UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, ESTADO NUTRIMENTAL Y POSCOSECHA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) 'HASS'

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

P R E S E N T A:

SUSANA SOLÓRZANO MORÁN

COODIRECTORES DE TESIS:

Dr. Irán Alia Tejacal

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Octubre de 2026

EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, ESTADO NUTRIMENTAL Y POSCOSECHA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) 'HASS'

Tesis realizada por **Susana Solórzano Morán** bajo la Dirección del Comité asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

Coodirector: Dr. Irán Alia Tejacal

Coodirector: Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Dra. Rebeca Betancourt Galindo

Revisora: Dra. Gloria Alicia Pérez Arias

Revisora: Dra. Erika Román Montes de Oca

Revisor: Dr. Víctor López Martínez

Revisor: Dr. Porfirio Juarez Lopez

Revisor: Dr. Nelson Avonce Vergara

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt), por el otorgamiento de la beca de posgrado número (703195), la cual hizo posible la realización de mis estudios de doctorado y el desarrollo de esta investigación.

A mi director de tesis, el Dr. Irán Alia Tejacal, por su guía experta, paciencia y por confiar en mí. Su rigor científico y calidad humana han sido fundamentales en este proceso.

A mi codirector de tesis, el Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, por su invaluable aportación a esta investigación, por su rigor académico y por haber estado siempre pendiente, día a día, del desarrollo de este trabajo; su mentoría ha sido un pilar fundamental en mi formación.

Asimismo, agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, y a los miembros de mi comité tutorial: La Dra. Rebeca Betancourt Galindo, Dra. Erika Román Montes de Oca, Dra. Alicia Pérez Arias, Dr. Porfirio Juárez López, Dr. Víctor López Martínez, al Dr. Nelson Avonce Vergara por su tiempo dedicado a la revisión de esta tesis y por sus consejos durante el desarrollo de esta y por enriquecer este trabajo con sus valiosos comentarios.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Mohan Kumar Kesarla, quien abrió las puertas de su unidad académica en el Instituto de Ciencias Físicas (UNAM) para permitirme complementar mis estudios en una muy enriquecedora estancia de investigación, y por todos los conocimientos aportados a mi formación.

A la Técnico Académico Alyn Mariana Palacios Sosa su apoyo en el desarrollo de algunas metodologías del presente trabajo.

A mis amigas Goretti, Lizzet, Arantxa, Mariela, Alyn y compañeros del doctorado, que de una u otra forma aportaron valiosas ideas a mi trabajo y que se convirtieron en mi mejor compañía en este camino; gracias por los debates compartidos, los cafés y por hacer de los días pesados una experiencia compartida.

A mi esposo, el M. C. Mario García González, por su trabajo, tiempo y conocimiento aportados en el desarrollo de esta investigación. Sin tu disposición esto no hubiera sido posible.

A mis dos hijas, Andrea y Mariana por su amor y por ser la mayor motivación para alcanzar esta meta.

A mis padres Andrés Solorzano y Dolores Morán porque siempre estuvieron presentes para sostenerme cuando necesite de ustedes, por guiarme y por enseñarme el valor del esfuerzo.

A mis hermanas, Cinthia y Diana, por su constante respaldo y compañía.

A mis suegros, Delfina González y Mariano García (en memoria). A Delfina, por su invaluable apoyo familiar, por su cariño sincero y su presencia constante. A Mariano, fallecido el año pasado, con profunda gratitud por el afecto, la confianza y el impulso que siempre me brindó y por ser un gran ejemplo de constancia, temple y humildad.

DEDICATORIAS

A Dios, por darme la vida, la sabiduría y la templanza para superar este gran reto, por ser mi guía, mi fortaleza y el motor de mi vida en cada paso de este camino.

A mi familia, el pilar más sólido de mi existencia y la razón de cada uno de mis esfuerzos.

A mi esposo, Mario García, porque fuiste mi motor y mi mayor impulso desde el primer día. Solo tú y yo sabemos lo mucho que se sufrió en este trayecto, pero también cómo logramos reírnos en la incertidumbre, aprendimos a crecer, a caernos y levantarnos juntos. Caminar de tu mano ha hecho que todo el esfuerzo valga la pena; este logro es el reflejo de nuestro amor y equipo.

A mis hijas, Andrea y Mariana, la luz de mis días y mi mayor inspiración. Cada desvelo valió la pena con tal de verlas sonreír a diario, ajenas a las dificultades del camino, para demostrarles con el ejemplo que las metas más altas siempre se alcanzan con el corazón.

A mis padres, Andrés y Dolores, les dedico este logro al igual que cada triunfo de mi vida, porque todo lo que soy se lo debo a su ejemplo y a los valores que me heredaron. Agradezco profundamente a Dios por la bendición de tenerlos conmigo, para poder seguir dedicándoles mis metas y pedirles que sientan este título tan suyo como mío.

A mis hermanas, Cinthia y Diana, por ser ese lugar seguro donde puedo reír, pelear y simplemente olvidarme de las presiones. Las quiero mucho y tengo la certeza de que siempre nos tendremos las tres para hacernos compañía en las buenas y en las malas.

A mis suegros, con un agradecimiento infinito. A Doña Delfina, porque se ha ganado un lugar sumamente importante en mi corazón; gracias por su apoyo incondicional, por confiar siempre en mí, por cuidarnos, alimentarnos innumerables veces y por brindarle a mi familia un refugio seguro.

A don Mariano García, que, aunque ya no pudo verme culminar este proyecto, le dedico esta meta con todo mi amor. Usted siempre confió en que lo lograría y me enseñó demasiado; valoro profundamente el privilegio de haberme sentado a charlar y a tomar café con usted, pues a pesar del cansancio, sus palabras siempre me devolvían la calma. Siempre vivirá en nuestro corazón.

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL i

ÍNDICE DE FIGURAS iii

ÍNDICE DE CUADROS vi

RESUMEN vii

ABSTRACT viii

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Planteamiento del problema 7

1.2 Justificación 8

2. OBJETIVOS 8

3. HIPOTESIS 9

4. MATERIALES Y MÉTODOS 9

4.1 Localización y material vegetal 9

4.2 Organización experimental 10

4.2.1 Síntesis de nanopartículas de ZnO 10

4.2.2 Características de las nanopartículas de ZnO 11

4.3 Variables evaluadas 12

4.3.1. Evaluación en huerta 12

4.3.2. Evaluación de fruta en pos-cosecha 14

4.3.2.1. Variables no destructivas 14

4.3.2.2. Variables destructivas 15

4.4 Análisis de datos 17

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18

5.1 RESULTADOS DE EVALUACIONES EN HUERTA 18

5.1. 1. Rendimiento de frutos en arboles evaluados 18

5.1. 2. Estado nutricional de las hojas 24

5.1. 3. Estado nutricional de frutos de aguacate 28
5.2. RESULTADOS EN POSCOSECHA 31
5.2.1. Respiración (CO_2) y producción de etileno 31
5.2.2 Maduración 35
5.2.3 Pérdida de peso 36
5.2.4. Firmeza 37
5.2.5 Color (L*, C* y h) 39
5.2.6 Compuestos fenólicos 40
5.2.7. Flavonoides 42
5.2.8. Actividad Antioxidante 44
6. CONCLUSIONES 47
7. LITERATURA CITADA 48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Síntoma de deficiencia nutricional (-Zn) encontrada en aguacate Hass en Buenavista del Monte, Cuernavaca, Morelos. 9

Figura 2. Patrón de difracción de Rayos-X de las NZnO. 11

Figura 3. Forma estructural de las nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO). 12

Figura 4. Calibres de Aguacate Hass (Norma oficial NMX-FF-08) 14

Figura 5. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre el rendimiento de fruta en árboles de aguacate (*Persea americana*) con deficiencia nutricional de Zn durante la temporada 2022. 19

Figura 6. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre el rendimiento de fruta en árboles de aguacate (*Persea americana*) con deficiencia nutricional de Zn durante la temporada 2023. 20

Figura 7. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la distribución de categorías de tamaño del fruto en árboles de aguacate (*Persea americana*) con deficiencia de Zn durante la temporada 2022. 23

Figura 8. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la distribución de categorías de tamaño del fruto en árboles de aguacate (*Persea americana*) con deficiencia de Zn durante la temporada 2023. 24

Figura 9. Follaje de árboles evaluados después de la aplicación de tratamientos con ZnO NP de la temporada 2022. 26

Figura 10. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la concentración nutricional foliar en 26

árboles de aguacate (*Persea americana*) 'Hass' con deficiencia de Zn durante la temporada 2022.

Figura 11. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la concentración nutricional foliar en árboles de aguacate (*Persea americana*) 'Hass' con deficiencia de Zn durante la temporada 2023. 27

Figura 12. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre el contenido total de nutrientes en frutos por árbol de aguacate (*Persea americana*) 'Hass' con deficiencia de Zn durante el ciclo productivo 2022-2023. 30

Figura 13. Velocidad de respiración en frutos de aguacate 'Hass' asperjados con NP´s de ZnO durante su maduración a temperatura ambiente (22°± 2°C; 45% HR) en dos ciclos de producción 2022 y 2023. 32

Figura 14. Comportamiento poscosecha de la producción de etileno de frutos de aguacate 'Hass' asperjados con NP´s de ZnO durante su maduración a temperatura ambiente (22°± 2°C; 45% HR) en dos ciclos de producción 2022 y 2023. 34

Figura 15. Efecto de la aplicación de nanopartículas de Oxido de Zinc en frutos de aguacate 'Hass' durante su vida poscosecha. Ciclo de Producción 2022. 35

Figura 16. Efecto de la aplicación de nanopartículas de Oxido de Zinc en frutos de aguacate 'Hass' durante su vida poscosecha. Ciclo de Producción 2023. 35

Figura 17. Pérdida de peso de frutos de aguacate 'Hass' fertilizados con NP´s de ZnO, almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C; 45% HR) durante 2022 y 2023. 37

Figura 18. Firmeza de frutos de aguacate ‘Hass’ fertilizados con NP´s de ZnO (0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1}), almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C; 45% HR). de los ciclos de producción 2022 y 2023 38

Figura 19. Variables de color de frutos de aguacate ‘Hass’ fertilizados con NP´s de ZnO (0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1}), almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C), de los ciclos de producción 2022 y 2023. 40

Figura 20. Fenoles totales y Flavonoides totales de frutos de aguacate ‘Hass’ fertilizados con NP´s de ZnO (0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1}), almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C), de los ciclos de producción 2022 y 2023. 43

Figura 21. Actividad antioxidante por método DPPH, FRAP y ABTS, en frutos de aguacate ‘Hass’ fertilizados con NP´s de ZnO (0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1}), almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C; HR) de 2022 y 2023. 46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Informe de resultados de Análisis de suelo en un huerto de aguacate 13

Cuadro 2. Informe de resultados de Análisis foliar en un huerto de aguacate 14

Cuadro 3. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (Zn) en árboles de aguacate con deficiencia de Zn sobre la distribución del peso del fruto. Temporada 2022. 22

Cuadro 4. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (Zn) en árboles de aguacate con deficiencia de Zn sobre la distribución del peso del fruto. Temporada 2023. 22

Cuadro 5. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la concentración de macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes (Zn) en frutos de árboles de aguacate (*Persea americana*) 'Hass' con deficiencia de Zn durante el ciclo productivo 2022-2023. 29

RESUMEN

El cultivo de aguacate requiere una gran cantidad de nutrientes debido a su alto potencial de rendimiento de 32.5 t ha^{-1}. El bajo estado de fertilidad del suelo y el suministro inadecuado de nutrientes afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo y reducen su rendimiento. Las nanopartículas de Zinc (NP´s ZnO) aplicadas vía foliar minimizan el uso de fertilizantes, aumentan la eficiencia y disponibilidad de nutrientes en las plantas. Se planteó evaluar el efecto de la aplicación foliar de NP´s ZnO: 0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1} durante 2022-2023 asperjadas en plantas de aguacate 'Hass' y su efecto sobre la nutrición de la planta y vida poscosecha de frutos. El mayor rendimiento en 2022 se obtuvo en el tratamiento de 1500 mg L^{-1} (43.74 t ha^{-1}), significativamente mayor que el testigo (29.93 t ha^{-1}), con una diferencia de 13.8 t ha^{-1}. En 2023, este efecto se mantuvo con 46.88 t ha^{-1}, 12.72 t ha^{-1} y 34.16 t ha^{-1} en 1500 mg L^{-1} y testigos, respectivamente. En 2023 la mayor proporción de fruta grande (80.39 %) se obtuvo en el tratamiento de 1500 mg L^{-1} y la menor proporción de fruta pequeña (19.6 %). Se puede afirmar que a mayor concentración de nanopartículas de ZnO asperjadas vía foliar por dos años en el cultivo de aguacate se obtiene un mayor rendimiento de frutos con un coeficiente de determinación de 0.897 (r^2= 0.897). Los tratamientos con NP´s de ZnO no afectaron el contenido de minerales (N, P, K y Zn) en las hojas de los árboles de aguacate evaluados, en 2022 disminuyó el contenido nutrimental (N, P, K y Zn) al aumentar la dosis de NP´s de ZnO, debido a un "efecto de dilución" de los nutrientes. El tratamiento de 1500 mg L^{-1} acumuló mayor cantidad de N (788.33 g $árbol^{-1}$P. S) en frutos. En 1500 mg L^{-1}, se observó el mayor contenido de K y Zn, siendo este tratamiento el que mostró el mayor rendimiento de frutos. Así mismo, en poscosecha los tratamientos retrasaron en 3 d el inicio de la producción de etileno, 1500 mg L^{-1} presentó su máximo de producción de CO_2 el día 10 comparado con el testigo que fue el día 7. La firmeza mayor se mantuvo en 1500 mg L^{-1} en el día 7 (20-22.5 N) comparado con testigo (4.08 N). La máxima concentración de flavonoides en testigo fue el día 13 y en frutos de 500, 1000 y 1500 mg L^{-1} de NP´s de ZnO fue el día 15. Se presentó la mayor actividad por el método ABTS. Los resultados indican que las aplicaciones foliares de NP's de ZnO retrasaron 2 a 3 d, la maduración de frutos de aguacate, conservando por más tiempo su calidad.

Palabras clave: Nano partículas, oxido de zinc, rendimientos, nutrición, calidad poscosecha, maduración.

ABSTRACT

Avocado cultivation requires a large amount of nutrients due to its high yield potential of 32.5 t ha^{-1}. Low soil fertility and inadequate nutrient supply negatively impact crop growth and development, reducing yield. Zinc nanoparticles (ZnO NPs) applied foliarly minimize fertilizer use and increase nutrient efficiency and availability in plants. This study aimed to evaluate the effect of foliar application of ZnO NPs at concentrations of 0, 500, 1000, and 1500 mg L^{-1} on 'Hass' avocado plants during 2022–2023 and its impact on plant nutrition and post-harvest fruit life. The highest yield in 2022 was obtained with the 1500 mg L^{-1} treatment (43.74 t ha^{-1}), significantly higher than the control (29.93 t ha^{-1}), with a difference of 13.8 t ha^{-1}. In 2023, this effect was maintained with 46.88 t ha^{-1}, 12.72 t ha^{-1}, and 34.16 t ha^{-1} for the 1500 mg L^{-1} and control treatments, respectively. In 2023, the highest proportion of large fruit (80.39%) was obtained with the 1500 mg L^{-1} treatment, and the lowest proportion of small fruit (19.6%). It can be concluded that a higher concentration of ZnO nanoparticles sprayed foliarly for two years in avocado cultivation results in a higher fruit yield, with a coefficient of determination of 0.897 ($r^2 = 0.897$). Treatments with ZnO nanoparticles (NPs) did not affect the mineral content (N, P, K, and Zn) in the leaves of the evaluated avocado trees. In 2022, the nutrient content (N, P, K, and Zn) decreased with increasing ZnO NPs doses, due to a nutrient dilution effect. The 1500 mg L^{-1} treatment resulted in the highest accumulation of N (788.33 g $tree^{-1}$ P.S) in the fruit. The highest K and Zn content was also observed at the 1500 mg L^{-1} treatment, which also showed the highest fruit yield. Likewise, in post-harvest, the treatments delayed the onset of ethylene production by 3 d. The 1500 mg L^{-1} treatment showed its maximum CO_2 production on day 10 compared to the control, which reached its peak on day 7. The greatest firmness was maintained in the 1500 mg L-1 treatment on d 7 compared to the control. The maximum flavonoid concentration in the control was on d 13, and in fruits treated with 500, 1000, and 1500 mg L^{-1} ZnO NPs, it was on d 15. The highest activity was observed using the ABTS method. The results indicate that foliar applications of ZnO NPs delayed avocado fruit ripening by 2 to 3 d, preserving their quality for a longer period.

Keywords: Nanoparticles, zinc oxide, yields, nutrition, post-harvest quality, ripening.

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es originario de América Central y el Caribe, su cultivo se ha extendido a otras regiones tropicales y subtropicales del planeta (Téliz y Mora, 2007). El aguacate puede cultivarse desde el nivel del mar hasta los 2500 m. Sin embargo, su cultivo se recomienda en altitudes entre 800 y 2500 m, para evitar problemas con enfermedades, principalmente de las raíces. La temperatura y la precipitación son los dos factores de mayor incidencia en el cultivo (Bartolli y Angel, 2008).

El aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass') es un fruto que está incrementando su consumo a nivel mundial por las características sensoriales, nutricionales y funcionales de su pulpa, la variedad 'Hass' es la de mayor venta y demanda (Yahia, 2023). La producción de aguacate es uno de los cultivos más exitosos de la exportación agroalimentaria nacional (Rosales-Soto y Arechavala-Vargas, 2020).

A nivel mundial México sigue posicionado con el primer lugar en la producción de aguacate con el 36% del total de producción mundial (2' 973, 344.42 toneladas) para el 2023 (FAOSTAT, 2023), seguido por Colombia y Republica Dominicana (13 y 12%, respectivamente). La superficie sembrada destinada a la producción de aguacate, en el avance al mes de junio del 2024, es de 256 mil 212 hectáreas (ha) (SIAP, 2024).

Los mercados más importantes para México son: Estados Unidos de América, Canadá y Japón. En 2023 el aguacate mexicano se exportó a más de 34 países de las cuales el 81% fue destinado a Estados Unidos, 5.8% a Canadá, 4.3% a Japón, 1.7% al Salvador, 1.1% a Honduras y 1% a Francia. (SADER, 2023; SIAP, 2023). México es uno de los principales consumidores de aguacate a nivel mundial (8.76 kg/persona/año en 2020).

El estado líder a nivel nacional en la producción de aguacate es Michoacán con un volumen de 2, 252, 060.26 toneladas (77 %); Jalisco con 321, 923.88 ton (11%); y el Estado de México 131, 894.83 toneladas (5%). (SIAP, 2023). De acuerdo con el

SIAP, en el cierre agrícola del 2023, Morelos ocupa el quinto lugar, con una producción de 44, 680.8 toneladas.

En Morelos los principales municipios productores de aguacate por superficie y producción son Ocuituco, Tetela del Volcán, Yecapixtla, Tlalnepantla, Totolapan y Cuernavaca (INIFAP, 2015). Morelos cuenta con las condiciones climáticas aptas para el desarrollo del cultivo del aguacate (Aguilar, 2021). Las características fisiográficas de los terrenos donde se encuentran establecidas las plantaciones son laderas, llanos y montañas; cuenta con varios subtipos climáticos que van desde el cálido húmedo hasta el semifrío (SAGARPA, 2015).

Además de su gran importancia comercial, el consumo de aguacate tiene excelentes aplicaciones nutricionales y médicas. Contiene gran cantidad de grasas, proteínas, fibras, así como vitaminas y minerales como: C, E, K, B1, B2, B6, B9; también, fósforo, sodio, magnesio, potasio, hierro y zinc (Orhevba y Jinadu, 2011; Oluwole *et al*., 2013; Maitera *et al*., 2014). El fruto tiene muy poca riqueza en azúcares, mientras su contenido en proteínas es más elevado de todas las frutas frescas (Paull y Duarte, 2011).

El cultivo de aguacate requiere una gran cantidad de nutrientes debido a su alto potencial de rendimiento de 32,5 t/ha (Rebolledo y Burbano, 2023). El bajo estado de fertilidad del suelo y el suministro inadecuado de nutrientes afectan el crecimiento y desarrollo, reduciendo el rendimiento del cultivo (Selladurai y Awachare, 2020). Además, varios factores previos a la cosecha como el genotipo de la planta, la ubicación, microclima, la disponibilidad de luz, la temperatura, la lluvia, el riego, la nutrición mineral, los reguladores del crecimiento y el índice de cosecha, se han relacionado directa o indirectamente con la heterogeneidad de la maduración poscosecha observada para aguacate ‘Hass’ (Ferreyra *et al*., 2012).

Los huertos de aguacate requieren de ciertas atenciones en cuanto a su cultivo y cosecha; por lo que, se necesita un manejo en las actividades de nutrición de suelos agrícolas, utilización apropiadamente del agua de riego y la aplicación del uso de plaguicidas y fertilizantes de origen sintético (Reyes *et al*., 2013). La nutrición es un

aspecto fundamental en el cultivo del aguacate, ya que influye notoriamente al momento del consumo del producto final, reflejado en su calidad y sabor; además la adecuada nutrición del cultivo determina su potencial productivo. (Rengifo Mejía *et al*., 2019).

La adición de fertilizantes para complementar la fertilidad natural del suelo es una práctica rutinaria en la agricultura moderna, aunque los suelos templados y tropicales comúnmente siguen siendo deficientes en micronutrimentos, particularmente zinc (Zn) (Kaya y Higgs, 2001; Barker y Pilbeam, 2015). El uso correcto de la fertilización foliar constituye una alternativa eficaz para el suministro de micronutrimentos, pero también se ha demostrado que es efectiva para complementar la nutrición de macronutrimentos y elementos secundarios (Molina, 2002).

En diversas regiones del mundo los suelos agrícolas son deficientes en zinc (Zn^{2+}) (Garza *et al*., 2023). El zinc (Zn) tiene diversas funciones catalíticas y estructurales en las proteínas e incide en varias rutas bioquímicas importantes, además está relacionada con la actividad de cientos de enzimas biosíntesis de proteínas y ADN, división celular, expresión genética y procesos de defensa contra el daño celular oxidativo (Cakmak *et al*., 2023). Este micronutriente, aunque es necesario en pequeñas cantidades, es indispensable para el ciclo de vida de las plantas (Amezcua y Lara 2017).

En la producción global de aguacate (*Persea americana*), el zinc (Zn) es un microelemento mineral limitante, toda vez que este cultivo exhibe una marcada sensibilidad fisiológica a la insuficiencia del nutriente. Los síntomas de deficiencia de Zn se observan en suelos ácidos de los que se lixivia fácilmente a un pH bajo y en suelos calcáreos en los que se fija en formas no disponibles (Stino *et al*., 2018). Según MAGAP (2010) los elementos que interfieren en el desarrollo del fruto y que pueden incidir en este problema son el boro y el zinc. El Zn favorece un mejor tamaño de los frutos en el cultivo de Aguacate (Chil-Núñez *et al*., 2019). La deficiencia de Zn se presenta en los brotes nuevos de los árboles frutales por ser

un elemento inmóvil, como una clorosis intervenal en hojas jóvenes y una disminución del tamaño de las hojas y reducción del crecimiento (Molina, 2002).

Los fertilizantes son cruciales para la producción de árboles frutales porque el estado nutricional de la planta afecta el crecimiento vegetativo, la floración, el cuajado y la retención de frutos y tiene un marcado efecto en la calidad y el rendimiento de los frutos (Ferreyra *et al*., 2012, 2022). La corrección de la deficiencia a zinc mediante la fertilización química convencional puede resultar costosa e ineficaz, dado que los fertilizantes aplicados suelen agotarse rápidamente debido a diversas reacciones químicas como la fotolisis, hidrolisis y descomposición (ABD El-Azeim *et al.* 2020); aplicaciones al suelo de $ZnSO_4$ pueden ser eficaces para remediar la deficiencia de zinc en aguacate, pero debe ser aplicado en grandes cantidades (Salazar-García *et al.*, 2008).

Las aspersiones foliares son ampliamente utilizadas en la producción agrícola como una estrategia alternativa o complementaria a la aplicación de fertilizantes al suelo. Las respuestas de las plantas a los elementos suministrados a través de aspersiones foliares son normalmente más rápidas que al tratamiento radicular, pero el transporte de nutrientes aplicados vía foliar a través de la epidermis y dentro de los órganos es un proceso complejo de eficacia variable (Rengel *et al*., 2022). En el cultivo de aguacate aún hay mucha controversia en cuanto a esta técnica, Salazar *et al.* (2014) encontró que las aspersiones al follaje con ZnSO4 no fueron efectivas para corregir a corto plazo la deficiencia de zinc en el aguacate ‘Hass’, pero este tratamiento favoreció un menor porcentaje de frutos con daños en la pulpa. Debido a estos antecedentes es importante continuar generando investigación acerca de una forma efectiva de suministrar este importante microelemento en zonas donde sea identificada esta deficiencia.

Introducción a los Nanomateriales y sus Aplicaciones Agrícolas

Los materiales que son menores de 100 nm al menos en una dimensión se definen como nanomateriales. Las aplicaciones de esta nueva tecnología se encuentran en la agricultura y las nanotecnologías ya se aplican a la producción, procesamiento,

almacenamiento, empaque y transporte de productos agrícolas (Khot *et al*., 2012; Nair *et al.,* 2010).

Las NP´s ZnO aplicadas vía foliar minimizan el uso de fertilizantes, aumentan la eficiencia y mayor disponibilidad de nutrientes en las plantas (Nandhini *et al*., 2019), además son mayores los efectos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas en comparación con las formas tradicionales de zinc (Koleňcík *et al.,* 2019). Las NP's ofrecen una liberación controlada de nutrientes a lo largo del tiempo debido a su mayor área superficial, lo que proporciona más sitios de contacto para la absorción de nutrientes (ABD El-Azeim *et al.* 2020). Los Nano fertilizantes se utilizan para aumentar el crecimiento vegetativo, la polinización y la fertilidad de las flores, lo que resulta en un mayor rendimiento y una mejor calidad del producto para los árboles frutales (Zahedi *et al*., 2020).

En el cultivo de melón, el uso de nanopartículas de zinc mejoró el rendimiento, contenido nutracéutico y la concentración de Zn en frutos, siendo una opción para combatir la desnutrición de este micro nutrimento (Rivera- Gutiérrez *et al.,* 2021). Así mismo en lechuga se ha reportado el efecto de la aplicación foliar de NPs de ZnO, la cual, incrementó la actividad de las enzimas y moléculas antioxidantes, indicando respuestas fisiológicas positivas frente a este estímulo, la concentración de zinc en las plantas aumenta con la aplicación de NPs-ZnO, lo que conlleva a mayor producción de metabolitos (Fortis *et al.,* 2024). Las aspersiones foliares de los árboles de mango con nano-zinc también conducen a un aumento en el peso de la fruta, el número y el rendimiento de la fruta, el contenido de clorofila y caroteno de las hojas, y las concentraciones de varios elementos nutritivos, incluidos N, P, K y Zn (Zagzog *et al*., 2017).

Recientemente, se informó que las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) aumentan la capacidad antioxidante y promueven la absorción de nutrientes en *Cucumis sativus* (Ghani *et al.,* 2022). Asimismo, la pulverización foliar de ZnO NPs en granadas y vides ha demostrado incrementar significativamente el rendimiento de las cosechas (Morab *et al*., 2021). Más allá de su función nutricional, las ZnO NPs han atraído una gran atención en el sector agroalimentario debido a sus

excelentes propiedades mecánicas, capacidades de barrera protectora, alta biocompatibilidad celular y potentes prestaciones antimicrobianas de amplio espectro.

Respecto a su bioseguridad, si bien estudios enfocados en modelos dermatológicos humanos sugieren que las ZnO NPs representan una amenaza potencial nula o insignificante debido a la nula permeación sistémica a través de la piel intacta (Sun *et al.,* 2018), su uso abierto como nanofertilizante introduce dinámicas ambientales y dietéticas distintas. La literatura nanotoxicológica advierte que la inocuidad de estos nanomateriales es estrictamente dosis-dependiente; concentraciones excesivas o aplicaciones descontroladas pueden inducir fitotoxicidad severa, disfunción mitocondrial en el tejido vegetal y riesgos de bioacumulación a lo largo de la cadena alimentaria mediante la liberación de iones libres Zn^{2+} (Hassan *et al.,* 2026; Wang *et al*., 2023). Por lo tanto, el éxito de las ZnO NPs como insumo agrícola seguro radica en la estandarización precisa de dosis óptimas que mitiguen el estrés oxidativo secundario.

En el cultivo de aguacate aún no existe información reportada acerca del uso de nano fertilizantes foliares de Zn; Sin embargo, existen reportes de los beneficios que aporta un adecuado abastecimiento de Zn en aguacate Hass. Salazar *et al.* (2008) encontró que con tratamientos de ZnSO4, se incrementa el tamaño de fruto; así mismo concluyó que los aumentos en la producción de fruto grande (>170 g) observados durante los cuatro años del estudio, siempre se asociaron a una menor producción de fruto de tamaño pequeño (<169 g); por otra parte, la aplicación de ZnSO4 al suelo estimuló la elongación del fruto, haciéndolo más alargado lo que disminuyó el problema del fruto pequeño y redondo.

Los problemas en postcosecha también ocurren cuando los frutos proceden de árboles con trastornos nutrimentales (Koen *et al.,* 1990). Los desórdenes fisiológicos más frecuentes en la pulpa del fruto son el oscurecimiento de haces vasculares, la pulpa gris y la Mancha negra de la pulpa (Salazar- García, 2002).

Salazar *et al.,* (2014) reportan que la aplicación foliar de Zn seis meses antes de la cosecha favoreció un menor porcentaje de frutos con daños en la pulpa. Vorster y

Bezuidenhout (1988) reportaron niveles altos de zinc y calcio en frutos que no exhibieron daño en la pulpa (Pulp spot). Al respecto, Chvapil (1973) indicó que la aplicación foliar de zinc o cobre pueden liberar el calcio de varios agentes tales como la lignina, ácidos orgánicos y proteínas para su transporte al fruto. Otras características de la calidad poscosecha de frutos de aguacate a las que favorece la aplicación de zinc son: contenido de aceite, pérdida de peso y pérdida de firmeza (Salazar *et al.,* 2014).

En el cultivo de aguacate aún es muy escasa la información acerca del uso de nano fertilizantes foliares de microelementos como el zinc, por lo que basándose en lo antes mencionado se planteó evaluar el efecto de la aplicación foliar de nano partículas de Oxido de Zinc (NP´s ZnO): 0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1} durante 2022-2023 asperjadas en plantas de aguacate 'Hass' y su efecto sobre la nutrición de la planta, el rendimiento, calidad y comportamiento poscosecha del fruto.

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial, el zinc (Zn) se posiciona como uno de los microelementos más críticos para la productividad agrícola, siendo el cultivo de aguacate (*Persea americana*) una de las especies frutales con mayor susceptibilidad a su deficiencia. Esta problemática nutricional se agudiza debido a factores edáficos restrictivos: en suelos de carácter ácido, el Zn presenta una alta tasa de lixiviación que reduce su presencia en el perfil del suelo, mientras que, en suelos calcáreos, el elemento sufre procesos de fijación química que lo inmovilizan, volviéndolo inaccesible para la absorción radicular de la planta.

La baja disponibilidad biológica de este micronutriente desencadena severas alteraciones fisiológicas y metabólicas en el aguacate que restringen drásticamente el desarrollo y la calidad comercial del fruto. Actualmente, estas deficiencias nutricionales provocan un escenario crítico en la comercialización, donde apenas el 20% de la producción total logra alcanzar calibres grandes (170 a >266 g),

truncando la posibilidad de acceder a los precios más competitivos y lucrativos del mercado. A esto se suma que las estrategias de fertilización convencionales aplicadas en la actualidad muestran una eficiencia extremadamente baja, perdiéndose por volatilización, lavado o retrogradación antes de ser aprovechadas. Por consiguiente, la falta de alternativas tecnológicas eficientes para corregir la deficiencia de Zn perpetúa un estado de baja rentabilidad económica para los productores y limita el potencial exportable del cultivo, lo que plantea la necesidad urgente de evaluar nuevos sistemas de nutrición vegetal a escala nanométrica.

1.2 Justificación

Tras realizar diagnósticos foliares en un huerto de aguacate Hass en Buenavista del Monte, Cuernavaca, Morelos, se encontraron niveles debajo de lo normal de Zn, lo anterior ha sido confirmado con la presencia de síntomas visuales típicos de esta deficiencia, que han sido descritas como moteado intervenal en las hojas maduras y presencia de fruto pequeño y redondo (Salazar- García, 2002) (Figura 1); dichos síntomas han sido observados también en otras unidades de producción de esta zona productora de aguacate Hass. Según Salazar-García (2002) la deficiencia de Zn puede corregirse con aspersiones foliares de 2 g de sulfato de zinc ($ZnSO_4$, 36 % Zn) por litro de agua. Sin embargo, algunos investigadores indican que en el aguacate las aspersiones foliares no son efectivas debido a que las hojas maduras muestran una limitada capacidad para absorber y transportar las sales aplicadas por esta vía (Crowley *et al*., 1996), pero aún no existe información acerca del uso de NPs de ZnO aplicadas vía foliar en diferentes dosis.

2. OBJETIVO

Determinar la respuesta del aguacate ‘Hass’ a la aplicación de tres concentraciones de nano fertilizante de óxido de Zinc asperjado al follaje para definir su efecto en la nutrición de la planta, rendimiento y comportamiento poscosecha del fruto.



Figura 1. Síntoma de deficiencia nutricional (-Zn) encontrada en aguacate Hass en Buenavista del Monte, Cuernavaca, Morelos. A) Hojas; B) Frutos.

3. HIPÓTESIS

Las aspersiones foliares de nanopartículas de óxido de zinc afectarán positivamente el crecimiento, rendimiento, estado nutrimental y vida poscosecha de los frutos de aguacate.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización y material vegetal

Para esta investigación se utilizaron árboles de aguacate 'Hass' (*Persea americana* Mill.) de una Huerta comercial establecida en Buenavista del Monte, Cuernavaca, Morelos, México, de 20 años y que se encuentran en plena producción. Así mismo se utilizaron los frutos de dichos árboles para las evaluaciones poscosecha, en madurez fisiológica. El dueño de la huerta es el Productor Mario García González quien forma parte de la Sociedad de Producción Rural 'Aguacateros Guadalupanos de Buenavista del Monte'; quien colabora prestando parte de su huerta para fines de esta investigación.

4.2 Organización experimental

Se seleccionaron 24 árboles de 0.50 m de diámetro a la altura de pecho. El estudio se realizó durante dos ciclos de producción. Los árboles tienen 20 años y están establecidos a 8 x 8 m en un suelo franco con pH 6.71 y contenido bajo de Zn (0.74 mg·kg-1).

Se evaluaron tres tratamientos de aplicación de nano partículas de ZnO asperjado al follaje en dosis de **500, 1000 y 1500 mg L^{-1}**, con un testigo como referencia sin aplicación.

Las nano partículas de ZnO son elaboradas en el centro público de investigación del Sistema CONACYT (CIQA) ubicado en la ciudad de Saltillo, Coahuila.

Durante el primer ciclo de producción (enero- diciembre, 2022) se realizaron aplicaciones cada dos meses de las nanopartículas de ZnO. Las soluciones para aspersión fueron preparadas con agua destilada para evitar que exista interferencia de otros elementos en el agua, y se aplicó en un volumen de 10 L por árbol.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar. La unidad experimental fue un árbol con seis repeticiones.

4.2.1 Síntesis de nanopartículas de ZnO

Las NP's de ZnO fueron sintetizadas a través de precipitación controlada de acuerdo con Betancourt *et al*. (2010) mediante el método de hidrólisis química. En un matraz bola provisto de tres bocas se colocaron 13.7 g de $(CH_3CO_2)_2Zn$ y 600 mL de etanol. Esta solución se agitó constantemente a una temperatura de 80 °C en reflujo durante 2 h. Después se adicionó una solución acuosa de 0.22 M de NaOH y 100 mL más de H_2O para completar la mezcla de reacción. Posteriormente las NP's de ZnO obtenidas inmersas en etanol fueron centrifugadas a 15,000 rpm durante 15 min para su recuperación. El precipitado fue lavado 2 veces con etanol y secado en una estufa a 80 °C por 24 h. Las NPs-ZnO secas fueron trituradas en un mortero de ágata para obtener un polvo fino con un tamaño de partícula primaria de 23.44 nm y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su uso.

4.2.2 Características de las nanopartículas de ZnO

En la Figura 2 se muestra el difractograma de las NP's de ZnO obtenidas mediante el método de precipitación y el estándar obtenido de la base de datos del equipo. Las señales del difractograma muestran una estructura cristalina tipo wurtzita, correspondiente al ZnO. Las señales asignadas a las difracciones de varios planos corresponden al empaquetado hexagonal de la estructura de ZnO. Las señales de 2θ = 32.02, 33.02, 36.94, 47. 73, 56.57, 59.05, 67.85º son asignados a los planos (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112).

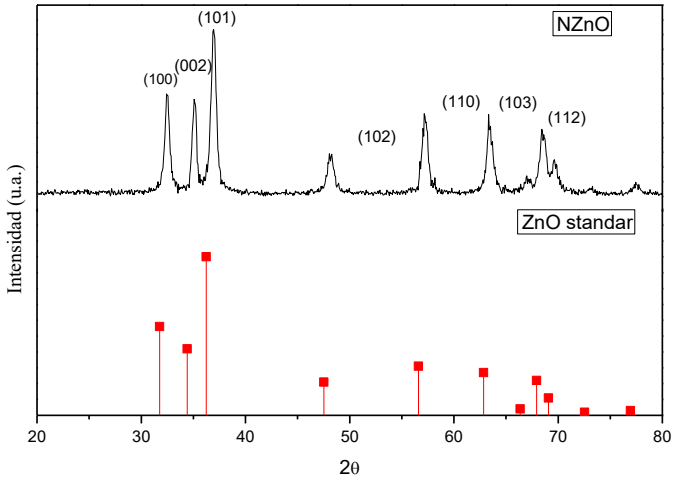


Figura 2. Patrón de difracción de Rayos-X de las NZnO.

La Figura 3 muestra las imágenes obtenidas mediante TEM de las nanopartículas, en las cuales se aprecian partículas semiesféricas con un tamaño aproximado de 42 ± 15 nm.

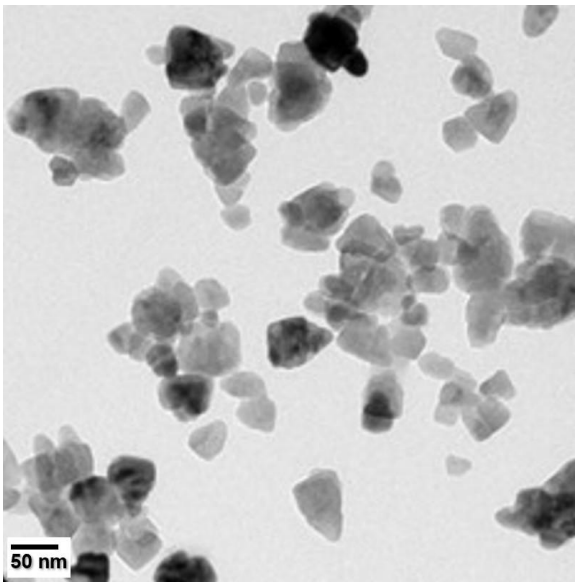


Figura 3. Forma estructural de las nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO), micrografías obtenidas por TEM.

4.3. Variables evaluadas

4.3.1. Evaluación en huerta

Antes de iniciar el estudio, se analizaron las propiedades minerales y químicas de una muestra de follaje y suelo de un huerto de aguacate. La muestra de suelo se recolectó de la región de máximo crecimiento radicular (bajo el dosel y a una profundidad de 0 a 30 cm). Posteriormente, se secó y pulverizó una muestra representativa de 1 kg de suelo. Se tomaron muestras de hojas de 60 hojas maduras recolectadas de cada árbol seleccionado, con 15 hojas recolectadas de cada punto cardinal (Norte, Sur, Este y Oeste) a lo largo de la periferia del árbol y a una altura equivalente. Las hojas se enjuagaron una vez con agua del grifo y posteriormente con agua destilada tres veces. Luego se secaron en un horno de aire forzado durante 72 horas a 65 °C. Se almacenaron 100 g de tejido seco para su análisis. Se tomaron tres réplicas para el análisis nutricional de las hojas. Las muestras fueron enviadas para análisis a FERTILAB® (FERTILIDAD DE SUELOS S. DE R. L), acreditado como Laboratorio de Ensayos bajo la norma NMX-EC-17025 IMNC-2018

(ISO/IEC 17025:2017). En donde se midieron el pH del suelo, materia orgánica, nitrógeno inorgánico (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), Zn, cobre (Cu), boro (B), capacidad de intercambio catiónico y densidad aparente de acuerdo con las metodologías descritas en la Norma Oficial Mexicana para el Análisis de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos (NOM-021, 2002). Se midieron nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), sodio (Na), cloro (Cl), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), níquel (Ni) y molibdeno (Mo) en las muestras de hojas.

Los resultados de estos estudios preliminares se muestran en los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Informe de resultados de Análisis de suelo en un huerto de aguacate, Buenavista del Monte, Cuernavaca, Morelos, México. Antes de comenzar la aplicación de tratamientos

Características físicas y químicas del suelo		**Fertilidad del suelo**	
Clase textural	Franco	**MO**	2.62%
Punto de saturación	55.0%	**P-Bray**	36.2 ppm
Capacidad de campo	29.4%	**K**	514 ppm
Punto de marchitez permanente	17.5%	**Ca**	1431 ppm
Conductividad hidráulica	2.00 cm/ h	**Mg**	178 ppm
Densidad aparente	0.89 g/ cm3	**Na**	33.9 ppm
pH	6.71	**Fe**	25.0 ppm
Carbonatos totales	0.01%	**Zn**	0.74 ppm
Salinidad (CE de extracto)	0.83 dS /m	**Mn**	4,24 ppm
		Cu	5.24 ppm
		B	0.26 ppm
		S	93.0 ppm
		N-NO3	9.31

Cuadro 2. Informe de resultados de Análisis foliar en un huerto de aguacate, Buenavista del Monte, Cuernavaca, Morelos, México. Antes de comenzar la aplicación de tratamientos.

	MACRONUTRIENTES (%)						MICRONUTRIENTES (mg kg^{-1})				
	norte	PAG	K	California	Mg	S	Fe	Zinc	Minnesota	Cu	B
Análisis foliar (1)	2.52	0.18	0.95	2.36	0.58	0.32	53.02	23.58	132	43.91	10.5
Análisis foliar (2)	2.39	0.14	1.14	1.81	0.53	0.24	53.43	19.26	143	25.35	9.02
Análisis foliar (3)	2.52	0.15	0.86	1.97	0.62	0.23	55.26	20.37	134	25.91	9.23
Significar	**2.48**	**0.16**	**0.98**	**2.05**	**0.58**	**0.26**	**53.90**	**21.07**	**136.33**	**31.72**	**9.58**

Se evaluó el rendimiento por árbol y se clasifico la fruta con los calibres: ‘Super’, con peso mayor de 265 g; ‘Extra’ (211 a 265 g), ‘primera’ (171 a 210 g), ‘mediano’ (136 a 170 g) y comercial (<135 gr) con base en la (NMX-FF-08) (Figura 4).

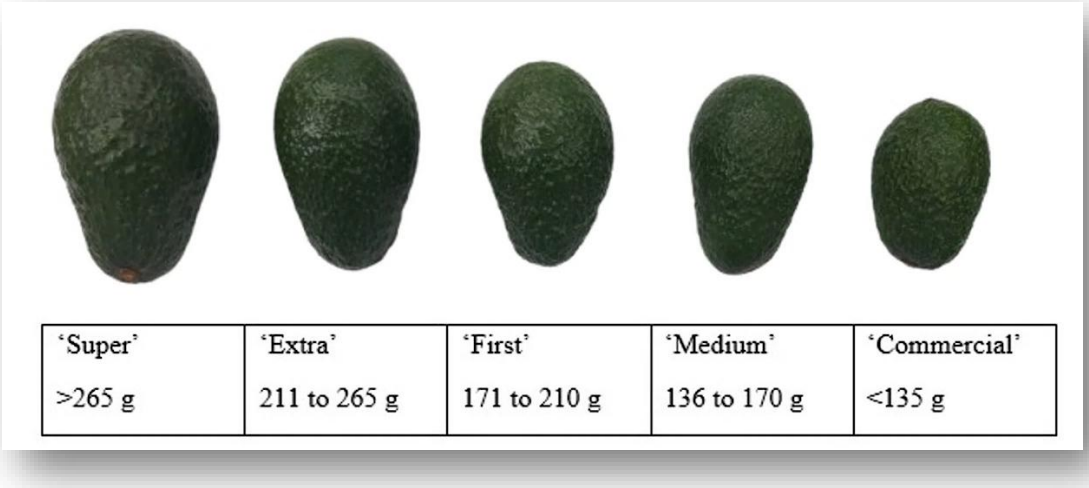


Figura 4. Calibres de Aguacate Hass (Norma oficial NMX-FF-08)

4.3.2. Evaluación de fruta en pos-cosecha

4.3.2.1. No destructivas

Se determinó la **masa** de 6 frutos por tratamiento con ayuda de una balanza digital OHAUS® con sensibilidad de 0.01 g.

Se determino la **pérdida de peso** diariamente utilizando una balanza digital OHAUS® con sensibilidad de 0.01 g. Para calcular la pérdida de peso se aplicó la siguiente ecuación:

$$\%pp = \frac{Pi - Pf}{Pi} x100$$

Donde:

%PP =porcentaje de pérdidas de peso

Pi =Peso inicial

Pf =Peso final

La velocidad de respiración (CO_2) y producción de etileno se cuantifico mediante un sistema estático (Mendoza-Wilson y Báez-Sañudo, 2000) que consistió en colocar un fruto de masa conocida en un recipiente de plástico con capacidad de 960 mL, cerrados herméticamente durante 2 h. Posteriormente se tomó 1 mL de gas del espacio de cabeza a través de la septa de los frascos, para inyectarlo a un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890A GC), con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica conectada simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) a una temperatura de 170°C y otro de conductividad térmica (TCD) a 170 °C, como gas acarreador se utilizará N_2 (2 mL min^{-1}). El inyector y horno del cromatógrafo mantendrán una temperatura de 150 y 80 °C respectivamente durante las mediciones. Para la cuantificación se utilizaron estándares de CO_2 (460 mg L^{-1}) y etileno (100 mg L^{-1}) (Quark INFRA®). La unidad experimental en esta variable fue un fruto en un frasco con seis repeticiones.

Los **cambios de color**, luminosidad (**L***), **a*** y **b*** se midieron diariamente en el epicarpio durante la maduración, tomando cuatro puntos en la zona ecuatorial de

los frutos de aguacate, con ayuda de un espectrofotómetro manual (X-Rite 3290®, USA). Los valores de a* y b* se transformaron a **ángulo matiz** ($h= \arctan^{-1} b^*/a^*$) y **cromaticidad** ($C^*= (a^2 + b^2)^{1/2}$) (Neguerula, 2012).

4.3.2.2. **Variables destructivas**

Pérdida de firmeza

Se determinó por medio de un texturómetro manual (Chatillon DF250, USA) con un puntal cónico (4.7 mm de diámetro en la base), se midió cada dos días desde el inicio del experimento hasta que los frutos alcanzaron la madurez de consumo. Para la determinación de la firmeza se eliminó el exocarpio de ambos lados de la región ecuatorial tomando como repetición el valor promedio de las dos lecturas de cada fruto reportando los datos en newtons (N)

Fenoles totales

La concentración de fenoles totales se realizó conforme a la metodología de Folin-Ciocalteau (Singleton *et al*., 1999). Se homogenizó un gramo de pulpa en un tubo de ensaye con ayuda de un Ultra Turrax (IKA®), con 20 mL de Metanol al 80% y posteriormente se filtró. Se tomó 0.5 mL del filtrado y se mezcló con 2.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu (1:10) después de 5 min se adicionaron 2 mL de carbonato de sodio (7.5% p/v) y se dejó reposar durante 2 h, posteriormente las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro (HACH DR 5000 ®) a 760 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) 100 g^{-1} peso fresco.

Flavonoides totales

El total de flavonoides se determinó usando la metodología de Arvouet-Grand *et al.* (1994). Se pesó 0.5 g de pulpa con 10 mL de metanol y se homogenizó con un Ultra Turrax (IKA®) y posteriormente se filtró. A partir del filtrado se tomaron 2 mL de muestra y se mezclaron con 2 mL de tricloruro de aluminio al 2 % p/v dejando reposar por 15 min en la oscuridad, se realizaron las lecturas de absorbancia a 415

mn en un espectrofotómetro (HACH DR 5000 ®). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de Quercetina (EQ) 100 g^{-1} peso fresco.

Determinación de la capacidad antioxidante por el método DPPH

Para la obtención de los extractos de muestra se pesó 1 g de pulpa, se homogenizó cada una con metanol (80%) obteniendo una muestra para determinar las variables estudiadas.

Se utilizó la metodología propuesta por Brand-Williams *et al.* (1995), con mínimas modificaciones, este método consiste en colocar una celda de cuarzo de 3 mL de una solución de DPPH metanólica $6.1x10^{-5}$ M (Sigma Aldrich, USA) y se hacen reaccionar con 100 µL de solución de muestra, la mezcla se dejó reposar en la oscuridad durante 30 min y se tomó la lectura a 517 nm, el cambio de absorbancia. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g^{-1} y µM equivalente Trolox (TE) 100 g^{-1} peso fresco.

Determinación de la capacidad antioxidante por la técnica de ABTS

Se preparó ABTS (Sigma-Aldrich) 7mM y persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) a 2.45 mM y se mezcló 1:1, se dejó reposar durante 16 h. Se diluyo con etanol al 20 % hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ±0.02 a 734 nm. Se agregó 3 mL de ABTS con 50 µL de muestra y se dejó reaccionar durante 15 min, se tomó la absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g^{-1} peso fresco y µM equivalente Trolox (TE) 100 g^{-1} peso fresco (Re *et al*., 1999).

Capacidad antioxidante de reducción férrica (FRAP)

Se empleó la metodología desarrollada por Benzie y Strain, (1996): se preparó el reactivo FRAP (TPTZ, $FeCl_3$ y tampón acetato) se mezcló 1.8 mL de FRAP con 140µL de agua destilada y 60µL de muestra, se dejó reaccionar durante 30 min a 37 °C y transcurrido el tiempo de reacción se tomó la absorbancia a 593 nm los

resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g^{-1} peso fresco y µM equivalente Trolox (TE) 100 g^{-1} peso fresco.

Las variables de fenoles, flavonoides y la evaluación de la actividad antioxidante se evaluó en seis frutos, es decir, se consideró una unidad experimental y seis repeticiones.

4.4. Análisis de datos

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey con una probabilidad de 0.05.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Rendimiento de árboles evaluados

5.1.1 Rendimiento de frutos

En la temporada 2022, el rendimiento de fruto aumentó linealmente con el incremento de la concentración de nanopartículas de ZnO (Figura 5). La máxima producción de fruto se alcanzó con la aplicación de nanopartículas de ZnO a una dosis de 1500 mg L^{-1}, un 46% superior a la obtenida en los árboles control. Los rendimientos obtenidos durante la temporada 2023 mostraron una tendencia similar, ya que aumentaron linealmente con el incremento de la dosis de nanopartículas de ZnO. Con 1500 mg L^{-1}, la producción de fruto fue un 37 % superior a la de los árboles control (Figura 6).

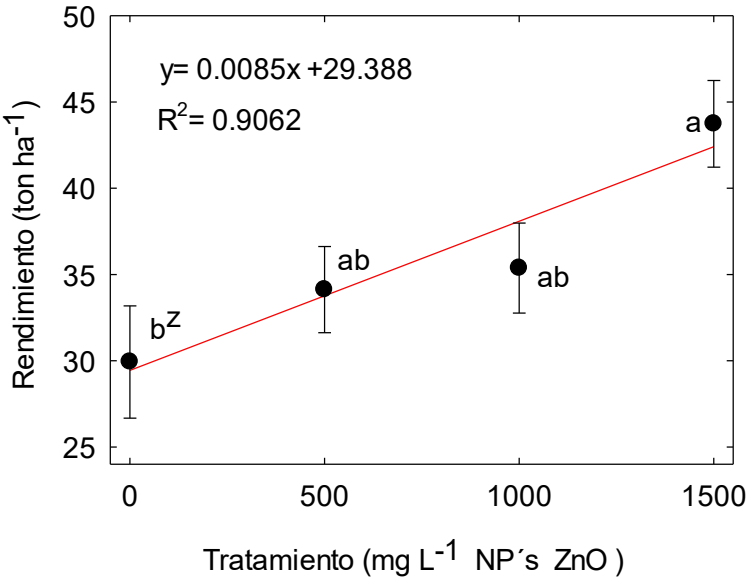


Figura 5. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre el rendimiento de fruta en árboles de aguacate (*Persea americana*) con deficiencia nutricional de Zn durante la temporada 2022. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras distintas sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0.05$).

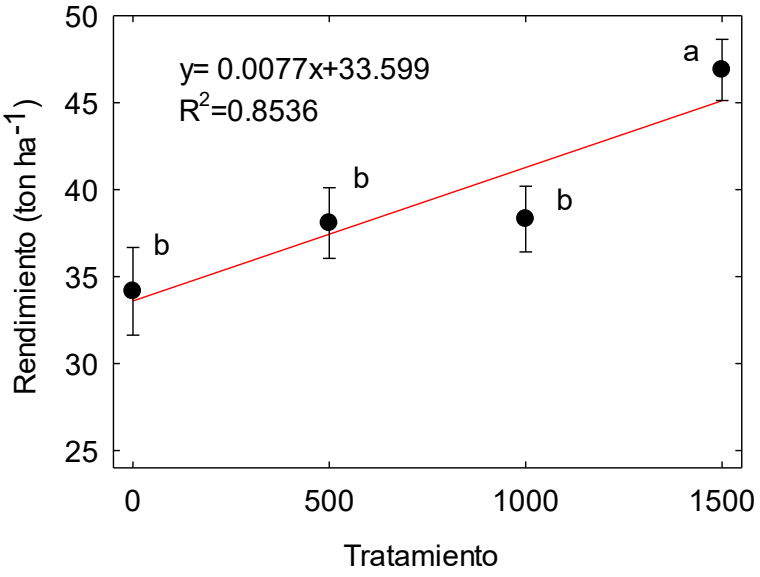


Figura 6. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre el rendimiento de fruta en árboles de aguacate (*Persea americana*) con deficiencia nutricional de Zn durante la temporada 2023. Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras distintas sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0.05$).

Estos resultados sugieren que abordar la deficiencia de Zn en aguacate mediante la pulverización de nanopartículas de ZnO mejora sustancialmente el rendimiento de la fruta. Los efectos beneficiosos de las nanopartículas de ZnO se deben al papel esencial del Zn en la facilitación de los procesos metabólicos y catalíticos en el crecimiento de la planta (Fageria *et al*., 2016), así como en la regulación de las actividades enzimáticas y las reacciones bioquímicas que contribuyen a la síntesis de clorofila y carbohidratos (Gawrońska *et al*., 2018). El aumento en la producción de fruta observado en el presente estudio podría estar asociado al papel del Zn como Fito estimulante, ya que activa el triptófano sintetasa, la enzima que facilita la síntesis de triptófano, un aminoácido crucial en la biosíntesis del ácido indol-3-acético (AIA) (Méndez- Argüello *et al*., 2016). Los rendimientos registrados en 2022

y 2023 superaron los reportados por Salazar-García *et al*. (2009) en huertos de aguacate sin riego, alcanzando 28.2 t ha-1 en árboles de 10 a 12 años tratados con aspersiones de ZnSO4, mientras que García-Martínez *et al*. (2021) reportaron 8 t ha-1 en Valle de Bravo y 6 t ha^{-1} en Villa de Allende.

Considerando que el huerto experimental tiene 156 árboles. Ha^{-1}, el incremento en el rendimiento promedio del periodo 2022-2023 para el tratamiento de 1500 mgL^{-1} fue de 13.4 ton/ha con respecto al testigo.

La calidad de los frutos cosechados en las temporadas 2022 y 2023 también se vio afectada positivamente por las aplicaciones de nanopartículas de ZnO (Cuadro 3 y 4, respectivamente). Para facilitar el análisis de datos, se añadieron las categorías primero + extra + súper y se designaron como frutos 'grandes', mientras que segundo + comercial se etiquetaron como frutos 'pequeños'. En 2022, los árboles que recibieron aplicaciones de nanopartículas de ZnO de 500 mg L-1 produjeron la máxima proporción de frutos grandes, mientras que el grupo control presentó la menor proporción (Figura 7). En el segundo año de evaluación (2023), se observó un impacto más pronunciado en el tamaño de los frutos colectados (Figura 8); aunque no se detectaron efectos significativos, la mayor proporción de frutos grandes y la menor proporción de frutos de tamaño inferior se obtuvo en los árboles que recibieron aplicaciones de nanopartículas de ZnO a 1500 mg L-1. Los árboles con deficiencia de Zn resultaron en que solo el 20% de los frutos cosechados produjeron calibres grandes (Salazar *et al*., 2009).

Cuadro 3. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (Zn) en árboles de aguacate con deficiencia de Zn sobre la distribución del peso del fruto. Temporada 2022.

Tratamiento (dosis de NPs de ZnO)	Producción según el tamaño del fruto (kg/ arbol^{-1})				
	Super (>265 g)	Extra (211 a 265 g)	Primera (171 a 210 g)	Segunda (136 a 170 g)	Comercial (<135 g)
Testigo (0 mg L $^{-1}$)	4.42 b^{z}	40.78 ab	72.69 a	38.39 ac	35.57 a
500 mg L $^{-1}$	35.26 a	74.63 ab	77.80 a	19.45 c	11.61 b
1000 mg L $^{-1}$	6.94 b	36.95 b	59.11 a	68.91 a	54.84 a
1500 mg L^{-1}	9.63 b	84.49 a	87.87 a	62.13 ab	36.24 a
CV (%)	15.98	35.65	20.7	33.18	38.93
DMS	5.37	42.42	30.81	30.39	25.23

^{z}: Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Cuadro 4. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (Zn) en árboles de aguacate con deficiencia de Zn sobre la distribución del peso del fruto. Temporada 2023.

Tratamiento (dosis de NPs de ZnO)	Producción según el tamaño del fruto (kg/ arbol^{-1})				
	Super (>265 g)	Extra (211 a 265 g)	Primera (171 a 210 g)	Segunda (136 a 170 g)	Comercial (<135 g)
Testigo (0 mg L $^{-1}$)	8.48 a^{z}	47,4 a	86.37 a	48.09 a	31.47 a
500 mg L $^{-1}$	48,82 a	60,47 a	67,78 a	46.01 a	30.23 a
1000 mg L $^{-1}$	16.87 a	55,69 a	106.67 a	43.43 a	22,90 a
1500 mg L^{-1}	18.04 a	111.64 a	112.32 a	40.43 a	18.11 a
CV (%)	189.39	67.93	39.37	68.10	77.41
DMS	128.66	139.86	115.31	93.09	55.38

^{z}: Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

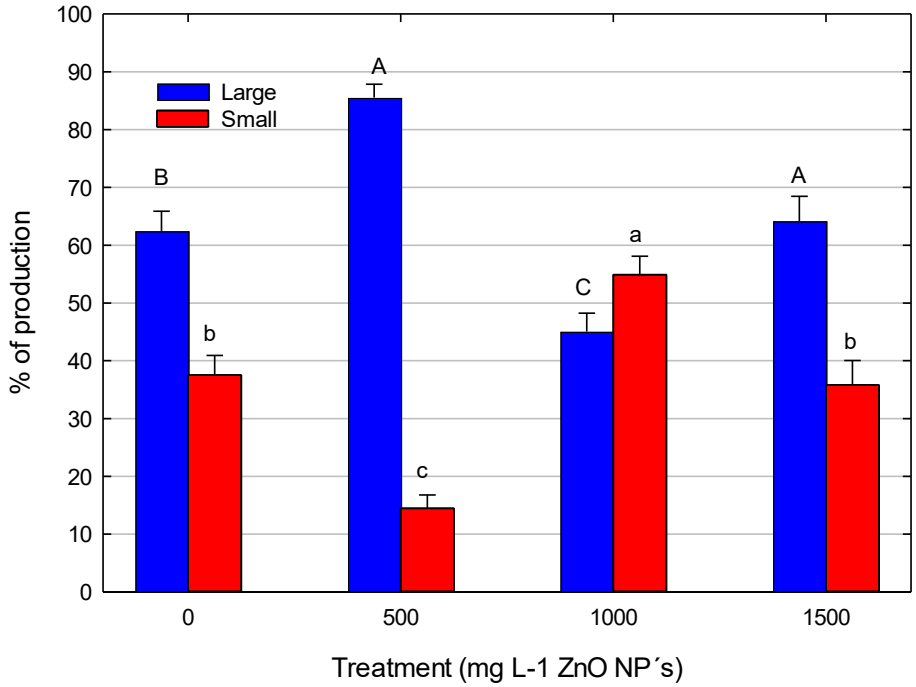


Figura 7. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la distribución de categorías de tamaño del fruto en árboles de aguacate (*Persea americana*) con deficiencia de Zn durante la temporada 2022. Categorías comerciales: Grande (≥ 171 g) y Pequeño (≤ 170 g). Las barras de error representan el error estándar de la media. Columnas con letras distintas dentro de cada categoría indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de ($p < 0.05$)

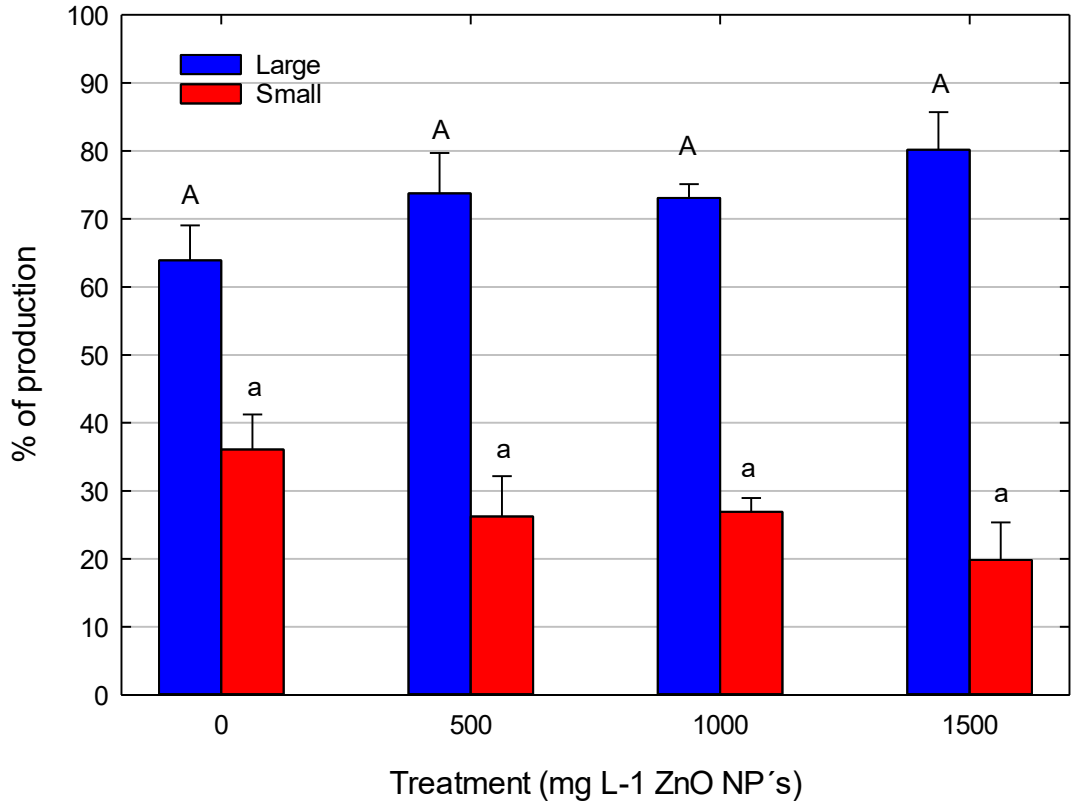


Figura 8. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la distribución de categorías de tamaño del fruto en árboles de aguacate (*Persea americana*) con deficiencia de Zn durante la temporada 2023. Categorías comerciales: Grande (≥ 171 g) y Pequeño (≤ 170 g). Las barras de error representan el error estándar de la media. Columnas con letras distintas dentro de cada categoría indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

5.1.2 Estado nutricional de las hojas

La aplicación de nanopartículas de ZnO no influyó significativamente en la composición mineral (N, P, K, Zn) de las hojas de los árboles de aguacate evaluados, como lo indica la prueba de Tukey (Figura 10) durante el año inicial de evaluación; sin embargo, se observó una reducción marginal del contenido nutricional (N, P, K y Zn) en correlación con el aumento de la dosis de nanopartículas de ZnO, como se ilustra en la Figura 10. No obstante, dado que se trata de árboles

frutales maduros, cuantificar con precisión la biomasa total del área foliar para determinar el contenido nutricional por rendimiento foliar resultó ser un desafío. Es fundamental destacar que, visualmente, los tratamientos produjeron hojas más grandes y árboles más robustos (Figura 9) al finalizar el primer año de aplicación, lo que sugiere que el contenido nutricional podría atribuirse a un efecto de dilución de los elementos N, P, K y Zn. El "efecto de dilución" se ha mencionado en diversos estudios sobre nutrición vegetal y fertilidad del suelo para explicar los resultados que se producen cuando la concentración de un elemento en el tejido vegetal disminuye debido a alteraciones en las condiciones ambientales, incluyendo modificaciones en el entorno edáfico resultantes de la incorporación de materiales inorgánicos y orgánicos, agua, fluctuaciones de temperatura, variaciones de luz y la introducción de sustancias tóxicas como metales pesados. Asimismo, la "dilución" se define comúnmente como la alteración en la concentración de nutrientes a lo largo del tiempo (Jarrell y Beverly, 1981). Cualquier elemento que limite el crecimiento, como la luz, la humedad, la temperatura o un nutriente específico, puede provocar la acumulación de otros nutrientes en la planta (Martin y Matocha, 1973, p. 394). Hughes *et al*. (1978) y Barea *et al*. (1980) descubrieron que la adición de fósforo reducía la concentración de nitrógeno en las plantas; sin embargo, un mayor rendimiento resultó en una mayor acumulación total de nitrógeno. Después del segundo año de aplicación del tratamiento, el impacto en las concentraciones de minerales N, P y K reflejó estrechamente el del primer año, lo que indica efectos sostenidos (Figura 11). No obstante, el contenido de Zn exhibió un aumento modesto correspondiente a la dosis de aplicación elevada de nanopartículas de ZnO (Figura 11). Estrada- Arellano *et al.* (2023) demostraron un efecto comparable en el cultivo de nogal pecán (*Carya illinoinensis*), logrando la máxima mejora en el contenido de Zn con su tratamiento de mayor concentración (4000 mg L^{-1} de nanopartículas de ZnO) en relación con el control; con concentraciones de 29,94 mg kg-1 en la primera aplicación y 45,45 mg kg-1 en la segunda aplicación en hojas. Las nanopartículas han demostrado efectos beneficiosos en la acumulación de zinc en el follaje de diversos cultivos; Rossi *et al*. (2019) indican que la aplicación de nanopartículas de zinc en cantidades menores que el sulfato de zinc (ZnSO4) mejoró con éxito el contenido de metal en plantas de *Coffea arabica* L. Asimismo,

Davarpanah *et al.* (2016) descubrieron que la aplicación de nanopartículas de Zn a huertos de *Punica granatum* cv. Ardestani L. mejoró notablemente la concentración de zinc en su follaje.



Figura 9. Follaje de árboles evaluados después de la aplicación de tratamientos con ZnO NP de la temporada 2022.

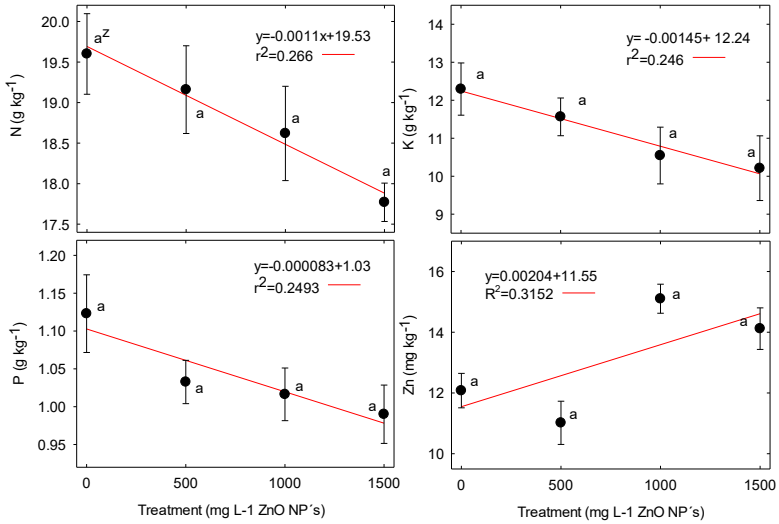


Figura 10. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la concentración nutricional foliar en árboles de aguacate (*Persea americana*) 'Hass' con deficiencia de Zn durante la temporada 2022. A. Nitrógeno (N); B. Potasio (K); C. Fósforo (P); D. Zinc (Zn). Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras distintas sobre los símbolos indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

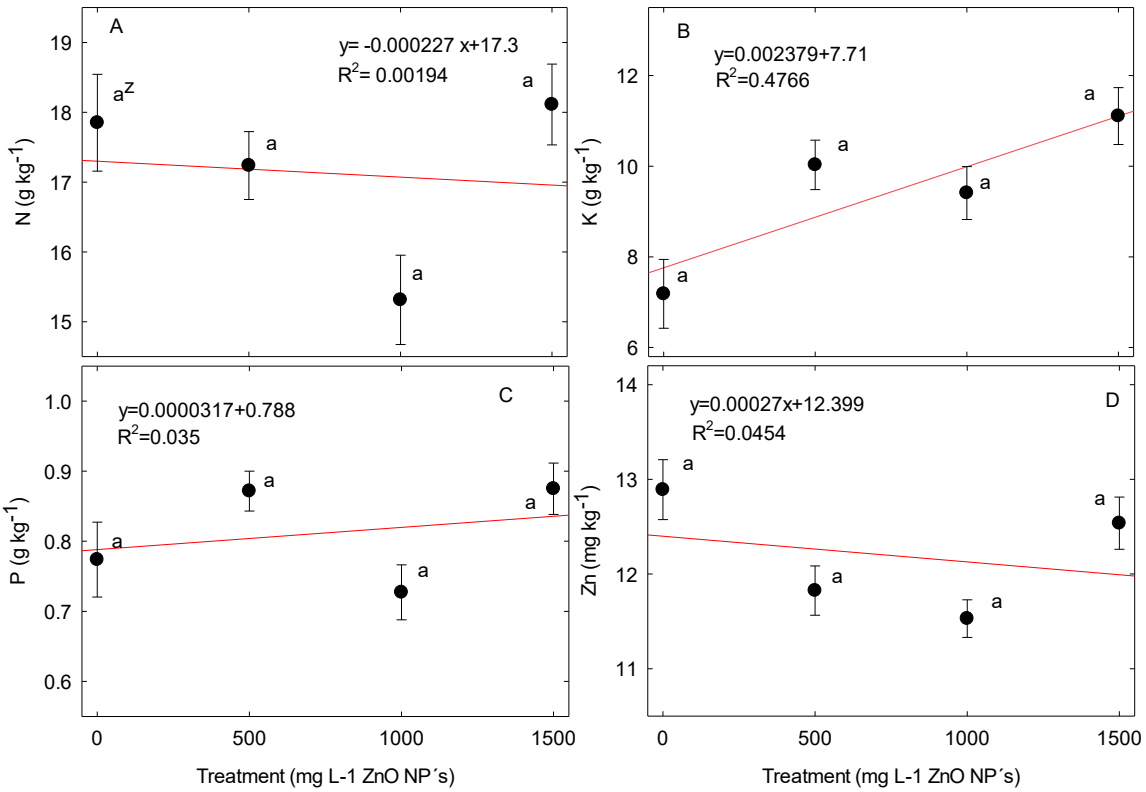


Figura 11. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la concentración nutricional foliar en árboles de aguacate (*Persea americana*) 'Hass' con deficiencia de Zn durante la temporada 2023. A. Nitrógeno (N); B. Potasio (K); C. Fósforo (P); D. Zinc (Zn). Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras distintas sobre los símbolos indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

5.1.3. Estado nutricional de frutos de aguacate de N, P, K y Zn en frutos de Aguacate 'Hass', además de incrementar el rendimiento.

Los resultados del contenido mineral (N, P, K y Zn) en los frutos cosechados, después de dos años de aplicaciones de tratamientos con ZnO, se calcularon en relación con la materia seca de los frutos y el rendimiento general producido por los tratamientos. El cuadro 5 presenta los resultados para concentración de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en gramos por kg de pulpa, por temporada, así como el micronutriente zinc (Zn) en miligramos por kg por temporada. Posteriormente, los valores se transformaron a contenido de nutrientes por árbol de peso seco. Una regresión lineal de los nutrientes contenidos evaluados en relación con los tratamientos NP de ZnO se representa en la Figura 12. Los tratamientos afectaron significativamente el contenido de nitrógeno por árbol, con el tratamiento de 1500 mg L-1 produciendo la mayor acumulación de nitrógeno (788.33 g árbol-1P. S), mientras que los árboles control exhibieron el contenido de nitrógeno más bajo (530.59 g árbol-1P. S). La máxima absorción de nitrógeno por planta de tomate se registró con la aplicación de 100 ppm de nanopartículas de ZnO (3,95 g/planta), mientras que la mínima se observó en el tratamiento control (0,61 g/planta). No se identificaron diferencias significativas en los nutrientes P, K y Zn entre tratamientos; sin embargo, se registraron concentraciones elevadas de K y Zn en el tratamiento de 1500 mg L-1, que también produjo la máxima producción de frutos. Este fenómeno se ha documentado en varios cultivos, incluido el tomate (Ahmed *et al.,* 2023), con respecto a la absorción de zinc, donde se observó una absorción de zinc considerablemente elevada de 6,88 mg/planta en el tratamiento con 125 ppm de nanopartículas de ZnO. En el cultivo de melón, la aplicación de 200 mg L-1 de nanopartículas de ZnO resultó en la mayor concentración de zinc en la pulpa, midiendo 52,96 mg kg-1 (Rivera- Gutiérrez *et al.,* 2021). Los tratamientos con nanopartículas de ZnO mejoran la acumulación de nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en frutos de aguacate Hass, al mismo tiempo que aumentan la producción.

Cuadro 5. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre la concentración de macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes (Zn) en frutos de árboles de aguacate (*Persea americana*) 'Hass' con deficiencia de Zn durante el ciclo productivo 2022-2023.

Tratamiento	N (g árbol $^{-1}$ PS)	K (g árbol $^{-1}$ PS)	P (g árbol $^{-1}$ PS)	Zn (mg árbol $^{-1}$ PS)
0 mg L^{-1}	530.59 b^{z}	935.2 a	74.56 a	623.4 a
500 mg L^{-1}	611.69 ab	1264.5 a	88.5 a	628.2 a
1000 mg L^{-1}	693.76 ab	1043.5 a	80,18 a	634.3 a
1500 mg L-1	788.33 a	1096.6 a	91.75 a	713.0 a
CV	16.103	18.26	16.68	20.74
DMS	198.92	373.13	26.3	253.77

Nota. PS: peso seco; CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa. Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0.05$).

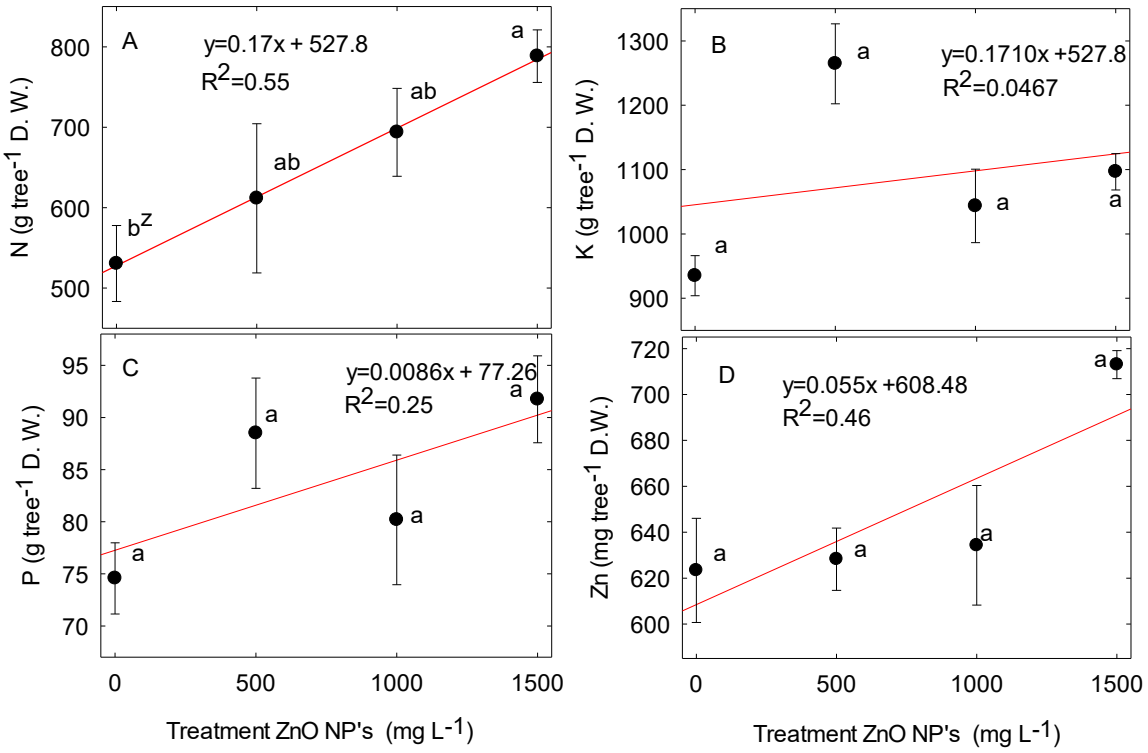


Figura 12. Efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) sobre el contenido total de nutrientes en frutos por árbol de aguacate (*Persea americana*) 'Hass' con deficiencia de Zn durante el ciclo productivo 2022-2023. A. Nitrógeno (N); B. Potasio (K); C. Fósforo (P); D. Zinc (Zn). Las barras de error representan el error estándar de la media. Letras distintas sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0.05$).

5.2. RESULTADOS EN POSCOSECHA

5.2.1 Respiración (CO_2) y producción de etileno

El aguacate es considerado un fruto climatérico (Osuna *et al*., 2005) lo que se confirmó en las dos temporadas de evaluación (Figura 13). En ambas temporadas los frutos donde se aplicó 500 mg L^{-1} se obtuvo la menor respiración, mientras que los frutos testigo y con aplicación de 1500 mg L^{-1} mostró la mayor respiración (Figura 13). Lo anterior sugiere que dosis entre 500 y 1000 mg L^{-1} reducen significativamente la respiración durante poscosecha. Este efecto se puede atribuir a que el zinc regula la semipermeabilidad de las paredes celulares, lo que ralentiza los procesos de respiración y retrasa así la senescencia. (Chauhan *et al.,* 2014). Baatol *et al.* (2022), mencionan que el tratamiento poscosecha de NP´s de ZnO en frutos de melocotón, mantuvo la integridad de la pared celular, retrasando el ablandamiento al reducir la respiración. Por otra parte, el óxido de zinc ha sido utilizado eficazmente como aditivo en recubrimientos para la conservación de alimentos (Le *et al*., 2021), debido a sus propiedades antimicrobianas; por lo que, en parte el efecto de la disminución de respiración en frutos de aguacate puede deberse a esta propiedad del ZnO. En un estudio hecho en aguacate, donde NP´s de ZnO fueron aplicadas como recubrimiento en poscosecha, se atribuye la preservación del peso a la propiedad antimicrobiana del ZnO, que minimiza la pérdida de átomos de carbono en el aguacate durante el proceso de respiración (La *et al*., 2021). El efecto positivo de las nanopartículas en cuanto a la variable de respiración no pudo ser observado en el tratamiento de la concentración más alta (1500 mg L^{-1}); esto podría deberse a la agregación de nanopartículas de ZnO a altas concentraciones (Le *et al.,* 2021), lo cual no permite su mejor aprovechamiento.

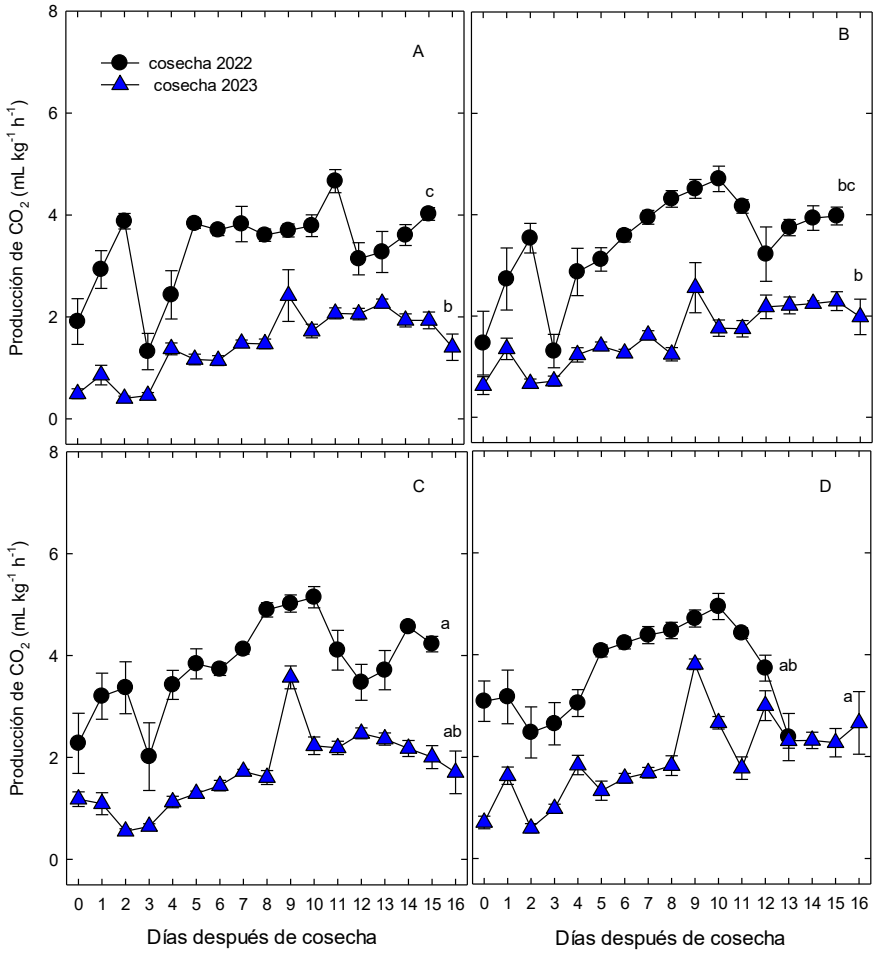


Figura 13. Velocidad de respiración en frutos de aguacate 'Hass' asperjados con NP´s de ZnO durante su maduración a temperatura ambiente (22°± 2°C; 45% HR) en dos ciclos de producción 2022 y 2023. A. 500 mg L^{-1}, B. 1000 mg L^{-1}; C. 1500 mg L^{-1}; D. 0 mg L^{-1}. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. Letras diferentes entre tratamientos en cada año indican diferencias significativas de acuerdo con Tukey (0.05).

No se detectaron diferencias significativas en la producción de etileno entre los frutos de los diferentes tratamientos en las dos temporadas (Figura 14); sin embargo, la aplicación de las nanopartículas de Zn retrasó la producción del etileno; ya que en los frutos donde se aplicó 500, 1000 y 1500 mg L^{-1} se detectó el etileno hasta el día 8 después de la cosecha, no así en los frutos testigo donde el etileno se detectó a los 5 días después de la cosecha (Figura 14). En el ciclo 2023 se

observó un mayor retraso de la producción de etileno, ya que los frutos testigo y tratados con 1500 mg L^{-1} iniciaron la producción de etileno el día 9 y los frutos tratados con 500 y 1000 mg L^{-1} iniciaron el día 10, pero como se observa en la figura 14, el máximo pico de producción de etileno en testigos se presentó el día 11 y en los frutos tratados hasta el día 13. La presencia del etileno inicia la maduración y la completa en varias etapas, una vez que la maduración ha sido iniciada, el proceso es incontrolable (Omboki *et al*., 2015; Jiang *et al*., 2011) lo que se pudo observar en el presente trabajo, por lo que los frutos testigo, tuvieron un menor tiempo de vida de poscosecha.

El proceso de maduración del aguacate es bifásico e incluye un período de baja tasa de respiración y niveles muy bajos de etileno, y un segundo período caracterizado por el comportamiento climatérico. El aguacate es un fruto climatérico y como tal se caracteriza por un aumento en la tasa de respiración y producción de etileno al inicio de la maduración (Yousef y Hassaneine, 2010). A diferencia de otras frutas tropicales, los aguacates también son únicos porque los principales sustratos respiratorios son azúcares del tipo C7 (p. ej., manoheptulosa y perseitol) en lugar de azúcares C6. (p. ej., glucosa, fructosa, sacarosa) (Meyer y Terry, 2008). Se ha informado que estos azúcares C7 son inhibidores del proceso de maduración en el árbol (Landahl *et al*., 2009) y también son los compuestos responsables de las diferencias observadas en la tasa de maduración de las frutas individuales. Los efectos positivos de las NP's ZnO en cuanto a prolongar la vida útil de frutos de aguacate Hass pueden ser atribuidos a que el zinc es indispensable para desarrollar actividades metabólicas y catalíticas en el crecimiento de las plantas (Fageria *et al.,* 2016), regula actividades enzimáticas y reacciones bioquímicas que conducen a la formación de clorofila y carbohidratos (Gawrońska *et al.,* 2018).

Además, se puede atribuir también la inhibición del etileno en frutos tratados con NP's de ZnO a las propiedades físicas similares a las del TiO2, que puede oxidar el etileno en H2O y CO2 cuando se proporciona la irradiación UV (Han y Nie, 2004). Materiales como por ejemplo óxidos cerámicos del tipo nano-TiO2, nano-ZnO, Nano-SiO2 y metales como Nano-Ag, Nano- Au ó Nano-Cu, se han perfilado como sistemas con potencial actividad catalítica cuando son obtenidos en escala

nanométrica (Li *et al*., 2019) (Chi *et al.,* 2019), lo que les podría conferir la capacidad de intervenir en la cantidad de etileno libre producido por las frutas en el sitio de almacenamiento. Chauhan *et al*. (2014), reportan en frutos de mango una extensión de vida útil, tras aplicaciones foliares de Zinc antes de cosechar los frutos y atribuyen este efecto a que los frutos no desarrollaron un aumento de etileno debido a la inhibición del proceso auto catalítico de producción de etileno.

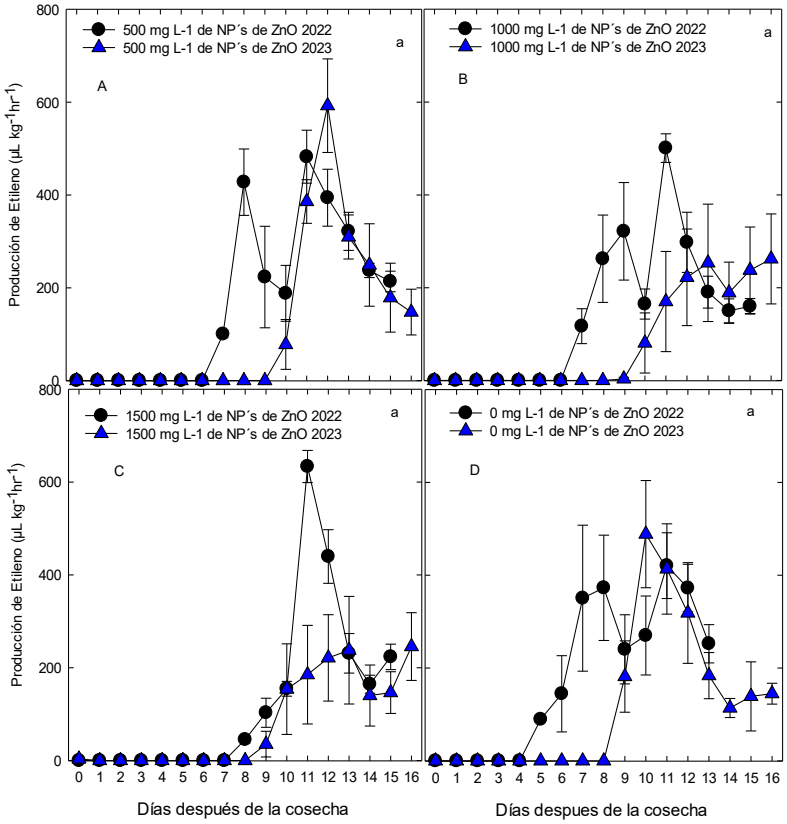


Figura 14. Comportamiento poscosecha de la producción de etileno de frutos de aguacate 'Hass' asperjados con NP´s de ZnO durante su maduración a temperatura ambiente (22°± 2°C; 45% HR) en dos ciclos de producción 2022 y 2023. A. 500 mg L^{-1}, B. 1000 mg L^{-1}; C. 1500 mg L^{-1}; D. 0 mg L^{-1}. Cada punto es la media de seis observaciones y su error. Las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (0.05).

5.2.2 Maduración

La maduración es característica de los frutos de aguacate ‘Hass’ se observa un cambio en la epidermis de color verde a negro, atribuido a la degradación de clorofilas y síntesis de antocianinas (Herrera- González *et al.,* 2021). En el presente trabajo los frutos de aguacate de 2022 testigo tuvieron ese cambio a partir del día 10, no así en los frutos donde se aplicaron las partículas de Zn que mostraron ese cambio gradual hasta el día 12, esto sugiere que la aplicación de las nanopartículas retrasó los cambios asociados con la maduración en 3 días (Figura 15).

En los frutos del ciclo 2023, se observó una tendencia similar, ya que los frutos testigo mostraron el cambio de color de la epidermis al día 10 en tanto que los frutos con aspersión de nanopartículas de Zn se observaron hasta el día 12 (Figura 16). Estos resultados sugieren que las nanopartículas de Zn tienen un efecto retardador en la maduración de los frutos de aguacate ‘Hass’ en aproximadamente 3 d.

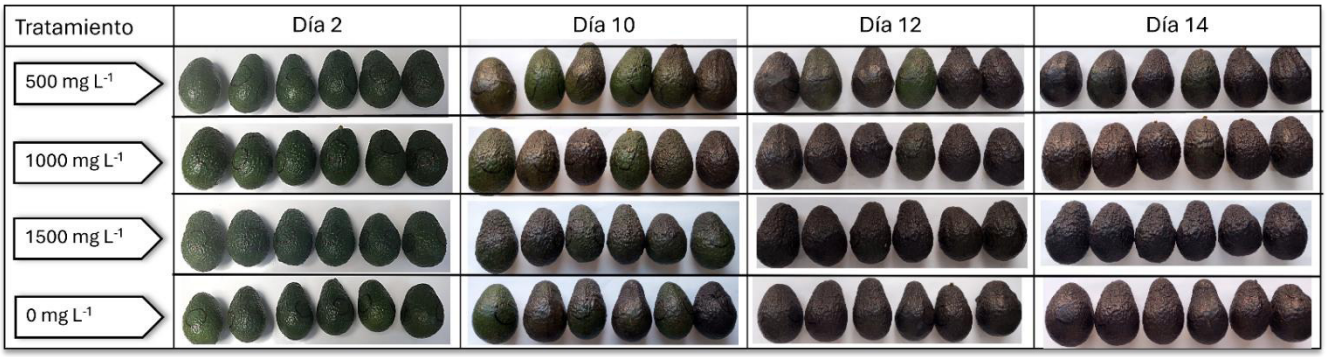


Figura 15. Efecto de la aplicación de nanopartículas de Oxido de Zinc en frutos de aguacate ‘Hass’ durante su vida poscosecha. Ciclo de Producción 2022.



Figura 16. Efecto de la aplicación de nanopartículas de Oxido de Zinc en frutos de aguacate ‘Hass’ durante su vida poscosecha. Ciclo de Producción 2023.

5.2.3 Pérdida de peso

En los frutos testigo de 2022 se observó que la pérdida de peso para el día 13 fue similar que en los frutos tratados con 500 y 1000 mg L^{-1} (13.8%) y no se detectaron diferencias significativas. En 2023, si se detectaron diferencias estadísticas significativas, donde los frutos testigos tuvieron la mayor pérdida de peso y los frutos con aplicación de nanopartículas de Zn mostraron la menor pérdida de peso (Figura 17).

La pérdida de peso en poscosecha se atribuye principalmente a transpiración causada por un déficit de presión de vapor del producto con relación a su entorno (Espinosa *et al*., 2014). La preservación del peso del aguacate tras la adición de nanopartículas de ZnO podría atribuirse a la propiedad antimicrobiana del ZnO, que minimiza la pérdida de átomos de carbono en el aguacate durante el proceso de respiración (Le *et al*., 2021), esto se relaciona con el efecto de menor respiración en frutos tratados con 500 y 1000 mg L^{-1}. En plátano se ha reportado el uso de cubiertas comestibles en poscosecha, adicionadas con NP´s de óxido de zinc, con una disminución de pérdida de peso significativa con respecto al control y a los tratamientos sin ZnO (La *et al.,* 2021). Los recubrimientos de nano óxido de zinc han demostrado una propiedad de barrera única que minimiza eficazmente el intercambio de gases y la transpiración de agua, reduciendo en consecuencia la pérdida de peso de toronjas (Jamali *et al*., 2011), rodajas de naranja (Wu *et al.* 2021) y rodajas de kiwi recién cortado (Li *et al*. 2011).

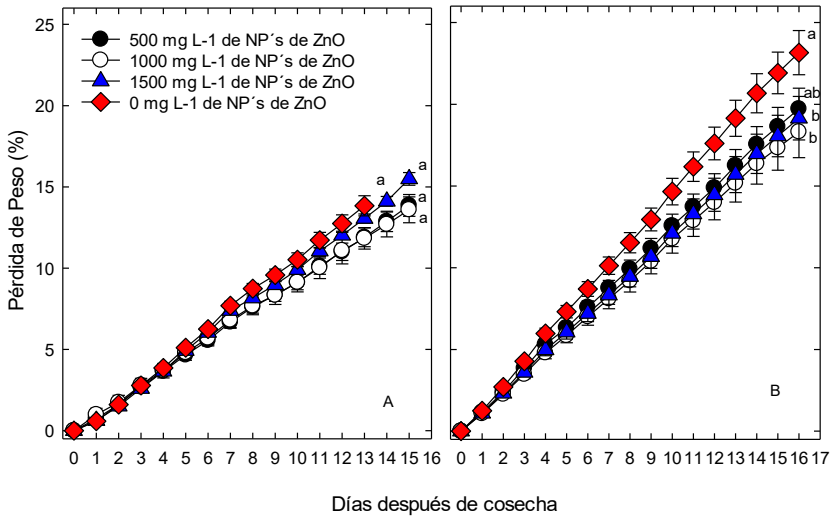


Figura 17. Pérdida de peso de frutos de aguacate 'Hass' fertilizados con NP´s de ZnO, almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C; 45% HR) durante 2022 (A) y 2023 (B). Cada punto es la media de seis observaciones y su error. Las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (0.05).

5.2.4 Firmeza

En 2022 la firmeza de todos los tratamientos se mantuvo similar durante 5 d (> 26 N) después de la cosecha, posteriormente al día 7 la firmeza de los frutos testigo disminuyó significativamente (4.2. N) en comparación con el resto de los tratamientos (22-23 N), fue hasta los días 11-13 que la firmeza de los frutos donde se aplicó nanopartículas de Zn alcanzó entre 1 y 6 N (Figura 18 A). En 2023 se observó un comportamiento similar, donde los frutos asperjados con NP's de Zn en dosis de 500 a 1500 mg L^{-1} (5-11 N) mostraron una firmeza mayor aun a los 10 d después de cosechados con respecto a los frutos testigo (2 N) (Figura 18 B). Los aguacates experimentan un reblandecimiento dramático del mesocarpio durante su período climatérico, el cual se asocia principalmente a un des ensamblaje de la pared celular atribuido a modificaciones inducidas por la maduración con un impacto en los polisacáridos primarios de la pared celular; lo que influye en la calidad y capacidad de almacenamiento de la fruta (Pedreschi *et al*., 2019).

La fertilización foliar de NP´s de ZnO mejoró esta característica de calidad en la poscosecha de aguacate 'Hass'. Salazar *et al*. (2014), tras remediar la deficiencia de zinc en arboles de aguacate, con aplicaciones en suelo de $ZnSO_4$ obtuvo un mejor comportamiento de la poscosecha de los frutos. Los frutos mantuvieron por más tiempo la firmeza del fruto (2 d) almacenado a temperatura ambiente en comparación con el testigo sin aplicaciones de Zn.

Rasouli y Saba (2018) observaron este mismo efecto en la firmeza de frutos de manzana tratados con NP's de Zn, y mencionan que esto puede atribuirse a el efecto del Zn sobre el contenido de Ca.

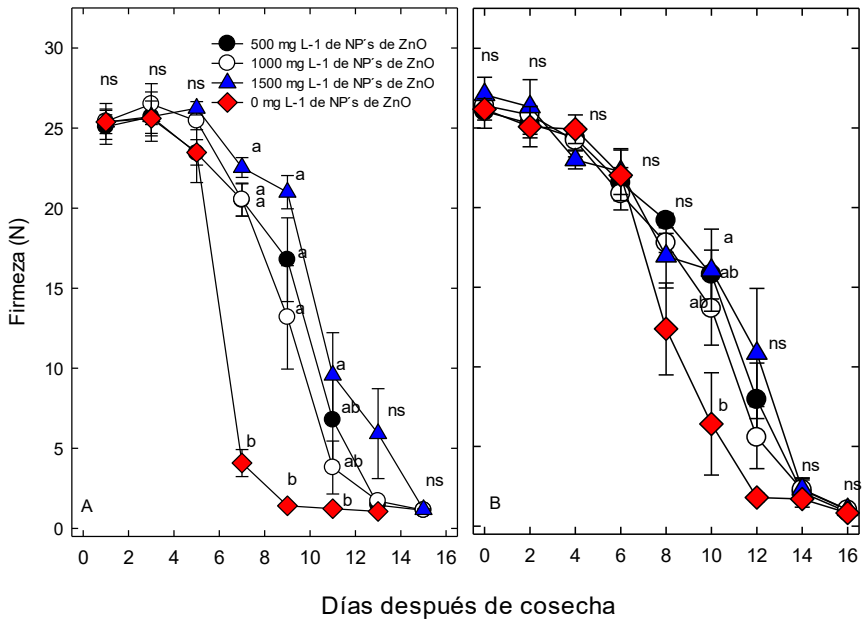


Figura 18. Firmeza de frutos de aguacate 'Hass' fertilizados con NP´s de ZnO (0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1}), almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C; 45% HR). de los ciclos de producción A) 2022 y B) 2023. Cada punto es la media de seis observaciones y su error. Las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (0.05).

5.2.5 Color (L*, C* y h)

En conjunto los parámetros de color L*, C* y h, al descender notablemente nos indican que el color del epicarpio cambia de verde a negro, este cambio se da por una disminución de la clorofila y síntesis de otros pigmentos como las antocianinas, entre las cuales está involucrada la cianidina 3-0-glucósido (Cox *et al*., 2004). Este cambio de color en la piel, de verde a completamente negro fue similar a lo reportado por Herrera- González *et al.* (2017) en aguacate 'Méndez'.

En 2022 los frutos tratados con dosis de mayor concentración con NP´s de ZnO, (1000 y 1500 mg L^{-1}) tendieron a ser más oscuros y opacos (valores de L* y C*) cuando alcanzaron su madurez de consumo en tanto que los frutos testigo y tratados con 500 mg L^{-1} (Figura 19 A-D). En 2023 la tendencia fue similar (Figura 19), este efecto puede ser atribuido a que el aumento de antocianinas está relacionado mayor fotosíntesis y la acumulación de azúcares, lo que incrementa la biosíntesis de flavonoides necesarios en la vía de síntesis de antocianinas (Maity, Babu y Sarkar 2021). Sin embargo, cabe resaltar que en 2023 los frutos del tratamiento con 1000 mg L^{-1} conservaron por más tiempo la coloración verde de su epicarpio (Figura 19 D-F). Esto se puede atribuir a la reducción en la tasa de degradación de la clorofila al disminuir la velocidad de respiración, efecto que fue reportado en la poscosecha de plátano con tratamientos de recubrimiento con NP´s de ZnO (La *et al.,* 2021).

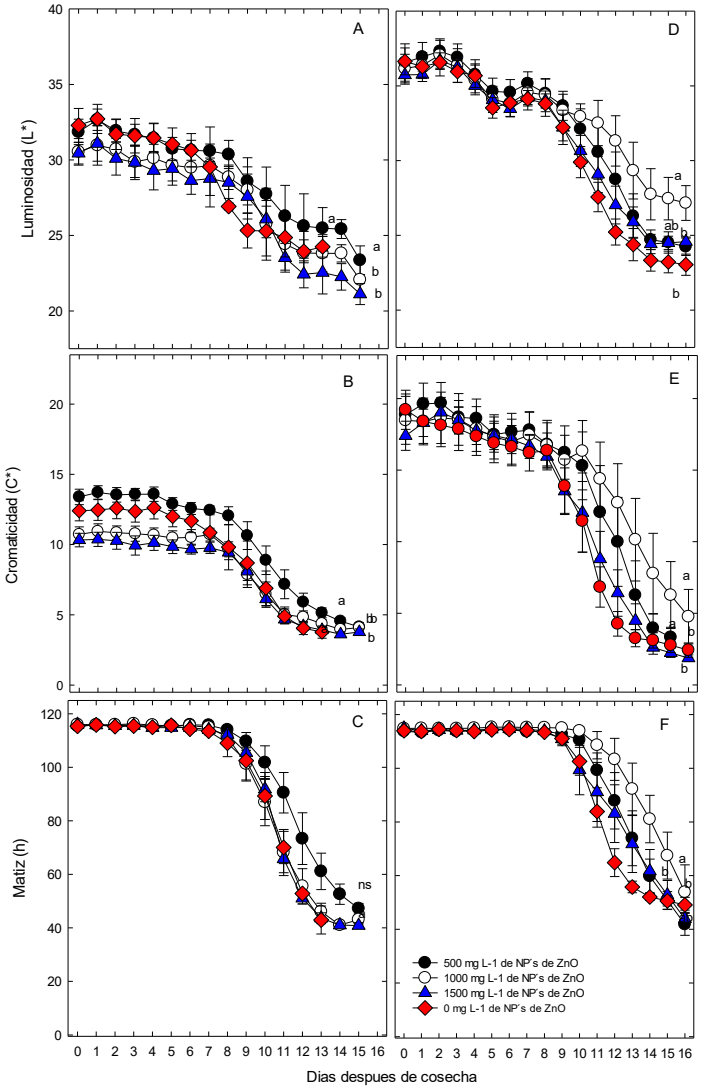


Figura 19. Variables de color de frutos de aguacate 'Hass' fertilizados con NP´s de ZnO (0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1}), almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C), de los ciclos de producción 2022 (A, B y C) y 2023 (D, E y F). Cada punto es la media de seis observaciones y su error. Las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (0.05).

5.2.6 Compuestos fenólicos

El comportamiento de los compuestos fenólicos en la pulpa de los frutos evaluados en 2022 y 2023 son similares, aunque la concentración fue mayor en 2023 que en 2022 (Figura 20 A y B). En los frutos testigo la concentración de los compuestos

fenólicos disminuye constantemente desde el inicio de la cosecha hasta entre 8 y 10 d, posteriormente se vuelve a incrementar durante la senescencia a valores similares al inicio de la cosecha (Figura 20 A y B). Lyu *et al*. (2023) indican que los compuestos fenólicos en la pulpa de aguacate 'Hass' disminuyen de 260 mg EAG $100g^{-1}$ en madurez fisiológica a 200 mg EAG $100g^{-1}$ en madurez de consumo, lo cual es similar a lo encontrado en el presente trabajo.

En los frutos tratados con NP's de ZnO en 2022 los frutos donde se aplicó 500 mg L^{-1} disminuyeron durante la maduración, en los frutos donde se aplicó 1000 y 1500 mg L^{-1} mostraron una máxima concentración de compuestos fenólicos a los 7 d y posteriormente disminuyeron constantemente (Figura 20 A). En tanto que en 2023 se observó una tendencia similar dado que los frutos donde se aplicó 500 mg L-1 mantuvieron valores similares durante los primeros 7 d y posteriormente disminuyen, en tanto que los frutos donde se aplicó 1000 ó 1500 mg L^{-1} tuvieron una disminución constante, aunque en senescencia mostraron un aumento de la concentración de los compuestos fenólicos (Figura 20 B).

En madurez de consumo los frutos testigo presentaron menores compuestos fenólicos (82.8 – 118 mg EAG $100g^{-1}$) en comparación con los tratamientos que recibieron fertilización foliar de NP´s de ZnO (88-147 mg EAG $100g^{-1}$). Los compuestos fenólicos poseen un excelente potencial antioxidante debido a su alta reactividad redox para reducir los radicales libres y prevenir reacciones destructivas en cascada. Puede fortalecer las paredes de los vasos sanguíneos, promover la digestión, reducir los lípidos en la sangre, mejorar la inmunidad humana, prevenir la arteriosclerosis y la trombosis, reducir la diuresis, disminuir la presión arterial y prevenir la proliferación de bacterias y células cancerosas (Lyu *et al*., 2023). Las fertilizaciones foliares de NP´s de ZnO incrementaron moderadamente el contenido de estos compuestos en los frutos listos para su consumo. Estos resultados pueden estar asociados a que la aplicación foliar de NP´s ZnO tienen un mayor potencial de transporte, mayor biodisponibilidad y absorción que les permite interactuar con estructuras intracelulares que estimulan la formación de ROS (García *et al.*, 2019). Las nanopartículas de Zn causan estrés oxidativo y conducen a la producción de metabolitos secundarios, como flavonoides y fenoles, que actúan como quelantes

de metales (donantes de electrones) y absorbentes de ROS (Gupta y Pandey 2020; Hussain, Hadi y Rongliang 2021; Mogazy y Hanafy 2022). En consecuencia, la reducción de la peroxidación lipídica (debido a la reducción de la acumulación de ROS) provoca un aumento del índice de estabilidad de la membrana y preserva los compuestos bioactivos (Rai-Kalal y Jajoo 2021).

5.2.7 Flavonoides

Los flavonoides son compuestos bioactivos que se han relacionado con una disminución de diferentes procesos de deterioro en el cuerpo humano debido a su capacidad para reducir la formación de radicales libres y capturar radicales libres (Tao *et al*., 2024). En 2022 los flavonoides totales se mantuvieron entre 4.2 y 5.1 mg EQ 100 g^{-1} durante los primeros 6 d después de la cosecha, posteriormente disminuyeron hasta 3.8 mg EQ 100g^{-1} entre los 7 y 9 d, para posteriormente incrementarse hasta 8 mg EQ 100 g^{-1} en el día 13 (Figura 20 C). Un comportamiento similar mostraron los frutos donde se aplicó NP's de ZnO, pero con retraso de 2 d con respecto a los frutos testigo (Figura 20 C). En los frutos de la cosecha, 2023 la concentración de flavonoides se mantuvo entre 4.2 y 6.2 mg EQ 100g^{-1} por 7 d y posteriormente se incrementó significativamente hasta valores entre 10 y 11 mg EQ 100g^{-1} en los días 14 y 15 (Figura 20 D). En los frutos donde se aplicó NP´s de ZnO de 500 a 1500 mg L^{-1} la acumulación de flavonoides fue significativamente menor (Figura 20 D). Villa *et al*. (2011) reportan que en aguacate 'Hass' el mayor contenido de flavonoides (26.36 mg EQ 100 g^{-1}) se obtiene en la fase cercana al climaterio y en la fase de climaterio (21.41 mg EQ 100 g^{-1}), mientras que en las fases de preclimaterio y sobre maduración o posclimaterio la concentración de fenoles es menor (9.91 -y 19.68 mg EQ 100 g^{-1}). En el presente estudio, la máxima concentración de flavonoides fue en posclimaterio en frutos testigo y en los frutos donde hubo aplicación de NP's de ZnO la concentración se incrementó, pero en menor proporción (Figura 20 C y D). La aplicación de NP´s de Zn en el cultivo de pera tuvo un efecto similar, el Zn influyó en una menor síntesis de flavonoides con respecto a su testigo (Hernández *et al*., 2023).

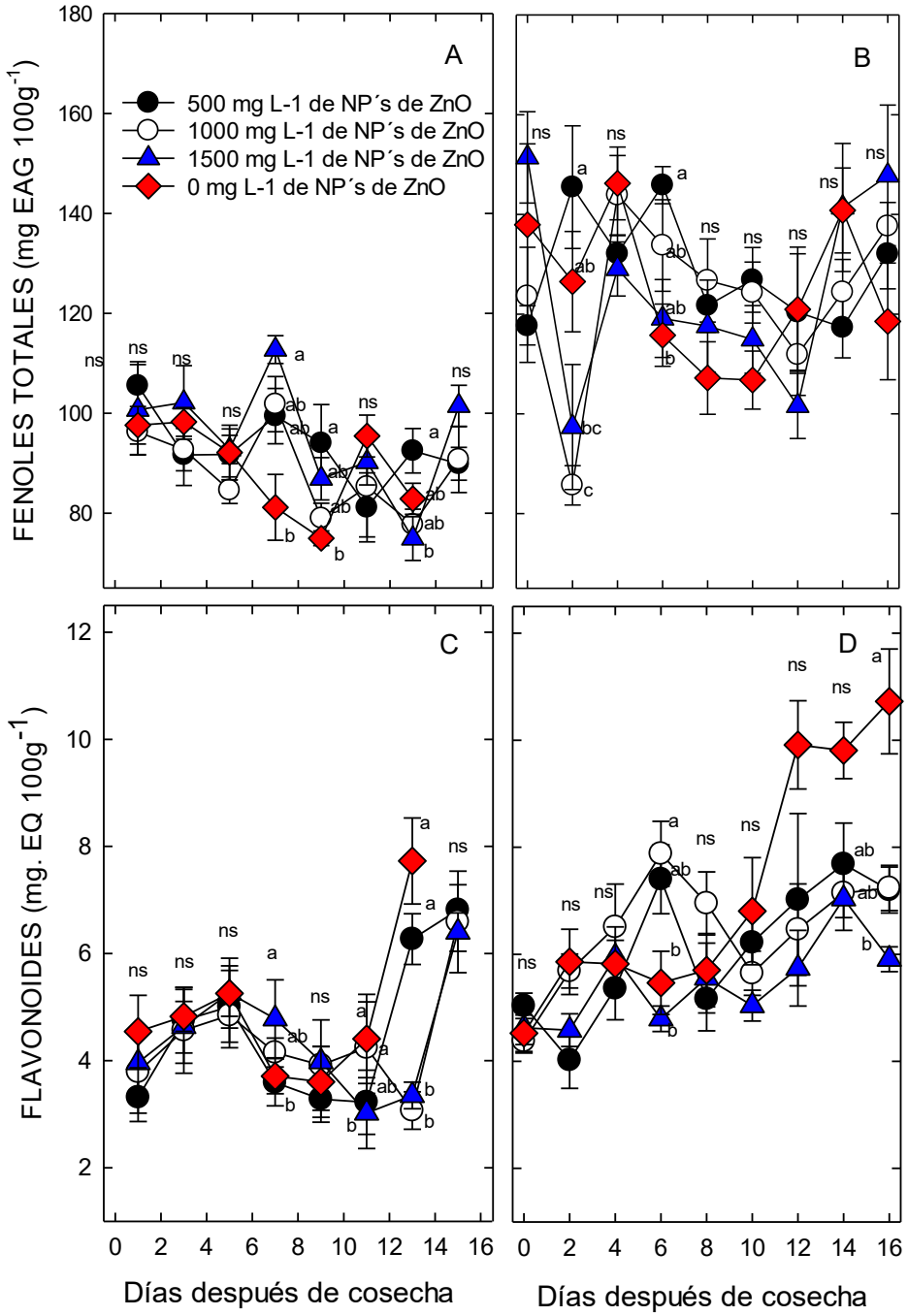


Figura 20. Fenoles totales (A y B) y Flavonoides totales (C y D) de frutos de aguacate 'Hass' fertilizados con NP´s de ZnO (0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1}), almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C), de los ciclos de producción 2022 (A Y C) y 2023 (B Y D). Cada punto es la media de seis observaciones y su error. Las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (0.05).

5.2.8 Actividad Antioxidante

En 2022 la actividad antioxidante evaluada por DPPH se mantuvo entre 28-31.5 mg EAA 100g^{-1} los primeros 5 d, posteriormente disminuyó a 25.9 mg EAA 100g^{-1}, manteniéndose en estos valores hasta la senescencia (Figura 21 A). En los frutos donde se aplicó NP's de ZnO en dosis de 500 o 1000 mg L^{-1}, la actividad se mantuvo constante durante el periodo de evaluación, a excepción del tratamiento de 1000 mg L^{-1} donde la actividad se incrementó hasta 32.3 mg EAA 100 g^{-1} al día 13 (Figura 21 A). Finalmente, los frutos de la dosis de 1500 mg L^{-1} la actividad se incrementó del día 7 alcanzando su máximo el día 11 con 35.7 mg EAA 100g^{-1} y manteniéndose en valores altos aun en senescencia (Figura 21 A). Los frutos donde se aplicó NP's de ZnO mostraron significativamente mayor actividad en madurez de consumo y senescencia. En 2023 no se detectaron diferencias en la actividad antioxidante por DPPH, inicialmente la actividad entre 23.7 y 38.5 mg EQ 100g^{-1} en todos los tratamientos disminuyó a valores entre 14.3 y 17.7 mg EQ 100g^{-1} a los 5 d, para posteriormente incrementarse constantemente hasta 42.1-70.9 mg 100g^{-1} a los 15 d, durante senescencia (Figura 21 B).

Lyu *et al*. (2023) indican que la actividad antioxidante evaluada por DPPH disminuye de 13 a 8 mg EAA 100g^{-1} en la pulpa de aguacate 'Hass' en estado inmaduro a maduro, lo cual es similar a lo encontrado en el presente experimento; sin embargo, se observa que la aplicación de NP's de ZnO incrementa la actividad antioxidante por DPPH en la senescencia. El aguacate es una buena fuente de compuestos bioactivos tales como los ácidos grasos monoinsaturados: oleico, linoleico y palmitoleico y los esteroles como el β-sitosterol, estigmasterol y campesterol (Wang *et al.,* 2010). La presencia de éstos y de otros compuestos como α-tocoferol, carotenoides, clorofilas y flavonoides en el extracto de aguacate contribuye a la mayor estabilización del radical libre DPPH (Cruz *et al.*, 2015).

El método FRAP se empleó para evaluar la actividad antioxidante en función de la capacidad de los extractos para reducir el complejo (Fe (III) $(TPTZ)_2$ $)^{3+}$. Con este método en la cosecha de 2022, la actividad fue mayor en los frutos donde se aplicó 1500 mg L^{-1} de NP´s de ZnO, el comportamiento es similar al observado con el

método DPPH, donde hay mayor actividad antioxidante en la madurez de consumo (Figura 21 C). En 2023 el comportamiento fue similar, detectando que los frutos testigo mostraron la menor actividad en la fase de maduración (Figura 21 D). No así en los frutos donde se aplicó NP's de ZnO quienes mostraron significativamente mayor actividad antioxidante por FRAP (Figura 21 D). Lyu *et al*. (2023) indican que la actividad antioxidante evaluada por FRAP en la pulpa de aguacate 'Hass' se mantiene similar durante la maduración. En el presente trabajo se observa que durante la maduración la actividad antioxidante evaluada por FRAP disminuye y se incrementa, probablemente asociadas a cambios en diferentes moléculas del metabolismo durante el fenómeno.

El ABTS se utiliza como agente cromo génico, que se oxida con oxígeno activo para formar un ABTS+ estable libre de cationes azul-verde (Lyu *et al*., 2023). En el presente estudio, la capacidad antioxidante medida por el método ABTS en ambos ciclos de producción evaluados, mostró una tendencia similar, es decir hay un aumento gradual en la madurez de consumo en todos los frutos evaluados, con mayor evidencia en los frutos testigo en 2022 y sin diferencias significativas entre tratamientos en 2023 (Figura 21). Este comportamiento se asocia a los flavonoides (r=0.41**). Hernández *et al.* (2024) encontró en lechuga hidropónica con NP's ZnO, a concentración de 25 mg L^{-1} un aumento en los niveles de los fenoles y flavonoides. Las NP's metálicas son capaces de inducir cualquier tipo de defensa en la planta, estimulando la producción de metabolitos secundarios, como los fenoles y flavonoides (Hatami *et al.* 2019).

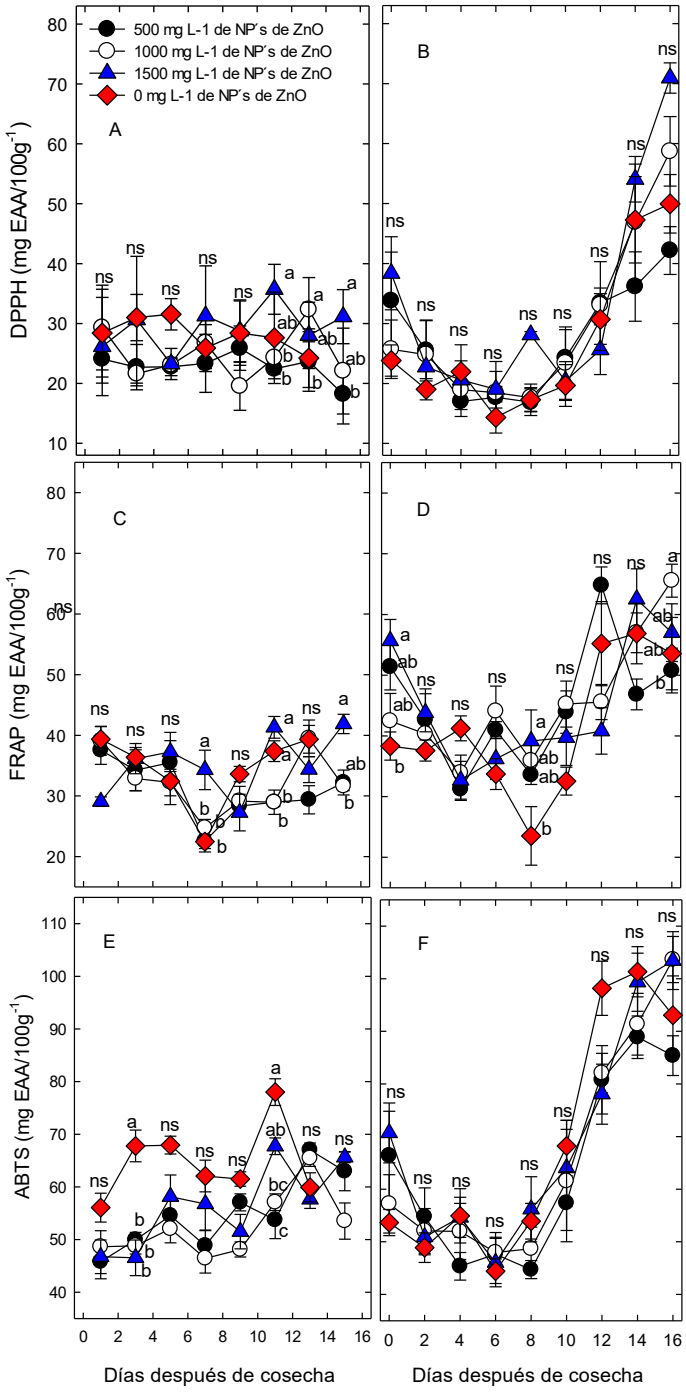


Figura 21. Actividad antioxidante por método DPPH (A y B), FRAP (C y D) y ABTS (E y F), en frutos de aguacate 'Hass' fertilizados con NP´s de ZnO (0, 500, 1000 y 1500 mg L^{-1}), almacenados a temperatura ambiente (22°± 2°C; HR) de 2022 (A, C y E) y 2023 (B, D y F). Cada punto es la media de seis observaciones y su error. Las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (0.05).

6. CONCLUSIONES

Las nanopartículas de ZnO administradas mediante aplicación foliar demuestran un impacto beneficioso en la producción total de frutos por árbol, con un aumento en el rendimiento observado desde el primer año de administración y sostenido en el año posterior; el tratamiento de 1500 mg L^{-1} presentó el mayor rendimiento en comparación con el grupo control. Por otro lado, el aumento en el rendimiento se correspondió con una reducción en las concentraciones minerales (N, P, K, Zn) en las hojas de aguacate, principalmente debido a un efecto de dilución de nutrientes. Sin embargo, se requiere investigación adicional para establecer una correlación entre este efecto y la medición de la biomasa total de los árboles evaluados. Además, la evaluación del contenido de nutrientes en frutos por árbol, basada en el peso seco, indica una mayor acumulación de N, P, K y Zn en los árboles tratados con nanopartículas de ZnO, particularmente significativa con la dosis de 1500 mg L^{-1}. Los efectos son bastante beneficiosos, dada la necesidad actual de aumentar la producción de alimentos. Si bien el efecto de difusión de nutrientes puede conducir a una reducción del contenido de nutrientes en las hojas con un mayor rendimiento, esta reducción no constituye una alteración sustancial.

A mayor concentración de nanopartículas de ZnO asperjadas vía foliar por dos años en el cultivo de aguacate se obtiene un mayor rendimiento de frutos con un coeficiente de determinación de 0.897.

El uso de fertilización foliar con NP´s de ZnO (500, 1000 y 1500 mg L^{-1}) asperjada al aguacate ‘Hass’ en dos ciclos de producción en el cultivo de aguacate, retrasó el inicio de la maduración hasta 3 d debido a retraso en la producción de etileno y firmeza de los frutos. La dosis de 1500 mg L^{-1} de NP´s de ZnO en aplicaciones foliares fue la que destaco en las variables de calidad poscosecha como firmeza, flavonoides y fenoles totales, así como actividad antioxidante (DPPH y FRAP).

8. LITERATURA CITADA

Abd El-Azeim, M. M., Sherif, M. A., Hussien, M. S., Tantawy, I. A. A., & Bashandy, S. O. (2020). Impacts of nano-and non-nanofertilizers on potato quality and productivity. Acta Ecologica Sinica 40(5), 388-397. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2019.12.007

Aguilar, K. F. A. (2021). Análisis de la variación de temperatura y precipitación y su efecto en la fenología del aguacate, en dos zonas productoras de Morelos.

Ahmed, R., Uddin, M. K., Quddus, M. A., Samad, M. Y. A., Hossain, M. M., & Haque, A. N. A. (2023). Impact of foliar application of zinc and zinc oxide nanoparticles on growth, yield, nutrient uptake and quality of tomato. Horticulturae, 9(2), 162.

Amezcua, J., & Lara, M. (2017). El zinc en las plantas. Ciencia, 68(3), 28-35.

Barea, J. M., Escudero, J. L., and Azcon-G. de Aguilar, C. 1980. Plant Soil 54, 107-1 17.

Barker, A.V., Pilbeam, D.J., (2015). Handbook of Plant Nutrition. CRC press.

Benzie, I.F., Strain, J.J., (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “Antioxidant Power”: The FRAP assay. Analytical. Biochemistry 239: 70-76.

Betancourt-Galindo, R., Berlanga Duarte, M. L., Puente Urbina, B. A., Rodríguez-Fernández, O. S., Sánchez-Valdés, S. (2010). Surface modification of ZnO nanoparticles. In Materials science forum 644: 61-64. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.644.61

Brand-Williams, W., Culivier, M.E., Berset, C., (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. Food Science Technology, 28, (1), 25-30.

Cakmak, I., Brown, P., Colmenero-Flores, J.M., Husted, S., Kutman, B.Y., Nikolic, M., Rengel, Z., Schmidt, S.B., Zhao, F.-J. (2023). Micronutrientes. In: Marschner's Mineral Nutrition of plants, Rengel, Z., Cakmak, I., White, P.J. (Eds.), pp 283-385. Elsevier-Academic Press, Cambridge, MA, USA.

Chil-Núñez, I., Molina-Bertrán, S., Ortiz-Zamora, L., Dutok, C. M. S., & Souto, R. N. P. (2019). Estado del Arte de la especie Persea americana Mill (aguacate). Amazonia Investiga, 8(21), 73-86.

Chvapil, M. (1973). New aspects in the biological role of zinc: a stabilizer of macromolecules and biological membranas. Life Sci. 13: 1041-1049

Crowley, D. E. y Smith, W. (1996). Soil factors associated with zinc deficiency in avocado. *California Avocado Society Yearbook*, *79*, 171-183.

Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, G., Abadía, J., Khorasani, R., (2016). Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (Punica granatum cv. Ardestani) fruit yield and quality. Sci. Hortic. 210, 57–64.

Estrada-Arellano, K. L., Vázquez-Vázquez, C., Betancourt-Galindo, R., Muy-Rangel, M. D., Valenzuela-Nuñez, L. M., García-Hernández, J. L., & Gallegos-Robles, M. Á. (2023). Foliar fertilization with ZnO nanoparticles and its effect on production, biophysical and nutraceutical quality of pecan nuts (Carya illinoinensis). Terra Latinoamericana, 41.

Fageria, N. K. (2016). The use of nutrients in crop plants. Chapter 8, 241- 270. CRC press, Boca Ratón, Fla, USA.

Fortis, S. P., Batrinou, A., Georgatzakou, H. T., Tsamesidis, I., Alvanidis, G., Papageorgiou, E. G., ... & Kriebardis, A. G. (2024). Effect of silica-based mesoporous nanomaterials on human blood cells. Chemical Biological Interactions 5: 387: 110784. DOI:10.1016/j.cbi.2023.110784

García-Martínez, R., Cortés-Flores, J. I., López-Jiménez, A., Etchevers-Barra, J. D., Carrillo-Salazar, J. A., & Saucedo-Veloz, C. (2021). Rendimiento, calidad y

comportamiento poscosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ de huertos con diferente fertilización. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12(2), 205-218.

Garza, A. CA, Juárez-Maldonado A, González-Morales S, Cabrera-De la Fuente M, Cadenas-Pliego G, Morales-Díaz AB, Benavides-Mendoza A. (2023). ZnO nanoparticles as potential fertilizer and biostimulant for lettuce. Heliyon 9(1), e12787. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12787

Gawrońska, H., Przybysz, A., Szalacha, E., Pawlak, K., Brama, K., Miszczak, A., ... & Gawroński, S. W. (2018). Platinum uptake, distribution and toxicity in Arabidopsis thaliana L. plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 147, 982-989.

Ghani, M. I., Saleem, S., Rather, S. A., Rehmani, M. S., Alamri, S., Rajput, V. D., ... & Liu, M. (2022). Foliar application of zinc oxide nanoparticles: An effective strategy to mitigate drought stress in cucumber seedling by modulating antioxidant defense system and osmolytes accumulation. Chemosphere 289:133202. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.133202

Hassan, S., Muzaffar, S., & Ahmed, R. (2026). Nanotoxicity in agricultural ecosystems: A review of the phytotoxic impacts of metal-based nanofertilizers on food crop safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *74*(2), 412–427. doi.org

Herrera-González, J. A., Salazar-García, S., Martínez-Flores, H. E. y Ruiz-García, J. E. (2017). Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento postcosecha del fruto de aguacate ‘Méndez’. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *40*(1), 55-63.

Herrera-González, J. A., Salazar-Salazar, A. S. y Bautista-Baños, S. (2021). Comportamiento postcosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ producidos en

clima semicálido. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *19*(2), 41-52.

Hughes, M., Martin, L. W.. and Breen, P. J. (1978). J. Am. Soc. Horr. Sci. 103, 179-181.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2015. Paquete Tecnológico para el cultivo de Aguacate, marzo 2015.

Jarrell, W. M., & Beverly, R. B. (1981). The dilution effect in plant nutrition studies. Advances in agronomy, 34, 197-224.

Kaya, C., Higgs, D., (2001). Inter-relationships between zinc nutrition, growth parameters, and nutrient physiology in a hydroponically grown tomato cultivar. J. Plant Nutr. 24, 1491–1503.

Khot, L.R., Sankaran, S., Maja, J.M., Ehsani, R., Schuster, E.W., (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. Crop Protect. 35, 64–70.

Koen, T.J., S. F. Du pleissis and J. H. Terblanche. (1990). Nutrirional factors envolved in physiological post- harvest fruit disorders of avocado (cv Fuerte). Acta Hort. 257: 543- 550.

Maitera, O. N., Osemeahon, S. A., & Barnabas, H. L. (2014). Proximate and elemental analysis of avocado fruit obtained from Taraba state, Nigeria. Indian Journal of Science and Technology, 2(2), 67-73.

Martin, W. E., and Matocha, J. E. (1973). In “Soil Testing and Plant Analysis” (L. M. Walsh and J. D. Beaton, eds.), pp. 393-426. Soil Sci. SOC. Am., Madison, Wisconsin.

Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L. A., Puente-Urbina, B. A., & Lira-Saldívar, R. H. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de Capsicum annuum por nanopartículas de óxido de zinc. Nova scientia, 8(17), 140-156.

Mendoza-Willson A.M.R., Baéz-Sañudo., (2000). Medición de la tasa respiratoria en sistema cerrado en melón cantaloupe. Horticultura Mexicana 8: 158-163

Ministerio Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2010). *Cultivo del Aguacate* (Primera ed.). El Salvador: IICA.

Molina, E. (2002). Fertilización foliar de cultivos frutícolas. pp. 82-100. En: Meléndez, G. y E. Molina (eds.). Memorias Seminario Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones. Laboratorio de Suelos CIA-UCR/ACCS, San José.

Morab, S., Ramachandran, V., & Patil, S. B. (2021). Foliar application of zinc nanoparticles enhances yield and quality metrics in pomegranate and grapevine orchards. *Scientia Horticulturae*, *288*, Article 110342. doi.org

Mortvedt, J. J., Giordano, P. M. y Lindsay, W. L. (Eds.). (1972). *Micronutrients in agriculture*. Soil Science Society of America.

Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., Kumar, D.S., (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Sci. 179, 154–163.

Nandhini, N. T., Rajeshkumar, S., & Mythili, S. (2019). The possible mechanism of eco-friendly synthesized nanoparticles on hazardous dyes degradation. Biocatalysis and agricultural biotechnology 19, 101138. DOI:10.1016/j.bcab.2019.101138

Neguerula, I. A. (2012). Is the Color Measured in Food the color that we see? *In*: Color in Food. Technological and Psychophysical aspects. Caivano, J.L., M. del. P Buera. (eds.) CRC Press-Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida, USA. pp: 81-91.

NMX-FF-008 (1982) Productos alimenticios no industrializados para uso humano -Fruta fresca –Determinación de tamaño con base al peso unitario. Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación en 1982-06-10.

Norma Oficial Mexicana NOM-021. (2002). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial, martes 31 de diciembre 2002.

Oluwole S, Yusuf K, Fajana O, Olaniyan D. Qualitative studies on proximate analysis and characterization of Oil From *Persea americana* (Avocado Pear). J Nat Sci Res. (2013); 3(2): 68-73.

Orhevba, B. A., & Jinadu, A. O. (2011). Determination of physico-chemical properties and nutritional contents of avocado pear (Persea americana M.). Academic Research International, 1(3), 372.

Paull, R. E., & Duarte, O. (2011). *Tropical fruits* (Vol. 1). CABI.

Química (2016), doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.052

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine 26: 1231-1337.

Rebolledo, A., & Burbano, R. A. (2023). Nutrient balance in Hass avocado trees as a tool to optimize crop fertilization management. Agronomy, 13(8), 1956. https:// doi.org/10.3390/agronomy13081956

Rengel, Z., Cakmak, I., White, P.J. (Eds). (2022). Marschener´s mineral nutrition of plants, 4th ed, Academic Press, Cambridge, MA, USA.

Rengifo Mejía, P. A., Mora Gaviria, A., Estrada Mesa, E. M., Londoño Zuluaga, J. D., & Guzmán Muñoz, M. S. (2019). Conceptos de fertilización para el cultivo de aguacate.

Reyes J. C., Rubi A. M., Aguilar M. J. J., (2013). Manejo orgánico en el cultivo de aguacate. Fundación Salvador Sánchez Colin.

Rivera-Gutiérrez, R. G., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Betancourt-Galindo, R., Yescas-Coronado, P., & Orozco-Vidal, J. A. (2021). Nanoparticulas de óxido de zinc y su efecto en el rendimiento y calidad de

melón. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 12(5): 791-803. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2987

Rosales-Soto, A. y Arechavala-Vargas, R. (2020). Agricultura inteligente en México: Analítica de datos como herramienta de competitividad. *Vinculatégica EFAN*, *6*(2), 1415-1427

Rossi, L., Fadenia, L.N., Sharifan, H., Ma, X., & Lombardini, L. (2019). Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in cof fee (Cof fea arabica L.), Plant Physiology and Biochemistry, 135, 160-166. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.005

SADER (2023). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobierno del Estado de Michoacán 2023. Recuperado en: https://sader.michoacan.gob.mx/cierra envio-de-aguacate-michoacano-con-140-mil-toneladas-para-super-bowl/

SAGARPA (2015). Paquete tecnológico del aguacate. En: SAGARPA, ed. Agenda Técnica Agrícola Morelos. Cuernavaca, Morelos: SAGARPA, pp. 17-42.

Salazar G., S., M. E. Ibarra, P. Gutiérrez-Martínez y R. Medina. (2014). Fertilización con zinc y boro en huertos de aguacate 'Hass' sin riego en Nayarit. INIFAP-CIRPAC, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Libro Técnico Núm. 02. Nayarit, México.

Salazar G.S. (2002). Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. INPOFOS–INIFAP. Querétaro, Qro.

Salazar, G. S.; Lord, E. M. and Lovatt, C. J. (2013). Reproductive biology. In: avocado: botany, production and uses. Schaffer, B.; Wolstenholme, N. and Whiley, A. W. (Eds.). 2nd. Ed. CAB International. Oxfordshire, UK. 118-167 pp

Salazar-García S, & Lazcano-Ferrat I (1999). Diagnóstico Nutrimental del Aguacate "Hass" Bajo Condiciones de Temporal. Chapingo Serie Horticultura 5: 173-184.

Salazar-García S, Cossio-Vargas L, González-Durán I. (2009). La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate 'Hass' en huertos sin riego. Agricultura Técnica en México 35(4): 436-445.

Salazar-García, S. (2002). Nutrición del aguacate: principios y aplicaciones. Instituto Nacional de investigaciones forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP) e Instituto de la potasa y el Fósforo (INPOFOS). Queretaro, Mexico.

Salazar-García, S., Ibarra-Estrada, M. E., Gutiérrez-Martínez, P., & Medina-Torres, R. (2014). Fertilización con zinc y boro en huertos de aguacate 'Hass' sin riego en Nayarit. INIFAP-CIRPAC, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Libro Técnico Núm. 02. Nayarit, México.

Salazar-García, Samuel, Luis Eduardo Cossio-Vargas, and Isidro José Luis González-Durán. "Corrección de la deficiencia crónica de zinc en aguacate'Hass'." *Revista Chapingo. Serie horticultura* 14.2 (2008): 153-159.

Selladurai, R. y C. M. Awachare, (2020). Nutrient management for avocado (Persea americana miller). Journal of plant nutrition 43(1), 138-147. DOI:10.1080/01904167.2019.1659322

SIAP (Servicio de Información Agrícola y Pesquera). (2020). Cierre de la Producción Agrícola. Consultado el 29 de abril de 2021. http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/.

SIAP (Servicio de Información Agrícola y Pesquera). (2023). Cierre de la Producción Agrícola. Consultado el 19 de septiembre de 2024. nube.siap.gob.mx/cierre agrícola/

SIAP (Servicio de Información Agrícola y Pesquera). (2024). Cierre de la Producción Agrícola. Consultado el 19 de septiembre de 2024. nube.siap.gob.mx/cierre agrícola/

Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M., (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods Enzymology 299: 152-178.

Stino, R. G., El-Shenawy, I. E., Abdel-Kareem, H. A., & Rania, A. E. (2018). Impact of Nitrogen Application Timing and Boron-Zinc Spray on" Fuerte" Avocado. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 1-13.

Sun, Q., Tan, X., & Roberts, M. S. (2018). Zinc oxide nanoparticle sunscreens: Lack of systemic absorption and potential toxicity via intact human skin. *Journal of Investigative Dermatology*, *138*(11), 2315–2322. doi.org

Vásquez, A. y Pire, R. (1998). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre parámetros de crecimiento del aguacatero (*Persea americana* Mill.). Proc Interamericana Sociedad Tropical de Horticultura. 42: 278-283.

Vorster, L. L. and J. J. Bezuidenhout. (1988). Does zinc play a role in reducing Pulp spot South African Avocado Growers Assn. Yrbk. 11. P. 60.

Wang, J., Zhang, P., & Lynch, I. (2023). Trophic transfer and bioaccumulation of ZnO nanoparticles in agricultural food chains: Mechanisms of phytotoxicity and human dietary risks. *NanoImpact*, *31*, Article 100465. doi.or

Yahia, E.M. (2023). Sustainable production and postharvest handling of avocado. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.

Zagzog, O.A.; Gad, M.M.; Hafez, N.K. (2017). Effect of nano-chitosan on vegetative growth, fruiting and resistance of malformation of mango. Trends Hortic Res. 2017, 7(1): 11–18. DOI:10.3923/thr.2017.11.18

Zahedi, S. M., Karimi, M., & Teixeira da Silva, J. A. (2020). The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops. Journal of the Science of Food and Agriculture 100(1): 25-31. DOI:10.1002/jsfa.10004

Cuernavaca, Morelos, 18 de septiembre de 2026
Asunto: Voto aprobación tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
PRESENTE.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, ESTADO NUTRIMENTAL Y POSCOSECHA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) 'HASS'** que presenta la alumna **SUSANA SOLÓRZANO MORÁN**, mismo que fue desarrollado bajo su dirección y la codirección del **DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. IRAN ALIA TEJACAL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANÓ INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

IRAN ALIA TEJACAL | **Fecha:2026-09-30 21:38:26** | **FIRMANTE**

gsTBpSqskaN59qn2WKoEQU/yQsjh7QwZi1gtMZtlrNxHrBGhQ3yl43jC2xZkLvooAA4u5EP7t2zS0lBAwELUM9ODFqKL1Lbo09AS+HCgj8E3YjtHAqIZSYOrryVfzIxQqFNRLWttCgK+2UtHUaJ2pYCol9sTsgxBQXReXeh/TYSTBUPXdfPEFNMjVY8UVuZkylL71MbvA1nR1i6Ajpo0QqudUHNcXUV9AXrg589L4ZCgZumVsWqx0VrX/eeo/lbdnSWWdpRP43C1F2gNkPU9Z6ILLkZZ1klhz6OpfWirx3lRuYTEK/jaLSfg8xAouPUCxol1gGgYdkuo2qrpQhY3Vw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

z67SUE4JX

https://efirma.uaem.mx/noRepudio/yHViPKf3l8vSX4Ew38c7IFV6ppVwkWqA

Cuernavaca, Morelos, 18 de septiembre de 2026
Asunto: Voto aprobación tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
PRESENTE.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, ESTADO NUTRIMENTAL Y POSCOSECHA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) 'HASS'** que presenta la alumna **SUSANA SOLÓRZANO MORÁN**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. NELSON AVONCE VERGARA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANÓ INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

NELSON AVONCE VERGARA | **Fecha:2026-10-02 08:05:38** | **FIRMANTE**

rIlfPGGoWQ3GXkiWqBW9sPvwpTold4MtV/HuM46Bd4b4DoCA/7fE0qz25nbnhUWLB/JzD6WIx0ufrIJ/Eoe8hVj75oShanU8LVWrLpy7KzzkWjFFuA2sGbXA2m7dpOLbL8qdH17N
YP9jccozIXUIyQvdMFdh5UbNjMlnIT0infzVkHv6pkyK0e8DPPe5TLV8SoHeNoWuUFiraEke0syu/EVoMFnP97tG4RdlpXCLe3SIEz988m78Nt4go04BJ0eY6hmyKhlvT9PB79qa/lU
wXMYOMlZf+VbvgdMKumuYqUYXFRstxPU+sSS9Oh0Pj0Jk5mL/BCFtxFo5KgUSoAudkQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

XcZTUj325

https://efirma.uaem.mx/noRepudio/6T4ycblhLQMtCDjgJEbbNAZWB4uI5eAz

Cuernavaca, Morelos, 18 de septiembre de 2026
Asunto: Voto aprobación tesis

DR. DANTE VLADIMIR GALINDO GARCÍA
Jefe de Programas educativos de Posgrado
Facultad de Ciencias Agropecuarias
PRESENTE.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, ESTADO NUTRIMENTAL Y POSCOSECHA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) 'HASS'** que presenta la alumna **SUSANA SOLÓRZANO MORÁN**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANÓ INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

PORFIRIO JUAREZ LOPEZ | **Fecha:2026-09-30 05:31:40** | **FIRMANTE**

prR2qo7bnQ+wMf3ylEaoiJm9bnbyqK4eT37O1eVOcKa4cSNSRVrJS2xezvTE/Cug7c2imPexdY5aYQfp8emeIQw4phRAZCf9eNuLknGD3rlH1U/bgdA7GFwaok+KLh5p1LBrnYv+aoJ9Jg6XlhmVwfvh+BP4IyzpLt7Xe4OGpZCnCVxz22os2gHzgOjJ7WNnYm4ZCnvgORXJ8p+WuItGFKwdWb9J+pr6XvUz+Z3/Fffoobrnp4QqyOKHMkVgNzTqB6FXFW+t7it9pydeKujxxoXj5BUNfuGqvNHDbDnqOS2J2xWyJTytmpHHTLkDKdj6M8sNO8fOg2J3Kan0rZQXfQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

vM79sQeyg

https://efirma.uaem.mx/noRepudio/POcIgrTtZJogJzXBksWY5DUvRf65sy2D

Cuernavaca, Morelos, 18 de septiembre de 2026
Asunto: Voto aprobación tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
PRESENTE.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, ESTADO NUTRIMENTAL Y POSCOSECHA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) 'HASS'** que presenta la alumna **SUSANA SOLÓRZANO MORÁN**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. VÍCTOR LÓPEZ MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANÓ INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

VICTOR LOPEZ MARTINEZ | **Fecha:2026-09-30 08:31:51** | **FIRMANTE**

NZUmCM//ho88P7ZqxTHB59+RM6qUlKBrvWPKx95hTMPst4u1ZaEcvfKHUEqh1tHpIe0defhK/l8K4l4RLEry16WcslfWf/4pdQHnGz5P1pVp1W0uRmbdwI/KBJOd+cFmFqU0PY2koMzv1zGLk5ZAAEgQdJ1zoSOSYZ3uksJzkAP2tuyk9FGTWppg1fhh+H6l4sAgSj1DCYAEmTwQie1oaxrj4srMPPq1Azdc6AGntZoC7qKgJ6rtPW9KfhXjn3lILs0Hc+ubXTm7GfcJhFqDCk60B0CBpBq39In+KDq9cfxm2MH1Z6lgBdwwulvaohGTdYkxdsC/JUMo0LJaO6rc1A==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

VLpzaDwT1

https://efirma.uaem.mx/noRepudio/gbPyBdlXRQFA8hU0utDnHwr0gWx6klcW

Cuernavaca, Morelos, 18 de septiembre de 2026
Asunto: Voto aprobación tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
PRESENTE.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, ESTADO NUTRIMENTAL Y POSCOSECHA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) 'HASS'** que presenta la alumna **SUSANA SOLÓRZANO MORÁN**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DRA. ERIKA ROMÁN MONTES DE OCA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANÓ INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

ERIKA ROMAN MONTES DE OCA | Fecha:2026-10-01 11:37:23 | FIRMANTE

WGFaktr5tnvQuGAEfwrwhnyffrE6DBkgKmiV37nganEe/LWAcS71pJzZpHnv3URrtz0sf/WTUWqBrKpnm0JsZARCe/cPMQFIdEsqXoMRLD7PV6avlyXLSIneaT/R9CTsfBjDFK7O8sxM9px2HSOIrlKghTYzBXikFjesF2ng5RwUIln5KKeIUqKiFLiYj0QIfT/6WMOt1Cm56rpKsu0utnYJIEH0KkTTGISvhOMjy/fjndhSHJwdugscg2lVW3GrScQ2CiwM0c2lL3fmHZrK2fuh6qHQQIvNwCGryYMSyjHKxzXi3Hz3IdDjQmBvOr2H9wjFaai1WDM8wRJocAybjA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

6UOdg3Wf8

https://efirma.uaem.mx/noRepudio/AehTA4hCh1etrY6H3dnc0sc3B3CCDLiu

Cuernavaca, Morelos, 18 de septiembre de 2026
Asunto: Voto aprobación tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
PRESENTE.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, ESTADO NUTRIMENTAL Y POSCOSECHA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) 'HASS'** que presenta la alumna **SUSANA SOLÓRZANO MORÁN**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANÓ INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

GLORIA ALICIA PEREZ ARIAS | **Fecha:2026-10-02 11:37:54** | **FIRMANTE**

jsUCnclAtuZauj9kzWlbcTSG8wFqpQx12bMwsNFmIKHbl3sqPDNcu8hJuj2e2KWOH6COsosSPD2xIqaf+4OkB2UZz1GQqssUMYYajurFtjNeR4HdnaxC9CTR47ParEoCL32H2ZF
hGQy7zhBSo4ZS1dLkqeVaBrXLMvJOgru9MrTUmKY43iEWRdTUCbk1Ch5StiZ6PUYWCUQhDFLOD2Yl5Z8KT4x3LVuxedWPY6BK0vqTGSCXGkAOILVmPpvyAglM6/TJZGC2
EDP90wZe/G8RQEw+LOR/aEGJWWXyiyUD9SpiJDZyvzicQKJbOkQxtStimbtFKeQ6uHk0g2zbB118HQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

qtlHuO7Bi

https://efirma.uaem.mx/noRepudio/ZCNGUw5KLWx7gTBqTt4wrKkmdctEBJDD

Cuernavaca, Morelos, 18 de septiembre de 2026
Asunto: Voto aprobación tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
PRESENTE.

Por medio del presente le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, ESTADO NUTRIMENTAL Y POSCOSECHA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) 'HASS'** que presenta la alumna **SUSANA SOLÓRZANO MORÁN**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección del **DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DRA. REBECA BETANCOURT GALINDO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANÓ INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

REBECA BETANCOURT GALINDO | **Fecha:2026-09-30 11:35:44** | **FIRMANTE**

WJGmbmyZW6F1oymolUy7rDEsfO3qMNCbXdl3oaCwQCGnr864av7qfUjhUhpwn60U5O5U+kMt1kNoNbtjjEERv3ax+9Bwqn8j7St6GG+u3uqzgPZn5cSd0cvPmlbEsbLiO6gE4aZygCsq+R82cjXRaeKmzC8aF63CYHWFXD+axiEZI+jK8R/F3wpIYWGydVwNRwiTRH/Grxtj4obfiBf5OyrJ2c6l6ceLo3zXdt8p3TZSXDpLRWIwi2NqxYJg2jjgayEmeXz6IWgwtKIMHgOJSIput/+WeWmyv3AHDhxukoINVrDpFOf+NIWgBFyX8CMsS8WvP/4rfA3LE3YNmAmCSQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

7xiNISZQU

https://efirma.uaem.mx/noRepudio/LXP47DSNSnGCB8hmmGjvwrIlcGI10a88