

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE ARÁNDANO A
DIFERENTES NIVELES DE NANOFERTILIZANTES EN UN SUELO ANDISOL**

LIZETH MARISELA ENRIQUEZ QUILISMA

ELCY FERNANDA INSUASTY CHAVES

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

PASTO, NARIÑO

2024

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE ARÁNDANO A
DIFERENTES NIVELES DE NANOFERTILIZANTES EN UN SUELO ANDISOL**

LIZETH MARISELA ENRIQUEZ QUILISMA

ELCY FERNANDA INSUASTY CHAVES

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo

Presidente:

Jairo Mosquera Guerrero I.A. Ph.D

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

PASTO, NARIÑO

2024

Nota de responsabilidad

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor. Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

Jairo Hernán Mosquera Guerrero I.A. Ph.D
Firma director Trabajo de Grado

Hugo Ruiz Erazo I.A Ph.D
Firma del jurado

Javier García Álzate I.A Ph.D
Firma del jurado

Pasto Nariño

2024

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por darnos la vida, salud y sabiduría para realizar este trabajo. A nuestros pacientes padres que siempre nos han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos nuestros objetivos personales y académicos. Al Dr. Jairo Hernán Mosquera Guerrero, por sus enseñanzas, tiempo y dedicación. A Daniel Molina IAF, M.Sc por su ayuda y motivación en este proyecto. Al señor Jhonatan por facilitarnos el cultivo de arándanos para poder desarrollar esta investigación. A la Universidad de Nariño y todos los docentes de esta prestigiosa institución, que apoyaron este proyecto y nos brindaron sus conocimientos.

RESUMEN

El trabajo se realizó en el Departamento de Nariño, municipio de Túquerres, vereda El Rincón Bajo, a una altitud de 3.380 msnm y tuvo como objetivo evaluar algunas características agronómicas del cultivo de arándano a diferentes niveles de nanofertilizantes en un suelo Andisol, *Vitric haplustand*. Se evaluaron variables agronómicas como altura, número de flores y frutos por planta, rendimiento (Kg ha^{-1}) y de calidad en frutos: contenido de sólidos solubles totales, humedad, cenizas, proteínas y polifenoles totales. Para esta evaluación se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro tratamientos: fertilizante convencional (T0) y 3 tratamientos con nano fertilizantes 100% (T1), 75% (T2) y 50% (T3) de acuerdo con el análisis de suelo y requerimiento nutricional del cultivo. Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos, encontrándose los mejores promedios con la aplicación de los diferentes niveles de nano fertilizantes en donde el T1,T2,T3 se comportaron estadísticamente iguales en las variables número de flores y frutos, calibre de primera clase, contenido de humedad y proteína en frutos. Igualmente, con el T1 se evidencia un mayor contenido en las variables de cenizas (2,07%), polifenoles totales (4.068 mg GAE/100g Fw), y rendimiento (4.934 Kg ha^{-1}) en los frutos de arándano. Finalmente se concluye que las plantas tratadas con nano fertilizantes tuvieron un efecto positivo sobre las variables agronómicas de la planta y calidad de frutos.

PALABRAS CLAVE: Fertilizante, Nano fertilizantes, Polifenoles.

ABSTRAC

This study was conducted in the Department of Nariño, municipality of Túquerres, El Rincón Bajo village, at an altitude of 3,380 meters above sea level. The objective was to evaluate some agronomic characteristics of blueberry cultivation at different levels of nanofertilizers in an Andisol soil, *Vitric haplustand*. Agronomic variables such as plant height, number of flowers and fruits per plant, yield (Kg ha^{-1}), and fruit quality parameters including total soluble solids, moisture, ash, proteins, and polyphenols were assessed. A randomized complete block design with four treatments was employed, including conventional fertilizer (TO) and three nano-fertilizer treatments at 100% (T1), 75% (T2), and 50% (T3) according to soil analysis. Significant differences were observed among treatments, evidencing the best averages with the application of different levels of nano fertilizers where T1, T2, T3 behaved statistically similar in the variables number of flowers and fruits, first-class caliber, moisture and protein content in fruits. In the same way, with T1 there is an increase in the ash content (2.07%), total polyphenols (4,068 mg GAE/100g Fw), and effectiveness (4.934 Kg ha^{-1}) in blueberry fruits. In conclusion, plants treated with nanofertilizers positively influenced the agronomic variables in the plant and fruit quality.

KEYWORDS: Fertilizer, Nanofertilizers, Polyphenols.

TABLA DE CONTENIDO

1.	12
2.	13
3.	15
3.1.	15
3.2.	15
4.	16
4.1.	16
4.2.	18
4.2.1.	19
5.	23
5.1.	23
5.2.	23
5.3.	24
5.4.	24
5.5.	24
5.6.	24
5.7.	25
5.8.	26
5.8.1.	26
5.8.2.	27
5.9.	29
5.9.1.	29
5.9.2.	29
5.9.3.	29

5.9.4.	30		
5.9.5.	30		
5.9.6.	31		
5.10.	31		
6.	31		
6.1.	32		
6.1.1.	32		
		6.1.2.	32
		6.1.3.	33
		6.1.4.	34
		6.1.5.	35
6.1.6.	36		
6.1.7.	37		
7.	41		
8.	42		
9.	43		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diseño de Tratamientos Sometidos a Prueba	24
Tabla 2: Resultado de Análisis de Suelo de la Finca Donde se Llevó a cabo la Investigación.	25
Tabla 3: Fertilización Convencional	
Tabla 4: Total de nutriente convencional aplicado (kg/ha)	26
Tabla 5: Niveles de Nanofertilizantes Evaluados Según sus Etapas Fenológicas	27
Tabla 6: Total de nano nutriente aplicado (kg/ha ⁻¹)	27
Tabla 7: Clasificación del Arándano Según su Calibre	29
Tabla 8: Cuadrados Medios en las Variables Evaluadas	31
Tabla 9: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Número de Flores por Planta.	32
Tabla 10: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Número de Frutos por Planta.	33
Tabla 11: Comparación de Medias de Tukey para Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	34
Tabla 12: Comparación de Medias de Tukey para Rendimiento según la Clasificación de la Fruta	35
Tabla 13: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Contenido de Sólidos Solubles Totales.	36
Tabla 14: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Polifenoles Totales.	37
Tabla 15: Prueba de Comparación de Medias de Tukey Humedad de la Fruta.	39
Tabla 16: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Cenizas de la Fruta.	40
Tabla 17: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Proteínas de la Fruta.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fases Fenológicas del Cultivo	16
Figura 2: Vías de Absorción y Translocación de las Nano Partículas en las Plantas.	20
Figura 3. Ubicación Geográfica Municipio de Túquerres	22
Figura 4: Mapa de Campo con Distribución de Parcelas Experimentales	24

1. GLOSARIO

Nanotecnología: Es un área de investigación, así como su aplicación en la fabricación de dispositivos y productos, que estudia las propiedades de los materiales que tienen entre uno y 100 nanómetros de tamaño.

Nano fertilizantes: son fertilizantes sintetizados o modificados con ayuda de la nanotecnología para mejorar la fertilidad del suelo, la productividad y la calidad de productos agrícolas.

Nanopartículas: son objetos de tamaño nanométrico, es decir, sus dimensiones son del orden de unos pocos nanómetros, a lo sumo decenas de nanómetros. Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro, o la millonésima parte de un milímetro.

Contenido de sólidos solubles totales: se utiliza para medir la concentración total de carbohidratos presentes en el fruto, y su unidad se expresa en grados brix.

Contenido de polifenoles totales: es la cuantificación analítica del contenido de todos los compuestos polifenólicos presentes en una muestra. Los polifenoles son un grupo de sustancias presentes en las plantas con una alta capacidad antioxidante y con efectos positivos para la salud. Se encuentran, en mayor o menor medida, en casi todas las plantas, como el cacao, el vino tinto, el té verde, los frutos rojos y muchas otras frutas y verduras.

2. INTRODUCCIÓN

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) es originario de Norteamérica, crece en zonas boscosas y regiones montañosas de los Estados Unidos y Canadá (FAO, 2017). Es una planta recientemente domesticada y en los últimos años la superficie cultivada ha incrementado notablemente como resultado de la alta demanda del fruto por sus excelentes propiedades organolépticas y nutricionales (Intagri, 2017).

En el mundo, la superficie cultivada de arándanos alcanza las 235.400 ha⁻¹ con una producción total de 1,79 millones de toneladas (t). China es el principal productor e importador de arándano, cuenta con una superficie plantada de 69.036 ha⁻¹, seguido por Estados Unidos con una plantación total de 44.000 ha⁻¹. Otros países productores en el contexto internacional son Perú y Chile, con 18.103 y 18.802 hectáreas respectivamente (USDA-ERS, 2023).

Colombia cuenta con un área plantada de 550 hectáreas (ICA, 2023). Los principales departamentos productores son Antioquia, Boyacá y Cundinamarca, especialmente en la Sabana de Bogotá. Las variedades más cultivadas en el país son: Biloxy, Sharpblue, Sourther, Misti y Legacy, las cuales cumplen con los estándares para la comercialización nacional y de exportación (Martínez, 2019). La producción en Colombia cuenta con una ventaja comparativa debido a la diferencia en las características organolépticas del fruto y la constancia en producción durante todo el año (Ballesteros, 2019).

La agricultura contribuye con aprox. el 25 % de la emisión de gases de efecto invernadero. El uso de fertilizantes aporta alrededor del 7 % de ese porcentaje, por su uso inadecuado y por la baja eficiencia en la absorción de las moléculas en la planta (Ospina *et al.*, 2022).

Como alternativa para la reducción del impacto negativo de los fertilizantes en formulaciones convencionales para el ambiente y su baja eficiencia en el sistema productivo, ha surgido la nanotecnología (NT), considerada como un gran avance tecnológico para transformar procesos en la agricultura, mejorar la capacidad de las plantas para absorber los nutrientes y crecer con mayor velocidad (Lira *et al.*, 2018). Por lo tanto, los nanofertilizantes (NF) son compuestos de nutrientes de formulaciones nano estructuradas que al aplicarse a las plantas permiten una absorción eficiente o una liberación lenta de macronutrientes y micronutrientes (Gómez, 2019). El manejo nutricional y fertilización en el cultivo *V. corymbosum* es esencial para su desarrollo, crecimiento y producción (Flores *et al.*, 2014). La correcta aplicación de fertilizantes es una de las prácticas más importantes en la producción de arándanos (Krewer y Ruter, 2009).

Con este trabajo se aporta información para la toma de decisiones agronómicas en el cultivo de arándano en el departamento de Nariño, especialmente a la nutrición suplementaria, a través de la evaluación de alternativas de fuentes nutricionales desarrolladas a partir de la nanotecnología, como herramienta para mejorar la calidad y rendimiento del cultivo.

3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo General

Evaluar algunas características agronómicas del cultivo de arándano frente a diferentes niveles de nanofertilizantes en un suelo Andisol del departamento de Nariño.

3.2.Objetivos Específicos

Determinar los niveles de nanofertilizantes de acuerdo con la disponibilidad de nutrientes en el suelo y de los requerimientos del cultivo.

Determinar el efecto de los diferentes niveles de nanofertilizantes sobre algunas características agronómicas y de calidad en el cultivo de arándano.

4. MARCO TEÓRICO

4.1.El cultivo de Arándano

El cultivo de arándano es un frutal perteneciente al género *Vaccinium* familia Ericáceae. Su centro de diversificación es amplio y se registra en el hemisferio norte, básicamente Norteamérica, Europa central, la zona tropical, América del sur y algunos lugares de África (García *et al.*, 2018).








Este género cuenta con 100 especies, pocas de ellas comerciales (Tropicos.org, 2024). Entre las variedades comerciales se destaca *V. corymbosum* L. la cual representa el 80% del total de la superficie cultivada en el mundo, seguido de *V. ashei* J.M. Reade, con un 15% de la producción (García *et al.*, 2006)

Generalmente las especies del género *Vaccinium* presentan características arbustivas de porte erecto y de altura variable según la especie. En su punto más alto de madurez puede alcanzar hasta siete metros de altura (Mesa, 2015). Presenta un sistema radical fasciculado, compuesto por numerosas raíces, en su mayoría superficiales, generalmente fibrosas y finas. Las hojas son simples y se distribuyen en forma alterna a lo largo de la rama de color verde pálido que varía según la especie. Las flores son pequeñas aprox. de 1 cm, con corola blanca acampanada, formada por cuatro o cinco pétalos fusionados. Se agrupan en racimos, normalmente axilares, con seis a diez flores por yema. El fruto es una baya esférica, de color azul, rojo o negro en su madurez, cuya epidermis se encuentra cubierta de secreciones cerosas (Rubio *et al.*, 2010).

La primera cosecha se logra al tercer o cuarto año de desarrollo y la producción se estabiliza a partir del séptimo año (Mesa, 2015).

El desarrollo de la planta de arándano se divide en dos fases: vegetativa (desde inicio de yema vegetativa hasta nuevas ramas) y reproductiva (desde las primeras yemas hinchadas hasta el fruto final) como se observa en la figura 1.

Figura 1: Fases Fenológicas del Cultivo

CRECIMIENTO VEGETATIVO					
					
V1 Punta verde Yema vegetativa abierta	V2 Brotación Entrenudos cortos	V3 Brote Nuevo Alargando entrenudos Hojas expandiendo	V4 Rama Nueva Hojas expandidas Entrenudos largos		
CRECIMIENTO REPRODUCTIVO					
					
R1 Yema Hinchada origina flores	R2 Yema abierta inicio	R3 y R4 Botones florales Corola cerrada	R5 Flor Plena floración	R6 Cuaje caída de corola	R7 Fruto verde 25% del tamaño final
2 meses			2 meses		

Fuente: Rivadeneira y Carlazara 2011.

El arándano se cultiva desde los 1.200 hasta los 3.200 msnm (Robledo *et al.*, 2020). La temperatura óptima para su desarrollo está entre los 20 a 25°C. Puede soportar temperaturas mínimas de 7°C. Temperaturas superiores pueden provocar efectos negativos como quemaduras en las hojas (Rubio *et al.*, 2010), disminución de azúcares y firmeza de la fruta (Undurraga *et al.*, 2013).

En cuanto a requerimientos edafoclimáticos, el arándano requiere suelos sueltos, con contenido de M.O del 3 al 5 %, con pH entre 4,4 y 5,5 (Undurraga *et al.*, 2013). Generalmente se recomienda hacer buenos drenajes en las primeras etapas de desarrollo, buscando que en los primeros 40cm de profundidad no existan excesos de humedad (Asagrin, 2007). Respecto a la demanda de agua se requiere que cuente con el 60% de humedad aprovechable o los tensiómetros entre 15 y 20 cb. (Ochoa, 2015).

Respecto a requerimientos nutricionales, el cultivo de arándano necesita los siguientes kilogramos de elementos mayores y menores, por toneladas producida: nitrógeno (N) de 4 a 5, fósforo (P) de 1,5 a 2,5, potasio (K) de 5 a 7, calcio (Ca) de 1,2 a 1,5, magnesio (Mg) de 0,6 a 0,8, azufre (S) de 0,6 a 0,8, boro (B) de 0,02 a 0,03 y zinc (Zn) de 0,02 a 0,04. La demanda de nutrientes se incrementa en cada etapa fenológica, principalmente para N, P, K, Ca, Mg y Zn (Rivadeneira 2010).

Para suplir las necesidades nutricionales del cultivo de arándanos existen dos tipos de fertilización: al suelo (radicular) y al follaje (foliar). **Fertilización radicular:** el fertilizante se aplica de manera sólida o diluida en agua, en la base de la planta o en el sustrato, para que los nutrientes estén cerca de las raíces y pueda ser absorbido por la planta (Ramírez, 2007). **Fertilización foliar:** los nutrientes se aplican directamente al follaje de la planta, mediante una solución de fertilizante líquido (Cárdenas, 2021). Este sistema es importante para el manejo sostenible y productivo de los cultivos (Fernández *et al.*, 2015), pero no sustituye a la fertilización radicular. Es una práctica que sirve de respaldo o apoyo para completar los requerimientos nutricionales del cultivo (Segura, 2002).

4.2.Nanotecnología

La nanotecnología es el resultado de la integración de distintas ciencias aplicadas como la química, física, biología, medicina e ingeniería (Mendoza y Rodríguez, 2007). Esta tecnología la estructura de la materia se desarrolla en unidad nanométrica para producir diferentes tipos de materiales, con objetivos específicos, entre ellos los fertilizantes (Quispe, 2010). La finalidad de la nanotecnología es la generación de nanopartículas (NPs) que pueden ser de origen natural o manufacturado y que poseen un rango de 1 a 100 nanómetros, que equivale a una mil millonésima parte de un metro (Himangini et al., 2019). Dentro de esta ciencia, en el área específica de la nutrición del cultivo se encuentra el desarrollo de los nanofertilizantes, los cuales actualmente reciben mucha atención por parte del sector productivo por ser más rentables y amigables con los ecosistemas ya que ayudan a la planta a captar de forma inmediata los nutrientes, son de liberación lenta aumentando la eficiencia de absorción de los nutrientes del suelo (Abdón, 2016).

4.2.1. Absorción y Movimiento de Nanopartículas en las Plantas

Las NPs pueden aplicarse foliarmente por medio de aspersion y en riego dirigido a la zona radical de la planta. Una vez en el suelo, la planta las absorbe por medio de los pelos absorbentes atravesando diferentes tejidos (plasmodesmos, banda de caspari, ensodermis y periciclo) hasta llegar al xilema induciendo diversas respuestas fisiológicas (Lira *et al.*, 2018).

Cuando las nanopartículas se aplican sobre la superficie de las hojas, entran a través de estomas abiertos o a través de las bases de tricomas y luego son transportadas por el floema a diversos tejidos. Sin embargo, las acumulaciones de las nanopartículas en la superficie fotosintética pueden causar calentamiento foliar que se traduce en alteraciones en el intercambio de gases debido a la obstrucción en estomas que producen cambios en diversas funciones fisiológicas y celulares de plantas (Eichert *et al.*, 2008).

Kurepa *et al.* (2010) mencionan que existen varias posibles vías para la absorción de nanopartículas por parte de las células vegetales. Los datos sugieren que las nanopartículas pueden entrar en las células de plantas mediante la unión a proteínas transportadoras, a través de las acuaporinas, canales de iones, mediante la creación de nuevos poros (exclusivo en nanotubos de carbono, los nanotubos crean o forman los poros para entrar a la célula) o mediante endocitosis (incorporación de moléculas extracelulares englobadas por membrana plasmática, que al cerrarse quedan en el interior celular en forma de vesículas). Las nanopartículas pueden formar complejos con transportadores de membrana o exudados de las raíces y posteriormente ser transportados. Una vez dentro de las células, las nanopartículas pueden ser transportadas apoplásticamente (movimiento entre los espacios de paredes celulares) o simplásticamente (atravesando el citoplasma de las células). Solo algunas especies de plantas presentan facilidad para absorber nanopartículas y los mecanismos exactos de por qué sucede eso aún son desconocidos (Rico *et al.*, 2011).

La penetración de NPs por aperturas estomáticas tienen la posibilidad de aumentar la actividad metabólica celular, lo cual permite que se transporten a altas velocidades por el sistema vascular (Eichert *et al.*, 2008). Esto promueve el incremento y rendimiento de los cultivos de una forma más positiva que con los fertilizantes convencionales (Siskani *et al.*, 2015), causa efectos en distintas respuestas fisiológicas como el desarrollo de raíz, flores y frutos, así como en expresiones bioquímicas relacionadas con la producción de clorofila, licopeno, catalasa y peroxidasa (Chen, 2014). En la figura 2 se pueden observar las diferentes vías durante la absorción y translocación de las NPs.

Figura 2: Vías de Absorción y Translocación de las Nano Partículas en las Plantas.

alcalina (61,7%), fitasa (322,2%) y deshidrogenasa (21%). Estos aumentos se registraron en plantas de seis semanas tratadas con nanopartículas de ZnO, comparadas con plantas del tratamiento control o testigo. Además, el rendimiento del grano se incrementó en un 37,7 % debido a la aplicación del nano fertilizante de zinc y a la interacción con factores ambientales.

Por su parte, Sharma (2020), en el cultivo de *Punica granatum* con la aplicación de nano-nitrógeno en una concentración de 250 a 500 ppm, obtuvo aumento el rendimiento de frutos en un 17 a 44% y el número de frutos por planta en un 15 a 38% en contraste con el testigo. También mejoraron las propiedades fisicoquímicas como el tamaño de la fruta, los sólidos solubles totales y la acidez titulable. Del mismo modo, Abd El-Azeim *et al.* (2020) evaluaron en sistemas de cultivo de papa, la aplicación de nano fertilizante NPK-n en proporciones iguales o más bajas a lo recomendado los cuales podrían reemplazar los fertilizantes NPK sin efectos negativos sobre su rendimiento, producción y calidad. De manera que el uso de NPK-n foliar mostró valores más altos en rendimiento (23,59 t ha⁻¹), índices de almidón (79,62%) e índice de cosecha (59,24%), logrando mayor relación costo: beneficio en la producción del tubérculo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

Esta investigación se realizó en la vereda El Rincón Bajo, del municipio de Túquerres, al sur oriente del Departamento de Nariño (figura 3), con coordenadas $1^{\circ} 4' 59''$ N y $77^{\circ} 37' 1''$ W a una altitud de 3.280 m.s.n.m.

El cultivo se estableció bajo invernadero tipo capilla, con medidas de 9m de ancho, 2.5 m de altura en parte baja y 3.8 m en la parte alta de la capilla. Este sistema se caracteriza por la forma triangular de su cubierta y ofrece ventajas como buena ventilación y buen reparto de la luminosidad en el interior de este.

Figura 3. Ubicación Geográfica Municipio de Túquerres



Fuente: Alcaldía municipal de Túquerres Nariño, 2023.

5.2. Clima

El municipio tiene un piso térmico muy frío, con temperatura media de 10°C , humedad relativa entre 77 y 89% y precipitación media anual de 900 mm. (Alcaldía municipal de Túquerres, 2023).

5.3.Suelos del Área Experimental

El suelo donde se ubicó el área experimental se clasifica como Andisol, correspondiente a un Vitric haplustand, serie Túquerres (Camacho *et al.*, 1975) desarrollado a partir de cenizas volcánicas, con dominio de alófana en horizontes superiores (Herrera, 2006). Los materiales representativos de estos suelos tienen características únicas y distintivas llamadas propiedades ándicas, que se manifiestan en baja densidad aparente, alta carga variable y alta capacidad de retención de fosfatos y de humedad. (Arnalds y Stahr, 2004). Su origen volcánico proporciona alta porosidad y permeabilidad, variables que dependen del contenido de materia orgánica y del tipo de arcillas (Espinosa y Sanabria, 2015).

5.4.Material Vegetal

El material vegetal empleado en la investigación corresponde a plántulas de arándano (*V. corymbosum*) de la variedad BILOXY, provenientes del vivero Fall Creek, ubicado en Oregón, Estados Unidos. La investigación se inició cuando las plantas estaban establecidas con una edad de 12 meses a partir de la siembra.

5.5.Riego

El área experimental en donde se ubicaron las plantas de arándano contó con un sistema de riego localizado por goteo, con líneas auto compensadas, con goteros cada 30 cm, con caudal de 2 L h⁻¹ /gotero y doble línea de goteo por surco. Los parámetros de riego calculados generaron una La lamina de 5 mm h⁻¹, con una frecuencia de riego de día por medio, un tiempo de riego de 20 minutos y con un gasto total de 1.728 L. de agua.

5.6.Diseño Experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar (BCA), con cuatro tratamientos: un fertilizante convencional y tres niveles de nano fertilizante. Los tratamientos se

distribuyeron en tres repeticiones de forma aleatoria en el área experimental. El tratamiento control consistió en la aplicación de fertilizante granulado como lo realiza el productor. El primer tratamiento con nano fertilizante se aplicó al 100% de la recomendación basada en el plan de fertilización, disponibilidad de nutrientes en el suelo y las necesidades específicas del cultivo. En el segundo se utilizó el 75% de la recomendación aplicada en el primer tratamiento y en el tercero, el 50% de la recomendación aplicada en el primer tratamiento, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: *Diseño de Tratamientos Sometidos a Prueba*

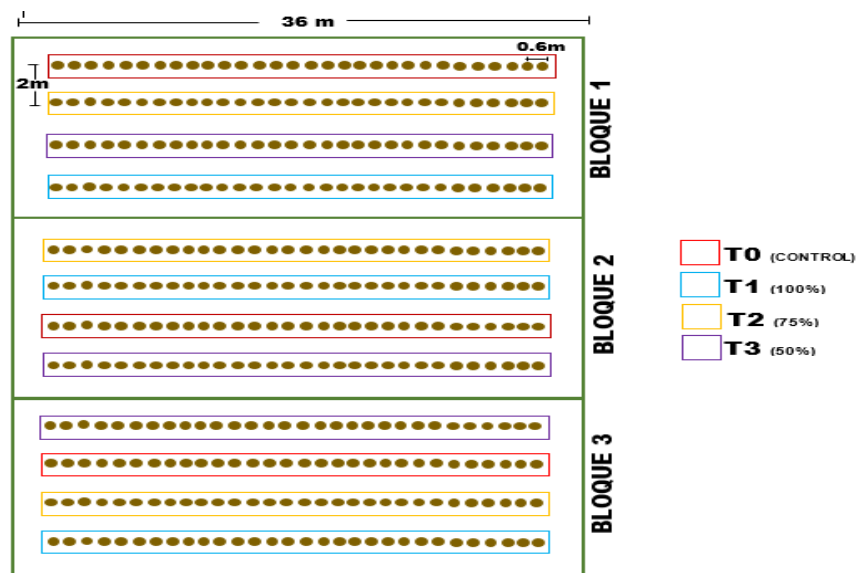
Tratamientos	Tipo y nivel de fertilización
TO	Control
T1	Nanofertilizante 100%
T2	Nanofertilizante 75%
T3	Nanofertilizante 50%

Nota: Programación de niveles de fertilización. Elaboración propia

5.7. Distribución de las Parcelas

El área experimental fue de 432 m², Los cuatro tratamientos se distribuyeron en tres repeticiones, para un total de doce parcelas experimentales. Cada parcela experimental estuvo conformada por 30 plantas a una distancia de siembra de 0,6 m entre plantas y 2 m entre surcos, para un total de 360 plantas (figura 4).

Figura 4: *Mapa de Campo con Distribución de Parcelas Experimentales*



5.8. Manejo agronómico

5.8.1. Análisis de suelo

Se efectuó un análisis del suelo, con el objetivo de cuantificar la disponibilidad de nutrientes. Las condiciones del suelo son óptimas para producir arándanos (tabla 2), destacando el nivel medio de materia orgánica y el pH del suelo fuertemente ácido, situación que favorece las exigencias del arándano. Por ello, se aplicó un 30% de los requerimientos del cultivo por la disponibilidad de nutrientes en el suelo, plan de fertilización y cumplir con los objetivos de la investigación.

Tabla 2: Resultado de Análisis de Suelo de la Finca Donde se Llevó a cabo la Investigación.

NUTRIENTES	UNIDAD	DISPONIBILIDAD	NIVEL
Materia Orgánica/MOS	%	8,9	Medio
pH	Unid. de pH	5,35	Fuertemente ácido
Nitrógeno Total/N	%	0,5	Alto
Fosforo Disponible/ PO_4^-	mg/Kg	15	Medio
Potasio/ K^+	Cmol+/Kg	0,5	Alto
Calcio/ Ca^{+2}	Cmol+/Kg	7,2	Medio
Magnesio/ Mg^{+2}	Cmol+/Kg	1,6	Medio
Hierro/ Fe^{+3}	mg/Kg	18	Alto
Cobre/ Cu^{+2}	mg/Kg	2,2	Medio
Zinc/ Zn^{+2}	mg/Kg	11	Alto
Manganeso/ Mn^{+2}	mg/Kg	13	Medio

Azufre Disponible/SO ₄ ⁻²	mg/Kg	15	Medio
Boro Disponible/H ₃ BO ₃	mg/Kg	0,2	Bajo
Aluminio de Cambio/Al ⁺³	mg/Kg	1,2	Alto
CIC cmol+/Kg	Cmol+/Kg	9,3	Baja
Textura	20 % Arena; 33 % Limo; 47 % Arcilla		Arcillosa
Densidad aparente	0,9g/cc		

Nota. Minerales del suelo disponibles, tomado de análisis de suelo, código de muestra MS – 01, (2022)

5.9.Fertilización

El trabajo se inició cuando la plantación se encontraba en fase vegetativa, aproximadamente a los 365 días después de la siembra.

Para el tratamiento control, el productor tomó una combinación de fertilizantes convencionales habituales en la zona, mezclas recomendadas comercialmente. La época de aplicación coincidió con la de los nanofertilizantes o sea cada 15 días, teniendo en cuenta la fase fenológica del cultivo (tabla 3).

Tabla 3: Fertilización Convencional

Niveles de Fertilizantes Convencionales Evaluados (g L ⁻¹)		
Fase fenológica	Fertilizante	Dosis aplicada
		T0
Vegetativa	NovaTec Solub 21	1,5
	Irricol producción	0,8
Reproductiva	NovaTec Solub 21	1,5
	Irricol producción	0,8

Los fertilizantes aplicados por el productor obedecen a un uso tradicional y comunitario con dosis comerciales de empresas agrícolas. En la tabla 4 se discriminan las cantidades aplicadas de NPK.

Tabla 4: Total de nutriente convencional aplicado (kg/ha)

Total de nutriente aplicado (kg/ha)	
N	6
P	4,5
K	6

Para las dosis de nanofertilizantes se realizó un plan de fertilización y se calculó en base a los requerimientos del cultivo (N: 5, P: 2,5, K: 6, Ca: 1,5 kg t⁻¹) con un rendimiento esperado de 3 t ha⁻¹ y teniendo en cuenta la baja oferta de nanopartículas en el mercado. Es importante mencionar que por cada 5 kg de requerimiento de cada nutriente se aplicó 1 kg de nanopartículas (ICA, 2017).

En el mercado únicamente se encontraron nanofertilizantes compuestos, seleccionando los siguientes: Triple 20-n (21-20-23), Calcio-n (0-0-0-7) y Magno-n (3-0-0-7MgO-7S); productos de alta tecnología, importados y distribuidos en Colombia por la empresa *Eurotrading*.

Las aplicaciones se realizaron cada 15 días. Las dosis se programaron considerando cada etapa fenológica, teniendo en cuenta el número de plantas por parcela. Para ello, se midió con una balanza electrónica la cantidad exacta de producto para aplicar a cada tratamiento (tabla 2). La disolución se aplicó al suelo en forma de lavado y vía foliar.

Tabla 5: Niveles de Nanofertilizantes Evaluados Según sus Etapas Fenológicas

Niveles de Nanofertilizantes Evaluados					
Etapa fenológica	Nanofertilizante	Dosis (g*L ⁻¹)			Numero de aplicaciones
		T1	T2	T3	
Final etapa Vegetativa (12 meses)	Triple 20-n	2	1,5	1	3
	Calcio-n	2	1,5	1	
	Magno-n	1,5	1,12	0,75	
Floración (14 meses)	Triple 20-n	1,5	1,12	0,75	4
	Calcio-n	2	1,5	1	
	Magno-n	1	0,75	0,5	
Fructificación (16 meses)	Triple 20-n	2	1,5	1	3
	Calcio-n	2	1,5	1	
	Magno-n	1,5	1,12	0,75	

Nota: Dosis de nanofertilizantes con su respectivo número de aplicaciones en el cultivo de arándano en el municipio de Túquerres. Elaboración propia.

En cada etapa fenológica se realizaron aplicaciones (tabla 5), suministrando de esta manera los minerales requeridos por la planta, en una disolución de tres litros de agua por tratamiento.

Tabla 6: Total de nano nutriente aplicado (kg/ha^{-1})

Total de nano nutriente aplicado (kg/ha^{-1})			
Nutriente	T1	T2	T3
N	1,2	0,9	0,6
P	1,0	0,8	0,5
K	1,15	0,86	0,57
Ca	0,38	0,28	0,19
Mg	0,25	0,19	0,12
S	0,25	0,19	0,12

Nota: valores promedio de los nutrientes aplicados por los Nanofertilizantes en el cultivo de arándanos. Elaboración propia.

5.10. Variables Evaluadas

5.10.1. Altura de la Planta

Esta evaluación se realizó a partir de la primera semana en antesis hasta fructificación. Se midió la distancia desde el cuello del tallo principal hasta el ápice de la hoja más joven utilizando una cinta métrica. Se seleccionaron aleatoriamente el 30% del tamaño de la parcela que equivale a nueve plantas por cada parcela asignada a cada tratamiento y repetición, registrándose en metros (Arizala *et al.*, 2011).

5.10.2. Número de Flores por Planta

Se contó el número total de flores en nueve plantas tomadas al azar en cada parcela de cada tratamiento y repetición. Este conteo se realizó desde la aparición de los primeros botones florales hasta la terminación de la etapa floral (Muñoz *et al.*, 2017).

5.10.3. Número de Frutos por Planta

Se contó el número total de frutos en nueve plantas tomadas al azar en cada tratamiento y repetición. Esta variable se tomó desde la formación de los primeros frutos a partir de las flores polinizadas exitosamente, hasta su madurez fisiológica (Muñoz *et al.*, 2017).

5.10.4. Rendimiento del Cultivo ($Kg\ ha^{-1}$)

Al entrar los frutos en madurez, se realizó cosecha manual en todas las plantas de cada parcela experimental. Se contabilizó el número de frutos por planta y se pesó para convertir el rendimiento a $Kg\ ha^{-1}$ usando la fórmula de (Calvo, 2019).

Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$) = Densidad de plantas por ha * N° fruto por planta * peso promedio del fruto en fresco (kg)

Finalmente, se clasificó la fruta según su diámetro ecuatorial, utilizando tarjetas de medición, siguiendo la clasificación para frutos de arándano establecida por (Orga, 2021), en donde se considera primera clase a los frutos con un diámetro mayor a 12 mm, mientras que los de segunda clase tienen un diámetro que varía entre 8 y 12 mm. En esta investigación se tienen en cuenta específicamente los calibres de primera y segunda clase por su relevancia comercial como se detalla en la tabla 5.

Tabla 7: Clasificación del Arándano Según su Calibre

Primera	>12
Segunda	8-12
Tercera	<8

Nota: Clasificación de la fruta de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), según el diámetro ecuatorial. Fuente tomada de Orga (2021).

5.10.5. Contenido de Sólidos Solubles Totales (SST)

Se tomó un total de nueve plantas completamente al azar, de las cuales se seleccionaron tres frutos bien formados en madurez fisiológica y sin aspectos visuales no deseados. Los frutos

fueron cortados longitudinalmente. Se tomó un trozo de cada uno y se procedió a macerar hasta formar una pasta, de la cual se recolectaron entre tres y cinco gotas y se colocaron sobre la celda del refractómetro digital HI96801 con escala de 0-85% (HANNA INSTRUMENTS, Woonsocket, Rhode Island, USA). El valor de SST se expresó en °Brix (Montoya, 2018).

5.10.6. Valor Nutricional del Fruto

Los frutos se recolectaron de forma manual, aproximadamente 1kg/parcela experimental, con estados similares de maduración. Estos frutos se trasladaron al laboratorio de la Universidad de Nariño en bolsas ziploc. Se realizó caracterización de la fruta mediante análisis de laboratorio en los que se determinó: contenido de humedad, de acuerdo con el método AOAC 934.06/96, cenizas según el método ISO 5984:2022, proteínas mediante el método de Kjeldahl (AOAC 2001.11:2016) y compuestos polifenoles totales con el método de Folin-Ciocalteu.

5.11. Análisis Estadístico

Todas las variables se analizaron estadísticamente mediante un análisis de la varianza (ANDEVA). En aquellas en donde se encontró diferencias significativas, se procedió a realizar una prueba de Tukey utilizando un nivel de significancia del 5 % ($p < 0,05$). Todas estas pruebas se realizaron mediante el software estadístico Infostat 2021.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan los resultados encontrados en la investigación donde se evidencia el comportamiento del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* var. Biloxy) a la aplicación de diferentes niveles de nanopartículas y su respuesta a diferentes variables agronómicas y de calidad.

FV	GL	AP	NFP	NFP	R	RPC	RSC	GB	H	C	P	PF
Modelo	5	0,01	894	2.317	807.833	321.490	388.236	20,06	3,02	0,11	0,15	1.324.784
Bloque	2	0,01	573	204	201.522	110.229	440.062	0,08	0,82	0,01	0,16	977
Tratamientos	3	0,0043	1.107*	3.727	1.212.041*	462.330*	353.685*	33,38*	4,49*	0,18*	0,14*	2.207.321*
Error	6	0,0017	167	321	48.100	24.350	59.793	0,18	0,57	0,01	0,02	2.694
C.V		3,27	14,2	9,98	5,29	9,21	12,9	3,06	0,92	7,04	3,11	1,78
R²		0,8	0,82	0,86	0,93	0,92	0,84	0,99	0,82	0,86	0,85	1

Tabla 8: Cuadrados Medios en las Variables Evaluadas

Nota: AP: Altura planta; NFP: Numero de flores pl⁻¹, NFP: Numero de frutos pl⁻¹; R: Rendimiento Kg ha⁻¹; RPC: Rendimiento primera clase Kg ha⁻¹. RSC: Rendimiento segunda clase Kg ha⁻¹; GB: Grados Brix; H: Humedad de la fruta; CF: Cenizas de la fruta; PF: Proteínas de la fruta; PT: Polifenoles totales (Investigación, 2023).

(*) Diferencias significativas (P<0,05)

6.1. Variables Evaluadas

6.1.1. Altura de Planta

Esta variable agronómica no mostró diferencias significativas. La prueba de comparación de medias de Tukey muestra que los tratamientos se comportaron estadísticamente igual.

Mesa (2015) con fertilización convencional, reporta un incremento de altura de 12 cm, para la variedad Biloxy, durante 20 semanas de ensayo, en condiciones de Guasca-Cundinamarca. En esta investigación con aplicación de nano partículas, se obtuvo un incremento mayor (25cm), posiblemente por condiciones edafoclimáticas, genéticas o nutricionales del cultivo.

6.1.2. Número de Flores por Planta

En esta variable se encontró que el T1 (82 flores/planta), T2 (78flores/planta) y T3 (53flores/planta) son estadísticamente iguales, sin embargo presentan diferencias significativas respecto al T0 (43 flores/planta), siendo el fertilizante convencional con el menor número de flores por planta (tabla 9). Por tanto, la aplicación de nano fertilizantes evidenció efectos positivos sobre esta variable.

Al respecto, Amirnia *et al.* (2014) afirman que la aplicación de nano fertilizantes que contienen Fe, P y K incrementan la actividad fisiológica y metabólica celular, con efectos positivos en la floración, mejorando de manera sustentable el rendimiento de cultivos agrícolas, lo cual robustece la información encontrada en esta investigación. Igualmente, Agri Sciences (2020) encontró que en el cultivo de fresa (*Fragaria spp*), la efectividad del uso de nano fertilizantes que contiene NPK, incrementaron en un 30% el número de flores. También Rosales (2022) reportó que la aplicación de estas nano partículas en plantas de fríjol de variedad biofortificado (Bio 102) genera la obtención de un mayor número de flores. Es importante mencionar que el efecto sobre la floración en la planta con aplicaciones de nano fertilizantes puede variar dependiendo de diversos factores, como la formulación, dosis, condiciones de crecimiento, interacción con el suelo, planta y agua. La nano fertilización está en constante evolución y depende de la interacción genotipo- ambiente, que afectaría positiva o negativamente a la variable número de flores, según la especie.

Tabla 9: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Número de Flores por Planta

Tratamientos	Medias	
T0	43	b
T1	82	a
T2	78	ab
T3	53	ab

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

6.1.3. Numero de Frutos por Planta

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los tratamientos con la aplicación de nano fertilizantes respecto al fertilizante convencional, donde el T1 (216 frutos/planta), T2 (198 frutos/planta) y T3 (169 fruto/planta) son estadísticamente iguales, sin embargo el T0 (135 frutos/planta), fertilizante convencional obtuvo el menor número de frutos por planta (tabla 10).

Los resultados evidenciaron que con la aplicación de nano partículas se obtiene un efecto positivo sobre esta variable. El número de frutos y tamaño en las plantas está influenciado por una adecuada nutrición, factores ambientales, factores genéticos, posición del fruto en el brote y competencia entre órganos en desarrollo.

Cómo lo afirman Bakry *et al.* (2022) la adición de nanofósforo aumenta el número de vainas en el cultivo de maní. Así mismo, en la región Toshka, Egipto, Mohamed *et al.* (2021), reportan efectos positivos con nanofertilizantes que contienen NPK en el cultivo de maíz, incrementando el número de mazorcas y así maximizando la productividad. Además, Juárez *et al.* (2016) revela que tras el uso de NPs K en plantas de tomate, se evidencian efectos favorables en el rendimiento y número de frutos por planta.

Tabla 10: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Número de Frutos por Planta.

Tratamientos	Medias	
T0	135	b
T1	216	a
T2	198	a
T3	169	ab

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

6.1.4. Rendimiento ($Kg\ ha^{-1}$)

Respecto al rendimiento el T1 ($4.934\ Kg\ ha^{-1}$), correspondiente al 100% de nano fertilizantes, presentó diferencias significativas en relación a los tratamientos T0 ($3.418\ Kg\ ha^{-1}$), T2 ($4.295\ Kg/ha$) y T3 ($3.949\ Kg/ha$) (tabla 11). Los cuales evidenciaron un menor rendimiento en el cultivo de arándanos.

El resultado encontrado en esta variable refleja una influencia en el rendimiento del cultivo de arándano. Por tanto, se evidencia que las aplicaciones de nano partículas influyen positivamente en el rendimiento del cultivo, lo cual puede estar influenciado por una adecuada combinación entre

variedad, ambiente y prácticas agrícolas como nutrición, riego, entre otros. Rameshaiah y Jpallavi (2015) confirman que el suministro de nanofertilizantes al suelo ayuda a tener una rápida captación de los nutrientes del suelo por las plantas, al aumentar la eficiencia del intercambio simbiótico entre los nutrientes del suelo y el sistema radicular de la planta, mejorando el rendimiento de los cultivos.

Al respecto, López *et al.* (2019) reportó que la aplicación foliar de nano partículas de cobre (NPsCu₂) reflejó efectos positivos en el rendimiento de melón hidropónico, siendo el tratamiento con la concentración más alta de nanofertilizantes (9 mg L⁻¹) el que presentó un mayor rendimiento. Además, Simbaña (2023), referente al rendimiento en plantas de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet), afirma que la aplicación de NPs de Fe y de Zn tienen un efecto estimulante sobre el rendimiento del cultivo. Así mismo, Liu y Lal (2015) aseguran que los nanofertilizantes mejoran el rendimiento, debido a que entregan de manera controlada los nutrientes conforme a los requerimientos de las plantas.

Tabla 11: Comparación de Medias de Tukey para Rendimiento (Kg ha⁻¹)

Tratamientos	Medias	
T0	3.418	c
T1	4.934	a
T2	4.295	b
T3	3.949	bc

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

6.1.5. Rendimiento Según el Diámetro de la Fruta.

El análisis estadístico presentó diferencias significativas entre los tratamientos para las variables de primera y segunda clase encontrando que con la aplicación de nano fertilizantes el T1, T2 y T3 son estadísticamente iguales respecto al T0 con fertilizante convencional, el cual presentó diferencias significativas en el diámetro de la fruta (tabla 12).

En la investigación, el calibre de la fruta fue influenciado por la aplicación de los nano fertilizantes y la consecuente eficiencia en la nutrición, evidenciado en una buena calidad de la cosecha. Esta respuesta es muy significativa, considerando que el cultivo de arándano tiene gran importancia en el mercado, debido a que el 80% de la producción está destinada para exportación principalmente en Estados Unidos y Unión Europea (Chamat y Chamat, 2020).

Tabla 12: Comparación de Medias de Tukey para Rendimiento según la Clasificación de la Fruta

Tratamiento	Rendimiento Kg*ha ⁻¹	
	Primera clase	Segunda clase
T0	1302c	1468 b
T1	2166 a	2307 a
T2	1856 ab	1924 ab
T3	1451 bc	1881 ab

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

6.1.6. Contenido de sólidos solubles totales (SST)

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, donde el T1 (16 °Brix), correspondiente al 100% de nanofertilizantes y el T2 (15,84 °Brix) con nivel del 75% de nano fertilizante son estadísticamente iguales, y presentaron diferencias significativas respecto al T0 (8,89 °Brix) con fertilizante convencional y T3 (14,3°Brix) con el 50% de nanofertilizantes obteniendo los menores contenidos de SST (tabla 13).

Los resultados muestran que el contenido de SST con la aplicación de nano partículas son satisfactorios, porque este factor se usa comercialmente como índice de calidad (Mata y Natera, 2009). Además, son un estimador del porcentaje de azúcar contenido en la fruta (Zapata *et al.*, 2013). Para la fase de cosecha los niveles en arándano, variedad Biloxi se pueden encontrar entre

rangos de 12 a 14 °Brix (Hernández *et al.*, 2014). Rangos inferiores a los obtenidos en esta investigación.

Con respecto a lo anterior, Jihan *et al.* (2022), encontraron un resultado superior en el contenido de SST al aplicar diferentes niveles de nanofertilizantes NPK en el cultivo de manzanos. Por el contrario, López *et al.* (2019) en su estudio “aplicación foliar de nanopartículas de cobre (NPsCu) y su efecto en el rendimiento de melón hidropónico” reportan que para el contenido de SST no se observaron efectos significativos. Sin embargo, los valores están dentro de los rangos óptimos para frutos de melón destinado al mercado nacional.

Tabla 13: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Contenido de Sólidos Solubles Totales.

Tratamientos	Medias	
T0	8,89	c
T1	16	a
T2	15,84	a
T3	14,3	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

6.1.7. Valor nutricional

6.1.7.1. Contenido de Polifenoles totales (PT). En el contenido total de Polifenoles se observó diferencias significativas entre todos los tratamientos, donde el mayor promedio fue el T1 (4.068 mg GAE/100g Fw) correspondiente al 100% de nano fertilizantes y el menor promedio el T0 (2.111 mg GAE/100g Fw) con fertilizante convencional (tabla 14). Esto indica que la aplicación de nano fertilizantes interviene favorablemente en el contenido de PT. Barreto *et al.* (2016) reportan un contenido de PT de 1011.5 mg GAE/100g en arándano deshidratados, variedad Biloxy, datos inferiores a los reportados en esta investigación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la variación de Polifenoles totales en Berries puede depender de diversos elementos como condiciones ambientales,

grado de madurez, variedad del cultivo, almacenamiento y procesamiento de las frutas (Vollmannová et al., 2009).

Referente a otros cultivos, Méndez *et al.* (2016) afirman que la aplicación foliar de nano partículas de óxido de zinc con plata (NPsZnO + Ag) en cultivo de ají (*C. annuum*) mejoraron significativamente el contenido de antioxidantes. También, García (2019), a diferentes concentraciones de NPs de ZnO en un rango de 100 a 500 ppm, en chile habanero (*Capsicum annuum*) encontró un aumento en la acumulación de compuestos antioxidantes, como fenoles totales, flavonoides y taninos condensados. De igual manera, Raigond *et al.* (2017) reportan que la aplicación de NPs de ZnO en plantas de papa (*Solanum tuberosum*) aumentaron los porcentajes de compuestos fenólicos totales. Además, se evaluaron estas nanopartículas en el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a diferentes concentraciones, obteniendo mayor contenido en fenoles totales, flavonoides, vitamina C y mayor capacidad antioxidante (Fortis *et al.*, 2023).

Tabla 14: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Polifenoles Totales.

Tratamientos	Medias	
T0	2.111	d
T1	4.068	a
T2	3.027	b
T3	2.447	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

6.1.7.2.Contenido de Humedad en Fruto. Se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad en frutos, donde el T1 (82,83%) T2 (83,13%), y T3 (83,03%) con la aplicación de nano fertilizantes son estadísticamente iguales, presentando diferencias significativas respecto al T0 (80,57%) con fertilizante convencional. Obteniendo el menor promedio del contenido de humedad (tabla 15). Posiblemente la aplicación de nano partículas evidenció un mejor transporte y redistribución de agua hacia el fruto debido a

un mayor diferencial en el potencial hídrico. Además, esta variable quizá fue favorecida por la eficiencia y la alta capacidad de retención de humedad que poseen los suelos andisoles.

Los tratamientos con nanofertilizantes en la investigación se comportaron estadísticamente similares (tabla 14) como lo reportado por Estrada (2023) en el cultivo de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) con aplicación de nanopartículas de Óxido de Zinc (ZnO), en donde no se reportaron diferencias significativas entre tratamientos en el contenido de humedad del fruto. Por el contrario, Abde, (2021) observó una disminución significativa en el contenido de humedad, con aplicaciones de nanofertilizante NPK en el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum*).

Por lo expuesto, se concluye que la aplicación de nano partículas influye en el contenido de humedad, siendo este factor importante porque afecta la calidad, sabor, textura, periodo de conservación y capacidad de procesamiento. Por consiguiente, los resultados pueden variar según la variedad del cultivo e igualmente por inadecuados procedimientos en el laboratorio y condiciones de temperatura, tiempo de secado y masa de la muestra, etc.

Tabla 15: Prueba de Comparación de Medias de Tukey Humedad de la Fruta.

Tratamientos	Medias	
T0	80,57	b
T1	82,83	a
T2	83,13	a
T3	83,03	a

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

6.1.7.3. Porcentaje de Cenizas en fruto. Esta variable mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, encontrando mayor promedio en el T1 (2,07%), correspondiente a la aplicación del 100% de nano fertilizantes el cual presentó diferencias significativas respecto al T0 (1,51%) con fertilizante convencional, T2 (1,72%) y T3 (1,62%) con

aplicación de nano fertilizantes, comportándose estadísticamente iguales y presentando los menores promedios (tabla 16).

Los resultados obtenidos reflejan un efecto positivo sobre el contenido de cenizas evidenciando una respuesta significativa a la aplicación de mayor cantidad de nano nutrientes. Esta variable es importante porque representa el contenido total de minerales en los alimentos y es usado como índice de calidad, debido a que en los resultados podemos evaluar los componentes que los constituyen (Márquez, 2014). Es relevante tener en cuenta que el porcentaje de cenizas puede ser afectado por mal procedimiento en el laboratorio, por ejemplo: contaminación de la fruta, inestabilidad de las muestras, preservación incorrecta, transporte de la muestra, entre otros.

Por otro lado, Marín (2022) encontró que el contenido de cenizas en el cultivo de arándanos con aplicación de fertilizante convencional fue de (0,44%). También USDA (2019) en su base de datos de la composición de frutos en arándano fresco reportó un contenido de cenizas del 0,24%. Además, Campostrini *et al.* (2018) realizaron un estudio de la optimización del uso de arándanos, en donde una de las características fisicoquímicas evaluadas fue ceniza con un porcentaje de 1,2%. Reportes inferiores a los encontrados en esta investigación.

Tabla 16: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Cenizas de la Fruta.

Tratamientos	Medias	
T0	1,51	b
T1	2,07	a
T2	1,72	b
T3	1,62	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

6.1.7.4. Contenido de Proteínas en el fruto. El análisis de varianza evidenció que el T1 (4,9%), T2 (4,6%) y T3 (4,8%) correspondientes a la aplicación de nano fertilizantes se comportaron estadísticamente iguales, presentando diferencia significativa respecto al T0

(4,5%) con fertilizante convencional obteniendo el menor promedio en el contenido de proteínas (tabla 17). Por consiguiente, el resultado obtenido en el trabajo refleja un efecto positivo sobre el contenido de proteínas con la aplicación de nano partículas, variable importante porque es indicador de calidad en los frutos y primordial en la dieta humana.

Curo y Montenegro (2018) reportaron un contenido de proteínas de 1,59% para el arándano fertilizado de forma convencional, dato inferior al obtenido en esta investigación. Por el contrario, Ahmadian *et al.* (2021) reportan la eficiencia de los nanofertilizantes de boro, zinc y silicio, donde obtuvieron mayor contenido de proteína en cultivos de trigo (*Triticum aestivum*). También, Raliya *et al.* (2015) encontraron que la aplicación de NPs de óxido de Titanio en frijol mungo (*Vigna radiata* L.) tienen un incremento significativo en el contenido de proteína total. Además, Arguello (2016), afirma que con el uso de nanofertilizantes en plantas de fríjol (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*) se incrementó notoriamente el índice de clorofila, concentración de carbohidratos y contenido de proteína.

Tabla 17: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para Proteínas de la Fruta.

Tratamientos	Medias	
T0	4,5	b
T1	4,9	a
T2	4,6	ab
T3	4,8	ab

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

7. CONCLUSIONES

El mayor número de flores y frutos por planta se obtuvieron con la aplicación de diferentes niveles de nano fertilizantes, con un incremento del 40% y 31% respectivamente.

El mayor rendimiento total (4.934 Kg ha⁻¹) se obtuvo con la aplicación del 100% de la dosis, incrementándose en un 31% sobre el rendimiento alcanzado con el fertilizante convencional (3.418 Kg ha⁻¹), igualmente se alcanzó el mayor promedio con frutos de primera clase (2.166 Kg ha⁻¹),

La aplicación de nano fertilizantes con el 100% de la dosis requerida mejoró la calidad comercial de los frutos de arándanos incrementando el contenido de sólidos solubles totales en 44%, Polifenoles en 48%, proteínas en 8% y cenizas 27%, con relación a la aplicación de fertilizantes convencionales.

El porcentaje de humedad en frutos de arándano fue superior con aplicación de los diferentes niveles de nano fertilizantes requeridos por el cultivo debido a que las nanopartículas probablemente aumentan la eficiencia.

8. RECOMENDACIONES

Evaluar el comportamiento fisiológico del cultivo de arándano y calidad de la fruta con aplicaciones de nano fertilizantes.

Establecer parcelas de ensayo en unidades experimentales para que productores conozcan los resultados y puedan realizar transición de fertilizantes convencionales a nano fertilizantes.

Realizar análisis económicos a gran escala para determinar la factibilidad de la aplicación de nanopartículas en el cultivo de arándano.

9. BIBLIOGRAFIA

- Ahmadian, K., Jalilian, J y Pirzad, A. (2021). Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. *Agricultural Water Management* [en línea]. Febrero del, vol. 244, p. 1-13.
- Abd El-Azeim, M., Sherif, M., Hussien, M., Tantawy, I & Bashandy, (2020). Impacts of nano- and non-nanofertilizers on potato quality and productivity. *Acta Ecológica*. Volumen 40, Issue 5, P. 388-397
- Arguello, B.; Ricardo, H.; Reyes, I. (2016). Respuestas fisiológicas de plantas cultivadas en bioespacios por efecto de nanofertilizantes y zeolita. Departamento Plástico en la Agricultura. Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) C.P. 25294.
- Arizala, M. Monsalvo, A. Betancourth, C. Salazar, C. Lagos T. (2011). Evaluación de solanaceas silvestres como patrones de lulo (*Solanum quitoense lam*) y su reacción a *Fusarium sp*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto – Colombia.
- Amirnia, R., Bayat, M., & Tajbakhsh, M. (2014). Effects of nano fertilizer application and maternal corm weight on flowering at some saffron (*Crocus sativus L.*) ecotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 19(2), 158-168.
- Agri Sciences, 2020. Nano Fertilizantes en frutillas.
- Alcaldía Municipal de Túquerres. (2023). Plan de Desarrollo Somos Túquerres Para un Buen Vivir ASAGRIN. (2007). Asesorías agrícolas y Agroindustriales. Estrategias regionales de competitividad por rubro, Berries región de OHIGGINS. Instituto de Desarrollo Agropecuario.
- Arnalds, O. y Stahr, K. (2004). Volcanic soil resources: occurrence, development, and properties. *Catena* 56 (1-3): 1-2
- Ballesteros, J.; Sandoval, C, y Cuec, A. (2019). Crisflor Berries: emprendimiento cultivo de arándanos, sector fruvícola.
- Bakry, BA, El-Nwehy, SS, Afify, RR, Ibrahim, OM y Abd El-Aziz, ME (2022). Preparación, caracterización y evaluación de la aplicación foliar de nanofósforo en la producción de maní en suelo arenoso. *Revista asiática de ciencias vegetales*, 21(3):423-431
- Barreto, M. A., Cánoves, A. M. F., & Mas, M. J. E. (2016). Determinación de polifenoles totales en arándanos y productos derivados. *Ucv-Scientia*, 8(1), 13-21.
- Cárdenas, M. W. (2021). Entendiendo el fertirriego.

- Camacho, O., Miguel Ángel, B., & Alonso, H. (1975). Estudio general de suelos de los municipios de el Tambo, Pupiales, Pasto, Túquerres y otros del centro y sur. Ministerio de hacienda y crédito público, Vol. 7.
- Chamat Galeano, D. F., & Chamat Galeano, D. S. (2020). Arándanos de los Andes.
- Curo, S. P., & Montenegro, L. Y. (2018). Evaluación Fisicoquímica y Sensorial de una Bebida Funcional a Base de Betarraga (*Beta Vulgaris*) y Arándanos (*Vaccinium Myrtillus*).
- Calvo, A. (2019). Rendimiento de cultivos por hectárea: cómo calcularlo. *Obtenido de Agroptima*.
- Campostrini, F., Sosa, N., Gabriela, M., & Roy, R. (2018). Optimización del uso de arándanos, nueces, amaranto y miel en la elaboración de un bocadito con compuestos bioactivos.
- Espinosa, A. y Sanabria, Y. (2015). Procesos específicos de formación en Andisoles, Alfisoles y Ultisoles en Colombia. *Revista EIA*, 12(2), 85-97.
- Eichert, T.; Kurtz, A.; Steiner, U. y Goldbach, H. (2008). Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar uptake pathway for aqueous solutes and water-suspended nanoparticles. *Physiologia Plantarum*, 134(1), 151-160.
- 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). Fertilización foliar con nanopartículas de ZnO y su efecto en la producción, calidad biofísica y nutraceútica en frutos de nogal pecanero (*Carya illinoensis*).
- FAO. (2017). Identificación de cultivos de importancia económica impactados por la zoopolinización, Scribbr. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/c35366c7-9431-461f-b399-c704657231b8/>
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. (2015). Fertilización foliar. Principios científicos y prácticas de campo. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA).
- Flores, D.; Vázquez, M.; Mildemberg, J. y Beltrano, J. (2014). Efecto de la fertilización cálcica sobre el rendimiento y tamaño de fruto en arándano alto del sur (*Vaccinium corymbosum* L.). *Horticultura*, 33(81), 31-36.
- FORTIS, M., Claudia, V., GALINDO, M., PRECIADO, P., GALINDO, A. P., & FLORES, E. (2023). Biofortification with ZnO NPs as nanofertilizers to improve sustainable commercial and phytochemical quality in basil plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 51(2).

- Gómez, P. (2019). Efecto de la aplicación foliar de nanofertilizantes sobre la capacidad fotosintética de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- García, G.; Rubio, J.; (2006). Orientaciones para el cultivo de arándano, SF. Scribbr. http://www.naviaporcia.com/images/documentos/documento_173.pdf
- García Rubio, J. C., García González de Lena, G., & Ciordia Ara, M. (2018). El cultivo del arándano en el norte de España.
- García López, J. I. (2019). *Respuestas fisiológicas y bioquímicas inducidas por nanopartículas de ZnO en semillas y plantas de chile habanero (Capsicum chinense Jacq).*
- Herrera, C., (2006). Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia - estudio fundamental e implicaciones en ingeniería.
- Hernández, D. H., García, P. S., López, A., Jiménez, C. S. V., Kuri, S. V. G., & López, J. (2014). Nutritional Concentration In Low Cold Requirement (*Vaccinium Corymbosum* L.) Blueberry Leaves.
- Himangini, J., Somdutt, B., Piyush, C., y Mundra, S. (2019). Future prospects of nanotechnology in agricultura.
- Instituto Colombiano Agropecuario- ICA (2023). El nutritivo y delicioso sabor de los arándanos colombianos llega a Canadá. Artículos Técnicos de ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario- ICA (2017). Instrucciones generales uso de nanofertilizantes quilatados avanzados de alta tecnología HT. Cartilla uso de nanofertilizantes Agrónomos, p. 9.
- INTAGRI. (2017). El Cultivo de Arándano. Serie Frutillas Núm. 17. Artículos Técnicos de INTAGRI. P.10.
- Jihan, G. y Jassim, K. (2022). El efecto de fertilizar con ácido húmico y rociar con nanofertilizante NPK sobre algunas características del rendimiento del manzano. Revista de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Kirkuk, 13 (3).
- Juárez, A., H. Ortega-Ortíz, F. Pérez-Labrada, G. Cadenas-Pliego y A. Benavides-Mendoza. (2016). Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. Journal of Applied Botany and Food Quality 89:183-189.
- Krewer, G. y Ruter, J. (2009). Fertilizing Highbush Blueberry in Pine Bark Beds. Cooperative Extension, the University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences.

- Lira, R.; Méndez, B.; De Los Santos, G. y Vera, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28(2), 16.
- Lira, S.; Méndez A.; De Los Santos, V.; y VERA R. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28 (2), 9-24. doi: 10.15174/au.2018.1575
- Liu, R. y Lal, R. (2015). Potenciales de las nanopartículas diseñadas como fertilizantes para aumentar las producciones agronómicas. *Ciencia del medio ambiente total*, 514, 131-139.
- López, J. A. O., Hernández, M. F., Ortiz, H. O., Preciado, P., & Rangel, H. Z. G. (2019) APLICACIÓN FOLIAR DE NANOPARTICULAS DE COBRE (NPsCu) Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE MELÓN HIDROPONICO. In IV Congreso Internacional y XV Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas (p. 212).
- Martínez, D. (2019). Factibilidad para la implementación de un cultivo de arándano (*Vaccinium Corymbosum* L.).
- Mata, N. J. M., y Natera, J. R. M. (2009). Efecto de reguladores de crecimiento sobre el epicarpo, mesocarpo y sólidos solubles totales del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) cv. Edisto 47. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2), 295-303.
- Márquez Siguas, B. M. (2014). Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones.
- Marín Reyna, E. M. (2022). Calidad y vida útil de arándano (*Vaccinium myrtillus*) con recubrimiento comestible de mucílago de café (*Coffea arabica*).
- Mendoza Uribe, G., & Rodríguez-López, J. L. (2007). La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles latinoamericanos*, 14(29), 161-186
- Mesa, P. (2015) Algunos aspectos de la fenología, el crecimiento y la producción de dos cultivadores de arándano (*Vaccinium corymbosum* L. x *V. darowii*) plantados en guasca Cundinamarca, Colombia. Universidad militar nueva granada; Facultas de ciencias básicas y aplicadas; Programa de biología aplicada.
- Mohamed Morsi, Ahmed Salah y Omar Ahmed, Abdel Moneim Awadallah. (2021). Respuesta de dos híbridos de maíz amarillo a aminoácidos, fertilización mineral y nanofertilización en las condiciones de la región de Toshka. *Revista de Alejandría para el intercambio científico*, 42 (2)
- Muñoz-Vega, P., Serri, H., Lopéz, M. D., Faundez, M., & Palma, P. (2017). Efecto de diferentes intensidades de poda sobre el rendimiento y calidad de fruta en arándano (*Vaccinium*

- corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 33(3), 285-303
- 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.
- Naderi, M. y Danesh, A. (2013). Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5(19): 2229-2232
- Ochoa, S. (2015). Pasos claves en el emprendimiento del cultivo de arándano. Visita al departamento técnico SB Group. Pelarco, Chile.
- Ospina, R. O., Londoño, M. A. B., Londoño, J. M. B., Ledesma, E. Z., & Gil, H. A. P. (2022). NANOFERTILIZANTES EN EL SUELO Y EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO.
- Orga Porras, J. (2021). Manejo agronómico del cultivo de Arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en contenedores en Villacurí, Ica.
- Quispe Chalco, C. R. (2010). Nanotecnología en la agricultura. *Revista de información, tecnología y sociedad*, 72.
- Rivadeneira, M. (2010). Requerimientos nutricionales en arándano y extracción de nutrientes. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria.
- Rivadeneira, M. y Gozales, C. (2011). Comportamiento fenológico de variedades tradicionales y nuevas de arándano. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria.
- Robledo, Y. A. Á., Cruz, M. O., Silva, R. C., Valqui, N. C. V., & Huaman, E. H. (2020). Desempeño agronómico de cuatro variedades de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivadas en diferentes sustratos y pisos altitudinales. *Bioagro*, 32(3), 187-194.
- Rubio, J.C.; García, G. y Ciordia, M. (2010). Situación actual del cultivo del arándano en el mundo. *Tecnología Agroalimentaria*.
- Rosales Palacios, H. J. (2022). Evaluación agronómica de frijol biofortificado bio102 (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferentes niveles de nanofertilizante.
- Raliya, R., Biswas, P. y Tarafdar, J. (2015). Biosíntesis de nanopartículas de TiO₂ y su efecto fisiológico en frijol mungo (*Vigna radiata* L.). *Informes de Biotecnología*, 5, 22-26.
- Raigond, P., Raigond, B., Kaundal, B., Singh, B., Joshi, A., & Dutt, S. (2017). Effect of zinc nanoparticles on antioxidative system of potato plants. *Journal of Environmental Biology*, 38(3), 435.

- Rameshaiah, G. y Pallavi, J. (2015). Nanofertilizantes y nanosensores: un intento de desarrollar una agricultura inteligente. *Revista Internacional de Investigación en Ingeniería y Ciencias Generales*, 3(1), 314-320.
- Rico, C. Majumdar, S. Duarte, M. Peralta, J. Gardea, L. (2011). Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(8): 3485-3498. Doi: 10.1021/jf104517j
- Simbaña Sanguña, P. J. (2023). Evaluación del crecimiento y rendimiento de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet), variedad INIAP-450 Andino, utilizando quelatos y nanopartículas de Fe y Zn, fase de campo.
- Sharma, S.; Rana, V.; Pawar, R.; Lakra, J. y Racchapannavar, V. (2020). Nanofertilizers for sustainable fruit production: a review. *Environmental Chemistry Letters*.
- Segura, Á. (2002). Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. 18p.
- Siskani, A.; Seghatoleslami, M., y Moosavi, G. (2015). Effect of deficit irrigation and nano fertilizers on yield and some morphological traits of cotton. *Biological Forum*, 7(1), 1710-1715.
- Tarafdar, J. Raliya, R. Mahawar, H. & Rathore, I. (2014). Desarrollo de nano fertilizantes de zinc para mejorar la producción de cultivos de mijo perla (*Pennisetum americanum*). *Investigación Agrícola*, 3(3), 257-262.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 06 Apr. 2024 Missouri Botanical Garden - 4344 Shaw Boulevard - Saint Louis, Missouri 63110.
- Undurraga, P. y Vargas, S. (2013). Manual del arándano. Boletín INIA N° 263. 120 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA.
- USDA-ERS. (2023). Blueberry Annual Voluntary. Foreign Agricultural Service. U.S. Department the agriculture.
- United States Department of Agriculture. (2019). Food Data Central Search Results: Blueberriesraw.Scribbr.<https://fdc.nal.usda.gov/fdcapp.html#/fooddetails/171711/nutrient>
- Vollmannová A, Tóth T, Urminská D, Poláková Z, Timoracká M, Margitanová E.(2009). Anthocyanins Content in Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) in Relation to Freezing Duration. ResearchGate

Zapata, L., Heredia, A., Malleret, A., Quinteros, F., Cives, H., & Carlazara, G. (2013). Evaluación de parámetros de calidad que ayuden a definir la frecuencia de recolección de bayas de arándanos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(2), 186-194.