

Metodología – Fase Experimental Proyecto 100K

Heidy Andrea Toro Monsalve
Estudiante de Ingeniería Agronómica
Universidad EAFIT

Lugares de estudio

El estudio se llevó a cabo en dos granjas experimentales de la Compañía Nacional de Chocolates, seleccionadas por presentar condiciones agroclimáticas contrastantes y ser representativas para la expresión de las principales enfermedades del cacao. En ambas granjas se cultivan diferentes variedades y se registra incidencia de patógenos fúngicos de importancia económica, como lo son *Phytophthora spp.* y *Moniliophthora roreri*. La primera granja correspondió a la Granja La Nacional, ubicada en el municipio de Támesis (Antioquia), y la segunda a la Granja Yariguíes, situada en el corregimiento de San Vicente del Chucurí (Santander). El estudio se realizó entre el periodo comprendido entre marzo y octubre de 2025.

Con base en los registros provenientes de las estaciones climáticas de cada localidad, se caracterizaron las principales variables meteorológicas del periodo de evaluación con el fin de contextualizar las condiciones ambientales bajo las cuales se manifestó la incidencia de las enfermedades. En la Granja La Nacional ubicada a los 1150 msnm, durante los 139 días posteriores a la aplicación de los tratamientos, la temperatura máxima promedio fue de 30 °C y la mínima de 18 °C, con humedades relativas asociadas de 56% y 96%, respectivamente. En la Granja Yariguíes ubicada a los 110 msnm, entre los días 0 y 235, la temperatura máxima diaria promedio fue de 34 °C y la mínima de 23 °C, con humedades relativas promedio de 59% para las temperaturas máximas y de 97% para las mínimas. Respecto a la precipitación, la granja La Nacional tuvo lluvias frecuentes entre marzo y mayo, caracterizadas por picos aislados de alta intensidad ($\approx 80\text{--}70$ mm). Posteriormente, entre junio y julio la precipitación se redujo drásticamente, presentando eventos esporádicos y de baja magnitud (≈ 10 mm), lo que indica un periodo relativamente más seco dentro del intervalo evaluado. En el caso de Yariguíes la precipitación presentó un alto nivel de variabilidad, con lluvias frecuentes de baja a moderada intensidad y eventos puntuales de alta magnitud (hasta ~ 90 mm). No se evidencia una estación seca definida, sino una distribución irregular con picos concentrados en abril, junio, agosto y septiembre.

Enfermedades evaluadas

La moniliasis del cacao, causada por *Moniliophthora roreri*, es una de las enfermedades más limitantes del cultivo en América Latina, afectando exclusivamente los frutos y generando desde pudriciones parciales hasta pérdidas totales, especialmente cuando la infección ocurre en frutos jóvenes menores de tres meses. Su incidencia y severidad aumentan en condiciones cálidas, húmedas y con lluvias frecuentes, donde se han reportado niveles de afectación entre 38 % y 84 %, superando los promedios nacionales estimados. El hongo presenta un ciclo caracterizado por una alta producción y liberación de conidias, lo que facilita su rápida dispersión y alto potencial epidémico. Además de reducir los rendimientos, la enfermedad compromete la calidad del grano, ya que en ocasiones se mezclan frutos dañados con sanos para aprovechar la cosecha, afectando el producto final (Compañía Nacional de Chocolates, 2019).

Otra enfermedad con relevancia sanitaria para el cultivo es *Phytophthora spp.*, ya que afecta frutos, tejidos leñosos y plántulas, y puede generar pérdidas superiores al 50 % de la producción. La infección

puede presentarse en cualquier etapa del desarrollo del fruto, aunque su incidencia es mayor en zonas con acumulación de humedad, donde las lluvias intensas, las temperaturas iguales o superiores a 25 °C y la alta humedad relativa favorecen la germinación de esporangios y zoosporas, así como la rápida diseminación del patógeno. En Colombia, se han reportado pérdidas directas cercanas al 10 %, las cuales pueden incrementarse significativamente en regiones altas con noches frías y precipitaciones frecuentes, condiciones que facilitan la reproducción y prevalencia del patógeno. (Rodríguez Polanco & Bayardo Parra A., 2020)

Material vegetal

En ambas granjas se utilizaron árboles del clon CNCH-13 con condiciones agronómicas y edades homogéneas en cada granja. En La Nacional, los árboles tenían entre 7 y 8 años, mientras que en Yariguíes contaban con aproximadamente 13 años. Esta uniformidad interna en cada finca permitió minimizar la variabilidad asociada al estado fisiológico de las plantas y asegurar comparaciones confiables entre tratamientos.

El clon CNCH-13, registrado oficialmente en Colombia y originado a partir de selecciones de polinización abierta en San Vicente de Chucurí, se caracteriza por su autocompatibilidad, buena adaptabilidad y un rendimiento cercano a 2.309 kg ha⁻¹ año⁻¹. Presenta aproximadamente 30 mazorcas por árbol y un índice de mazorca de 13. Sus frutos maduros son oblongos, de color amarillo claro, tiene una longitud promedio de 23.14 cm, un peso cercano a 859 g y alrededor de 46 semillas íntegras por mazorca. Para su establecimiento se recomienda utilizar material de patrón registrado, en condiciones propias del cultivo de cacao con altitudes inferiores a 1.200 msnm, temperaturas entre 23 y 28 °C, con precipitaciones anuales de 1.800–2.600 mm. (Compañía Nacional de Chocolates, 2024)

Bioinsumo evaluado

El insumo evaluado fue Sáferbacter W.P., un bioinoculante formulado con microorganismos promotores del crecimiento vegetal y con capacidad inhibitoria frente a diversos hongos fitopatógenos. Su composición incluye *Bacillus subtilis* (1×10⁹ UFC/g), *Bacillus amyloliquefaciens* (= *B. velezensis*) (5×10⁸ UFC/g) y *Bacillus licheniformis* (= *B. paralicheniformis*) (5×10⁸ UFC/g), alcanzando una concentración total de 2×10⁹ UFC/g (Sáfer, 2022)

La literatura reporta que *B. amyloliquefaciens* puede reducir la incidencia y severidad de moniliasis (Páez-Martínez et al., 2024); mientras que *B. subtilis* produce metabolitos antifúngicos que inhiben el desarrollo de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora*. Así, la combinación de bacterias del producto presenta mecanismos complementarios basados en antibiosis, competencia y activación de defensas (Castro Junco, 2022).

Hipótesis

Se planteó que la aplicación de Sáferbacter WP a 1.5 g·L⁻¹, que es la recomendada por el fabricante, reduciría la incidencia de Monilia respecto al testigo, valor medido a los 120 días posteriores a la primera aplicación. Dada la importancia de *Phytophthora* en la región, esta enfermedad también se estableció como variable principal de evaluación.

H₀: las dosis evaluadas de Sáferbacter WP no generan un efecto sobre la incidencia de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora spp* por lo que no hay una diferencia significativa con el tratamiento control.

H_a: al menos una de las dos dosis evaluadas de Sáferbacter WP genera un efecto sobre la incidencia de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora spp* por lo que hay una diferencia significativa con el tratamiento control.

Diseño experimental

Tratamientos

El ensayo incluyó tres tratamientos por finca:

- T1: Sáferbacter WP a 1.5 g·L⁻¹.
- T2: Control, testigo sin aplicación.
- T3: Sáferbacter WP a 0.75 g·L⁻¹.

La dosis reducida se incluyó con el propósito de evaluar si era posible mantener la efectividad del producto disminuyendo el costo de aplicación. El diseño experimental correspondió a un Bloque Completo al Azar (BCA) con tres bloques por granja, cada bloque contenía los tres tratamientos, cada tratamiento tenía 50 árboles. Entre tratamiento se dejaron dos surcos sin aplicación para evitar contaminación cruzada, adicionalmente, para minimizar el efecto de borde, se aplicó el producto a un árbol alrededor de cada unidad experimental, aunque estos no fueron considerados en la toma de datos, como lo muestra la figura 1.

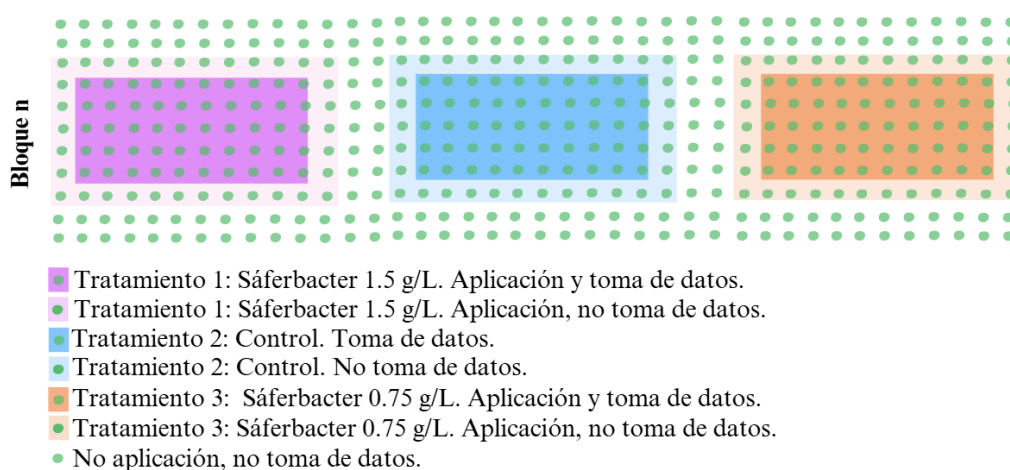


Figura 1. Diseño experimental de los bloques y tratamientos, donde cada punto representa una unidad productiva.

La ubicación de los bloques se definió según la disponibilidad del clon CNCH-13, priorizando las áreas con mayor número de árboles para asegurar un mínimo de 50 individuos por tratamiento en cada bloque. En la granja La Nacional se seleccionaron los bloques Cordillera, Jumbo y Cruz (bloques 1, 2 y 3, respectivamente), por ser los que concentraban la mayor cantidad de árboles de esta variedad. Dentro de cada bloque se identificaron zonas con condiciones microclimáticas homogéneas y se marcaron los árboles asignados a cada tratamiento (figura 2). En la granja Yariguíes se aplicaron los mismos criterios de selección; sin embargo, debido a la distribución del material vegetal, los tres bloques quedaron ubicados dentro de un mismo lote (figura 3).

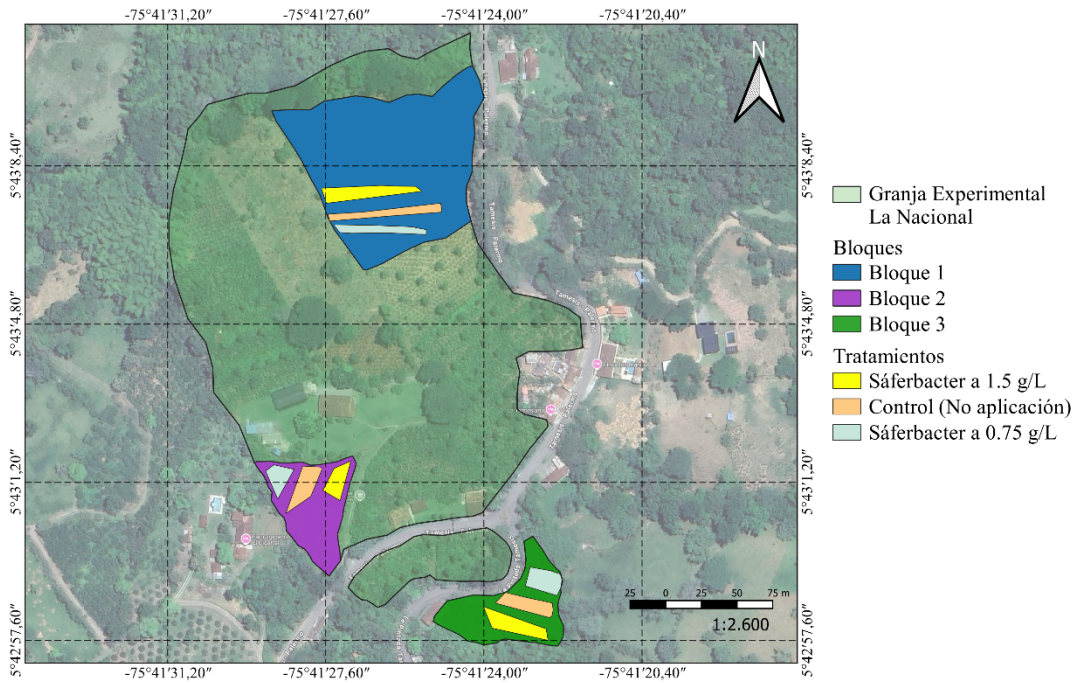


Figura 2. Distribución espacial de los lotes y los tratamientos en la granja experimental La Nacional.

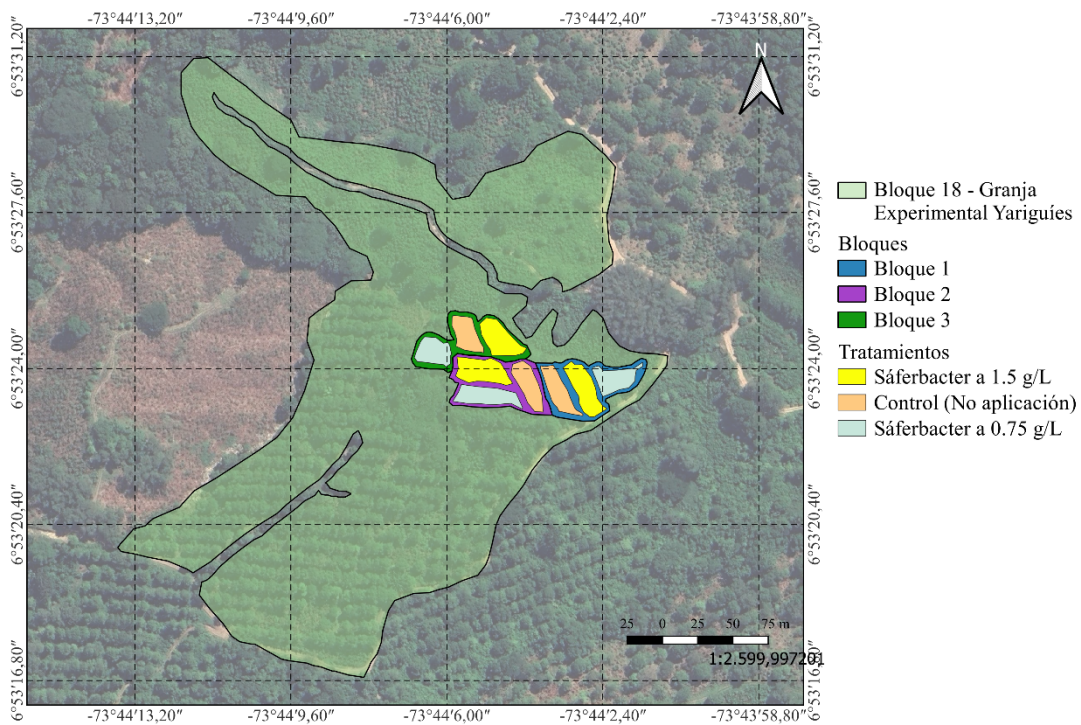


Figura 3. Distribución de los bloques del ensayo en la Granja Experimental Yariguíes. Los bloques se ubicaron juntos en el lote 18, ya que este concentra la mayor densidad de árboles de la variedad CNCH-13, sin mezcla con otras variedades. Además, los árboles son homogéneos en edad y manejo agronómico, y presentan condiciones microclimáticas similares

Aplicación del bioinsumo

En La Nacional, las aplicaciones se realizaron el 12 de marzo y el 24 de junio de 2025, mientras que en Yariguíes se efectuaron el 31 de marzo, 7 de julio, 21 de agosto y 5 de octubre del mismo año, cada una dentro de una ventana operativa de siete días. El producto se aplicó directamente sobre los frutos y en la base del tallo. En Yariguíes, la producción inicial se vio afectada por una poda ejecutada el 20 de marzo, la cual redujo la floración y limitó la disponibilidad de frutos para las primeras la evaluación.

Variables evaluadas

Las variables principales fueron:

- Conteo de mazorcas afectadas por Monilia (*Moniliophthora roreri*).
- Conteo de mazorcas afectadas por (*Phytophthora spp.*).

Como variables secundarias se registraron:

- Conteo de mazorcas sanas.
- Conteo de afectaciones de Escoba de bruja en mazorcas y el árbol (*Moniliophthora perniciosa*).
- Conteo de frutos afectados por Carmenta (solo en La Nacional, debido a su ausencia en Yariguíes).

Las frecuencias de monitoreo fueron distintas entre fincas: cada 8 días en Yariguíes y cada 20 días en La Nacional. En consecuencia, los análisis se realizaron por sitio de manera independiente.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó principalmente con los datos obtenidos en la granja La Nacional, debido a la limitada disponibilidad de frutos en la granja Yariguíes durante el período inicial del estudio. Para La Nacional se aplicaron modelos de análisis de varianza (ANOVA), considerando como factores los tratamientos y los bloques, con el fin de evaluar posibles diferencias en la respuesta de las variables medidas, este indicó diferencias significativas entre bloques, mientras que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Para la granja Yariguíes, la ausencia de mazorcas cosechadas durante la mayor parte del periodo experimental impidió realizar análisis sobre variables productivas. Al finalizar el ensayo, en la última semana de evaluación, se efectuó un conteo de mazorcas sanas en diferentes estados de desarrollo, cuyos datos fueron analizados de manera exploratoria, sin encontrarse diferencias significativas entre tratamientos. No obstante, estos resultados se interpretaron con cautela, dado que no se estableció un punto temporal definido a partir del cual las mazorcas contadas pudieran asociarse directamente con los tratamientos aplicados.

Discusión

En las granjas La Nacional y Yariguíes, el análisis del número de mazorcas enfermas no evidenció diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA unidireccional, $p > 0,05$), lo que indica que las dosis evaluadas de Sáferbacter WP no generaron un efecto detectable sobre la incidencia de *Monilophthora roleri* y *Phytophthora spp.* durante el periodo de evaluación. En La Nacional, sin embargo, se observaron diferencias significativas entre bloques ($p < 0,05$), lo que puede sugerir una influencia marcada de la heterogeneidad microambiental del sitio, asociada principalmente a variaciones en humedad y condiciones edáficas en cada bloque, factores que podrían influenciar en el establecimiento de los microorganismos del bioinsumo o en el grado de incidencia de la enfermedad. En contraste, en Yariguíes la ausencia de respuesta entre tratamientos estuvo condicionada por una baja disponibilidad de mazorcas, consecuencia de una poda severa realizada una semana antes del establecimiento del ensayo, situación que limitó la evaluación de la incidencia de enfermedades en todos los bloques. Adicionalmente, la alta variabilidad en la precipitación registrada después de la aplicación pudo afectar el establecimiento del bioinsumo en campo.

La Figura 4 evidencia que, aunque los porcentajes de mazorcas sanas y los niveles de daño por *Monilophthora roleri*, *Phytophthora spp.* y escoba de bruja variaron entre tratamientos, dichas variaciones no siguieron un patrón consistente atribuible al bioinoculante, en concordancia con la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos. En contraste, se observa una marcada variabilidad entre bloques, especialmente en el daño por *Phytophthora spp.*, lo que refuerza la influencia de condiciones microambientales locales sobre la incidencia de las enfermedades. Asimismo, la amplitud de los errores asociados a algunas medias sugiere una alta variabilidad intra-sitio, lo cual pudo limitar la detección de efectos del tratamiento durante el periodo evaluado.

En conjunto, los resultados indican que la ausencia de un efecto significativo del bioinoculante no puede atribuirse de manera concluyente a su ineficacia, sino que debe interpretarse considerando la influencia de factores ambientales, además del periodo de evaluación, ya que este requiere un periodo de acción más largo, por lo que se recomienda continuar con la aplicación del bioinsumo y su evaluación por un periodo más largo para poder determinar más adelante su efecto o impacto con mayor precisión.

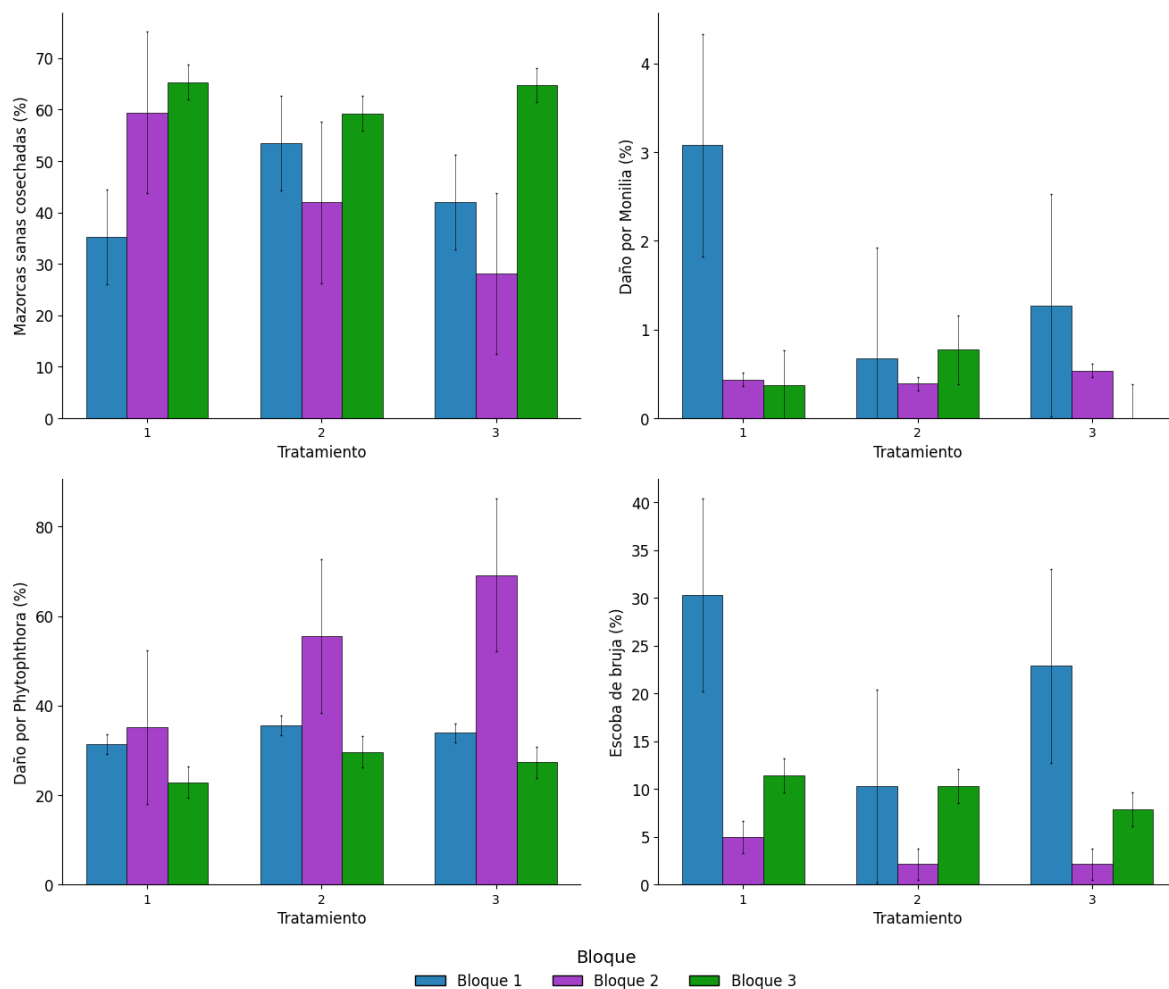


Figura 4. Graficas de las variables tomadas en campo en la Granja la Nacional representadas en porcentajes respecto al total producido en cada tratamiento de cada boque, es decir, el número de mazorcas totales contadas en el tiempo del ensayo sobre el total de mazorcas producidas en cada tratamiento de cada bloque

Bibliografía

- Castro Junco, L. A. (2022). *Bacillus subtilis en el control de Phytophthora palmivora y Moniliophthora roreri en mazorcas de cacao* [Universidad Técnica de babahoyo]. <https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a076c0d0-04cf-4271-8179-758d2c6e56bb/content>
- Compañía Nacional de Chocolates. (2019). *La moniliasis del cacao: daños, síntomas, epidemiología y manejo*. AGROSAVIA. <https://www.agrosavia.co/media/11540/69317.pdf>
- Compañía Nacional de Chocolates. (2024). Clones de cacao CNCH-12 y CNCH-13. In *Folleto* (pp. 1–8). https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2024/02/Plegable_clones_cacao_cnch12_y_cnch_13_ESP.pdf

Páez-Martínez, P. P., Bernal-Cabrera, A., Castro-Albán, H. A., Castro-Gómez, R. D. P., & Vera Loo, M. A. (2024). Endophytic bacillus as biological control agent against *Moniliophthora roreri* under field conditions. *Bioagro*, 36(3), 325–334.
<https://doi.org/10.51372/BIOAGRO363.7>

Rodríguez Polanco, E., & Bayardo Parra A., E. (2020). *Reconocimiento de síntomas y validación de estrategias para el manejo de la pudrición parda del fruto en cacao*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36669>

Sáfer. (2022). *Ficha técnica Saferbacter WP*.