se puede apreciar que en ninguno de los

meses del año las condiciones Favorables llegan al 100% y que sus valores superiores al 40% ocurren en los meses de octubre, noviembre y marzo.

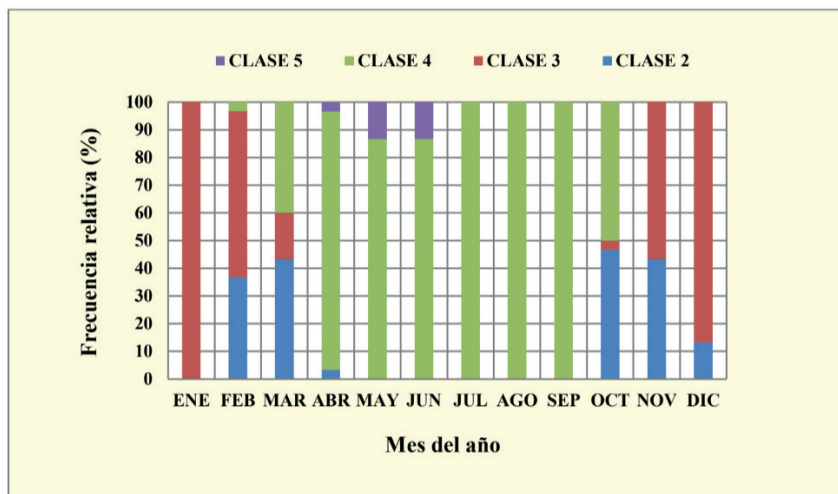


Figura 1. Frecuencia relativa de las clases de favorabilidad para el desarrollo de Sigatoka Negra, en los diferentes meses del año, en el área de influencia de la estación climatológica de Teapa, Tabasco, México.

Cuando se agrupan las 4 clases de favorabilidad existentes en la zona bananera de Teapa en 2 grupos, representando las condiciones favorables y desfavorables para el desarrollo de Sigatoka Negra da como resultado lo que se muestra en la Figura 2.

En la Figura 2, se puede apreciar que en los meses de abril a septiembre (primavera-verano), predominan las condiciones de Poco Favorables a Desfavorables para el desarrollo de Sigatoka Negra; con valores que fluctúan entre 96.6% a 100%. En cambio, los meses de noviembre a marzo (otoño-invierno), predominan las condiciones que van de Relativamente Favorables a Favorables; con valores del 100% en los meses de noviembre a enero. En estos tres meses se deben realizar muestreos continuos para tener un control más eficaz sobre la Sigatoka Negra en el área de influencia de la estación climatológica de Teapa, Tabasco, México.

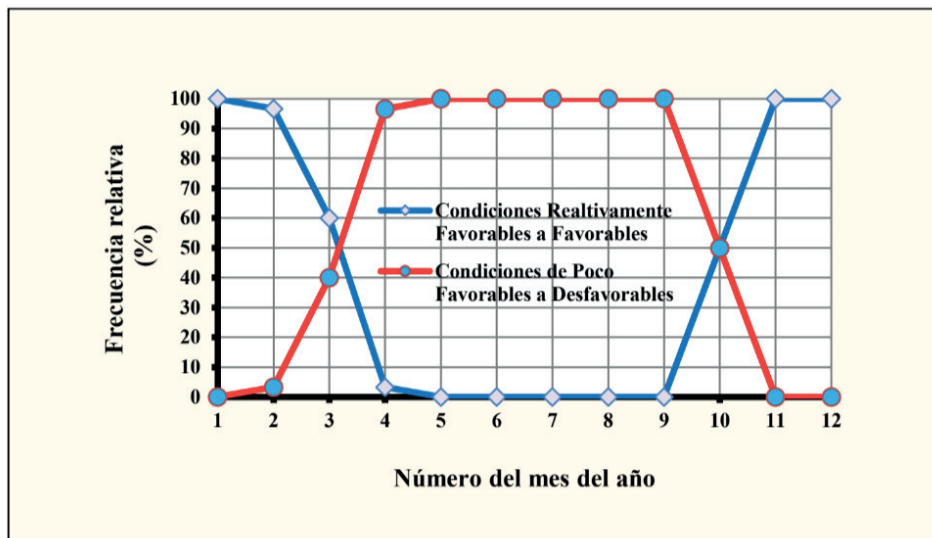


Figura 2. Condiciones climáticas de favorabilidad para el desarrollo de Sigatoka Negra, para los diferentes meses del año en el área de influencia de la estación climatológica de Teapa, Tabasco, México.

Efecto combinado de la temperatura y la humedad relativa promedio mensual sobre el desarrollo de Sigatoka Negra. En la Tabla 3, se muestran los resultados al determinar la clase de favorabilidad promedio mensual para el área de influencia de la estación climatológica de Teapa, Tabasco, México.

MES	<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	<i>Tmed</i>	HR	Clase de Favorabilidad	Descripción
Enero	26.6	18.0	22.3	86.9	3	Relativamente Favorable
Febrero	28.2	18.5	23.4	85.3	3	Relativamente Favorable
Marzo	31.3	20.0	25.7	81.2	2	Favorable
Abril	33.7	21.8	27.8	76.8	4	Poco Favorable
Mayo	34.9	23.0	29.0	74.0	4	Poco Favorable
Junio	34.0	23.0	28.5	75.1	4	Poco Favorable
Julio	33.5	22.4	28.0	76.4	4	Poco Favorable
Agosto	33.3	22.5	27.9	76.5	4	Poco Favorable
Septiembre	32.2	22.6	27.4	77.6	4	Poco Favorable
Octubre	30.3	21.7	26.0	80.5	2	Favorable
Noviembre	28.8	20.1	24.5	83.4	2	Favorable
Diciembre	27.1	18.6	22.9	86.1	3	Relativamente Favorable

Tabla 3. Valores de temperatura y humedad relativa promedio mensual que definen la clase de favorabilidad y su descripción, para el riesgo de infestación por Sigatoka Negra para el periodo (1961 a 2019), en el área de influencia de la estación climatológica de Teapa, Tabasco, México.

Se puede apreciar en la Tabla 3, que la clase de favorabilidad Altamente Favorable y la Desfavorable para el desarrollo de la Sigatoka Negra no ocurren para estos valores promedio mensuales. Asimismo, los meses de abril a septiembre las condiciones climáticas son Poco Favorables para el desarrollo de la enfermedad. Estos resultados concuerdan con lo obtenido del análisis del periodo total (708 meses). Mientras que las condiciones climáticas para la clase Favorable se presentan en los meses de octubre, noviembre y marzo. Resultados similares se han observado en 4 zonas bananeras de Bangladesh; donde el mes de octubre es el de mayor incidencia y severidad de Sigatoka Negra (Khan *et al.*, 2015). Asimismo, estos autores encontraron una alta correlación entre la incidencia y severidad de la enfermedad con la precipitación y la temperatura influenciada por la humedad relativa.

CONCLUSIONES

En el periodo de tiempo analizado de 1961-2019 se encontró que las condiciones climáticas en el área de influencia de la estación climatológica 027045 de Teapa, Tabasco, México, son Relativamente Favorables para que se manifieste la enfermedad de Sigatoka Negra. En cambio, no se encontraron condiciones climáticas Altamente Favorables para que se manifieste dicha enfermedad. La metodología y los resultados del presente trabajo, pueden servir como orientativos al ser incorporados a un sistema web que al utilizar datos horarios y/o diarios permitan emitir una alerta temprana y advertir sobre el riesgo de Sigatoka Negra en tiempo real, en la región bananera de Teapa Tabasco, México.

REFERENCIAS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje No 56. Disponible; <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>.
- Álvarez, E., Pantoja, A., Gañán, L., & Ceballos, G. (2013). La Sigatoka negra en plátano y banano: Guía para el reconocimiento y manejo de la enfermedad, aplicado a la agricultura familiar. FAO. CIAT. 1-6 pp.
- Bebber, D.P. (2019). Climate change effects on Black Sigatoka disease of banana. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 374: 20180269. doi.org/10.1098/rstb.2018.0269.
- Bombelli, E., Moschini, R., Wright, E., López, M.V., & Fabrizio, M.D.C. (2013). Modelado para la predicción de enfermedades en cultivos de alto valor comercial. *Proyecciones* 11(1): 47-59.
- IMTA. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2009. ERIC III: Extractor Rápido de Información Climatológica v.2. CD, 28 p
- Jacome, L.H., & Schuh, W. (1992). Effects of leaf wetness duration and temperature on development of Black Sigatoka disease on banana infected by *Micosphaerella fijiensis* vr. *difformis*. *Phytopathology*, 82:515-520.

Júnior, W.C.D.J., Júnior, R.V., Cecilio, R.A., Moraes, W.B., Vale, F.X.R.D., Alves, F.R., & Paul, P.A. (2008). Worldwide geographical distribution of Black Sigatoka for banana predictions base on climate change models. *Scientia Agricola*, 65; 40-53.

Khan, M.A.H., Hossain, I., & Ahmad, M.V. (2015). Impact of weather on sigatoka leaf spot of banana (*Musa spp. L.*) and its ecofriendly management. *The Agriculturists*, 13(2): 44-53.

Nfor, D.T., Fontem, D.A., & Ivo, N.L. (2011). Evaluation of varietal response to black sigatoka caused by *Mycosphaerella fijiensis* Morelet in banana nursery. *International Research Journal of Plant Science*, 2(10): 299-304.

Orozco, S.M., Orozco, R.J., Pérez, Z.O., Manzo, S.G., Fariás, L.J. & da Silva, M.W. (2008). Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical plant pathology*, 33(3): 189-196.

SMN, (Servicio Meteorológico Nacional). (2021). Estación meteorológica 27044, Teapa, Tabasco. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Soares, J.M.S., Rocha, A.J., Nascimento, F.S., Santos, A.S., Miller, R.N.G., Ferreira, C.F., Haddad, F., Amorim, V.B.O., & Amorim, E.P. (2021). Genetic Improvement for Resistance to Black Sigatoka in Bananas: A Systematic Review. *Front. Plant Sci*, 12: 657916.

Zavala-Cruz, J., Ramírez, J.R., Palma-López, D.J., Bautista, Z.F., y Gavi, R.F. (2016). Paisajes geomorfológicos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 3(8):161-171.