

Vigilancia dinámica de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical en México

Guillermo Santiago-Martínez¹; Daniela Alejandra Bocanegra-Flores¹; José Guadalupe Florencio-Anastasio^{1*}; María Margarita Oliva-Hurtado¹; Gabriel Peralta-Valverde¹; Sandra Berenice Rositas-Tristán¹; Oscar Sánchez-Martínez¹

¹Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Dirección General de Sanidad Vegetal, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Carretera Federal México-Pachuca km 37.5, 55740 Tecámac, Estado de México, México.

***Autor de**

Correspondencia:

José Guadalupe Florencio-Anastasio
jose.florencio.i@senasica.gob.mx

Contribución:
Científica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Santiago-Martínez G,
Bocanegra-Flores DA,
Florencio-Anastasio JG,
Oliva-Hurtado MM,
Peralta-Valverde G,
Rositas-Tristán SB y
Sánchez-Martínez O. 2024.
Vigilancia dinámica de
Fusarium oxysporum f. sp.
cubense raza 4 tropical en
México.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
41
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2441](https://doi.org/10.62498/ARTC.2441)

RESUMEN

La Marchitez de las musáceas por *Fusarium*, es una plaga ausente en México; por lo que, el SENASICA realiza acciones de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria para su detección oportuna en 16 entidades federativas. Con la finalidad de optimizar la vigilancia con un enfoque dinámico y flexible en tiempo y espacio, se desarrolló el modelo dinámico para delimitar áreas con condiciones potenciales para la expresión de síntomas de la plaga, con base en variables climáticas y edáficas favorables se determinaron índices potenciales. El Modelo desarrollado permite priorizar, de manera mensual, cinco niveles de condiciones favorables para el desarrollo de la plaga, tanto a escala nacional como a predios de cultivo.

Palabras clave: Modelo dinámico, Marchitez por *Fusarium*, condiciones óptimas, Fitosanidad.

ABSTRACT

Fusarium wilt of musaceae is a pest absent in Mexico; Therefore, SENASICA carries out Phytosanitary Epidemiological Surveillance actions for its timely detection in 16 states. In order to optimize surveillance with a dynamic and flexible approach in time and space, the dynamic model was developed to delimit areas with potential conditions for the expression of pest symptoms, based on favorable climatic and edaphic variables, potential indices were determined. The developed Model allows prioritizing, on a monthly basis, five levels of favorable conditions for the development of the pest, both on a national scale and on farms.

Keywords: Dynamic model, *Fusarium* wilt, optimal conditions, phytosanitary.



INTRODUCCIÓN

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (Foc R4T) es el agente causal de la Marchitez de las musáceas por *Fusarium*, se reportó por primera vez en Taiwán en 1989. A la fecha, esta plaga se ha detectado en 24 países de Asia, Oceanía, África, Europa y América (Florencio-Anastasio, 2023; IPPC, 2023; Mmadi et al., 2023). La importancia de esta plaga, reside en que no existen cultivares de plátano con resistencia aceptable agronómicamente, ni productos químicos efectivos para su control. Por otra parte, la condición fitosanitaria de Foc R4T en México es ausente y es de importancia cuarentenaria (Florencio-Anastasio, 2022). Debido a que la movilización de material vegetal propagativo (hijuelos y cormos infectados) es la principal vía de dispersión de la plaga (Dita et al., 2013), se considera que el riesgo de introducción de Foc R4T a México es medio (Florencio-Anastasio, 2022). El estudio de Análisis de Riesgo de Plagas, dentro de la probabilidad de entrada de una plaga, contempla la adaptabilidad al medio ambiente, tales como: factores climáticos y edáficos. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar el modelo dinámico de Foc R4T, para determinar las áreas con condiciones favorables potenciales para el desarrollo y expresión de síntomas de la plaga Foc R4T en México y optimizar la Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria de la plaga en una lógica dinámica y flexible en espacio y tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de trabajo. Se utilizó una cuadrícula de 1 km² en formato “shape file” desarrollada por el Programa Nacional de Moscas de la Fruta del Senasica; la cual, asigna una clave única a cada cuadrante y tiene una cobertura nacional. Mediante del software ArcGIS Advance Pro® se determinó el centroide de cada uno de los cuadrantes con el objetivo de que el cuadrante este ubicado en un solo municipio. Como resultado se obtuvieron un total de 2,026,580 cuadrantes de 1 km² que abarcan toda la República Mexicana.

Perspectiva climática mensual. Las variables climáticas utilizadas son: pronóstico mensual de Humedad Relativa (HR), el cual se obtiene del modelo Climate Forecast System versión 2 (CFSv2) [Saha et. al., 2014] en formato binario grib2. Estos archivos se procesaron a través de sistemas operativos Linux (Ubuntu 20.04) con la librería wgrib2 que es un paquete de software libre desarrollado por el Climate Prediction Center. Este archivo binario para ser visualizado en el software GrADS (Sistema de Análisis y Visualización de Cuadrículas por sus siglas en inglés) requiere de un archivo

de control; el cual, se genera partir de una rutina programada en lenguaje de programación PERL. Una vez generado el archivo ctl se despliega con GrADS y delimita la malla mundial al dominio de México para que sea más sencilla su manipulación y se exporta la malla con el dominio de México al formato geotiff para su manejo en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

La perspectiva climática mensual de precipitación pluvial (pp), temperatura máxima (tmáx), temperatura mínima (tmín) se obtiene desde el portal del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua en la sección de Climatología Pronóstico Estacional (SMN-CONAGUA, 2023).

Extracción de datos. Para las 4 variables climáticas se realizó una re-interpolación y extrapolación espacial mediante splines multi-level betha, método de interpolación disponible en la librería Multilevel B-Spline de R-project. Debido a que la malla de HR es de pixeles de 2.5° X 2.5°, se reinterpola para generar una malla de mejor resolución espacial y representativa. Debido a que las mallas (geotiff) de perspectivas climáticas del SMN de precipitación y temperaturas no cubren por completo la malla de vigilancia, se extrapoló espacialmente para ajustar el tamaño a 1 km², con lo que se previene que algún cuadrante quede sin información. Una vez que se obtiene la información de pronóstico y perspectivas climáticas mensuales en formato geotiff, los datos se extraen por cuadrante, a través del software ArcGIS Advance Pro (Senasica, 2017) con la herramienta Extract Multi Values to Points del paquete Spatial Analyst, para generar una base de datos que puede exportarse a Microsoft Excel®.

Condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de Foc R4T.

No existe información disponible en la literatura sobre las condiciones ambientales óptimas en campo para el proceso de patogénesis del hongo Foc R4T. No obstante, se reporta que la Humedad Relativa (HR) óptima es > 70% (Kema, 2022, com. pers.). Mientras que la Temperatura óptima (Tóptima) en campo > 25°C (Kema, 2022, com. pers.); lo cual, está correlacionado con las temperaturas presentes en Australia, donde se ha detectado Foc R4T. Por lo tanto, se determinó como Tóptima de 25 a 34°C y Tmín de 10°C; así como 500 mm de precipitación mensual óptimo y 100 mm de precipitación mínima mensual para el desarrollo de Foc R4T, considerando que el cultivo de plátano requiere de 2000 a 3000 mm anuales (Pronatura, 2016).

Determinación de las escalas. Se estimó el efecto de cada una de las variables considerando los umbrales mínimos y máximos para el desarrollo de la plaga; es decir,

se asignó un valor de 100%, cuando la variable es igual al punto óptimo de desarrollo, y dicho valor disminuye de manera lineal hasta 0%, conforme se acerca al umbral mínimo y máximo; también se asigna un valor del 0% en aquellos cuadrantes cuya temperatura y precipitación es menor de 10°C o 100 mm, respectivamente.

Determinación de los índices parciales y general. Se estimaron los índices parciales (tmín, tmáx, HR y PP) de cada uno de los 2,026,580 cuadrantes de 1 km² que cubren todo el territorio nacional en base a las escalas determinadas previamente. Posteriormente, Se obtuvo el índice general promediando los índices parciales de cada uno de los cuadrantes.

Determinación de las condiciones potenciales para la expresión de síntomas. Los valores del índice general se agruparon en cinco niveles, en los que los rangos se definieron en relación a rangos de probabilidad. El Nivel 1, tiene una probabilidad menor del 60 %, mientras que los niveles 2, 3 y 4, tienen una probabilidad del 60 al 70 %, del 70 al 85 % y del 85 al 95 %, respectivamente; y para el Nivel 5, la probabilidad es mayor al 95 %. El modelo estadístico que se utilizó para realizar el Análisis de variación (ANOVA), es el siguiente: $y = a + b + a*b + e$, donde y: variación total de las condiciones potenciales, a: variación de las condiciones potenciales a nivel municipal, b: variación de los niveles de condiciones potenciales, a*b: interacción, y e: error experimental. Se determinó que existen diferencias altamente significativas entre niveles ($P < 0.0001$), y mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), se confirmó que la jerarquía de los niveles es estadísticamente correcta. Una vez asignado a cada cuadrante el valor del nivel que le corresponde (Niveles 0, 1, 2, 3, 4, 5), éstos pueden analizarse de manera nacional, regional, municipal o por cuenca hidrológica; cabe destacar que, en ningún caso, se pierde la precisión ni la confianza estadísticas.

Integración de las variables fijas. Una vez delimitados los cinco niveles de condiciones potenciales, con base en las variables climáticas, se integraron las capas geoespaciales de suelos arcillosos y áreas inundables como condiciones favorables para el desarrollo de Foc R4T.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el mes de septiembre de 2022, las áreas con niveles de condiciones favorables: alto, medio y medio-bajo para la expresión de síntomas de la Marchitez por *Fusarium* (Figura 1), determinadas mediante el modelo dinámico, coinciden con las principales áreas de producción de plátano en México, incluyendo áreas potenciales

en Tamaulipas, Nuevo León y Sinaloa, en donde no existe este cultivo establecido (SIAP, 2015); además, en el presente estudio determinaron algunas áreas en Baja California Sur, Sonora y Chihuahua con condiciones favorables para el desarrollo de la plaga.

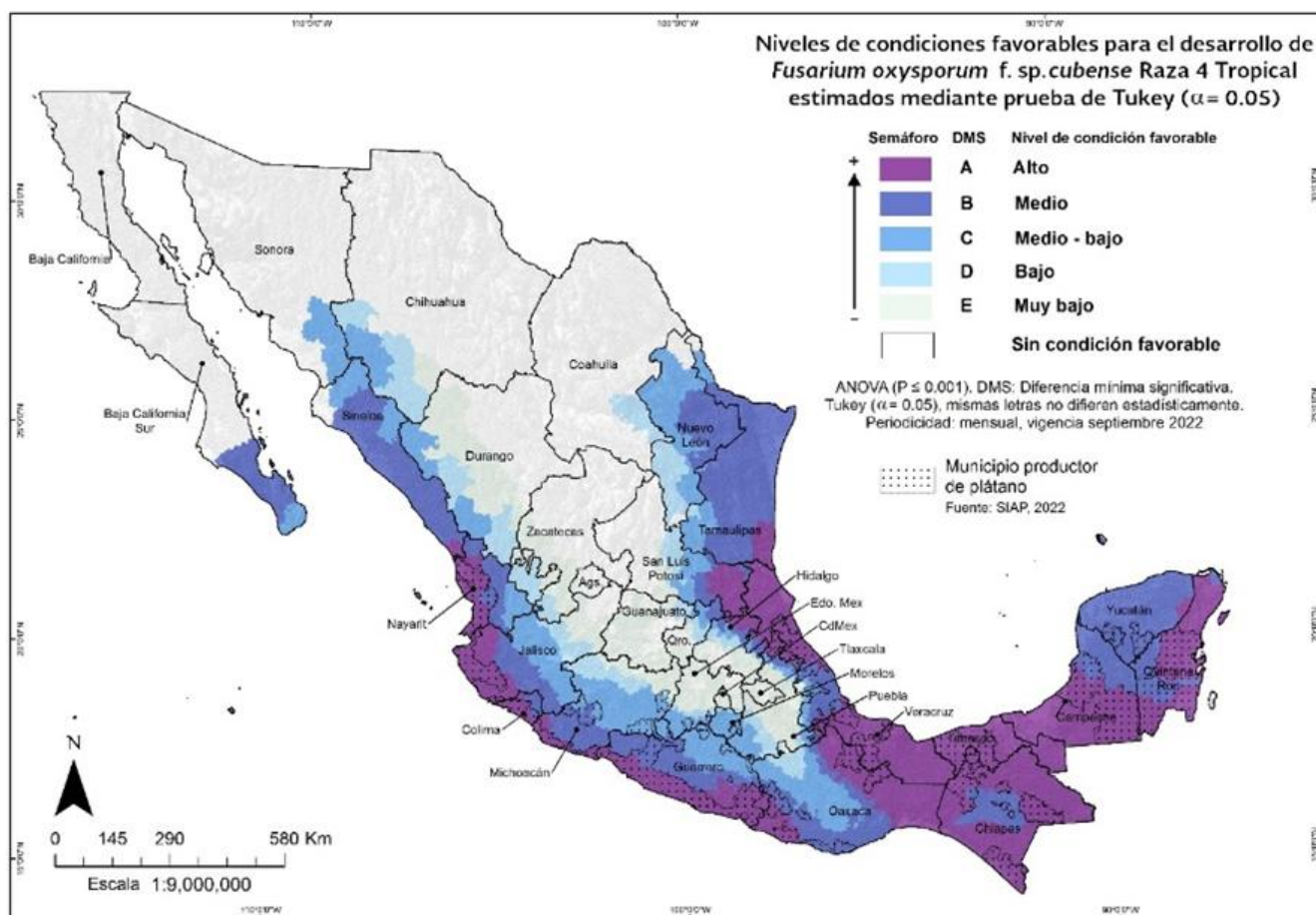


Figura 1. Estimación de condiciones favorables potenciales para la expresión de síntomas de Foc R4T en México para el mes de septiembre de 2023, por medio del modelo dinámico.

Las áreas con condiciones favorables potenciales para la expresión de síntomas de la plaga fueron diferentes para cada mes de año y están correlacionadas con las condiciones ambientales y edáficas (Figura 2).

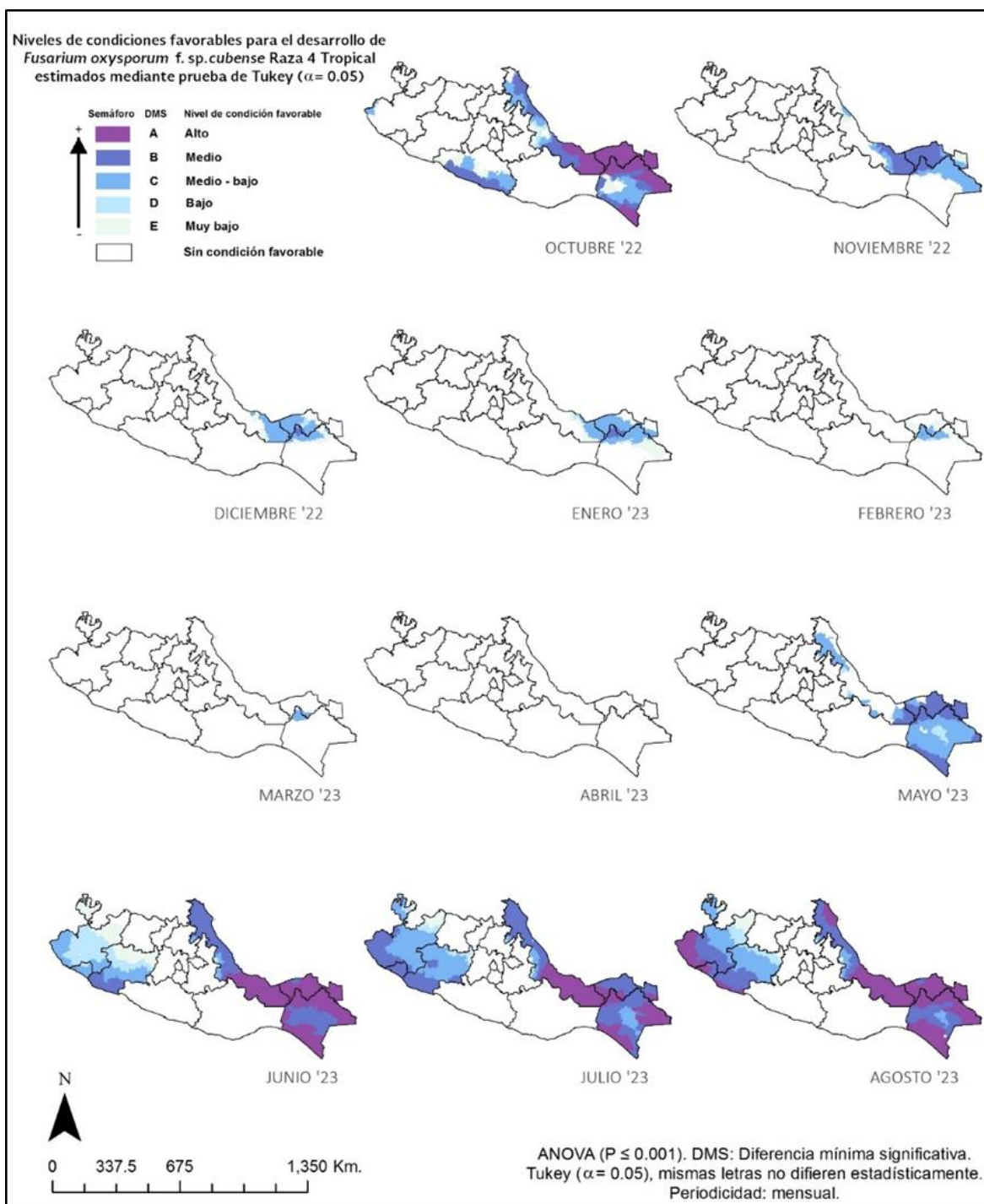


Figura 2. Estimación de condiciones favorables potenciales para la expresión de síntomas de Foc R4T en los estados de Tabasco, Chiapas, Veracruz, Michoacán, Jalisco y Colima en México; durante el periodo de octubre 2022 a agosto 2023, por medio del modelo dinámico.

El modelo dinámico desarrollado para Foc R4T permite priorizar cinco niveles con condiciones favorables para el desarrollo de la plaga (Alto, Medio, Medio-bajo, Bajo y Muy Bajo) a diferentes escalas: nacional, estatal, municipal, ejidal y a nivel de predios o parcelas, con lo cual se busca optimizar, priorizar y dirigir las actividades de muestreo que implementa el Senasica a través de los Organismo Auxiliares de Sanidad Vegetal para la detección oportuna de la Marchitez por *Fusarium*, bajo una lógica dinámica y flexible en espacio y tiempo, tanto en áreas de producción como en áreas silvestres, urbanas, traspacios, etc., en donde se encuentren plantas aisladas de plátano.

CONCLUSIONES

El modelo dinámico desarrollado para *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical permite priorizar cinco niveles con condiciones favorables para el desarrollo de la plaga a diferentes escalas, nacional, estatal, municipal, ejidal y a nivel de parcelas.

La determinación de áreas con condiciones favorables para la expresión de síntomas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical, permite optimizar, priorizar y redirigir las actividades de muestreo para la detección oportuna de la marchitez por *Fusarium*, bajo una lógica dinámica y flexible en espacio y tiempo.

REFERENCIAS

1. Dita RMA, Echegoyén RPE y Pérez VLF. 2013. Plan de contingencia ante un brote de la Raza 4 Tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en un país de la región del OIRSA. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). San Salvador, El Salvador. 155p.
2. Florencio-Anastasio JG. 2022. Estrategias de manejo integrado de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza “1 o 2”, en México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. México. 170 p.
3. Florencio-Anastasio JG, Alarcón A, García-Ávila CJ, Ferrera-Cerrato R, Quezada-Salinas A, Almaraz-Suárez JJ, Espinoza-Mendoza M, Bocanegra-Flores DA and Hernández-Ramos L. 2023. *In vitro* inhibition of bacteria against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 2. Mexican Journal of Phytopathology 41(1): 126-142.
4. Finley A, Banerjee S, Hjelle Ø, and Bivand R. 2022. Multilevel B-Spline Approximation. Package ‘MBA’. 7 p.
5. IPPC. 2023. Phytosanitary Emergency for presence of Foc R4T. International Plant Protection Convention (IPPC). <https://www.ippc.int/es/countries/venezuela-bolivarian-republic-of/pestreports/2023/01/phytosanitary-emergency-for-presence-of-foc-r4t/>. Consulta 15 de noviembre de 2023.

6. Mmadi M, Azali HA, Mostert D, Robene I, and Viljoen A. 2023. First report of *Fusarium* wilt of Cavendish bananas caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 in the Grande Comoros Island. Plant Disease (on line). <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-07-23-1288-PDN>. Consulta 15 de diciembre de 2023.
7. Pronatura. 2016. Análisis de la producción de plátano, su mercado y las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en Chiapas. 29 p.
8. Saha S, Moorthi S, Wu X, Wang J, Nadiga S, Tripp P, Behringer D, Hou Y, Chuang H, Iredell M, Ek M, Meng J, Yang R, Peña-Mendez M, Van Den Dool H, Zhang Q, Wang W, Chen M, and Becker E. 2014. The NCEP Climate Forecast System Version 2. *Journal of Climate* 27(6):2185-2208.
9. SIAP. 2015. Atlas Agroalimentario 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 216 p. Primera edición.
10. SMN-CONAGUA. 2023. Pronóstico climático de precipitación y temperatura. Servicio Meteorológico Nacional de México-Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>. Consulta el 15 de noviembre de 2023