

Diagnóstico y estrategias de manejo en el campo para mejorar el tamaño y la uniformidad del mango en Ecuador

- Informe final del proyecto de investigación -

Dr. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante

Federal University of São Francisco Valley, Petrolina, Brazil
National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ)
Leader of the Research Group 'Fruit Production in São Francisco Valley' (FRUTVASF)
italo.cavalcante@univasf.edu.br / <https://frutvasf.univasf.edu.br/>
June 2025

Resumen: Se llevó a cabo un proyecto de investigación para identificar los principales factores que limitan el desarrollo de los frutos y evaluar estrategias agronómicas para mejorar el tamaño y la uniformidad de los frutos en huertos comerciales de mango «Tommy Atkins» y «Ataulfo» en Guayaquil, Ecuador. El proyecto se estructuró en tres fases: (1) evaluación diagnóstica del clima, el suelo, la nutrición de las plantas y las características de los huertos; (2) implementación de cinco estrategias de manejo distintas en el campo; y (3) identificación de las prácticas más eficaces en función de la productividad y la calidad de los frutos. En la primera fase se observaron limitaciones tales como un desarrollo deficiente de las raíces, una alta compactación del suelo, desequilibrios nutricionales y un estrés oxidativo moderado. El fósforo, el potasio y el boro eran frecuentemente limitantes, y los altos niveles de calcio y magnesio afectaban la absorción de nutrientes. El huerto también presentaba una cobertura de riego limitada debido al uso de un solo microaspersor por planta. En los ensayos de campo se compararon cinco estrategias de gestión: T1 (gestión tradicional), T2 (fertilización basada en la demanda fenológica + riego según Kc), T3 (T2 + aminoácidos + fitorregulador), T4 (T3 + protector solar) y T5 (T4 con fertilizantes líquidos). La T2 mostró el mayor aumento en el número de frutos (+53.6% en «Tommy Atkins»; +14.9% en «Ataulfo») y fue la más eficaz para maximizar el rendimiento. La T5 dio como resultado la mayor masa frutal (+19.9% en «Ataulfo»; +8.9% en «Tommy Atkins») y mejoró la distribución comercial del tamaño de los frutos, pero requirió una fertilidad adecuada del suelo. T3 ofreció un resultado equilibrado entre la cantidad y la calidad de los frutos. Se recomienda adoptar T2 como estrategia de referencia o T5 en función de los objetivos del mercado y las condiciones del huerto. También se aconsejan mejoras estructurales, como la instalación de un segundo microaspersor, y estrategias para estimular el crecimiento de las raíces y mitigar el estrés abiótico. La aplicación constante de estas prácticas a lo largo de los ciclos de producción es esencial para mejorar la calidad y la competitividad del mango en Ecuador.

Palabras clave: *Mangifera indica* L.; gestión de huertos; estrategias de fertilización; bioestimulación

Abreviaturas de nutrientes utilizadas en este estudio:

N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; S: azufre; B: boro; Zn: zinc; Cu: cobre; Mn: manganeso; Fe: hierro; Mo: molibdeno.

1. Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) se cultiva ampliamente en Ecuador y se destaca como una de las frutas tropicales con mayor valor comercial en el país. A pesar de las condiciones climáticas favorables y la vocación agrícola de las regiones productoras, la producción de mango ecuatoriano enfrenta importantes desafíos, particularmente relacionados con la baja uniformidad y el tamaño reducido de los frutos. Estas limitaciones comprometen el valor de mercado de la cosecha, pueden restringir el acceso a mercados internacionales más exigentes, y afectan directamente la rentabilidad del sistema de producción.

La aparición de frutos de tamaño inferior al normal es un problema multifactorial, que implica tanto aspectos genéticos como la necesidad de ajustes en la gestión agronómica. Entre los principales factores determinantes se encuentran los desequilibrios nutricionales, los déficits hídricos, la baja eficiencia fotosintética, los estreses abióticos —especialmente los relacionados con condiciones ambientales adversas— y las prácticas culturales inadecuadas o ineficaces (Torres, 2019; Lino et al., 2024). Estos factores, que actúan de forma individual o sinérgica, perjudican el desarrollo adecuado de los frutos y aumentan la proporción de frutos no aptos para la comercialización, especialmente para el mercado norteamericano, principal importador de mangos ecuatorianos.

Ante este escenario, se hace imprescindible el desarrollo y la validación de estrategias de manejo más eficientes. Dichas estrategias deben tener en cuenta las etapas fenológicas específicas del mango y los factores limitantes para la producción de frutos de alta calidad. Entre ellas, cabe destacar los programas de fertilización basados en las demandas nutricionales del cultivo en cada fase fenológica (Carneiro et al., 2018; Oldoni et al., 2018), así como la incorporación de tecnologías que mejoran la disponibilidad de nutrientes, como los ácidos fúlvicos (Torres, 2019). Estas prácticas deben integrarse con una gestión racional del riego basada en los valores del coeficiente de cultivo (Kc) (Cotrim et al., 2017; Levin et al., 2018), promoviendo una mayor eficiencia en el uso de insumos y respaldando la eficacia de los productos bioactivos con propiedades bioestimulantes (Cavalcante et al., 2018; Lobo et al., 2019; Lino et al., 2023; Lino et al., 2024; Venancio et al., 2024).

En lo que respecta específicamente a los bioestimulantes, estos insumos actúan sobre las vías metabólicas asociadas con la expansión celular, el llenado de los frutos y la tolerancia al estrés,

contribuyendo así a aumentar el tamaño y la uniformidad de los frutos (Calvo et al., 2014; Taiz et al., 2017; Mudo et al., 2025). Los bioestimulantes influyen en las plantas a través de diversos mecanismos, entre ellos el aumento de la disponibilidad de carbohidratos, esenciales para el desarrollo de los frutos. La cantidad de carbohidratos que se suministra a los frutos depende, a su vez, de la cantidad producida mediante la fotosíntesis de las hojas, la reducción de la demanda de los sumideros y la disponibilidad de reservas almacenadas (Léchaudel y Joas, 2007).

Teniendo en cuenta el clima predominante, las características del suelo y el estado actual del huerto, la gestión agronómica debe ajustarse a la calidad y el tamaño deseados de los frutos. Esto se debe a que la competencia entre los sumideros por los asimilados influye directamente tanto en la tasa de crecimiento de la planta como en el cuajado de los frutos. Una mayor carga de frutos en la planta favorece una mayor distribución de los fotoasimilados, lo que puede limitar el desarrollo de los frutos individuales (Andriolo y Falcão, 2000; Costa et al., 2017). Cuando hay menos sumideros que compiten, los productos fotosintéticos pueden asignarse de manera más eficiente a los frutos restantes durante la fase de fructificación (Gazzola, 1991). En este contexto, surgen dos alternativas: adoptar estrategias de gestión adaptadas a las condiciones locales para mejorar la distribución de los asimilados o reducir la competencia entre frutos mediante el raleo, aunque la viabilidad y la viabilidad del raleo en entornos comerciales siguen siendo discutibles.

Partiendo de estas premisas, el presente estudio se llevó a cabo en una zona de producción comercial de mango en Ecuador, con el objetivo de identificar las principales causas de la formación de frutos pequeños y probar prácticas de manejo para mejorar el tamaño y la uniformidad de los frutos.

2. Material y métodos

El proyecto se desarrolló en tres fases consecutivas en huertos comerciales de mango seleccionados entre productores/exportadores de mango en Ecuador (Fundación Mango del Ecuador), inicialmente con mango «Tommy Atkins», pero a petición de los productores de mango también se desarrolló con «Ataulfo».

El fruto cosechado es una característica consecuente de factores genéticos, pero está influenciado por diferentes factores climáticos, edafológicos y del huerto. De esta manera, el proyecto se desarrolló en tres fases diferentes: primera fase: diagnóstico; segunda fase: realización de campo; y tercera fase: identificación y recomendación de la mejor estrategia de manejo.

2.1 Primera fase: diagnóstico

Esta fase consistió en recopilar y analizar variables climáticas, datos del suelo y las características de los huertos seleccionados para el estudio.

Se analizaron los datos históricos de las variables climáticas en cuanto a temperatura del aire, humedad del aire, nubosidad, precipitaciones y energía solar. Se midieron otras variables para la caracterización de los huertos, como la intensidad de la luz solar (Lux x100 x 50.000), los índices de clorofila de las hojas (*a*, *b* y total), la humedad del suelo (%), la firmeza del suelo (MPa) y la fuga de electrolitos de las hojas ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

El huerto «Ataulfo» estudiado tenía casi 19 años, estaba espaciado 9.0 x 5.5 m y se regaba con un microaspersor por planta con un caudal de 50.0 L/h. El huerto de «Tommy Atkins» estudiado tenía casi 31 años, estaba espaciado a 9.0 x 6.0 m y se regaba con un microaspersor por planta con un caudal de 36.0 L/h.

También se capturaron imágenes térmicas del huerto utilizando un sistema de imágenes termográficas (Flir One®, Wilsonville, EE. UU.) con conectividad inalámbrica.

La intensidad de la luz solar se evaluó utilizando un luxímetro (Instrutherm®, Brasil) dentro de las hileras de mangos. Las lecturas de clorofila de las hojas (índices *a*, *b* y total) se midieron utilizando un medidor de clorofila (Falker®, Brasil) en cuatro hojas de cada planta de la parte media de la copa en cada punto cardinal, siguiendo las instrucciones de El-Hendawy et al. (2005). La humedad del suelo se midió utilizando un medidor de suelo (Falker®, Brasil) en el área de cobertura del microaspersor. La fuga de electrolitos de las hojas se realizó siguiendo la metodología propuesta por Lutts et al. (1996).

Las mediciones de las lecturas del medidor de clorofila de las hojas, la humedad del suelo y la intensidad de la luz solar pueden verificarse en la figura 1.



Figura 1: Mediciones de los índices de clorofila foliar (A), humedad del suelo (B) e intensidad de la luz solar (C) en los huertos experimentales durante la fase de caracterización.

Durante la fase de caracterización, se recogieron muestras de suelo y hojas para diagnosticar por separado el estado nutricional del mango «Ataulfo» y «Tommy Atkins». Las hojas de la última brotación madura se recogieron, se almacenaron en bolsas de papel y se enviaron a Plant Soil Laboratories® (Petrolina, Brasil) para su análisis según el método de Tedesco et al. (1995) para el diagnóstico del estado nutricional de las hojas. Se recogieron muestras de suelo a una profundidad de 0-30 cm debajo de la copa de los mangos en el área de cobertura del microaspersor, se almacenaron en bolsas de plástico adecuadas y se enviaron a Plant Soil Laboratories® (Petrolina, Brasil) para su análisis de fertilidad. La textura del suelo se evaluó siguiendo el método de Donagema et al. (2011). Dichos análisis se realizaron en dos fechas distintas, ambas antes de la definición y aplicación del tratamiento.

El sistema radicular también se evaluó mediante identificación visual (excavación del suelo en la zona radicular).

2.2 Segunda fase: realización de experimentos de campo.

Con los resultados orientativos obtenidos en la primera fase del proyecto, se llevaron a cabo experimentos específicos basados en los principales problemas encarados por los huertos, centrándose en la mejora de los frutos de las variedades «Ataulfo» y «Tommy Atkins».

Estos tratamientos se elaboraron mediante la combinación de factores básicos de gestión asociados a estrategias tecnológicas específicas para el cultivo del mango, ya utilizadas en otras regiones productoras o resultados de producciones científicas ya publicadas.

Los experimentos (mangos de las variedades «Ataulfo» y «Tommy Atkins» por separado) se organizaron en bloques aleatorios con cinco tratamientos, cuatro bloques y cinco plantas por bloque. Los tratamientos se definieron como:

T1 - Control (gestión agrícola tradicional, sin alteraciones);

T2 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + ajuste del riego (según Kc);

T3 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + ajuste del riego (según Kc) + aminoácidos + fitorregulador;

T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + ajuste del riego (según Kc) + aminoácidos + fitorregulador + protector solar;

T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + ajuste del riego (según Kc) + aminoácidos + fitorregulador + protector solar.

Las cantidades de nutrientes aplicadas en cada tratamiento se indican en la Tabla 1 específicamente para cada cultivar de mango.

Tabla 1: Cantidades de nutrientes aplicadas en cada tratamiento (kg/ha desde la floración hasta la cosecha de frutos) según cada cultivar de mango.

Nutriente	Ataulfo			Tommy Atkins		
	T1	T2, T3 y T4	T5	T1	T2, T3 y T4	T5
N	58.32	15.0	5.26	57.36	23.6	5.65
P	28.43	18.0	8.18	26.97	29.0	8.77
K	42.22	19.0	6.52	40.39	28.0	6.99
Ca	33.94	-	1.26	28.84	-	1.35
Mg	1.37	4.75	0.92	1.66	6.65	0.99
Zn	1.47	2.2	0.04	1.02	1.10	0.05
B	0.20	7.41	0.00	0.22	9.14	0.00
Mn	0.0	8.96	0.01	-	8.96	0.01
Fe	0.0	3.0	0.01	-	1.04	0.01

T1 - Control (gestión agrícola tradicional, sin modificaciones); T2 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + ajuste del riego (según Kc); T3 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + ajuste del riego (según Kc) + aminoácidos + fitorregulador; T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + ajuste del riego (según Kc) + aminoácidos + fitorregulador + protector solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + ajuste del riego (según Kc) + aminoácidos + fitorregulador + protector solar.

Mientras que los calendarios de fertilización desde la floración hasta la cosecha de frutos para cada tratamiento (T2, T3, T4 y T5) se encuentran en los apéndices 1 y 2, para los tratamientos T1 se aplicó el total de fertilizantes mediante fertirrigación: Tommy Atkins: 96.4 g/árbol de nitrato de amonio, 27.0 g/árbol de fosfato diamónico, 27.0 g/árbol de fosfato monoamónico, 80.8 g/árbol de nitrato de potasio, 90.2 g/árbol de nitrato de calcio, 13.8 g/árbol de sulfato de magnesio, 4.4 g/árbol de sulfato de zinc y 1.8 g/árbol de ácido bórico; Ataulfo: 89.6 g/árbol de nitrato de amonio, 28.4 g/árbol de fosfato diamónico, 28.4 g/árbol de fosfato monoamónico, 84.4 g/árbol de nitrato de potasio, 108.7 g/árbol de nitrato de calcio, 11.4 g/árbol de sulfato de zinc y 1.6 g/árbol de ácido bórico.

Todos los fertilizantes se aplicaron mediante un sistema de fertirrigación. Las dosis recomendadas de cada nutriente utilizadas para T2, T3 y T4 se definieron según Gargantini (1999), las recomendaciones personales de FRUTVASF (sin criterios de datos publicados) y siguiendo los rangos adecuados de suministro definidos por Rezende et al. (2022) y la exportación de nutrientes con la cosecha de fruta debidamente definida por Torres (2019). Las dosis de T5 se basaron en un experimento con lisímetro realizado en Brasil (datos no publicados).

La fuente de aminoamidas utilizada en los tratamientos T3, T4 y T5 fue Biomax™, que presenta un 90 % de aminoácidos libres, y se aplicó en la floración, una vez en la segunda caída fisiológica del fruto y dos veces más cada quince días mediante fertirrigación en una dosis de 250 g/ha en cada aplicación, alcanzando los 1000 g/ha.

El fitorregulador utilizado en los tratamientos T3, T4 y T5 fue Biotek™, que presenta citoquininas (2197.95 mg/kg), giberelinas (33.50 mg/kg), auxinas (34.70 mg/kg), además de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Co, S y Mo) y vitaminas (ácido fólico, ácido pantoténico, riboflavina, colina, niacina y tiamina), en la floración, una vez en la segunda caída fisiológica del fruto y dos veces más cada quince días mediante fertirrigación en una dosis de 1 L/ha en cada aplicación, alcanzando 4 L/ha.

Los bloqueadores solares utilizados en los tratamientos T4 y T5 se basaron en los resultados de Silva et al. (2022a) con adaptaciones, es decir, pulverizaciones foliares con Humigel Plus A™ y Humigel Plus K™ en aplicaciones iniciadas 30 días después de la floración y realizadas de la siguiente manera: 1.ª aplicación (Humigel Plus A™ - 4.0 L/ha), 2.ª aplicación (Humigel Plus K™ - 1.0 L/ha), 3.ª aplicación (Humigel Plus A™ - 4.0 L/ha) y 4.ª aplicación (Humigel Plus K™ - 1.0 L/ha), utilizando 400 L/ha. Humigel Plus A™ actúa como barrera protectora formando una película (película biodegradable) y contiene N (2 %), CaO (4 %), Zn (2.9 %), SiO₂ (15 %) y ácidos fúlvicos (12 %). Humigel Plus K™ también actúa como barrera protectora formando una película (película biodegradable) y contiene N (2 %), K₂O (18 %), CaO (2,8 %) y ácidos fúlvicos (10 %).

La recomendación de riego (T2, T3, T4 y T5) se basó en la evapotranspiración de referencia (Eto) y siguió las recomendaciones de Sousa (2015) citadas por Cavalcante (2022), como se puede ver en el Apéndice 3. La gestión del riego para T1 consistió en: a) «Tommy Atkins»: cuando el huerto estaba al 30 % de floración, se suministraron 12 mm/semana (4 x 3.0 mm en días alternos), aumentando gradualmente hasta alcanzar los 16 mm/semana; A partir de cuando el huerto alcanzó la fase de llenado del fruto, se mantuvo entre 20 y 25 mm/semana hasta la cosecha; y b) «Ataulfo»: comenzó con un máximo de 5 mm/semana al inicio de la floración; a partir del cuajado del fruto, se practicaron las mismas profundidades de agua indicadas para «Tommy Atkins» con un aumento del 20 %.

Es importante destacar que, para el experimento con Ataulfo, la práctica habitual de la finca asociada es realizar un ligero aclareo de frutos, manteniendo una media de cuatro frutos por rama productiva y excluyendo solo aquellos frutos que son realmente más pequeños que la media general del huerto.

Evaluaciones

Las evaluaciones de cada experimento consistieron en:

- i) Fertilidad del suelo a una profundidad de 0-30 cm (Donagema et al., 2011);
- ii) Estado nutricional de las hojas (Tedesco, 1995);

iii) Calibre del fruto según la distribución (Tabla 2) para «Tommy Atkins». Para «Ataulfo», los frutos se clasificaron como: < 200 g, 200-250 g, 250-300 g y > 300 g.

Tabla 2: Clasificación del calibre de la fruta según la demanda estadounidense.

Tamaño del fruto (calibre)	Masa de fruta (g)	
	Mínimo	Máximo
5	799	899
6	667	799
7	572	667
8	490	572
9	450	490
10	380	450
12	320	380
14	270	320

iv) Masa frutal (g);

v) Número de frutos por planta y rendimiento frutal (t/ha);

vi) Distribución proporcional entre el número de frutos por planta y la masa frutal (g), que es la base para la eficacia del tratamiento.

Los análisis estadísticos incluyeron el análisis de varianza (ANOVA) para la separación de los tratamientos en cada experimento utilizando la prueba de Tukey o Scott-Knott. Todos los cálculos se realizaron utilizando el software «R».

2.3 Tercera fase: identificación y recomendación de la mejor estrategia de gestión

En la tercera y última fase del proyecto, se identificaron las estrategias de gestión más eficaces para producir frutos más grandes, teniendo en cuenta las condiciones específicas de la región. Se analizaron los factores que influyen en el tamaño de los frutos y se propuso un enfoque de gestión adecuado.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de los huertos estudiados

Las condiciones climáticas históricas en Guayaquil (EC) a lo largo del año se muestran en la Tabla 3, incluyendo la temperatura del aire, la nubosidad, las precipitaciones, la humedad relativa del aire y la energía solar disponible. La temperatura máxima mensual del aire osciló entre 26.8 °C (julio) y 28.7 °C (diciembre), mientras que la mínima osciló entre 20.5 °C (septiembre) y 23.3 °C (marzo y abril). La temperatura media mensual se mantuvo relativamente estable, oscilando entre 23.0 °C (agosto y septiembre) y 25.3 °C (marzo y abril).

Tabla 3: Datos históricos medios de la temperatura media del aire [máxima (Máx.), mínima (Mín.) y media (Méd.)], porcentaje de tiempo pasado en cada banda de nubosidad (nubosidad), categorizado por el porcentaje de cielo cubierto por nubes (más nublado y menos nublado), precipitación media y energía solar en Guayaquil (EQU).

Mes	Temperatura del aire (°C)			Nubosidad (% del tiempo)		Precipitación (mm)	Humedad del Aire (%)	Energía solar (kWh/m ² por día)
	Max	Min	Prom	Mayoría	Mínimo			
Jan	28.1	23.0	24.8	79	21	253	84	5.7
Feb	28.1	23.2	25.0	83	17	390	87	5.5
Mar	28.5	23.3	25.3	83	17	395	86	5.4
Apr	28.6	23.3	25.3	75	25	323	85	5.6
May	27.9	22.7	24.7	60	40	239	85	5.7
Jun	27.0	21.5	23.6	73	57	155	85	5.9
Jul	26.8	20.9	23.1	34	66	124	83	6.2
Aug	27.2	20.6	23.0	32	68	89	81	6.6
Sep	27.5	20.5	23.0	42	58	101	81	6.7
Oct	27.6	20.8	23.3	57	43	73	80	6.5
Nov	28.2	21.1	23.7	66	34	57	78	6.2
Dec	28.7	22.2	24.6	73	27	122	79	5.9

Los datos históricos están disponibles en Climate Data y Weather Spark.

Como se puede observar en la tabla 3, la nubosidad mostró una variación estacional significativa, siendo mayor entre enero y abril, cuando el cielo estuvo predominantemente nublado entre el 75 % y el 83 % del tiempo. Por el contrario, los meses de julio a septiembre registraron una menor cobertura nubosa, con solo entre un 32 % y un 42 % del tiempo nublado. Las precipitaciones totales reflejaron un patrón estacional típico, con volúmenes más elevados en los primeros meses del año, alcanzando un máximo de 395 mm en marzo. A partir de mayo, las precipitaciones disminuyeron gradualmente, alcanzando los valores más bajos entre agosto (89 mm) y noviembre (57 mm).

La humedad relativa del aire varió poco a lo largo del año, manteniéndose entre el 78 % (noviembre) y el 87 % (febrero), con valores medios superiores al 80 % en la mayoría de los meses.

La disponibilidad de energía solar fue inversamente proporcional a la nubosidad, con los valores más bajos registrados en los meses más lluviosos, como marzo (5,4 kWh/m².día), y los más altos entre agosto y septiembre (6,6-6,7 kWh/m².día), un período de cielos más despejados.

En Guayaquil (EC), el mango se ha gestionado con el objetivo de inducir la floración en mayo, con plena floración en junio-julio y cosecha de frutos de octubre a diciembre, dependiendo del calendario agrícola y de la demanda energética del cultivar de mango, es decir, los cultivares con menor demanda térmica se cosechan antes, mientras que los cultivares con mayor demanda térmica se cosechan más tarde. En otras palabras, en general, el manejo del huerto debe ser adecuado para integrar las condiciones climáticas con las demandas del mango, a lo largo del ciclo fenológico, pero especialmente entre el período de floración y la cosecha, entre los meses de julio y noviembre-diciembre para el cv. Tommy Atkins.

Entre julio y diciembre, las condiciones climáticas en Guayaquil (EC) (Tabla 3) influyen directamente en el crecimiento y el tamaño final de los frutos del mango. Durante las primeras etapas de desarrollo, de julio a septiembre, las temperaturas medias oscilan entre 23.0 y 23.1 °C, que son relativamente bajas para promover una expansión celular vigorosa (Mouco et al., 2019). Aunque la radiación solar es relativamente alta durante este período (6.2-6.7 kWh/m².día), lo que favorece la fotosíntesis y la producción de fotoasimilados, la conversión de estos asimilados en crecimiento efectivo puede verse limitada por temperaturas subóptimas. Entre octubre y diciembre, cuando se produce el llenado del fruto, se observa un aumento progresivo de la nubosidad (del 42 % en septiembre al 73 % en diciembre), acompañado de una reducción de la radiación solar (de 6.7 a 5.9 kWh/m².día). Esta disminución de la energía disponible puede restringir la translocación de carbohidratos a los frutos, lo que repercute negativamente en su tamaño final.

Además, las bajas precipitaciones registradas durante este período (< 125 mm/mes) pueden provocar déficits hídricos si el riego no se gestiona adecuadamente, lo que limita aún más el crecimiento de los frutos. La combinación de estos factores climáticos puede explicar en parte la tendencia histórica de producir mango más pequeño en Ecuador. Para mitigar estos efectos, se pueden adoptar prácticas como la optimización de la gestión del agua y los nutrientes, el uso de bioestimulantes para promover la división y expansión celular, y la regulación de la carga de frutos para mejorar el tamaño de estos. Las estrategias destinadas a maximizar la interceptación de la luz, como los ajustes de poda, también pueden ayudar a minimizar el impacto de la alta nubosidad durante la etapa de llenado del fruto.

Según Silva (2000), Silva (2019), Santos (2021), Costa et al. (2008) y Galán-Saúco (2009), para un cultivo óptimo del mango, se recomienda que las temperaturas se mantengan por debajo de los 33 °C. La humedad relativa ideal oscila entre el 60 % y el 80 %, mientras que los niveles de radiación solar deben estar entre 5 y 7 kWh/m²/día. Sin embargo, es importante destacar que los factores climáticos no actúan de forma independiente. Cuando se dan simultáneamente y interactúan múltiples condiciones, aunque individualmente se acerquen a los límites críticos, pueden aumentar

considerablemente el riesgo de un crecimiento vegetativo y una producción de frutos subóptimos en los árboles de mango.

En este escenario, Guayaquil (EC) presenta ciertas condiciones climáticas desfavorables durante la etapa de desarrollo del mango, lo que indica que estos factores pueden limitar e influir en el tamaño de la fruta. La implementación de estrategias de manejo de huertos adaptadas a las necesidades del cultivo podría tener un impacto significativo en este aspecto, especialmente si se aplican de manera consistente a lo largo de múltiples ciclos de producción. Es esencial destacar que la adopción continua de prácticas agronómicas adecuadas tiende a tener un efecto más pronunciado en el rendimiento y el tamaño de la fruta a lo largo del tiempo.

En cuanto a la calidad del agua de riego, la conductividad eléctrica del agua fue de una media de 381 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que presenta un riesgo moderado de salinización del suelo según la clasificación propuesta por el Personal del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos - Manual de Agricultura n.º 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el riesgo de salinización del suelo se clasifica de la siguiente manera: bajo (conductividad eléctrica entre 0 y 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C), medio (250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C), alto (750-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C) y muy alto (2250-5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C). El agua de riego también presentaba 191 ppm de sales (0,01 %) y un pH medio de 7.5.

Los datos de caracterización recopilados en el huerto (Tabla 4) indican datos alineados con los datos climáticos históricos, incluidos los valores numéricos cuando se considera 2.4 kWh/m² $\approx$ 300.0 klux durante, cuya evaluación se realizó durante uno de los períodos de menor incidencia de luz histórica.

Tabla 4: Humedad del suelo, firmeza del suelo, intensidad de la luz solar, índice de clorofila *a* foliar, índice de clorofila *b* foliar, clorofila total foliar y fuga de electrolitos foliares.

	Intensidad de luz solar	Firmeza del suelo	Humedad del suelo	Índice de clorofila foliar			Fuga de electrolitos foliares
	Lux x 100 x 50.000	Mpa	%	<i>a</i>	<i>b</i>	Total	μ/cm
Ataulfo	300.1	3.1	15.0	26.1	9.0	35.1	65
Tommy Atkins	299.3	3.4	16.9	28.5	9.7	38.2	70

Los índices de clorofila son compatibles con los registrados en la bibliografía, especialmente para el cultivar Tommy Atkins, pero son particularmente más bajos que los registrados por Santos et al. (2024) tanto para el índice de clorofila *a* como para el de clorofila *b*. Estas diferencias pueden deberse a diversos factores, relacionados principalmente con las prácticas de gestión agrícola.

Además, condiciones como el déficit hídrico moderado, el estrés térmico o las deficiencias nutricionales pueden alterar las proporciones de clorofila como estrategia de adaptación. En consecuencia, la planta puede invertir más en la producción de clorofila *b* para optimizar la captura de luz durante los periodos de menor eficiencia fotosintética, tal y como proponen Taiz et al. (2017), ya que la clorofila *a* es responsable por transferir la energía lumínica absorbida al centro de reacción, donde se produce la conversión de la energía lumínica en energía bioquímica, función que no realiza la clorofila *b*; por lo tanto, el aumento del índice de clorofila *a* mejora la capacidad fotosintética de las plantas de mango. Estos hallazgos están respaldados por imágenes térmicas captadas durante la fase inicial de desarrollo del proyecto (Figura 2).



Figura 2: Fotos normales (A) y térmicas (B) de árboles de mango en Guayaquil, Ecuador.

La fuga de electrolitos presentó valores medios de 65 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para «Ataulfo» y 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para «Tommy Atkins» (Tabla 3).

Al comparar con la clasificación de fuga de electrolitos sugerida por Ferraz (s. f.) (datos no publicados), es evidente que, en ambos cultivares durante la fase de caracterización, los valores observados se encontraban en el umbral para el inicio del amarilleamiento de las hojas. Según esta clasificación para las hojas de mango, los valores de conductividad eléctrica (CE) oscilan entre 40 y

45 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las hojas verdes, entre 65 y 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las hojas que comienzan a amarillear y superan los 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las hojas que presentan síntomas de quemaduras solares. Estos valores indican el impacto progresivo de los factores de estrés en la integridad de las hojas, lo que sugiere la necesidad de realizar un seguimiento y aplicar prácticas de gestión adecuadas para mitigar los posibles daños y mantener la salud de las plantas.

En cuanto a la humedad del suelo estimada bajo el dosel vegetal durante la fase de caracterización del proyecto, tanto para «Ataulfo» como para «Tommy Atkins» (Tabla 3), se obtuvieron valores medios del 15.0% y 16.9%, respectivamente. Estos valores indican una buena disponibilidad de agua en ese momento, pero debido a la capacidad de drenaje del suelo, esta humedad puede disminuir rápidamente, lo que requiere una gestión eficiente del riego para evitar el estrés hídrico en el mango, especialmente durante la fase inicial de desarrollo del fruto. Para solucionar esto, se recomienda controlar continuamente la humedad del suelo, aplicar riegos frecuentes en cantidades más pequeñas para minimizar las pérdidas excesivas, o utilizar mucho para reducir la evaporación y mejorar la retención de agua. También hay que señalar que la evaluación se llevó a cabo en la zona de acción de los microaspersores y que en los huertos evaluados solo había un aspersor por planta, es decir, la evaluación realizada se limitó a solo una parte del área ocupada por el sistema radicular del mango.

La resistencia a la penetración del suelo (firmeza del suelo) también mostró resultados similares en ambos huertos evaluados (Tabla 4), con valores medios de 3.1 MPa y 3.4 MPa, lo que los clasifica, según Bowen (1981), en el rango de resistencia muy alta (>3 MPa), lo que indica un impedimento para el crecimiento de las raíces. Este nivel de compactación puede limitar la expansión de las raíces, reducir la absorción de agua y nutrientes y comprometer el desarrollo de las plantas, especialmente durante los períodos de déficit hídrico. La presencia de una alta resistencia sugiere la necesidad de prácticas de manejo del suelo, como el subsolado o los cultivos de cobertura, para reducir la compactación y mejorar las condiciones para el crecimiento de las raíces del mango. Es importante mencionar que la clasificación de Bowen (1981) relaciona diferentes valores de resistencia a la penetración con el desarrollo de las raíces, y no con un suelo no cultivado.

En ambos cultivos, se analizó visualmente el desarrollo del sistema radicular, revelando condiciones preocupantes, como se ilustra en la Figura 3A. La identificación de las raíces de absorción fue prácticamente imposible, lo que pone de relieve la necesidad de estrategias de gestión destinadas a estimular el crecimiento del sistema radicular.

Otro problema que refuerza este deficiente desarrollo radicular es el uso de un solo microaspersor por planta (Figura 3B). Esta configuración de riego restringe la distribución del agua, lo que impide cubrir adecuadamente toda la superficie del dosel y, en consecuencia, el sistema radicular. Como

resultado, aproximadamente el 25 % de la superficie que deberían ocupar las raíces sufre muerte radicular, lo que pone de relieve la necesidad de mejorar las prácticas de riego.



Figura 3: Evaluación visual del sistema radicular (A) y un solo microaspirador (B) en un huerto de mangos en Guayaquil (EC).

Se analizaron las propiedades físicas y químicas de los suelos de los huertos, lo que reveló clases texturales distintas para los cultivares de mango «Ataulfo» y «Tommy Atkins»: franco arcilloso arenoso y franco arenoso, respectivamente (Tabla 5). Cabe destacar que el elevado contenido de limo en el suelo de «Tommy Atkins» presenta retos adicionales para la gestión del riego, lo que requiere prácticas culturales más precisas para mantener unas condiciones óptimas del suelo.

Tabla 5: Caracterización de la textura del suelo (0-30 cm de profundidad) en las áreas experimentales de mangos «Ataulfo» y «Tommy Atkins» antes de la aplicación de los tratamientos. *

Características del suelo	Ataulfo	Tommy Atkins
Arena (%)	58	68
Limo (%)	16	22
Arcilla (%)	26	10
Clasificación del suelo	Franco arcilloso arenoso	Franco arenoso

* Análisis realizados por la granja.

La caracterización de los suelos en cuanto a fertilidad y composición química en Guayaquil (EC) para las variedades «Ataulfo» y «Tommy Atkins» indicó problemas en ambos huertos (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis químico del suelo de las áreas experimentales de mangos «Ataulfo» y «Tommy Atkins» antes de la aplicación de los tratamientos.

Cultivar	Prof del suelo	pH	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H ⁺ + Al ³⁺)	SB	V	Sat. Ca	Sat. Mg	Sat. K	Sat. Na
	cm	H ₂ O	g/kg	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%					
1 ^{ra} evaluación*																
Ataulfo	0-30	5.8	32.5	44.0	0.67	-	12.37	2.26	-	-	15.29	-	-	-	-	-
Tommy	0-30	6.2	38.4	174.0	0.49	-	12.37	1.86	-	-	14.72	-	-	-	-	-
2 ^{da} evaluación																
Ataulfo	0-30	5.6	7.2	86.1	0.43	0.2	3.9	0.6	0.1	1.5	5.16	77.7	59.2	9.0	6.4	3.1
Tommy	0-30	6.3	7.7	20.0	0.46	0.4	14.4	6.9	0.0	1.3	22.2	23.5	61.3	29.6	1.9	1.8

* La primera evaluación fue realizada por la finca. SB: suma de bases; Sat.: saturación. Extractores: P, K e Na: Resina (HCl + H₂SO₄); Ca, Mg e Al: KCl 1 M. Tommy: Tommy Atkins

Tabla 7. Análisis químico del suelo para micronutrientes (mg/dm³) de las áreas experimentales de mango «Ataulfo» y «Tommy Atkins» antes de la aplicación de los tratamientos.

Lugar	Prof suelo	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	B
1 ^{ra} evaluación *						
Ataulfo	0-30	306	16.0	5.6	13.3	1.11
Tommy	0-30	29.0	47.0	12.3	52.0	0.9
2 ^{da} evaluación						
Ataulfo	0-30	79.2	56.2	2.2	48.7	0.4

Tommy	0-30	57.9	19.4	2.4	2.1	0.78
-------	------	------	------	-----	-----	------

* La primera evaluación fue realizada por la granja. Tommy: Tommy Atkins

Al comparar los valores de las tablas 6 y 7 con los considerados ideales para el cultivo del mango (Cavalcante y Paiva Neto, 2024 – Apéndice 4), se pueden hacer las siguientes consideraciones.

El análisis químico de los suelos de los huertos de mango «Ataulfo» y «Tommy Atkins» reveló diferencias significativas en comparación con los valores ideales para el cultivo del mango. El pH del suelo se encontraba dentro del rango aceptable para ambos cultivares, aunque «Ataulfo» (5.6) estaba cerca del límite inferior. Sin embargo, la materia orgánica era notablemente baja en ambos suelos (0.72 % y 0.77 %), lo que podría comprometer la fertilidad y la retención de humedad, lo que indica la necesidad de prácticas para aumentar el contenido orgánico. Los niveles de fósforo también mostraron discrepancias significativas, estando por encima del rango ideal en «Ataulfo» (86.1 mg/dm³), mientras que «Tommy Atkins» presentaba una grave deficiencia (20.0 mg/dm³), lo que podría afectar negativamente al crecimiento de las raíces y al desarrollo temprano de las plantas. En cuanto al K, ambos huertos mostraron niveles ligeramente elevados, con «Ataulfo» (0.43 cmolc/dm³) y «Tommy Atkins» (0.46 cmolc/dm³) superando el rango recomendado, lo que, aunque potencialmente beneficioso para la calidad de la fruta, debe ser monitoreado para evitar desequilibrios con otros cationes. Los niveles de sodio se encontraban dentro de los límites aceptables, pero mostraban una saturación elevada (3.1% en «Ataulfo» y 1.8% en «Tommy Atkins»), lo que podría afectar negativamente a la estructura del suelo y a la absorción de nutrientes con el tiempo. En cuanto al Ca y el Mg, «Ataulfo» tenía niveles adecuados de Ca (3.9 cmolc/dm³), pero una deficiencia de Mg (0.6 cmolc/dm³), mientras que «Tommy Atkins» presentaba graves desequilibrios, con un exceso de Ca (14.4 cmolc/dm³) y Mg (6.9 cmolc/dm³), lo que podría dificultar la absorción de K y la disponibilidad de otros nutrientes esenciales. Los valores de saturación de bases resaltan aún más este desequilibrio: «Ataulfo» tenía un nivel adecuado (77.7%), mientras que «Tommy Atkins» estaba significativamente por debajo del umbral ideal (23.5%), lo que sugiere una menor disponibilidad de cationes esenciales. Además, la saturación de K era óptima en «Ataulfo» (6.4%), pero extremadamente baja en «Tommy Atkins» (1.9%), lo que refuerza la necesidad de ajustar la fertilización con K en este cultivar.

En general, el suelo de «Ataulfo» presentaba mejores condiciones químicas, requiriendo solo pequeñas correcciones en Mg y materia orgánica, mientras que el suelo de «Tommy Atkins» mostraba desequilibrios más graves, lo que requería correcciones urgentes en P, K y saturación de bases, así como estrategias para reducir los niveles excesivos de Ca y Mg. Dada esta situación, se recomienda implementar estrategias de manejo que incluyan una fertilización equilibrada, un mayor contenido de materia orgánica y un seguimiento estrecho de los niveles de sodio, garantizando una nutrición óptima para ambos cultivares.

Como se puede observar en la tabla 8, la segunda evaluación del análisis de nutrientes foliares de los mangos «Ataulfo» y «Tommy Atkins» mostró varios desequilibrios en comparación con los rangos óptimos sugeridos por Rezende et al. (2022). El nitrógeno era adecuado en «Ataulfo» (16.4 g/kg), pero ligeramente deficiente en «Tommy Atkins» (11.1 g/kg). El P estaba por debajo del rango ideal en ambos cultivares, por lo que «Ataulfo» (1.1 g/kg) y «Tommy Atkins» (0.8 g/kg) requerían suplementación. El potasio también era deficiente, especialmente en «Ataulfo» (6.3 g/kg), mientras que «Tommy Atkins» (8.5 g/kg) se acercaba más a los niveles adecuados. El calcio estaba ligeramente por debajo del rango ideal en «Ataulfo» (23.9 g/kg), pero era adecuado en «Tommy Atkins» (32.3 g/kg). El azufre superaba el límite superior en «Ataulfo» (2.2 g/kg), mientras que «Tommy Atkins» (1.3 g/kg) estaba por debajo del rango ideal, citado en la Tabla 9.

Tabla 8. Análisis nutricional de las hojas de mango «Ataulfo» y «Tommy Atkins» antes de la aplicación de los tratamientos.

Lugar	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	B	Cu ²⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Mo	Na	Si
g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹							
1ra evaluación*														
Ataulfo	16.0	1.3	7.8	13.2	1.7	1.3	46.0	7.0	124.0	184.0	25.0	-	-	-
Tommy	15.0	1.1	9.7	21.6	1.7	1.3	67.0	5.0	122.0	211.0	55.0	-	-	-
2da evaluación														
Ataulfo	16.4	1.1	6.3	23.9	2.0	2.2	78.0	5.6	112.2	793.4	29.1	2.91	260.9	704.7
Tommy	11.1	0.8	8.5	32.3	1.2	1.3	52.5	6.0	214.8	442.3	23.4	<LQ	329.7	550.7

* La primera evaluación fue realizada por la granja. Los nutrientes de las células en rojo están por debajo, los nutrientes de las células en azul son adecuados y los nutrientes de las células en marrón están por encima del rango adecuado de suministro de Rezende et al. (2022). <LQ: por encima del límite cuantificador del método.

Tabla 9. Rangos óptimos de concentración mineral en las hojas para un rendimiento mínimo de fruta de «Tommy Atkins» (34 t ha⁻¹), sugeridos por (Rezende et al., 2022)*.

N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	B	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Mo
g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
11.9 – 17.9	1.5 – 2.4	10.2 – 15.9	24.3 – 32.1	1.6 – 2.4	1.7 – 2.1	101.1-225.1	100.8-217.2	345.5-783.9	33.3-147.2	8.6-12	1.4-2.1

* En cuanto al mango «Ataulfo», todavía no existe una gama específica de suministro en la literatura científica.

Entre los micronutrientes, el B era deficiente tanto en «Ataulfo» (78.0 mg/kg) como en «Tommy Atkins» (52.5 mg/kg). El hierro era adecuado en ambos cultivares, mientras que el Mn era excesivo en «Ataulfo» (793.4 mg/kg) pero normal en «Tommy Atkins» (442.3 mg/kg). El zinc y el cobre estaban por debajo de los niveles óptimos en ambos cultivares, con 29.1 mg/kg (Zn) y 5.6 mg/kg (Cu) en «Ataulfo», y 23.4 mg/kg (Zn) y 6.0 mg/kg (Cu) en «Tommy Atkins». El molibdeno estaba ligeramente por encima del límite recomendado en «Ataulfo» (2.91 mg/kg), pero no se detectó en «Tommy Atkins» (<LQ), lo que indica una deficiencia grave.

Al comparar los valores del suelo con los de las hojas, se observa que varios nutrientes estaban presentes en el suelo en cantidades adecuadas o incluso excesivas, pero no fueron absorbidos eficazmente por las plantas. Este fenómeno puede estar relacionado con varios factores, como las interacciones entre nutrientes, la disponibilidad real para la absorción, las condiciones físico-químicas del suelo, el pH, la presencia de antagonismos entre elementos e incluso problemas en el sistema radicular.

En una evaluación global, el P era alto en el suelo de «Ataulfo» (86.1 mg/dm³, por encima del ideal de 60-80 mg/dm³), pero las hojas mostraban deficiencia (1.1 g/kg, por debajo del ideal de 1.5-2.4 g/kg), lo que sugiere una posible fijación en el suelo. El potasio estaba ligeramente por encima del rango ideal en ambos suelos, pero era deficiente en las hojas, lo que indica que el exceso de Ca y Mg en «Tommy Atkins» pudo haber inhibido su absorción, mientras que en «Ataulfo», la lixiviación podría ser un factor debido a la textura arenosa del suelo. El calcio y el magnesio eran excesivamente altos en el suelo de «Tommy Atkins» (14.4 y 6.9 cmolc/dm³, muy por encima de los valores ideales de 3–5 y 0.75–1.25 cmolc/dm³, respectivamente), lo que probablemente limitaba la absorción de potasio y micronutrientes. El zinc era alto en el suelo de «Ataulfo», pero bajo en las hojas, posiblemente debido a la interferencia del exceso de fósforo. El boro, a pesar de estar cerca del rango ideal en el suelo, era deficiente en las hojas de ambos cultivares, posiblemente debido a las interacciones con el Ca. El manganeso era alto tanto en el suelo como en las hojas de «Ataulfo», lo que indica una absorción excesiva, probablemente influenciada por el pH del suelo. El molibdeno mostró una grave deficiencia en las hojas de «Tommy Atkins» (<LQ), lo que sugiere una baja disponibilidad en el suelo o efectos antagónicos de otros nutrientes. Estos hallazgos confirman que la presencia de nutrientes en el suelo no garantiza su absorción por las plantas, lo que realza la necesidad de un enfoque de gestión nutricional que tenga en cuenta las interacciones entre nutrientes, equilibre las proporciones de cationes y aplique estrategias para mejorar la disponibilidad de nutrientes, como aplicaciones foliares o correcciones del suelo.

Además, varios otros factores pueden explicar estas discrepancias, como sugieren Glozier et al. (2020), Yan et al. (2020) y Hartemink & Barrow (2023). La variación de la humedad del suelo puede

afectar a la disponibilidad de nutrientes, ya que los niveles más bajos de humedad dificultan la difusión de los nutrientes a las raíces. La resistencia a la penetración del suelo también puede influir, al limitar la expansión de las raíces y dificultar la absorción de Ca y K. Además, la distribución desigual de los nutrientes en el suelo puede dar lugar a que los elementos clave se concentren en capas fuera del alcance de las raíces activas. La reducción de las tasas de transpiración puede limitar el movimiento de nutrientes móviles, como el Ca, a través del xilema, mientras que pueden surgir deficiencias localizadas debido a las diferencias en la movilidad de los nutrientes, favoreciendo al Mg (más móvil) sobre el Ca (menos móvil). La presencia de sodio (Na) en el suelo puede dificultar aún más la absorción de K al competir por las mismas vías de absorción. Un pH alto o los bicarbonatos pueden reducir la disponibilidad de Ca y K, mientras que una fertilización excesiva con nitrógeno puede favorecer el crecimiento vegetativo a expensas de una absorción equilibrada de Ca y K. Por último, el desarrollo restringido del sistema radicular en el cultivo agrava aún más las limitaciones de absorción de nutrientes.

3.2 Segunda fase: realización de experimentos de campo

3.2.1. Resultados para Ataúlfo

El análisis químico del suelo antes de la aplicación del tratamiento indicó condiciones moderadamente ácidas (pH 5.65), bajo contenido de materia orgánica (7.2 g/kg) y altos niveles de P (86.1 mg/dm³), lo que puede sugerir una acumulación previa o una baja absorción por parte de las plantas (Tabla 10). Las concentraciones de potasio y calcio se encontraban dentro de los rangos aceptables establecidos por Cavalcante y Paiva Neto (2024) (Apéndice 4), mientras que el contenido de magnesio era relativamente bajo (0,6 cmolc/dm³), lo que podría limitar la absorción equilibrada de otros cationes. El aluminio intercambiable (Al³⁺) era bajo (0.1 cmolc/dm³), y tanto la suma de bases (SB = 5.16 cmolc/dm³) como la saturación de bases (V = 77.7 %) indican una fertilidad moderada del suelo.

Tabla 10. Comparación del análisis químico del suelo (a 30 cm de profundidad) antes y al final del experimento en función de las diferentes estrategias de manejo del mango Ataulfo en Ecuador.

	pH	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H ⁺ + Al ³⁺)	SB	V	Sat. Ca	Sat. Mg	Sat. K	Sat. Na
	H ₂ O	g/kg	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%					
Antes	5.65	7.2	86.1	0.43	0.2	3.9	0.6	0.1	1.5	5.16	77.7	59.2	9.0	6.4	3.1
T1	6.16 ^a	9.9 ^c	37.1 ^c	0.45 ^c	0.3 ^a	21.6 ^b	10.8 ^a	0.0	1.9 ^a	33.2 ^a	94.6 ^a	61.6	30.7	1.3	1.0
T2	5.80 ^a	7.1 ^c	74.1 ^a	0.69 ^a	0.3 ^a	21.2 ^b	9.6 ^b	0.1	2.5 ^a	31.8 ^a	92.7 ^a	61.7	28.1	2.0	0.9
T3	6.41 ^a	15.2 ^b	60.2 ^b	0.65 ^a	0.3 ^a	27.9 ^a	11.3 ^a	0.0	1.9 ^a	40.2 ^a	95.5 ^a	66.3	26.8	1.5	0.8
T4	6.44 ^a	13.2 ^b	58.5 ^b	0.44 ^c	0.4 ^a	18.1 ^c	7.3 ^c	0.0	1.4 ^a	26.3 ^b	95.1 ^a	65.6	26.5	1.6	1.3
T5	6.51 ^a	19.0 ^a	43.9 ^c	0.51 ^b	0.4 ^a	17.8 ^c	7.4 ^c	0.0	1.7 ^a	26.1 ^b	93.9 ^a	64.0	26.7	1.8	1.4

SB: suma de bases; Sat.: saturación. Extractores: P, K y Na: resina (HCl + H₂SO₄); Ca, Mg y Al: KCl 1 M. T1 - Control (manejo tradicional de la finca, sin alteraciones); T2 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador; T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según K) + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar. Las barras con la misma letra no difieren entre sí (p > 0,05).

Como se muestra en la Tabla 10, tras la aplicación de los diferentes tratamientos, se produjo un aumento significativo del pH del suelo en todos los tratamientos, siendo el efecto más notable el observado en T5 (6,51), lo que refleja la influencia de los fertilizantes líquidos y la mayor movilidad de los cationes en las soluciones. El contenido de materia orgánica aumentó sustancialmente en los tratamientos T3 (15.2 g/kg), T4 (13.2 g/kg) y, en particular, T5 (19.0 g/kg), lo que indica los efectos positivos de los bioestimulantes y los protectores solares, que también contienen ácidos húmicos y fúlvicos.

Los niveles de fósforo disminuyeron en todos los tratamientos, lo que puede sugerir una mayor absorción por parte de las plantas o una redistribución dentro del perfil del suelo, manteniendo el T2 (74.1 mg/dm³) los niveles de P más favorables. El potasio del suelo aumentó notablemente en el T2 (0.69 cmolc/dm³) y el T3 (0.65 cmolc/dm³), lo que refleja un mejor rendimiento de los tratamientos con fertilización equilibrada.

Los contenidos de calcio y magnesio aumentaron notablemente, especialmente en T3 (27.9 y 11.3 cmolc/dm³, respectivamente), lo que sugiere un efecto acumulativo de la aplicación de nutrientes en combinación con aminoácidos y reguladores del crecimiento vegetal. Como resultado, la suma de bases (SB) fue significativamente mayor en los tratamientos T1 a T3, con T3 mostrando el valor más alto (40.2 cmolc/dm³), y la saturación de bases (V) superó el 92 % en todos los tratamientos, lo que refuerza el suministro adecuado de cationes intercambiables.

En cuanto a la saturación de cationes específicos, se observó una proporción equilibrada de Ca²⁺ y Mg²⁺ en los tratamientos con mejor rendimiento (T3 y T4). Sin embargo, la saturación de K⁺ fue mayor en el suelo antes del tratamiento (6.4 %), lo que sugiere una posible lixiviación o inhibición competitiva con otros cationes después del tratamiento.

Las concentraciones de micronutrientes en el suelo se presentan en la Tabla 11 y mostraron una variación significativa entre los tratamientos para Fe²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺ y B, influenciadas directamente por el tipo y la eficiencia de las prácticas de manejo aplicadas. Las comparaciones relativas a los requisitos del cultivo de mango se basaron en el Apéndice 8 (Cavalcante y Paiva Neto, 2024).

Tabla 11. Comparación del análisis químico del suelo (a 30 cm de profundidad) en cuanto a micronutrientes (mg dm⁻³) antes y al final del experimento, en función de las diferentes estrategias de manejo del mango Ataulfo en Ecuador.

	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	B
Antes	79.2	56.2	2.2	48.7	0.4

T1	13.1 ^b	27.9 ^c	1.4 ^a	4.2 ^c	1.1 ^a
T2	22.9 ^a	33.8 ^c	0.5 ^c	4.9 ^c	0.9 ^a
T3	7.9 ^b	32.2 ^c	1.0 ^b	9.1 ^b	1.1 ^a
T4	11.8 ^b	42.5 ^b	1.0 ^b	4.8 ^c	1.4 ^a
T5	10.7 ^b	51.9 ^a	0.9 ^c	11.3 ^a	0.8 ^b

T1 - Control (manejo tradicional del campo, sin modificaciones); T2 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitoregulador; T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según K) + aminoácidos + fitoregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitoregulador + bloqueador solar. Las barras con la misma letra no difieren entre sí ($p > 0.05$).

La concentración inicial de Fe era alta (79.2 mg/dm³), pero se encontraba dentro del rango adecuado (4-100 mg/dm³). Sin embargo, todos los tratamientos provocaron una reducción drástica de los niveles de Fe, siendo el T2 (22.9 mg/dm³) el único tratamiento estadísticamente superior a los demás. Esta disminución puede estar asociada con la inmovilización del Fe en formas menos disponibles, particularmente en entornos con pH más alto, como se observó en T3-T5 (Zuo y Zhang, 2011). El rendimiento superior de T2 puede atribuirse a la aplicación equilibrada de nutrientes sólidos y a una gestión eficiente del riego, lo que promovió la disponibilidad de Fe sin alterar su equilibrio con otros cationes.

En cuanto al Mn, el nivel inicial del suelo en el sitio experimental (56.2 mg/dm³) estaba ligeramente por encima del rango óptimo (4-50 mg/dm³). El tratamiento T5 mostró la concentración final más alta de Mn (51.9 mg/dm³), manteniéndola dentro del rango adecuado. Por el contrario, los tratamientos T1-T4 presentaron niveles significativamente más bajos, lo que sugiere una posible lixiviación o fijación. La eficacia del T5 está relacionada con el mayor contenido de materia orgánica observado (Tabla 10), que forma complejos con el Mn y ayuda a retenerlo en formas disponibles para las plantas (Li et al., 2021), además de los efectos quelantes promovidos por los ácidos fúlvicos presentes en los fertilizantes líquidos.

En cuanto al Cu, todos los tratamientos mostraron una disminución de los niveles en el suelo. El T1 retuvo el mayor contenido de Cu (1.4 mg/dm³), seguido del T3 y el T4 (~1.0 mg/dm³). El T2 (0.5 mg/dm³) y el T5 (0.9 mg/dm³) registraron las concentraciones más bajas. La reducción generalizada puede explicarse por la inhibición competitiva del Zn²⁺ y por el aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CEC) y del pH, que favorecen la precipitación del Cu²⁺ (McBride y Blasiak, 1979). La mayor retención observada en T1 puede deberse a la ausencia de intervenciones para elevar el pH; sin embargo, esto no representa una ventaja agronómica, ya que los niveles de Cu se mantuvieron suficientes en todos los demás tratamientos.

Los niveles de Zn en el suelo eran inicialmente muy altos (48.7 mg/dm³), pero disminuyeron significativamente en todos los tratamientos. T5 tuvo la concentración final de Zn más alta (11.3 mg/dm³), manteniéndose dentro del rango ideal (2-15 mg/dm³) y superando a los demás tratamientos.

T3 también presentó un valor considerable (9.1 mg/dm³), mientras que T1, T2 y T4 mostraron niveles más bajos (4.2-4.9 mg/dm³). El rendimiento superior de T5 puede atribuirse al uso de fertilizantes líquidos que contienen micronutrientes en formas queladas y altamente biodisponibles, así como al papel de los ácidos húmicos y fúlvicos en la movilización del Zn en el suelo (Boguta y Sokołowska, 2020).

Inicialmente, los niveles de B en el suelo estaban por debajo del rango óptimo (1-2 mg/dm³). Tras el tratamiento, T4 (1.4 mg/dm³), T1 y T3 (1.1 mg/dm³) y T2 (0.9 mg/dm³) alcanzaron niveles adecuados, mientras que T5 se mantuvo por debajo del umbral (0.8 mg/dm³). La menor eficacia de T5 en el suministro de B puede estar relacionada con la ausencia de este elemento en los fertilizantes líquidos aplicados o con la absorción competitiva con Ca²⁺ y K⁺, que eran abundantes en este tratamiento, tal y como describen Hellal et al. (2015).

En cuanto al estado nutricional de los macro y micronutrientes (Tabla 12), se observaron variaciones significativas en la mayoría de los elementos evaluados.

Tabla 12. Comparación del estado nutricional de las hojas antes y al final del experimento en función de las diferentes estrategias de manejo del mango Ataulfo en Ecuador.

	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	B	Cu ²⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Mo
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Antes	16.4	1.1	6.3	23.9	2.0	2.2	78.0	5.6	112.2	793.4	29.1	2.91
T1	16.1 ^a	1.0 ^a	6.8 ^a	21.7 ^a	1.3 ^b	1.5 ^a	87.5 ^a	5.0 ^a	56.6 ^b	737.3 ^a	15.4 ^b	2.74 ^a
T2	15.4 ^b	1.0 ^a	6.2 ^b	24.0 ^a	1.9 ^a	1.4 ^a	73.9 ^a	5.4 ^a	51.6 ^b	361.5 ^b	9.7 ^c	3.41 ^a
T3	15.4 ^b	1.0 ^a	6.9 ^a	23.9 ^a	2.1 ^a	1.4 ^a	66.4 ^a	6.4 ^a	62.3 ^b	265.3 ^c	15.5 ^b	4.15 ^a
T4	15.1 ^b	1.0 ^a	6.7 ^a	22.9 ^a	1.7 ^a	1.5 ^a	76.4 ^a	6.0 ^a	79.8 ^a	316.4 ^b	28.6 ^a	4.66 ^a
T5	15.4 ^b	1.1 ^a	6.2 ^b	23.7 ^a	2.0 ^a	1.5 ^a	50.8 ^d	7.7 ^a	78.9 ^a	168.3 ^d	24.5 ^a	4.42 ^a

T1 - Control (manejo tradicional del campo, sin modificaciones); T2 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador; T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según K) + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar. Los valores medios seguidos de la misma letra en las columnas no difieren entre sí ($p > 0.05$).

En el caso del N, los valores oscilaron entre 15.1 y 16.4 g/kg, todos ellos dentro del rango de suficiencia (11.9-17.9 g/kg), aunque T1 presentó las concentraciones más altas, sin diferencias estadísticas entre T3 y T5, lo que indica que incluso el manejo tradicional era suficiente para este nutriente. Sin embargo, la ligera reducción observada en los tratamientos T2-T5 puede estar relacionada con el aumento del crecimiento vegetativo inducido por los bioestimulantes, lo que da lugar a un efecto de dilución de la concentración de N por unidad de masa foliar (observaciones visuales no medidas).

En cuanto al P, todos los tratamientos mantuvieron valores por debajo del rango ideal (1.5-2.4 g/kg), a pesar de las prácticas específicas de fertilización. Esto respalda la hipótesis anteriormente planteada de la fijación de P en el suelo, especialmente en los tratamientos con mayor contenido de Ca y Zn, que pueden competir con el P por la absorción o promover la precipitación de fosfato, como informaron Prasad et al. (2016). En este caso, pueden ser necesarias estrategias de manejo destinadas a fortalecer el sistema radicular, incluido el uso de fuentes alternativas de P o aplicaciones foliares, para corregir las deficiencias.

Las concentraciones finales de K oscilaron entre 6.2 y 6.9 g/kg, todavía por debajo del rango de suficiencia (10.2-15.9 g/kg), lo que confirma la escasa absorción de K incluso cuando la disponibilidad en el suelo no era limitante. Esto puede deberse a las altas concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} en el suelo (Tabla 10), que compiten con el K^{+} por los sitios de absorción de las raíces (Marschner, 2012). T3 mostró el mayor contenido de K^{+} , lo que sugiere que la aplicación de aminoácidos y reguladores del crecimiento vegetal facilitó la absorción. Este hallazgo concuerda con el de Rouphael et al. (2015), quienes señalaron que los aminoácidos actúan como agentes complejos y transportadores, mejorando la absorción y la movilidad de los nutrientes dentro del apoplasto y el simplasto de la planta. Además, los reguladores del crecimiento, como las auxinas, las citoquininas y las giberelinas, estimulan el desarrollo de las raíces y la actividad de las proteínas de transporte, como la H^{+} -ATPasa de la membrana plasmática, que es esencial para la absorción activa de iones como el K^{+} (Taiz et al., 2017; Tripathi et al., 2022).

Los niveles de Ca foliar se mantuvieron estables en todos los tratamientos (21.7-24.0 g/kg), dentro o ligeramente por debajo del rango de suficiencia (24.3-32.1 g/kg, Rezende et al., 2022). Los tratamientos T2, T3 y T4 alcanzaron niveles satisfactorios de Ca^{2+} a pesar de la ausencia de suplementos directos de Ca, lo que indica que las prácticas de manejo adoptadas mejoraron eficazmente la absorción y utilización del calcio nativo del suelo.

En T2, la combinación de fertilización con N y K alineada con las etapas fenológicas del cultivo y el manejo racional del riego (basado en el coeficiente de cultivo, K_c) favoreció la solubilización y el transporte del Ca^{2+} existente a la zona radicular. Dado que la absorción de Ca se produce de forma

pasiva a través del flujo de masa, la disponibilidad de agua en el suelo y la transpiración activa son factores determinantes (White y Broadley, 2003). En T3, que combinó la misma gestión del agua y los nutrientes con el uso de aminoácidos y reguladores del crecimiento, la eficiencia de absorción fue aún más pronunciada. Los aminoácidos funcionan como agentes complejantes, mejorando la movilidad del Ca^{2+} en la rizosfera y la absorción de las raíces. Además, los reguladores del crecimiento vegetal, como las auxinas y las citoquininas, estimulan la expansión del sistema radicular, la actividad meristemática y la división celular, aumentando la demanda fisiológica y la translocación interna de Ca, especialmente a las hojas en desarrollo (Taiz et al., 2017; Colla et al., 2015).

La presencia de niveles adecuados de Ca^{2+} foliar en T4, incluso sin suplementación directa de Ca, respalda aún más el papel positivo de la gestión fisiológica y el riego en la optimización del uso de los recursos minerales del suelo. Por el contrario, T1 (gestión convencional), a pesar de no presentar restricciones aparentes de agua o nutrientes, mostró el contenido más bajo de Ca^{2+} foliar (21.7 g/kg), lo que pone de relieve la insuficiencia de las prácticas tradicionales para optimizar la absorción de nutrientes.

Los niveles de Mg foliar oscilaron entre 1.3 g/kg (T1) y 2.1 g/kg (T3). Todos los tratamientos, excepto el T1, alcanzaron concentraciones dentro del rango de suficiencia para el mango (1.6-2.4 g/kg; Rezende et al., 2022). Aunque todos los tratamientos recibieron algún tipo de fertilización con magnesio, incluido el T1, el menor rendimiento de este tratamiento sugiere que la dosis aplicada o las prácticas de manejo convencionales fueron insuficientes para una absorción adecuada de nutrientes, especialmente teniendo en cuenta el bajo contenido de magnesio disponible en el suelo (0.6 cmolc/dm³).

El tratamiento T3, que aplicó 0.92 kg/ha de Mg mediante fertirrigación junto con aminoácidos y reguladores del crecimiento vegetal, alcanzó la mayor concentración de Mg foliar, lo que indica que la absorción de nutrientes se vio reforzada por mecanismos bioquímicos y fisiológicos adicionales. Los aminoácidos actúan como agentes complejantes, aumentando la solubilidad del Mg en la solución del suelo, mientras que los reguladores del crecimiento estimulan la expansión de las raíces y la demanda metabólica, lo que favorece una mayor asimilación de nutrientes (Calvo et al., 2014; Taiz et al., 2017). El tratamiento T5, que aplicó una dosis más alta de Mg (1.66 kg/ha), alcanzó 2.0 g/kg, lo que confirma que tanto la eficiencia fisiológica como la dosis y la forma de aplicación desempeñan un papel fundamental en el éxito de la fertilización con Mg.

Las concentraciones foliares de S superaron el rango adecuado (1.7-2.1 g/kg) solo en la evaluación inicial (2.2 g/kg); después del tratamiento, los valores se estabilizaron entre 1.4 y 1.5 g/kg. La ligera reducción puede atribuirse a la dilución debida al crecimiento de las hojas. No se observaron diferencias estadísticamente significativas.

Entre los micronutrientes evaluados (Tabla 12), se observaron reducciones notables en el Fe y el Mn foliares en todos los tratamientos en comparación con los valores iniciales. Esta reducción fue más pronunciada en T5, que presentó 78.9 mg/kg de Fe y 168.3 mg/kg de Mn, en comparación con los valores iniciales de 112.2 mg/kg y 793.4 mg/kg, respectivamente. Estos resultados sugieren un efecto de dilución asociado con el crecimiento vegetativo y, posiblemente, la corrección de los excesos iniciales, especialmente en el caso del Mn^{2+} , que superaba el rango ideal (345.5-783.9 mg/kg, Rezende et al., 2022). La mayor eficiencia de T5 puede atribuirse a la aplicación de fertilizantes líquidos que contienen agentes complejantes orgánicos (por ejemplo, ácidos fúlvicos), que mejoran la disponibilidad de micronutrientes al tiempo que modulan la absorción, reducen la acumulación excesiva y promueven una distribución más equilibrada en los tejidos (Marschner, 2012; Rouphael y Colla, 2020).

En el caso del Cu, el Zn y el B, los resultados fueron más variables. Las concentraciones de Cu^{2+} se mantuvieron dentro del rango recomendado (8.6-12 mg/kg) en todos los tratamientos, con solo ligeras fluctuaciones. Los niveles de Zn^{2+} mejoraron significativamente en T5 (24.5 mg/kg) y T4 (28.6 mg/kg), en consonancia con el rango óptimo (33.3-147.2 mg/kg), lo que refuerza la eficiencia superior de los fertilizantes líquidos en el suministro de micronutrientes quelados y altamente biodisponibles (Calvo et al., 2014). En cuanto al B, solo el T5 presentó un nivel deficiente (50,8 mg/kg), por debajo del rango recomendado (101.1-225.1 mg/kg), probablemente debido a la ausencia de B en los fertilizantes líquidos aplicados y a la competencia con el Ca^{2+} y el K^{+} durante el transporte xilémico (White y Broadley, 2003). Todos los demás tratamientos mantuvieron niveles adecuados de B, lo que demuestra el efecto beneficioso del manejo convencional o del uso de bioestimulantes en la retención y absorción de este nutriente móvil y lixiviable.

La producción de fruta (kg/planta) y el rendimiento de fruta (t/ha) del mango «Ataulfo» no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (figuras 4A y 4B). Sin embargo, los valores medios más altos se observaron en T2 (fertilización sólida ajustada a la demanda fenológica + riego) y T1 (manejo tradicional), ambos superiores a 70 kg/planta y 15 t/ha. Esto sugiere que, aunque T1 refleja el manejo convencional, el sitio ya tenía condiciones de producción favorables, y T2, incluso en ausencia de bioestimulantes, demostró el potencial de mantener o superar la productividad, debido al manejo eficaz del riego y la sincronización de la fertilización con la fenología del cultivo.

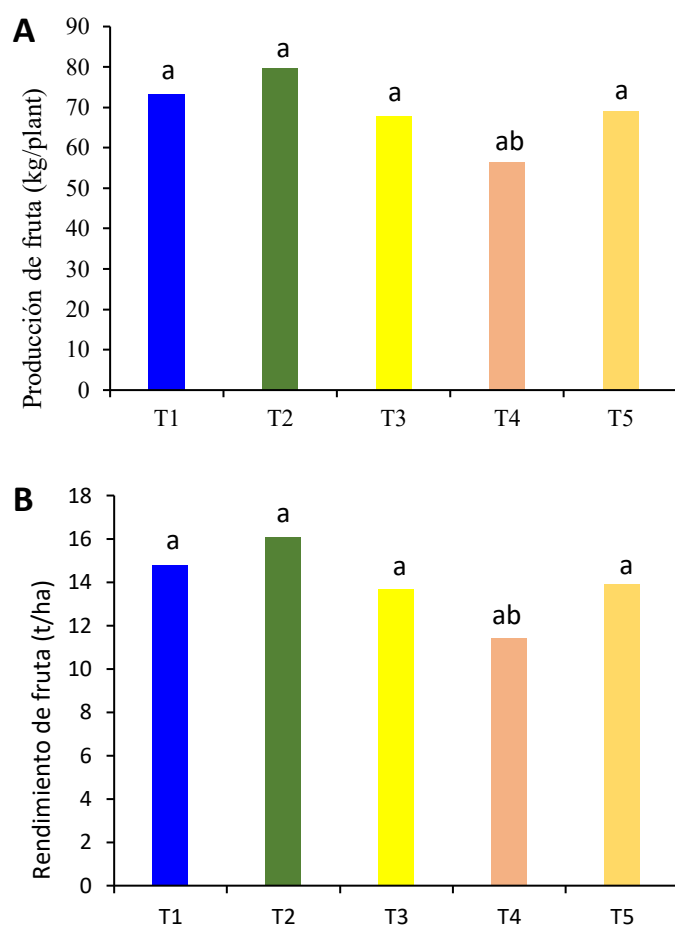
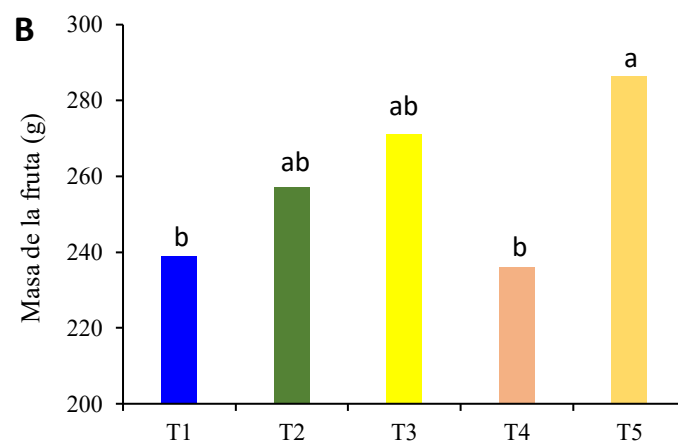
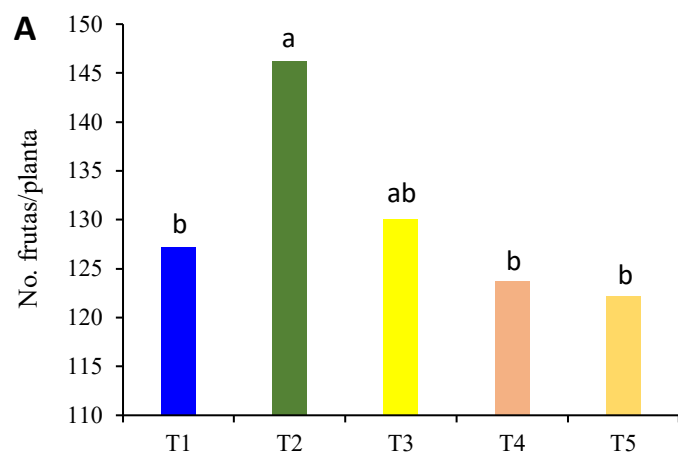


Figura 4: Producción de fruta (A) y rendimiento de fruta (B) de «Ataulfo» en función de diferentes estrategias de manejo en Guayaquil, Ecuador. T1: control (manejo agrícola tradicional, sin alteraciones); T2: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitoregulator; T4: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitoregulator + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitoregulator + bloqueador solar. Las barras con la misma letra no difieren entre sí ($p > 0.05$).

Aunque T3 y T5 mostraron mejoras cualitativas en aspectos como la nutrición foliar y la uniformidad de los frutos (como se ha comentado anteriormente), su rendimiento medio fue ligeramente inferior al de T2 (Figura 4), lo que puede atribuirse a un mayor número de frutos pequeños o a un cambio hacia el crecimiento vegetativo promovido por los bioestimulantes y los reguladores del crecimiento, lo que podría comprometer el llenado final de los frutos (Taiz et al., 2017). T4 presentó el rendimiento más bajo (~57 kg/planta), aunque no fue estadísticamente diferente de los otros tratamientos. Este menor rendimiento puede estar asociado a una respuesta negativa al uso del protector solar, posiblemente debido a la interferencia con la fotosíntesis neta o la absorción de luz, como informaron Silva et al. (2022a) en condiciones de alta radiación solar.

Como se muestra en la figura 5A, el número de frutos por planta se vio significativamente influenciado por los tratamientos. T2 registró el valor más alto (~147 frutos/planta), lo que representa un aumento del 14.9 % en comparación con el control (T1), lo que sugiere que la fertilización adaptada a la demanda nutricional del cultivo, combinada con la gestión del riego basada en el coeficiente de cultivo (K_c), mejoró la retención de frutos. Es probable que esta gestión mejorara las condiciones fisiológicas necesarias para la floración, el cuajado y la fijación de los frutos, al mitigar factores limitantes como el estrés hídrico o los desequilibrios nutricionales (Taiz et al., 2017). Por el contrario, los tratamientos T4 y T5, que incorporaban aminoácidos, reguladores del crecimiento vegetal y protectores solares, no difirieron significativamente del control y mostraron el menor número de frutos por planta (~123 y 122 frutos/planta, respectivamente), lo que sugiere que la combinación de bioestimulantes pudo haber alterado el equilibrio hormonal o redirigido los asimilados hacia el crecimiento vegetativo o la calidad del fruto en lugar de aumentar el cuajado.



C

	Número de frutas por planta	Masa de la fruta
T1 => T2	+14,9%	+7,7%
T1 => T3	+2,3%	+13,6%
T1 => T4	-2,8%	-1,1%
T1 => T5	-3,9%	+19,9%

Figura 5: Número de frutos por planta (A), masa frutal (B) y fluctuaciones de dichas variables entre los tratamientos estudiados de «Ataulfo» en función de diferentes estrategias de manejo en Guayaquil, Ecuador. T1: control (manejo agrícola tradicional, sin alteraciones); T2: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos +

fitorregulador; T4: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar. Las barras con la misma letra no difieren entre sí ($p > 0.05$).

Por otro lado, la masa media de los frutos mostró una tendencia opuesta: el tratamiento T5 dio lugar a la masa media más alta (~287 g), superando significativamente a todos los demás tratamientos y representando un aumento de casi el 20 % en comparación con el tratamiento T1. El T3 también arrojó un valor elevado (~273 g), lo que indica que el uso de bioestimulantes (aminoácidos + reguladores del crecimiento vegetal) promovió el crecimiento y el llenado de los frutos restantes, probablemente al mejorar el transporte y la asimilación de nutrientes esenciales como K, Ca y Mg (Calvo et al., 2014; Rouphael y Colla, 2020) (Figura 5B). Esto demuestra el efecto compensatorio que se observa habitualmente en las prácticas que reducen la carga de frutos pero mejoran la calidad individual de los mismos, lo que supone una ventaja desde el punto de vista comercial para variedades como la «Ataulfo», que dependen en gran medida del tamaño de los frutos para su aceptación en el mercado. Por el contrario, T4, a pesar de utilizar tecnologías similares, mostró el rendimiento más bajo tanto en número como en masa de frutos, posiblemente debido a los efectos adversos del protector solar sobre la fotosíntesis neta y la eficiencia energética de las plantas (Silva et al., 2022a).

La comparación porcentual entre los tratamientos y el control (T1), que se muestra en la figura 5C, revela dos patrones de respuesta agronómica distintos a las estrategias de manejo. T2 demostró el mejor rendimiento combinado, con un aumento del 14.9 % en el número de frutos y un aumento del 7.7 % en el peso medio de los frutos, en consonancia con la estrategia fisiológicamente equilibrada empleada: fertilización sólida alineada con la demanda fenológica y riego basado en el coeficiente de cultivo (Kc). Este enfoque parece haber favorecido tanto el cuajado como el llenado de los frutos sin provocar una competencia excesiva por los asimilados, lo que constituye un resultado ideal en los sistemas de producción de alto rendimiento (Taiz et al., 2017).

Por el contrario, T3 y T5 mostraron estrategias de compensación: presentaron cambios modestos o incluso negativos en el número de frutos (+2.3 % y -3.9 %, respectivamente), pero ganancias sustanciales en la masa media de los frutos (+13.6 % para T3 y +19.9 % para T5). Estos hallazgos sugieren que la aplicación de bioestimulantes y reguladores del crecimiento (en T3) y fertilizantes líquidos en combinación con estos insumos (en T5) priorizó el crecimiento individual de los frutos sobre la cantidad de frutos, un resultado fisiológico común cuando la estimulación hormonal mejora la división y la expansión celular (Calvo et al., 2014; Rouphael y Colla, 2020). Estos resultados subrayan la importancia de adaptar las estrategias de manejo fisiológico de acuerdo con el objetivo de

producción, ya sea priorizando la cantidad o el tamaño de los frutos, dependiendo de los requisitos comerciales del cultivar.

La figura 6 destaca las marcadas diferencias en la distribución del tamaño de los frutos en función de las prácticas de manejo aplicadas. T5 mostró el mejor rendimiento cualitativo, con un 38.2 % de los frutos superando los 300 g y un 41.2 % oscilando entre 250 y 300 g, lo que supone un total de casi el 80 % de los frutos en las categorías de tamaño más valiosas comercialmente. La ausencia total de frutos por debajo de 200 g en este tratamiento demuestra la eficacia de la estrategia de manejo que combina fertilizantes líquidos, aminoácidos, reguladores del crecimiento vegetal y protectores solares para promover el crecimiento y el llenado de los frutos, probablemente mediante una mejor absorción de nutrientes clave (K, Ca, Mg) y la estimulación de las vías fisiológicas asociadas con la acumulación de biomasa en los tejidos frutales (Calvo et al., 2014; Taiz et al., 2017).

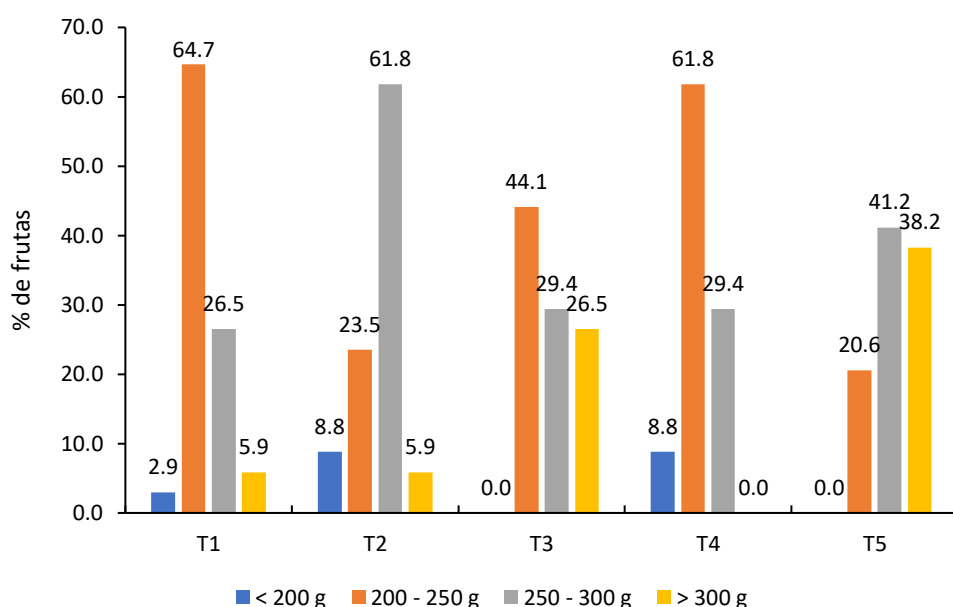


Figura 6: Distribución de los calibres de los frutos de la variedad «Ataulfo» en función de diferentes estrategias de manejo en Guayaquil, Ecuador. T1: control (manejo tradicional de la finca, sin modificaciones); T2: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador; T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según K) + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar.

Aún con respecto a la Figura 6, el T1 (control) concentró el 64.7 % de los frutos en la categoría de 200-250 g y solo el 5.9 % por encima de 250 g, con un 2.9 % de frutos con un peso inferior a 200 g, lo que indica una baja uniformidad y un rendimiento inferior en términos de calidad comercial. Los tratamientos T2 y T4, incluso aplicando una fertilización sólida ajustada a la demanda del cultivo y bioestimulantes, conservaron más del 60 % de los frutos en el rango de 250-300 g. Sin embargo, mostraron una menor proporción de frutos por encima de 300 g y, en el caso de T4, el 8.8 % de los frutos estaban por debajo de 200 g, lo que representa un retroceso cualitativo.

Por el contrario, el T3, que empleaba un manejo fisiológico sin protector solar, mostró una distribución más equilibrada, con un 26.5 % de frutos >300 g, un 29.4 % entre 250 y 300 g y una eliminación completa de las clases de menor masa. Estos resultados indican que, aunque el número total de frutos puede reducirse con el uso de bioestimulantes (como se observó en T3 y T5), la calidad de los frutos y el valor comercial de la cosecha aumentan, lo que mejora los ingresos de los productores en los mercados que demandan frutos de mayor calibre.

3.2.2. Resultados para Tommy Atkins

Antes de la aplicación del tratamiento, el suelo presentaba un pH de 6.3, un contenido de materia orgánica (MO) de 7.7 g/kg, un bajo nivel de P disponible (20 mg/dm³) y una composición química dominada por altos niveles de Ca²⁺ (14.4 cmolc/dm³) y Mg²⁺ (6.9 cmolc/dm³), pero con una saturación de bases aún por debajo del umbral ideal (Tabla 13). En comparación con los valores de referencia que figuran en el Apéndice 8, se observaron deficiencias iniciales, especialmente en P, materia orgánica y equilibrio de saturación de bases (ideal: V > 65 %; saturación de Ca: 65-70 %; saturación de Mg: 15-20 %; saturación de K: 5-10 %).

Tras los tratamientos, los cambios en los atributos químicos variaron notablemente entre los grupos de tratamiento. El T3 destacó como el más eficaz en la reposición y disponibilidad de nutrientes, mostrando aumentos significativos en P (96.4 mg/dm³), K (0.83 cmolc/dm³), Ca (24.2 cmolc/dm³) y Mg (7.1 cmolc/dm³), junto con la mayor suma de bases (SB = 32.6 cmolc/dm³) y la mayor saturación de bases (V = 96.5 %). El uso de bioestimulantes y reguladores del crecimiento vegetal en este tratamiento probablemente mejoró la actividad microbiana, la mineralización de la materia orgánica y la movilización de nutrientes en la rizosfera, optimizando así la absorción y el reciclaje de nutrientes (Calvo et al., 2014; Rouphael y Colla, 2020).

Los tratamientos T2 y T4, que también presentaron altos contenidos de materia orgánica (29.5 y 29.0 g/kg, respectivamente), mostraron acumulación de P y mejoras considerables en atributos como el

pH, V y SB, pero no alcanzaron los mismos niveles de saturación de Ca^{2+} , Mg^{2+} o K^{+} observados en T3. El T4 tuvo el mayor contenido de P de todos los tratamientos (145.5 mg/dm^3), superando el rango ideal ($60\text{-}80 \text{ mg/dm}^3$), lo que puede indicar un riesgo de fijación o desequilibrio nutricional. El T2, por el contrario, logró un mejor equilibrio entre V, pH y macronutrientes, lo que representa una estrategia agronómicamente segura y eficiente.

Los tratamientos T1 y T5 mostraron un rendimiento químico inferior. El T1 mantuvo niveles bajos de bases intercambiables, en particular Ca^{2+} y Mg^{2+} , y un pH más ácido (6.0), mientras que el T5, a pesar del uso de fertilizantes líquidos y bioestimulantes, no dio lugar a aumentos significativos en las concentraciones de nutrientes ni en el contenido de materia orgánica (5.4 g/kg). Esto sugiere que, a pesar del uso de tecnologías más avanzadas, su eficacia depende de la formulación, la dosis de aplicación, y las condiciones químicas iniciales del suelo.

Tabla 13. Comparación del análisis químico del suelo (a 30 cm de profundidad) antes y al final del experimento en función de las diferentes estrategias de manejo del mango Tommy Atkins en Ecuador.

	pH	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H ⁺ + Al ³⁺)	SB	V	Sat. Ca	Sat. Mg	Sat. K	Sat. Na
	H ₂ O	g/kg	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³								%			
Antes	6.3	7.7	20.0	0.46	0.4	14.4	6.9	0.0	1.3	22.2	23.5	61.3	29.6	1.9	1.8
T1	6.0 ^b	7.6 ^b	78.6 ^b	0.40 ^b	0.1 ^a	4.2 ^d	0.6 ^b	0.0	1.6 ^a	5.3 ^b	77.1 ^b	61.5	9.0	5.4	1.2
T2	7.0 ^a	29.5 ^a	86.1 ^b	0.55 ^b	0.3 ^a	12.9 ^b	1.1 ^b	0.0	1.1 ^a	14.9 ^b	93.1 ^a	81.2	6.6	3.4	1.9
T3	6.9 ^a	3.9 ^c	96.4 ^b	0.83 ^a	0.4 ^a	24.2 ^a	7.1 ^a	0.0	1.2 ^a	32.6 ^a	96.5 ^a	71.6	21.2	2.5	1.2
T4	6.4 ^a	29.0 ^a	145.5 ^a	0.90 ^a	0.2 ^a	10.9 ^c	1.6 ^b	0.0	2.6 ^a	13.5 ^b	84.1 ^a	67.4	9.7	5.6	1.4
T5	6.6 ^a	5.4 ^b	95.7 ^b	0.40 ^b	0.1 ^a	4.7 ^d	0.9 ^b	0.0	0.7 ^a	6.1 ^b	89.4 ^a	69.3	13.0	5.8	1.4

SB: suma de bases; Sat.: saturación. Extractores: P, K y Na: resina (HCl + H₂SO₄); Ca, Mg y Al: KCl 1 M. Los valores medios seguidos de la misma letra en las columnas no difieren entre sí ($p > 0.05$). T1 - Control (manejo tradicional del campo, sin alteraciones); T2 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador; T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según K) + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar.

La dinámica de los micronutrientes del suelo (Tabla 14) se vio fuertemente influenciada por los tratamientos evaluados, con variaciones notables en los niveles de Fe, manganeso, Zn y B. En cuanto al Fe, el tratamiento T5 presentó la concentración más alta (123.2 mg/dm³), superando el rango ideal (4-100 mg/dm³), seguido del T1 (81.2 mg/dm³), lo que sugiere una posible acumulación o una absorción limitada por parte de las plantas. Por el contrario, los tratamientos T2, T3 y T4 mostraron los niveles más bajos de Fe²⁺, debido a una mayor absorción por parte de las plantas o a la complejación en formas menos disponibles en condiciones casi neutras de pH en el suelo (White y Broadley, 2003). El exceso de Fe²⁺ observado en el tratamiento T5, combinado con la baja concentración de Zn²⁺ en el mismo tratamiento, puede indicar interacciones antagónicas entre estos dos nutrientes (Marschner, 2012).

Tabla 14. Comparación del análisis químico del suelo (a 30 cm de profundidad) en cuanto a micronutrientes (mg dm⁻³) antes y al final del experimento, en función de las diferentes estrategias de manejo del mango Tommy Atkins en Ecuador.

	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	B
	mg/dm ³				
Antes	57.9	19.4	2.4	2.1	0.78
T1	81.2 ^b	48.3 ^c	2.4 ^a	19.9 ^d	0.56 ^a
T2	13.3 ^d	119.9 ^a	0.2 ^c	73.3 ^b	0.63 ^a
T3	19.0 ^c	25.0 ^d	1.7 ^b	22.7 ^c	0.90 ^a
T4	12.3 ^d	111.4 ^b	0.6 ^c	124.5 ^a	0.94 ^a
T5	123.2 ^a	23.2 ^d	2.0 ^b	10.1 ^e	0.43 ^b

Los valores promedio seguidos por la misma letra en las columnas no difieren entre sí ($p > 0.05$). T1: control (manejo tradicional de la finca, sin alteraciones); T2: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitoregulator; T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según K) + aminoácidos + fitoregulator + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitoregulator + bloqueador solar.

Aún en relación con la Tabla 14, los niveles de Mn oscilaron entre 23.2 mg/dm³ (T5) y 119.9 mg/dm³ (T2), con valores notablemente altos en T2 y T4. T2 alcanzó la concentración absoluta más alta (119.9 mg/dm³), situándose dentro del límite superior del rango adecuado (4-50 mg/dm³), lo que sugiere una posible acumulación a través de procesos redox en condiciones más húmedas, como resultado de una gestión controlada del riego (basada en Kc). Por el contrario, los tratamientos T3 y T5 mostraron niveles bajos de Mn²⁺ (<25 mg/dm³), lo que indica que el uso de bioestimulantes pudo haber mejorado la absorción y la translocación de Mn²⁺, reduciendo así su concentración residual en el suelo.

En cuanto al Cu, todos los tratamientos se mantuvieron dentro del rango ideal (0.3-10 mg/dm³), con valores más altos observados en T1 y T5 (2.4 y 2.0 mg/dm³, respectivamente). Los tratamientos

T2 y T4 mostraron concentraciones más bajas (0.2 y 0.6 mg/dm³), lo que puede atribuirse a una mayor absorción por parte de las plantas o a la fijación en el suelo, especialmente en suelos con un elevado contenido de materia orgánica, como se observó en estos dos tratamientos.

El zinc fue el micronutriente que más respondió a los diferentes tratamientos (Tabla 14), con T4 mostrando el valor más alto (124.5 mg/dm³), muy por encima del rango adecuado (2-15 mg/dm³), probablemente debido a la presencia de formas queladas en su formulación o a una menor absorción por parte de las plantas. Por el contrario, el T5 mostró el valor más bajo (10,1 mg/dm³), aún dentro del rango ideal, lo que refleja una mayor absorción y un uso más eficiente del nutriente. El T2 y el T3 mantuvieron niveles intermedios (22.7-73.3 mg/dm³), lo que refuerza la influencia de la gestión nutricional en la disponibilidad de Zn en el suelo.

Por último, los niveles de B fueron bajos en todos los tratamientos, excepto en T4 (0.94 mg/dm³) y T3 (0.90 mg/dm³), que fueron los más cercanos al rango ideal (1-2 mg/dm³). El T5 presentó el valor más bajo (0.43 mg/dm³), por debajo del umbral de suficiencia, lo que indica una posible deficiencia debido a la ausencia de B en los fertilizantes líquidos aplicados. Estos resultados ponen de relieve la necesidad de prestar especial atención a la gestión del B, dada su alta movilidad en el suelo y su sensibilidad a la lixiviación (Kohli et al., 2023).

El estado nutricional del mango «Tommy Atkins» antes del experimento y tras los tratamientos se muestra en la tabla 15.

Las concentraciones foliares de nitrógeno aumentaron en todos los tratamientos en comparación con la condición inicial (11.1 g/kg), pero se mantuvieron por debajo del rango ideal (11.9-17.9 g/kg) requerido para un rendimiento mínimo de 34 t/ha.

Los valores más altos se observaron en los tratamientos T3, T4 y T5 (13.3-13.6 g/kg), que fueron estadísticamente superiores al control, lo que destaca los efectos positivos de los bioestimulantes y la fertirrigación líquida sobre el metabolismo del N y el crecimiento vegetativo. No obstante, los valores indican que el suministro o la absorción de N no se optimizaron por completo, posiblemente debido a las limitaciones del sistema radicular o a las pérdidas de N por volatilización.

Tabla 15. Comparación del estado nutricional de las hojas antes y al final del experimento en función de las diferentes estrategias de manejo del mango Tommy Atkins en Ecuador.

	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	B	Cu ²⁺	Fe ²⁺
	g kg ⁻¹						mg l ⁻¹		
Antes	11.1	0.8	8.5	32.3	1.2	1.3	52.5	6.0	214.8
T1	12.2 ^b	0.8 ^a	6.2 ^a	32.4 ^b	1.2 ^b	1.0 ^a	109.6 ^a	4.7 ^b	62.9 ^b
T2	12.7 ^b	0.9 ^a	5.1 ^b	32.4 ^b	1.8 ^a	1.0 ^a	73.8 ^b	5.3 ^a	102.7 ^a
T3	13.3 ^a	0.9 ^a	5.1 ^b	35.1 ^a	1.3 ^b	1.0 ^a	107.7 ^a	4.0 ^b	68.7 ^a
T4	13.6 ^a	0.8 ^a	5.9 ^a	29.6 ^c	1.7 ^a	1.0 ^a	62.4 ^b	4.8 ^b	65.8 ^b
T5	13.6 ^a	0.9 ^a	6.5 ^a	29.0 ^c	1.2 ^b	1.0 ^a	122.9 ^a	8.5 ^a	65.1 ^b

Los valores promedio seguidos de la misma letra en las columnas no difieren entre sí ($p > 0.05$). T1 - Control (manejo tradicional de la finca, sin alteraciones); T2 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador; T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según K) + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar.

A pesar del aumento significativo del fósforo disponible en el suelo tras la aplicación de diferentes tratamientos (Tabla 13), especialmente en T2 a T4, las concentraciones de fósforo foliar se mantuvieron bajas en todos los tratamientos, oscilando entre 0.8 y 0.9 g/kg, por debajo del rango de suficiencia recomendado (1.5-2.4 g/kg).

Esta discrepancia entre la disponibilidad en el suelo y la acumulación foliar pone de relieve la existencia de limitaciones en la absorción o la translocación del fósforo que no se superaron con las estrategias de manejo utilizadas. Uno de los principales factores puede ser la fijación del fósforo en formas no disponibles, especialmente en suelos con altos niveles de calcio, como se observó en T3 y T2. En condiciones de pH casi neutro a ligeramente alcalino ($pH > 6.5$), el P tiende a precipitarse en forma de fosfatos de Ca, Mg o Fe, lo que reduce su disponibilidad para las plantas (Marschner, 2012).

Además, la movilidad limitada del P en el suelo y dentro de la planta contribuye a su escasa redistribución a los tejidos en expansión, especialmente en condiciones de sistemas radicales densos y competencia intensa con otros aniones. Los niveles elevados de Zn en algunos tratamientos también pueden ejercer efectos antagónicos sobre la absorción de P al interferir con la actividad de la fosfatasa alcalina y la función del transportador de membrana (Alloway, 2008).

Otra consideración importante es que, aunque se aplicó P al suelo, su absorción depende en gran medida de la actividad biológica en la rizosfera. Tratamientos como el T3 y el T5, que incluían aminoácidos y reguladores del crecimiento vegetal, podrían, en teoría, mejorar el crecimiento de las raíces y la exudación de compuestos orgánicos, mejorando así la absorción de P. Sin embargo, estas

prácticas fueron insuficientes para superar las limitaciones químicas. Esto sugiere la necesidad de estrategias más específicas, como el uso de fuentes de fosfato altamente solubles, aplicaciones localizadas o suplementos foliares, especialmente durante etapas fenológicas clave como la floración y el llenado del fruto.

Las concentraciones foliares de K^+ en el mango «Tommy Atkins» (Tabla 15) oscilaron entre 5.1 y 6.5 g/kg, todas por debajo del rango de suficiencia (10.2-15.9 g/kg) establecido en la Tabla 9. El resultado más llamativo fue el de T1, que tenía un nivel de K^+ foliar de 6.2 g/kg, similar o incluso ligeramente superior al de otros tratamientos, a pesar de recibir la dosis más alta de fertirrigación de K (40.39 kg/ha), sustancialmente mayor que la de los otros tratamientos, que oscilaba entre 28.0 kg/ha (T2, T3, T4) y 6.99 kg/ha (Tabla 1). Este resultado sugiere una absorción y utilización ineficientes del K de los árboles T1, probablemente debido a una falta de sincronización con la demanda fenológica y a la ausencia de prácticas fisiológicas para estimular la función radicular o la actividad de transporte de iones. Además, la competencia con los altos niveles de Ca^{2+} y Mg^{2+} en el suelo, especialmente en T1 y T3, puede haber restringido el transporte de K^+ a través de la absorción radicular, ya que estas cationes compiten por los mismos canales de absorción (Marschner, 2012). Por lo tanto, la baja acumulación de K^+ foliar, incluso con una alta disponibilidad en el suelo, refuerza la idea de que la forma del nutriente, el equilibrio y la estimulación fisiológica son más decisivos que la cantidad aplicada por sí sola.

Aunque todos los tratamientos mostraron concentraciones de Ca^{2+} foliar dentro o cerca del rango de suficiencia, sus respuestas variaron según la estrategia de manejo. El T3 tuvo el nivel más alto de Ca^{2+} foliar (35.1 g/kg), superando el límite superior del rango ideal, probablemente debido a la alta disponibilidad de Ca en el suelo (24.2 cmolc/dm³; Tabla 13) y al efecto sinérgico de los reguladores del crecimiento en la movilización y asignación del nutriente, especialmente en los tejidos en crecimiento activo. Esta respuesta también puede atribuirse a la expansión del área radicular funcional promovida por los bioestimulantes, que mejora la absorción de nutrientes de baja movilidad como el Ca (White y Broadley, 2003). Por el contrario, T4 y T5, a pesar de los altos niveles de Ca en el suelo, presentaron concentraciones foliares más bajas (29.6 y 29.0 g/kg, respectivamente), lo que sugiere que factores fisiológicos o competitivos pueden haber limitado la asimilación efectiva. Entre ellos se incluyen la competencia con niveles elevados de Mg^{2+} y K^+ , y posibles alteraciones en el transporte del xilema, ya que el Ca no se redistribuye a través del floema y su absorción depende en gran medida del flujo de transpiración (Taiz et al., 2017). Estos hallazgos refuerzan la importancia de equilibrar la disponibilidad del suelo, las interacciones catiónicas y los estímulos fisiológicos para garantizar una nutrición eficiente con Ca^{2+} .

Por lo tanto, el rendimiento superior de T2, T3 y T4 en el mantenimiento de niveles adecuados de Ca foliar, a pesar de la ausencia de fertilización específica con Ca, destaca la relevancia de las estrategias integradas que combinan el ajuste del riego, la estimulación fisiológica y el uso eficiente de los recursos existentes en el suelo, todo lo cual promueve una nutrición equilibrada de las plantas y contribuye a la calidad estructural de los tejidos vegetativos.

Las concentraciones de Mg^{2+} foliar oscilaron entre 1.2 y 1.8 g/kg, siendo T2 (1.8 g/kg) y T4 (1.7 g/kg) los que mostraron los mejores resultados, ambos dentro del rango de suficiencia recomendado (1.6-2.4 g/kg). Estos dos tratamientos, junto con el T3 (1.3 g/kg), recibieron la dosis más alta de Mg a través de la fertirrigación (6.65 kg/ha), lo que indica que un suministro adecuado de nutrientes, combinado con prácticas eficaces como el riego ajustado al Kc y el uso de bioestimulantes, favoreció la absorción y la translocación del Mg. El mejor rendimiento de T2 y T4 en comparación con T3, a pesar de recibir la misma dosis de Mg, puede deberse a un equilibrio iónico más favorable, al pH y a una menor competencia con otros cationes durante la absorción (Marschner, 2012).

El T5, que recibió la dosis más baja de Mg (0.99 kg/ha), presentó el mismo nivel foliar que el T1 (1.2 g/kg), que había recibido 1.66 kg/ha. Estos valores estaban por debajo del umbral de suficiencia, lo que refuerza que, más allá de la tasa de aplicación, la competencia con Ca^{2+} y K^+ , las condiciones de pH y la forma líquida de la aplicación pueden afectar la dinámica del Mg en el suelo. El bajo rendimiento de T5 también sugiere que, incluso con bioestimulantes y fertirrigación líquida, el suministro de Mg fue insuficiente o se utilizó incorrectamente desde el punto de vista fisiológico. Por lo tanto, las respuestas foliares al Mg se asociaron directamente con la dosis de aplicación y las condiciones de absorción, como el flujo de transpiración, el equilibrio nutricional y la gestión del riego.

Los niveles de azufre fueron uniformes (1.0 g/kg) y se mantuvieron por debajo del rango de suficiencia (1.7-2.1 g/kg) en todos los tratamientos, lo que indica una posible deficiencia generalizada. Cabe señalar que la etapa de desarrollo del fruto no es necesariamente la fase fenológica con mayor demanda de S, por lo que es posible que las estrategias de fertilización no se hayan centrado en este nutriente.

Las concentraciones foliares de B (Tabla 15) oscilaron entre 62.4 y 122.9 mg/kg, pero solo los tratamientos T1, T3 y T5 se situaron dentro del rango de suficiencia (101.1-225.1 mg/kg). Esto es especialmente notable, ya que el T5 no recibió fertilización con B, a diferencia de los T2 y T4, que recibieron 9.14 kg/ha, pero no lograron alcanzar niveles foliares suficientes. Esto sugiere que el rendimiento del T5 puede estar relacionado con el uso eficiente del B nativo del suelo y la acción fisiológica de los bioestimulantes, que pueden mejorar la transpiración y la actividad radicular, mejorando así la absorción. La baja eficiencia de los demás tratamientos, a pesar de las altas tasas de

aplicación, puede deberse a la lixiviación, al antagonismo del Ca^{2+} y a un pH subóptimo, factores que reducen la disponibilidad de boro (Dordas y Brown, 2005).

Como se muestra en la Tabla 15, solo el tratamiento T5 (8.5 mg/kg) se acercó al umbral inferior del rango de suficiencia para el Cu (8.6-12 mg/kg), mientras que todos los demás tratamientos fueron claramente deficientes. La eficacia del T5 puede estar asociada con el Cu presente en formulaciones líquidas o bioestimulantes complejos, que mejoran la solubilidad y la absorción. El Cu se compleja fácilmente con la materia orgánica y se precipita en suelos con un pH más alto, lo que requiere formas solubles y una sincronización precisa con la demanda de las plantas para alcanzar concentraciones foliares suficientes (Alloway, 2008; Broadley et al., 2012).

En cuanto al Fe, solo el T2 alcanzó el límite inferior del rango de suficiencia (100.8-217.2 mg/kg). Incluso en los tratamientos con alta disponibilidad de Fe en el suelo (por ejemplo, el T5), los niveles foliares se mantuvieron por debajo del rango ideal, probablemente debido a la precipitación del Fe en formas insolubles (óxidos e hidróxidos) en un pH casi neutro. Además, el Fe tiene una baja movilidad en el floema y su absorción depende en gran medida de la actividad radicular y de la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} en la rizosfera (Li et al., 2023).

Todos los tratamientos mostraron niveles foliares de Mn dentro del rango de suficiencia (345.5-783.9 mg/kg; Rezende et al., 2022), lo que indica que el Mn^{2+} estaba adecuadamente disponible en el suelo y se absorbía de manera eficiente, independientemente de la estrategia de manejo aplicada. El T5 destacó por tener el mayor contenido de Mn foliar, lo que puede atribuirse a la mejora de la eficiencia del sistema radicular estimulada por los bioestimulantes y la fertirrigación líquida, que mejoran la absorción de micronutrientes incluso con concentraciones más bajas en el suelo. La absorción de Mn^{2+} depende en gran medida de la actividad radicular y de las condiciones redox del suelo, y responde bien a suelos aireados, pH ligeramente ácido y una elevada demanda metabólica, favorecida por tratamientos fisiológicamente activos (Millaleo et al., 2010; Rout y Sahoo, 2015).

En cuanto al Zn, solo T1 (40.9 mg/kg) alcanzó un nivel foliar dentro del rango de suficiencia (33.3-147.2 mg/kg), a pesar de recibir solo 1.02 kg/ha de Zn. Los tratamientos T2 a T4, incluso con tasas de aplicación similares, mostraron niveles deficientes. Esto sugiere una baja eficiencia en la absorción de Zn^{2+} , tal vez debido a la inmovilización causada por el exceso de P y Ca^{2+} en el suelo o a la precipitación en formas insolubles. Además, el crecimiento vegetativo más vigoroso en los tratamientos bioestimulados puede haber causado la dilución de nutrientes en los tejidos foliares, reduciendo la concentración de Zn (Kirkby y Pilbeam, 1984).

En cuanto al Mo, todos los tratamientos se situaron muy por debajo del rango de suficiencia (1.4-2.1 mg/kg), con valores <LQ registrados en T2, T3 y T5, y hasta 0.14 mg/kg en T4. La ausencia de

fertilización con Mo, combinada con un pH casi neutro y la posible competencia con el sulfato y el fosfato, limitó severamente su absorción. El molibdeno es esencial para la actividad de la nitrato reductasa y el metabolismo del N, y su deficiencia puede perjudicar el crecimiento de las plantas incluso cuando los niveles de N son adecuados (Kaiser et al., 2005; Shukla et al., 2018). Al final del ciclo fenológico, es relativamente común que los mangos presenten niveles reducidos de Mo debido a la intensificación del metabolismo del N, lo que puede afectar negativamente a la calidad de la fruta después de la cosecha.

Como se muestra en las figuras 7A y 7B, el rendimiento superior del tratamiento T2 en ambas variables relacionadas con el rendimiento está directamente asociado con la sincronización de la fertilización con la demanda fenológica de la planta y la gestión del riego basada en el coeficiente de cultivo (K_c). Esta estrategia permitió el suministro de nutrientes en etapas críticas del desarrollo, optimizando la asimilación, el cuajado y el llenado de los frutos. Como demostraron Torres (2019) y Cavalcante et al. (2024), la fertilización equilibrada y basada en la fenología es esencial para maximizar la retención de frutos y la acumulación de biomasa, especialmente en cultivares de ciclo largo como «Tommy Atkins». En este contexto, como señalan Calvo et al. (2014) y Rouphael y Colla (2020), los bioestimulantes, como los aminoácidos y los reguladores del crecimiento, pueden mejorar la fisiología de las plantas, pero su eficacia depende de una base nutricional sólida y de condiciones hídricas y ambientales favorables.

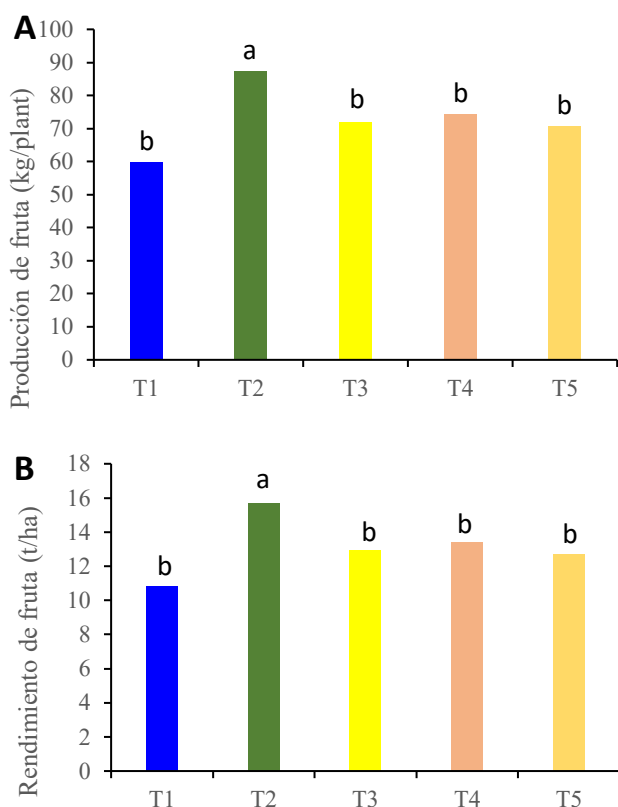


Figura 7: Producción de fruta (A) y rendimiento de fruta (B) de «Tommy Atkins» en función de diferentes estrategias de manejo en Guayaquil, Ecuador. T1: control (manejo agrícola tradicional, sin alteraciones); T2: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador; T4: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar. Las barras con la misma letra no difieren entre sí ($p > 0.05$).

Además, el menor rendimiento productivo del tratamiento T1 (Figura 7) refuerza las limitaciones del manejo convencional, que carece de ajustes nutricionales y de riego, lo que da lugar a una reducción de la eficiencia fisiológica y productiva de la planta. Además, la falta de superioridad observada en el T5, a pesar de la combinación de bioestimulantes, fertilizantes líquidos y protección solar, puede atribuirse a la interferencia con la fotosíntesis o al desequilibrio hormonal, tal y como informan Silva et al. (2022a), especialmente en condiciones de alta radiación.

El tratamiento T2 (Figura 8A) registró el mayor número medio de frutos por planta (aproximadamente 210 frutos/planta), siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos ($p < 0.05$). Este resultado puede atribuirse a la eficiencia de la gestión nutricional y de riego sincronizada con el ciclo fenológico, que favoreció la floración, el cuajado y la retención de frutos. Los tratamientos

T1, T3, T4 y T5 mostraron valores similares, que oscilaron entre 140 y 170 frutos/planta, sin diferencias significativas entre ellos.

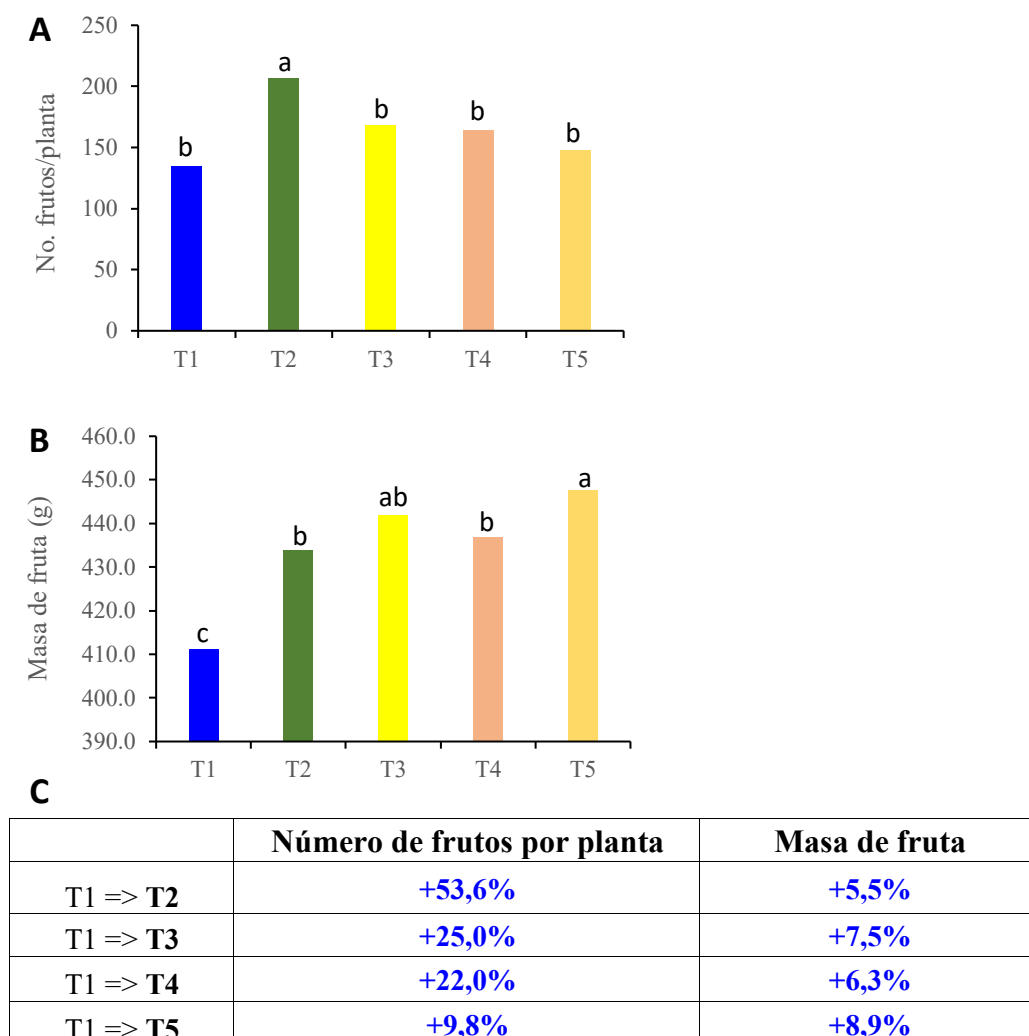


Figura 8: Número de frutos por planta (A), masa frutal (B) y fluctuaciones de dichas variables entre los tratamientos estudiados de «Tommy Atkins» en función de diferentes estrategias de manejo en Guayaquil, Ecuador. T1: control (manejo agrícola tradicional, sin alteraciones); T2: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador; T4: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar. Las barras con la misma letra no difieren entre sí ($p > 0.05$).

En cuanto al peso medio de los frutos, el T5 registró el valor medio más alto (~450 g), significativamente mayor que el T1 y el T2, mientras que el T3 presentó un valor intermedio, sin diferencias estadísticas comparadas con el T5 y el T2 (Figura 8B).

El tratamiento de control (T1) mostró los valores más bajos para ambas variables, lo que pone de relieve las limitaciones del manejo tradicional sin ajustes en la fertilización y el riego (Figura 8B). Este tratamiento dio lugar a un menor cuajado, frutos más ligeros y una menor eficiencia productiva, probablemente debido a deficiencias nutricionales, en particular de P, K y micronutrientes, como se ha comentado anteriormente en el análisis foliar.

La comparación porcentual entre los tratamientos (Figura 8C) revela patrones de respuesta fisiológica distintos a las estrategias de manejo adoptadas. El tratamiento T2 mostró el mayor aumento relativo en el número de frutos (+53.6 %), con una mejora moderada en la masa media de los frutos (+5.5 %). Esto indica que las aplicaciones de nutrientes alineadas con la demanda de las plantas, combinadas con el riego basado en Kc, promovieron fuertemente el cuajado y la retención de frutos sin comprometer significativamente el llenado de los mismos. Estas estrategias garantizan un suministro adecuado de nutrientes y agua durante las etapas críticas de la fructificación, lo que evita el aborto floral y favorece la división celular temprana (Silva et al., 2022b).

Por el contrario, los tratamientos T3 y T4, que incorporaban bioestimulantes, mostraron ganancias intermedias en el número de frutos (+25.0 % y +22.0 %, respectivamente) y aumentos ligeramente mayores en la masa de los frutos (+7.5 % y +6.3 %). Esto sugiere que los bioinsumos pueden haber contribuido a mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, estimular las vías hormonales (por ejemplo, auxinas y citoquininas) y ampliar la superficie foliar funcional, favoreciendo así tanto el crecimiento vegetativo como el llenado de los frutos (Calvo et al., 2014; Rouphael y Colla, 2020).

El tratamiento T5 (Figura 8C), que combinaba fertilizantes líquidos, bioestimulantes y protección solar, mostró el mayor aumento relativo en la masa media de los frutos (+8.9 %), pero solo un modesto aumento en el número de frutos (+9.8 %). Esto refleja un efecto compensatorio típico, en el que una menor carga de frutos conduce a una menor competencia por los asimilados y a un mayor crecimiento individual de los frutos. Esta respuesta es ventajosa en los sistemas de producción centrados en la calidad y la uniformidad del tamaño de los frutos, tal y como exigen los mercados internacionales (Taiz et al., 2017). El uso de formulaciones líquidas también puede haber mejorado la absorción de nutrientes foliares y contribuido a una nutrición mineral más uniforme.

Aunque el tratamiento T5 produjo frutos de mayor tamaño (Figura 9), su número total de frutos por planta fue inferior al del T3, como se ha mostrado anteriormente (Figura 8A). Esta diferencia indica que el T5 experimentó una reducción de la carga de frutos, lo que disminuyó la competencia entre los frutos restantes y favoreció su expansión y llenado. Por el contrario, el T3, con un mayor número de frutos por planta, experimentó una mayor competencia intraplanta, lo que podría limitar el desarrollo de calibres más grandes incluso con la aplicación de bioestimulantes. Estos resultados son coherentes con el principio fisiológico de que el equilibrio entre la fuente y el sumidero es un factor determinante

del tamaño final del fruto, y que el raleo de frutos, ya sea natural o inducido, puede ser una estrategia eficaz para concentrar los asimilados en frutos de valor comercial (Taiz et al., 2017; Bodh y Verma, 2025).

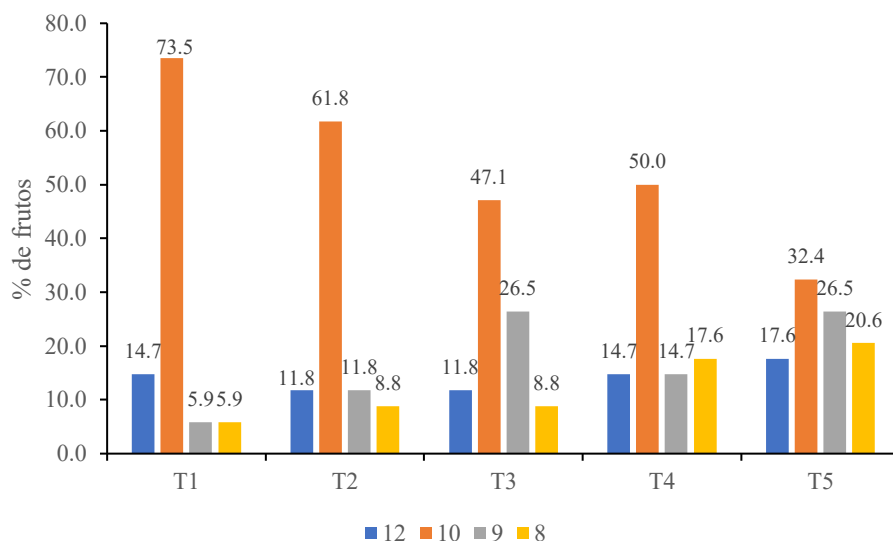


Figura 9: Distribución de los calibres de los frutos de la variedad «Tommy Atkins» en función de diferentes estrategias de manejo en Guayaquil, Ecuador. T1: control (manejo tradicional de la finca, sin modificaciones); T2: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc; T3: recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de las plantas en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador; T4 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico + riego según K) + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar; T5 - Recomendaciones de fertilización según la demanda de nutrientes de la planta en cantidad y siguiendo un calendario fenológico utilizando fertilizantes líquidos + riego según Kc + aminoácidos + fitorregulador + bloqueador solar.

A partir de las variaciones observadas, se puede concluir que cada estrategia de manejo influyó de manera distinta en los componentes de la producción de mango. El tratamiento T2 destacó por su pronunciado efecto en el aumento del número de frutos, mientras que el T5 promovió la mayor masa individual de los frutos. Estos resultados demuestran que la adopción de prácticas de manejo de nutrientes alineadas con las etapas fenológicas del cultivo es eficaz para maximizar el cuajado y el rendimiento total, mientras que el uso de bioestimulantes y fertilizantes líquidos mejora el llenado y la calidad de los frutos. Por lo tanto, la elección de la estrategia de manejo óptima debe guiarse por los objetivos de producción específicos, ya sea que se centren en la cantidad o en la calidad, y por el perfil del mercado objetivo.

3.3 Tercera fase: identificación y recomendación de la mejor estrategia de manejo

A partir de los resultados integrados de la fase de diagnóstico, los ensayos experimentales y la evaluación de los efectos nutricionales, productivos y de calidad de la fruta en los huertos de mango «Tommy Atkins» y «Ataulfo» en Ecuador, es posible identificar y recomendar las estrategias de manejo más adecuadas para maximizar el rendimiento y la calidad de la fruta, entre ellas

- ✓ El sistema radicular de las plantas no está bien desarrollado y se cree que es insuficiente para absorber la solución del suelo a la velocidad que requiere la planta para el correcto crecimiento de los frutos.
- ✓ Es necesario utilizar tecnologías para mitigar el estrés oxidativo, ya que este se produce durante ciertas épocas del año, especialmente cuando la intensidad de la luz es más agresiva y las temperaturas son extremadamente altas.
- ✓ El sistema de riego, con un solo microaspersor por planta, satisface parcialmente la demanda de agua del cultivo, ya que, aunque no hay impedimentos mecánicos, solo una parte del sistema radicular recibe agua del sistema. Esta situación limita la capacidad de las plantas para proporcionar las condiciones óptimas para el desarrollo adecuado de los frutos.
- ✓ Las recomendaciones de fertilización requieren ajustes no solo en las cantidades aplicadas, sino también en el momento y el método de distribución del fertilizante a lo largo del desarrollo del fruto, como lo demuestran los resultados generados en este estudio.
- ✓ Las condiciones actuales del huerto y las prácticas de manejo no son suficientes para el desarrollo adecuado de los frutos con el fin de lograr calibres más grandes. Es necesario realizar ajustes en el sistema de producción.

A continuación, se presentan recomendaciones específicas para cada cultivar de mango evaluado en el proyecto.

3.3.1 Ataulfo

En general, T2 (fertilización según la demanda nutricional del cultivo + riego ajustado en función del coeficiente de cultivo, K_c) destacó por promover el mayor número de frutos por planta (~147 frutos), así como el mayor rendimiento por planta y la mayor productividad por hectárea. Este rendimiento se atribuye al suministro equilibrado de nutrientes durante las etapas fenológicas críticas, en particular la floración y el cuajado, y a una gestión adecuada del agua, que mejora la retención de frutos (Rezende et al., 2023). Sin embargo, la mayor carga de frutos dio lugar a frutos

de menor tamaño, con un 61.8 % de los frutos clasificados en la categoría de tamaño 10, lo que se asocia a un menor valor comercial.

Por el contrario, el T5 (fertilización líquida + aminoácidos + reguladores del crecimiento vegetal + protector solar) produjo menos frutos por planta en comparación con el T3 y el T2, pero dio lugar a los frutos de mayor tamaño, con un 38.2 % en la categoría 8 y un 26.5 % en la categoría 9. Fue el único tratamiento con una distribución dominante en las categorías de tamaño de fruto con mayor valor comercial, lo que indica un efecto compensatorio fisiológico en el que la reducción de la competencia por los asimilados favorece el llenado del fruto. La aplicación localizada de nutrientes líquidos, combinada con bioestimulantes, pudo haber mejorado la absorción y el transporte de K, Ca y B, nutrientes esenciales para la expansión del fruto y la calidad de la piel (Calvo et al., 2014; Taiz et al., 2017; Tenreiro et al., 2023).

Desde el punto de vista nutricional, «Ataulfo» presentó niveles foliares adecuados de macro y micronutrientes en la mayoría de los tratamientos, excepto en el caso del P, K, S y Mo, que se mantuvieron por debajo de los umbrales de suficiencia a pesar de la aplicación al suelo. La limitación de fósforo fue particularmente evidente en todos los tratamientos, probablemente debido a la escasa disponibilidad causada por la fijación en formas insolubles en suelos con altos niveles de Ca^{2+} y pH casi neutro. El boro alcanzó niveles adecuados solo en los tratamientos que incluían fuentes complejas (como Biotek™), lo que destaca la importancia de la forma química de los nutrientes y la actividad radicular en el proceso de absorción (Bassirirad, 2000).

Los tratamientos T3 y T4 mostraron un rendimiento intermedio tanto en el número como en el tamaño de los frutos, lo que representa estrategias prometedoras para los sistemas de producción que buscan equilibrar el rendimiento y la calidad. Por el contrario, el tratamiento de control (T1) mostró una baja productividad y una distribución desfavorable del tamaño de los frutos, lo que reafirma las limitaciones de la gestión convencional sin intervención técnica.

3.3.2 Tommy Atkins

Los resultados obtenidos a lo largo del experimento demuestran que las estrategias de manejo tuvieron efectos distintos en el estado nutricional, el rendimiento productivo y la masa y el tamaño de los frutos. El tratamiento T2, basado en la fertilización según las necesidades nutricionales de las

plantas y el riego ajustado al coeficiente de cultivo (K_c), destacó en varios parámetros: dio lugar a las concentraciones foliares más altas de Fe y Mg, el mayor rendimiento por planta y por hectárea, y el mayor número de frutos por planta (+53.6 % en comparación con el control). Sin embargo, la distribución del tamaño de los frutos fue desfavorable, con más del 60 % de los frutos concentrados en la categoría de tamaño 10, asociada a un menor valor comercial. Este resultado refleja un efecto de dilución fisiológica, por el cual el aumento de la carga de frutos compromete el llenado de los mismos y reduce su tamaño medio.

Por el contrario, el T5, que combinaba fertilizantes líquidos, aminoácidos, reguladores del crecimiento vegetal y protector solar, produjo la mayor masa media de frutos (~450 g), así como una distribución de tamaños más equilibrada, con un 26.5 % de frutos en la categoría 9 y un 20.6 % en la categoría 8, ambas muy valoradas en los mercados de exportación. Sin embargo, el número total de frutos fue inferior al de T3, lo que sugiere que esta estrategia favoreció la calidad de los frutos frente a la cantidad.

Los análisis del suelo y las hojas refuerzan la idea de que la eficiencia de la absorción de nutrientes depende no solo de la cantidad aplicada, sino también de la forma, el momento y la interacción con la gestión del agua. Por ejemplo, a pesar de las altas aplicaciones de B en T2, T3 y T4, solo T5 alcanzó niveles foliares suficientes, sin aplicación directa de B, lo que destaca la importancia de las formas solubles de nutrientes y la salud del sistema radicular en una nutrición mineral eficaz. Además, todos los tratamientos mostraron deficiencias de P y Mo, lo que subraya la necesidad de ajustes específicos en estas fuentes, ya sea mediante fertirrigación localizada o aplicación foliar. Se deben realizar esfuerzos adicionales para fortalecer el sistema radicular, que, según la evaluación visual, mostró condiciones subóptimas para maximizar los beneficios de los fertilizantes y las tecnologías aplicadas.

Por lo tanto, los resultados indican que se recomienda T2 cuando el objetivo es maximizar la productividad en kg/ha, lo que lo hace ideal para mercados que aceptan frutos de tamaño mediano. Por el contrario, T5 es la mejor alternativa para los productores que se dirigen a mercados de alto valor con requisitos estrictos de tamaño, como las exportaciones a Europa o Estados Unidos, incluso si ello supone un menor número de frutos por planta. T3 ofrece un enfoque equilibrado, con ganancias simultáneas tanto en el número como en el tamaño de los frutos, y parece prometedor para los sistemas que buscan el equilibrio entre rendimiento y calidad.

También es importante señalar que la fertilización líquida no es aplicable de manera universal, especialmente en huertos donde el suelo carece de las condiciones mínimas de fertilidad para

satisfacer las necesidades del cultivo. El uso de fertilizantes líquidos tal y como se aplica en T5 depende de un nivel básico de calidad del suelo, en particular en lo que respecta a la materia orgánica, el pH, la disponibilidad de fósforo y la capacidad de intercambio catiónico (tanto en cantidad como en equilibrio catiónico), que, en este estudio, se cumplió al menos de manera mínima.

4. Recomendaciones finales

Basándose en las conclusiones de todas las fases del proyecto y en el análisis exhaustivo de los datos generados a lo largo del periodo de implementación, se proponen las siguientes recomendaciones:

- ✓ Se recomienda instalar un segundo microaspersor por planta para mejorar la uniformidad de la distribución del agua de riego.
- ✓ Adoptar estrategias para estimular el desarrollo del sistema radicular, como el uso de biofertilizantes, especialmente después de la poda, durante la floración y en las etapas iniciales del desarrollo de los frutos. También se recomienda la instalación de rizotrones en el huerto para permitir un monitoreo continuo del crecimiento de las raíces.
- ✓ Implementar tecnologías destinadas a mitigar el estrés abiótico, centrándose en estimular la floración y apoyar el crecimiento de los frutos, de acuerdo con las prácticas de manejo descritas en los apéndices.
- ✓ Teniendo en cuenta que los ajustes en la fertilización destinados al crecimiento de los frutos permitieron que las plantas con alta carga de frutos también produjeran frutos más pesados, se recomienda realizar análisis del suelo antes de la siembra y diagnósticos foliares periódicos para apoyar la formulación de estrategias de manejo de nutrientes específicamente destinadas al llenado de los frutos.

Se espera que la aplicación continua de estas prácticas a lo largo de ciclos de producción sucesivos tenga un impacto positivo en el desarrollo de los frutos, en particular al inducir mejoras estructurales en los sistemas de los huertos. Por lo tanto, mantener estas prácticas es esencial para mejorar de manera constante el tamaño de los frutos en los huertos de mango de Ecuador.

Basándose en los resultados de la segunda fase del proyecto, se proponen las siguientes recomendaciones técnicas para ambos cultivares evaluados:

- ✓ Para obtener la máxima productividad: aplicar el tratamiento T2 — fertilización según la demanda nutricional fenológica + riego basado en el coeficiente de cultivo (Kc).

- ✓ Para obtener frutos de mayor tamaño y mejorar la calidad comercial: aplicar el tratamiento T5 — fertilización líquida + bioestimulantes + protector solar.
- ✓ Para sistemas que buscan un equilibrio entre el rendimiento y el tamaño de los frutos: aplicar el tratamiento T3 — fertilización sólida + aminoácidos + reguladores del crecimiento vegetal.

Sin embargo, es importante destacar que los fertilizantes líquidos, aunque son más eficientes que los convencionales (Asghar et al., 2022; Divya et al., 2022), requieren suelos con condiciones mínimas de fertilidad para satisfacer las demandas de los cultivos. Esto incluye niveles adecuados de materia orgánica, pH, P y capacidad de intercambio catiónico, todos los cuales se abordaron en el presente estudio.

Por lo tanto, una alternativa prometedora consiste en utilizar el protocolo T2 como base técnica, con adaptaciones hacia el T5 en función de los objetivos comerciales del huerto (volumen frente a calidad). Este enfoque promueve un manejo nutricional y fisiológico eficiente, sostenible y económicamente viable y, tras haber sido validado experimentalmente, se perfila como una excelente estrategia para la producción de mango en Ecuador en futuras aplicaciones prácticas.

5. Agradecimientos

Reconocemos las acciones de la Cámara Nacional del Mango (USDA) por apoyar la generación de información científica para la industria del mango y por conceder este proyecto. También agradecemos al Dr. Vespasiano Borges de Paiva Neto por todo su apoyo y ayuda, a MANGO ECUADOR - Fundación Mango del Ecuador, al Ing. Ronierlan Oliveira da Silva y a Arieagra S.A. (finca Los Manguitos) por su colaboración en el desarrollo de la investigación de campo del proyecto.

6. Declaración de intereses

Los autores declaran que no hay intereses en competencia que declarar.

7. Referencias

- Alloway, B.J. 2008. *Zinc in soils and crop nutrition*. 2nd ed. International Zinc Association (IZA), Brussels, Belgium. 135 p. Available at: <https://www.topsoils.co.nz/wp-content/uploads/2014/09/Zinc-in-Soils-and-Crop-Nutrition-Brian-J.-Alloway.pdf> (*El zinc en los suelos y la nutrición de los cultivos*)
- Andriolo, L.J., Falcão, L.L. 2000. Efeito da poda de folhas sobre a acumulação de matéria seca e sua repartição para os frutos do tomateiro cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 8: 75-83.

- Asghar, S., Hasan, S., Khalid, S., Rafique, R., Siddique, I., Naseer, M., Batool, I., Saleem, A., Hussain, t., Akhtar, J. 2022. Growth, development and biochemical response of apple as influenced by liquid fertilizers (Biofert) application. (*Crecimiento, desarrollo y respuesta bioquímica de la manzana bajo la influencia de la aplicación de fertilizantes líquidos (Biofert).*) *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 23(9). <https://doi.org/10.56557/pcbmb/2022/v23i9-107502>.
- Bassirirad, H. 2000. Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change. (*Cinética de la absorción de nutrientes por las raíces: respuestas al cambio global.*) *The New Phytologist*, 147(1): 155-169.
- Bodh, S., Verma, P. 2025. Crop load, assimilate partitioning, translocation and distribution. In: *Advances in growth regulation of fruit crops. (Avances en la regulación del crecimiento de los cultivos frutales.)* CRC Press. p. 32-38.
- Boguta, P., Sokołowska, Z. 2020. Zinc binding to fulvic acids: Assessing the impact of pH, metal concentrations and chemical properties of fulvic acids on the mechanism and stability of formed soluble complexes. (*Unión del zinc a los ácidos fúlvicos: evaluación del impacto del pH, las concentraciones de metales y las propiedades químicas de los ácidos fúlvicos en el mecanismo y la estabilidad de los complejos solubles formados.*) *Molecules*, 25(6): 1297.
- Bowen, H.D. 1981. *Alleviating mechanical impedance*. In: Arkin GF, Taylor HM, (Comp.) *Modifying the root environment to reduce crop stress. (Modificar el entorno radicular para reducir el estrés de los cultivos.)* St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers. p. 21-57.
- Broadley, Martin R., White, Philip J. 2012. *Plant Minerals*. In: *Phytonutrients*, Salter, A., Wiseman, H., Tucker, G., Eds, p. 254-298.
- Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J.W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. (*Usos agrícolas de los bioestimulantes vegetales.*) *Plant and Soil*, 383: 3–41.
- Carneiro, M.A., Lima, A.M.N., Cavalcante, Í.H.L., Sousa, K.S.M., Oldoni, F.C.A., Barbosa, K.S. 2018. Production and quality of mango fruits cv. Tommy Atkins fertigated with potassium in semi-arid region. (*Producción y calidad del mango de la variedad Tommy Atkins fertirrigado con potasio en una región semiárida.*) *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(5): e-034.
- Cavalcante, Í.H.L. Mango flowering: factors involved in the natural environment and associated management techniques for commercial crops. (*Floración del mango: factores relacionados con el entorno natural y técnicas de manejo asociadas para cultivos comerciales.*) Review Article. National Mango Board, 2022. Available at: https://www.mango.org/wp-content/uploads/2022/12/Mango-Flowering-Review_Italo-Cavalcante-atual.pdf
- Cavalcante, Í.H.L., Paiva Neto, V.B. 2024. *Research report presented at the ConectaFrut 2024*. Petrolina, Brazil.
- Cavalcante, Í.H.L., Santos, G.N.F., Silva, M.A., Martins, R.S., Lima, A.M.N., Modesto, P.I.R., Alcobia, A.M., Silva, T.R.S., Amariz, R.A.E., Beckmann-Cavalcante, M.Z. 2018. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. (*Un nuevo enfoque para inducir la maduración de los brotes de mango en el entorno semiárido brasileño.*) *Journal of Applied Botany and Food Quality* 91: 281-286. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.036>
- Climate Data. *Historical data for Guayaquil, Ecuador*. Available at: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/ecuador/provincia-del-guayas/guayaquil-2962/>
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., Roupael, Y. 2015. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. (*Hidrolizados de proteínas como bioestimulantes en horticultura.*) *Scientia Horticulturae*, 196: 28–38. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.08.037
- Costa, A.N., Costa, A.F.S., Caetano, L.C.S., Ventura, J.A. 2008. *Recomendações Técnicas para a produção de manga*. Incaper, Vitória, Brazil. (Documentos No 155). 56 p.

- Costa, J.D.S., Almeida, F.A.C., Figueiredo Neto, A., Cavalcante, Í.H.L. 2017. Physical and mechanical parameters correlated to the ripening of mangoes (*Mangifera indica* L.) cv. 'Tommy Atkins'. (*Parámetros físicos y mecánicos relacionados con la maduración del mango (Mangifera indica L.) cv. «Tommy Atkins».*) *Acta Agronomica*, 66(2): 186-192.
- Cotrim, C.E., Coelho, E.F., Silva, J.A., Santos, M.R. 2017. Irrigação com déficit controlado e produtividade de mangueira 'Tommy Atkins' sob gotejamento. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(8): 2229-2238.
- Divya, K., Kaleeswari, R.K., Jeyanthi, D., Amirtham, D., Sankaranarayanan, K. 2022. Evolution of liquid multinutrient fertilizer for hybrid cotton. (*Evolución del fertilizante líquido multinutriente para algodón híbrido.*) *International Journal of Plant & Soil Science*, 34: 666–671. doi: [10.9734/ijpss/2022/v34i2031202](https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i2031202)
- Donagema, G.K., Campos, D.B., Calderano, S.B., Teixeira, W.G., Viana, J.M. 2011. *Manual de métodos de análise de solos*. 2. ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brazil. 230 p.
- Dordas, C., Brown, P.H. 2005. Boron deficiency affects cell viability, phenolic leakage and oxidative burst in rose cell cultures. (*La deficiencia de boro afecta a la viabilidad celular, la fuga fenólica y la explosión oxidativa en cultivos celulares de rosa.*) *Plant and soil*, 268: 293-301.
- El-Hendawy, S.E., Hu, Y., Schmidhalter, U. 2005. Growth, ion content, gas exchange, and water relations of wheat genotypes differing in salt tolerances. (*Crecimiento, contenido de iones, intercambio gaseoso y relaciones hídricas de genotipos de trigo con diferentes tolerancias a la sal.*) *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(2): 123-134.
- Galán Saúco, V. 2009. *El Cultivo del Mango* (2nd ed.). MundiPrensa, Madrid, Spain. 340 p.
- Gargantini, F. 1999. *Nutrição e adubação da manga*. In: Curso de mangicultura da região Meio Norte, 1. Teresina, Piauí, Brazil. Apostila. s.p.
- Gazzola, R. 1991. *Adubação foliar e desbaste manual na qualidade dos frutos da tangerineira (Citrus reticulata Blanco cv. Ponkan)*. (M.Sc. thesis, Agronomy - Plant Production) - Federal University Lavras, Lavras, Brazil.
- Gloser, V., Dvorackova, M., Mota, D.H., Petrovic, B., Gonzalez, P., Geilfus, C.M. 2020. Early changes in nitrate uptake and assimilation under drought in relation to transpiration. (*Cambios tempranos en la absorción y asimilación de nitratos en condiciones de sequía en relación con la transpiración.*) *Frontiers in Plant Science*, 11: 602065. doi: [10.3389/fpls.2020.602065](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.602065)
- Kaiser, B.N., GRidley, K.L., Ngair Brady, J., Phillips, T., Tyerman, S.D. 2005. The role of molybdenum in agricultural plant production. (*El papel del molibdeno en la producción de plantas agrícolas.*) *Annals of Botany*, 96(5): 745-754.
- Hartemink, A.E., Barrow, N.J. 2023. Soil pH - nutrient relationships: the diagram. (*Relación entre el pH del suelo y los nutrientes: el diagrama.*) *Plant Soil*, 486: 209–215. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05861-z>
- Hellal, F.A., El-Sayed, S.A.A., Zewainy, R.M., Abdelhamid, M. 2015. Interactive effects of calcium and boron application on nutrient content, growth and yield of faba bean irrigated by saline water. (*Efectos interactivos de la aplicación de calcio y boro sobre el contenido de nutrientes, el crecimiento y el rendimiento de la haba regada con agua salina.*) *International Journal of Plant & Soil Science*, 4(3): 288-296.
- Kirkby, E.A., Pilbeam, D. J. 1984. Calcium as a plant nutrient. (*El calcio como nutriente vegetal.*) *Plant, Cell and Environment*, 7(6): 397-405. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1984.tb01429.x>

Kohli, S.K., Kaur, H., Khanna, K., Handa, N., Bhardwaj, R., Rinklebe, J., Ahmad, P. 2023. Boron in plants: uptake, deficiency and biological potential. (*El boro en las plantas: absorción, deficiencia y potencial biológico.*) *Plant Growth Regulation*, 100(2): 267-282.

Léchaudel, M., Joas, J. 2007. An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour. (*Resumen de los factores previos a la cosecha que influyen en el crecimiento, la calidad y el comportamiento del mango durante la poscosecha .*) *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4): 287-298.

Levin, A.G., Peres, M., Noy, M., Love, C., Gal, Y., Naor, A. 2018. The response of field-grown mango (cv. Keitt) trees to regulated deficit irrigation at three phenological stages. (*Respuesta del árbol de mango cultivado en campo (cv. Keitt) al riego deficitario regulado en tres etapas fenológicas.*) *Irrigation Science*, 36(3): 25-35. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0557-5>

Li, H., Santos, F., Butler, K., Herndon, E. 2021. A critical review on the multiple roles of manganese in stabilizing and destabilizing soil organic matter. (*Una revisión crítica sobre las múltiples funciones del manganeso en la estabilización y desestabilización de la materia orgánica del suelo.*) *Environmental Science & Technology*, 55: 18, 12136-12152. 10.1021/acs.est.1c00299

Li, M., Watanabe, S., Gao, F., Dubos, C. 2023. Iron nutrition in plants: towards a new paradigm? (*La nutrición del hierro en las plantas: ¿hacia un nuevo paradigma?*) *Plants*, 12(2), 384. <https://doi.org/10.3390/plants12020384>

Lino, J., Mudo, L.E.D., Lobo, J.T. *et al.* 2023. Application of *Rhodopseudomonas palustris* moderates some of the crop physiological parameters in mango cultivar ‘Keitt’. (***La aplicación de Rhodopseudomonas palustris modera algunos de los parámetros fisiológicos del cultivo en la variedad de mango «Keitt».***) *Erwerbs-Obstbau* 65: 1633–1645. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00863-2>

Lino, J., Santos, A., Maciel, L., Silva, M., Souto, A., de Lira, J., Cavalcante, I. 2024. Impact of *Rhodopseudomonas palustris* on fruit yield and quality of ‘Keitt’ mango. (*Impacto de Rhodopseudomonas palustris en el rendimiento y la calidad de la fruta del mango «Keitt».*) *International Journal of Horticultural Science and Technology* 11(3): 381-390. doi: 10.22059/ijhst.2023.363611.681

Lobo, J.T., Sousa, K.S.M., Paiva Neto, V.B., Pereira, R.N., Silva, L.S., Cavalcante, Í.H.L. 2019. Biostimulants on fruit yield and quality of mango cv. Kent grown in semiarid. (*Efecto de los bioestimulantes en el rendimiento y la calidad de la fruta del mango cv. Kent cultivado en zonas semiáridas.*) *Journal of the American Pomological Society* 73(3): 152-160.

Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J. 1996. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. (*Efectos del estrés salino sobre el crecimiento, la nutrición mineral y la acumulación de prolina en relación con el ajuste osmótico en variedades de arroz (Oryza sativa L.) con diferente resistencia a la salinidad.*) *Journal of Plant Growth Regulation*, 19: 207- 218.

Marschner, H., 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. 3th Ed. Academic Press, New York, USA. 684 p.

Mcbride, M.B., Blasiak, J.J. 1979. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. (*Solubilidad del zinc y el cobre en función del pH en un suelo ácido.*) *Soil Science Society of America Journal*, 43(5): 866-870, 1979.

Millaleo, R., Reyes-Díaz, M., Ivanov, A.G., Mora, M.L., Alberdi, M. 2010. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. (*El manganeso como*

elemento esencial y tóxico para las plantas: transporte, acumulación y mecanismos de resistencia.) *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(4), 470-481. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162010000200008>

Rout, G.R., Sahoo, S. 2015. Role of manganese in plants. (*Función del manganeso en las plantas.*) *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 16(1–2), 1–10.

Mouco, M.A.C., Moura, M.S.B., Cunha, T.J.F. *Exigências edafoclimáticas*. In: Manga do plantio a colheita. Siqueira, D.L., Salomão, L.C.C., Borém, A. UFV, Viçosa, Brazil. p. 49-67.

Mudo, L.E.D., Cunha, J.G., Lino, J.O.S., Lobo, J.T., Santos, S.E.R., Paiva Neto, V.B., Silva, L.S., Cavalcante, Í.H.L. 2025. Strategies for setting and development of fruit of the -Keitt? mango tree cultivated in the semiarid. (*Estrategias para el establecimiento y desarrollo de la fruta del mango - Keitt cultivado en área semiárida.*) *Ciência Rural*, v. 55, p. e20230180. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20230180>

Oldoni, F.C.A., Lima, A.M.N., Cavalcante, Í.H.L., Sousa, K.S.M., Carneiro, M.A., Carvalho, I.R.B. 2018. Boron fertilizing management on fruit production and quality of mango cv. Palmer in semiarid. (*Gestión de la fertilización con boro en la producción y calidad de la fruta del mango cv. Palmer en zonas semiáridas.*) *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(3): e-622. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018622>

Prasad, R., Shivay, Y.S., Kumar, D. 2016. Interactions of zinc with other nutrients in soils and plants- A Review. (*Interacciones del zinc con otros nutrientes en suelos y plantas: una revisión.*) *Indian Journal of Fertilisers*, 12(5): 16-26.

Rezende, J.S., Freire, F.J., da Silva, S.R.V., Musser, R.D.S., Cavalcante, Í.H.L., Saldanha, E.C.M., dos Santos, R.L., Cunha, J.C. 2022. Nutritional status of mango by the boundary line and mathematical chance methods. (*Estado nutricional del mango según la línea divisoria y métodos matemáticos de probabilidad.*) *Journal of Agricultural Science*, 14 (8):90. doi: 10.5539/jas.v14n8p90

Rezende, J.S., Freire, F.J., da Silva, S.R.V., Musser, R.D.S., Cavalcante, Í.H.L., Saldanha, E.C.M., dos Santos, R.L., Cunha, J.C. 2023. Nutritional diagnosis of mango plants post-harvest in anticipation of pre-flowering avoids nutritional stress. (*El diagnóstico nutricional de las plantas de mango después de la cosecha, antes de la floración, evita el estrés nutricional.*) *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27: 359-366. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n5p359-366>

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., Fanasca, S. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. (*Los hongos micorrízicos arbusculares actúan como bioestimulantes en los cultivos hortícolas.*) *Scientia Horticulturae*, 196: 91–108. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.002>

Rouphael, Y., Colla, G. 2020. Biostimulants in agriculture. (*Bioestimulantes en la agricultura.*) *Frontiers in Plant Science*, 11: 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>

Santos, A.S., Gomes, F.A.L., Silva, L. dos S., Paiva Neto, V.B., Silva, M.T.L., Silva, A.C.R. da, Cavalcante, Í.H.L. 2024. Rootstock affects phytotechnical attributes, gas exchange, and carbohydrate accumulation in mango scion. (*El portainjerto afecta a las características fitotécnicas, al intercambio gaseoso y a la acumulación de carbohidratos en el vástago del mango.*) *Folia Horticulturae*, 36: 1-14. <https://doi.org/10.2478/fhort-2024-0019>

Santos, W.F. 2021. *Estimativa de potencial produtivo das mangueiras*. (B.Sc. thesis, Agronomy Engineering) - Federal University of São Francisco Valley, Petrolina, Brazil. Available at: https://www.frutvasf.org/wp-content/uploads/2022/05/TCC_Walber-Felix-dos-Santos_2021.pdf

Shukla, A.K., Behera, S.K., Pakhre, A., Chaudhari, S.K. 2018. Micronutrients in soils, plants, animals and humans. (*Micronutrientes en suelos, plantas, animales y seres humanos.*) *Indian Journal of Fertilisers*, 14(3): 30-54.

- Silva, A.R.L., Cavalcante, Í.H.L., Silva, M.A., Paiva Neto, V.B., Amariz, R.A., Amorim, L.Y.A. 2022a. Does the sunblock alleviate abiotic stress in mango trees grown in the tropical semiarid? (*¿El bloqueador solar alivia el estrés abiótico en los árboles de mango cultivados en zonas tropicales semiáridas?*) *Folia Horticulturae*, 34: 2011-221. <https://doi.org/10.2478/fhort-2022-0016>
- Silva, R.L., Fontes, R.L.F., Neves, J.C.L., Lima, A.M.N., Soares, E.M.B., Carvalho, C.I.F.S., Cavalcante, Í.H.L. 2022b. Nutrient partition and nutritional efficiency of mango cv. Palmer as a function of plant age in São Francisco Valley, Brazil. (*Distribución de nutrientes y eficiencia nutricional del mango cv. Palmer en función de la edad de la planta en el valle de São Francisco, Brasil.*) *Semina-Ciencias Agrarias*, 43: 1674. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n4p1671>
- Silva, M.J. 2019. *Evapotranspiração e coeficiente da cultura da mangueira 'Kent' cultivada no submédio do Vale São Francisco*. (M.Sc. Dissertation, Agricultural Engineering) – Federal University of São Francisco Valley, Juazeiro, Brazil.
- Silva, V.P.R. 2000. *Estimativa das necessidades hídricas da mangueira*. (D.Sc. thesis, Agricultural Engineering) – Federal University of Paraíba, Areia, Brazil.
- Sousa, J.S.C. 2015. *Planilha para manejo de irrigação baseada no balanço hídrico da cultura*. If-Sertão, Petrolina, Brazil. (Excel file).
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., Murphy, A. 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Artmed, Porto Alegre, Brazil. 888 p.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J. 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2nd ed. Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. 174 p.
- Tenreiro, I.G.P., SÁ, M.H. de C., de Souza, I.M., da Silva, K.A., Cavalcante, Í.H.L., de Freitas, S.T., Lima, A.M.N., Rodrigues, M.S., SOUSA, K. Dos S.M. de. 2023. Calcium fertilization strategy to improve production and quality of 'Tommy Atkins' mango in semi-arid conditions. (*Estrategia de fertilización con calcio para mejorar la producción y la calidad del mango «Tommy Atkins» en condiciones semiáridas.*) *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54: 3089-3100. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2023.2254340>
- Torres, A.P. 2019. *Effect of fulvic and humic acids on mango nutrition and productivity in the São Francisco Valley, Brazil* (in Portuguese). (M.Sc. thesis, Agronomy - Plant Production) - Federal University of São Francisco Valley, Petrolina, Brazil.
- Tripathi, D., Singh, M., Pandey-RAI, S. 2022. Crosstalk of nanoparticles and phytohormones regulate plant growth and metabolism under abiotic and biotic stress. (*La interacción entre las nanopartículas y las fitohormonas regula el crecimiento y el metabolismo de las plantas bajo estrés abiótico y biótico.*) *Plant Stress*, 6: 100107. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100107>
- Venancio, V. S., Silva, L.S., Paiva Neto, V.B., Silva, T.R.S., Pereira, M.P.M., Cunha, J.G., Carreiro, D.A., Almeida Neto, S.V., Cavalcante, Í.H.L. 2024. Biostimulants on the occurrence of stenoespermocarpia in 'Palmer' mango. (*Bioestimulantes en la aparición de estenoespermocarpia en el mango «Palmer».*) *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 28: 7, e279086. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n7e279086>
- Weather Spark. *Historical data for Guayaquil, Ecuador*. Available at: <https://weatherspark.com/y/19346/Average-Weather-in-Guayaquil-Ecuador-Year-Round>
- White, P. J., Broadley, M. R. 2003. Calcium in plants. (*El calcio en las plantas.*) *Annals of Botany*, 92(4), 487–511.
- Yan, J., Bogie, N.A., Ghezzehei, T.A. 2020. Root uptake under mismatched distributions of water and nutrients in the root zone. (*Absorción radicular en condiciones de distribución desigual de agua y nutrientes en la zona radicular.*) *Biogeosciences*, 17: 6377–6392. <https://doi.org/10.5194/bg-17-6377-2020>.

Zuo, Y., Zhang, F. 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. (*Estrategias de manejo del suelo y los cultivos para prevenir la deficiencia de hierro en los cultivos.*) *Plant Soil*, 339, 83–95. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0566-0>

8. Apéndice

A continuación, se incluyen los anexos 1, 2, 3 y 4 de este informe.

Anexo 1: Planificación de la fertilización realizada para los mangos «Ataulfo» para los tratamientos T2, T3, T4 y T5.

Proyecto: Diagnóstico y estrategias de manejo de campo para mejorar el tamaño y la uniformidad del fruto del mango (Ataulfo)																		
Investigador:	Dr. Ítalo Cavalcante		Parcero:	Ing. Roni Oliveira		Área:				ATAULFO - ROJO T2								
Total de plantas:		160	Espaçamento:															
Fertilizante	kg/planta fertilizante	kg total fertilizante	Semanas															
			Florada	Enchimento de frutos												Colheita	Total	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
N (UREIA)	0,161	25,8	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,79		
			14,30%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
P (MAP)	0,186	29,8	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	0,00	0,00	0,00	29,76		
			10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
K (Sulf. K)	0,196	31,4	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	3,14	3,14	3,14	2,20	0,00	0,00	31,36		
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	7,00%	0,00%	0,00%	100%		
Ca	0,000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
			100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
Mg (Sulf. Mg)	0,261	41,8	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	4,18	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	0,00	0,00	41,76		
			6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	10,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	0,00%	0,00%	100%		
Zn (Sulf. Zn)	0,054	8,6	0,52	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,69	0,69	0,69	0,52	0,35	0,00	0,00	8,64		
			6,00%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	6,00%	4,00%	0,00%	0,00%	100%		
B (Acid. Bórico)	0,216	34,6	4,15	4,15	4,15	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	0,00	0,00	34,56		
			12,00%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%		
Mn (Sulf. Mn)	0,171	27,4	1,64	1,92	1,92	2,19	2,19	2,74	2,74	3,28	3,28	2,74	2,74	0,00	0,00	27,36		
			6,00%	7,00%	7,00%	8,00%	8,00%	10,0%	10,0%	12,0%	12,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	100%		
Fe (Sulf. Fe)	0,078	12,5	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,25	1,25	1,25	1,12	1,00	1,00	0,00	0,00	12,48		
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	9,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%		

Proyecto: Diagnóstico y estrategias de manejo de campo para mejorar el tamaño y la uniformidad del fruto del mango (Ataulfo)																	
Investigador:	Dr. Ítalo Cavalcante	Parcero:	Ing. Roni Oliveira	Área:		ATAULFO - AMARILLO T3											
Total de plantas:	160	Espaçamento:															
Fertilizante	kg/planta fertilizante	kg total fertilizante	Semanas														
			Florada	Enchimento de frutos												Colheita	Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
N (UREIA)	0,161	25,8	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,79	
			14,30%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
P (MAP)	0,186	29,8	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	0,00	0,00	0,00	29,76	
			10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
K (Sulf. K)	0,196	31,4	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	3,14	3,14	3,14	2,20	0,00	0,00	31,36	
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	7,00%	0,00%	0,00%	100%
Ca	0,000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
Mg (Sulf. Mg)	0,261	41,8	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	4,18	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	0,00	0,00	41,76	
			6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	10,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	0,00%	0,00%	100%
Zn (Sulf. Zn)	0,054	8,6	0,52	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,69	0,69	0,69	0,52	0,35	0,00	0,00	8,64	
			6,00%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	6,00%	4,00%	0,00%	0,00%	100%	
B (Acid. Bórico)	0,216	34,6	4,15	4,15	4,15	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	0,00	0,00	34,56	
			12,00%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%
Mn (Sulf. Mn)	0,171	27,4	1,64	1,92	1,92	2,19	2,19	2,74	2,74	3,28	3,28	2,74	2,74	0,00	0,00	27,36	
			6,00%	7,00%	7,00%	8,00%	8,00%	10,0%	10,0%	12,0%	12,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	100%	
Fe (Sulf. Fe)	0,078	12,5	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,25	1,25	1,25	1,12	1,00	1,00	0,00	0,00	12,48	
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	9,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%	

Proyecto: Diagnóstico y estrategias de manejo de campo para mejorar el tamaño y la uniformidad del fruto del mango (Ataulfo)																	
Investigador:	Dr. Ítalo Cavalcante	Parcero:	Ing. Roni Oliveira	Área:		ATAULFO - BLANCO T4											
Total de plantas:	160	Espaçamento:		Mango frutvasf													
Fertilizante	kg/planta fertilizante	kg total fertilizante	Semanas														
			Florada	Enchimento de frutos												Colheita	Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
N (UREIA)	0,161	25,8	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,79	
			14,30%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
P (MAP)	0,186	29,8	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	0,00	0,00	0,00	29,76	
			10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
K (Sulf. K)	0,196	31,4	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	3,14	3,14	3,14	2,20	0,00	0,00	31,36	
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	7,00%	0,00%	0,00%	100%	
Ca	0,000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
Mg (Sulf. Mg)	0,261	41,8	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	4,18	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	0,00	0,00	41,76	
			6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	10,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	0,00%	0,00%	100%	
Zn (Sulf. Zn)	0,054	8,6	0,52	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,69	0,69	0,69	0,52	0,35	0,00	0,00	8,64	
			6,00%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	6,00%	4,00%	0,00%	0,00%	100%	
B (Acid. Bórico)	0,216	34,6	4,15	4,15	4,15	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	0,00	0,00	34,56	
			12,00%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%	
Mn (Sulf. Mn)	0,171	27,4	1,64	1,92	1,92	2,19	2,19	2,74	2,74	3,28	3,28	2,74	2,74	0,00	0,00	27,36	
			6,00%	7,00%	7,00%	8,00%	8,00%	10,0%	10,0%	12,0%	12,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	100%	
Fe (Sulf. Fe)	0,078	12,5	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,25	1,25	1,25	1,12	1,00	1,00	0,00	0,00	12,48	
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	9,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%	

Proyecto: Diagnóstico y estrategias de manejo de campo para mejorar el tamaño y la uniformidad del fruto del mango (Ataulfo)																		
Investigador:	Dr. Ítalo Cavalcante		Parcero:	Ing. Roni Oliveira		Área:				ATAULFO - AZUL T5								
Total de plantas:		160		Espaçamento:				Mango frutvasf										
Fertilizante	kg/planta fertilizante	kg total fertilizante	Semanas															
			Florada	Enchimento de frutos												Colheita	Total	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
N (Nitrogel Z)	0,047	7,5	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,53		
			14,30%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
P (H28)	0,129	20,6	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	0,00	0,00	0,00	20,64		
			10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
K (H2)	0,248	39,7	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,97	3,97	3,97	2,78	0,00	0,00	39,68		
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	7,00%	0,00%	0,00%	100%		
Ca + Mg (Nitrato de cálcio +	0,059	9,4	9,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,44		
			100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
Micronutrien tes (Micron)	0,024	3,8	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,38	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,00	0,00	3,84		
			6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	10,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	0,00%	0,00%	100%		

Anexo 2: Planificación de la fertilización realizada para los mangos «Tommy Atkins» para los tratamientos T2, T3, T4 y T5.

Proyecto: Diagnóstico y estrategias de manejo de campo para mejorar el tamaño y la uniformidad del fruto del mango (Tommy)																		
Investigador:	Dr. Ítalo Cavalcante		Parcero:	Ing. Roni Oliveira		Área:				TOMMY ROJO T2								
Total de plantas:		384		Espaçamento:														
Fertilizante	kg/planta fertilizante	kg total fertilizante	Semanas														Total	
			Florada	Enchimento de frutos												Colheita		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			13
N (UREIA)	0,324	124,4	17,79	17,79	17,79	17,79	17,79	17,79	17,79	17,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	124,54		
			14,30%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
P (MAP)	0,382	146,7	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	0,00	0,00	146,69			
			10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
K (Sulf. K)	0,369	141,7	12,75	12,75	12,75	12,75	12,75	12,75	12,75	14,17	14,17	14,17	9,92	0,00	141,696			
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	7,00%	0,00%	0,00%	100%		
Ca	0,000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
			100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
Mg (Sulf. Mg)	0,468	179,7	10,78	10,78	10,78	10,78	10,78	17,97	21,57	21,57	21,57	21,57	21,57	0,00	179,712			
			6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	10,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	0,00%	0,00%	100%		
Zn (Sulf. Zn)	0,035	13,4	0,81	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,08	1,08	1,08	0,81	0,54	0,00	13,44			
			6,00%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	6,00%	4,00%	0,00%	0,00%	100%		
B (Acid. Bórico)	0,340	130,6	15,67	15,67	15,67	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	0,00	130,56			
			12,00%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%		
Mn (Sulf. Mn)	0,218	83,7	5,02	5,86	5,86	6,70	6,70	8,37	8,37	10,05	10,05	8,37	8,37	0,00	83,712			
			6,00%	7,00%	7,00%	8,00%	8,00%	10,0%	10,0%	12,0%	12,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	100%		
Fe (Sulf. Fe)	0,035	13,4	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,34	1,34	1,34	1,21	1,08	1,08	0,00	13,44			
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	9,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%		

Proyecto: Diagnóstico y estrategias de manejo de campo para mejorar el tamaño y la uniformidad del fruto del mango (Tommy)																		
Investigador:	Dr. Ítalo Cavalcante		Parcero:	Ing. Roni Oliveira		Área:				TOMMY - AMARILLO T3								
Total de plantas:		354	Espaçamento:															
Fertilizante	kg/planta fertilizante	kg total fertilizante	Semanas															
			Florada	Enchimento de frutos												Colheita	Total	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
N (UREIA)	0,324	114,7	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	114,81		
			14,30%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
P (MAP)	0,382	135,2	13,52	13,52	13,52	13,52	13,52	13,52	13,52	13,52	13,52	13,52	0,00	0,00	0,00	135,23		
			10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
K (Sulf. K)	0,369	130,6	11,76	11,76	11,76	11,76	11,76	11,76	11,76	13,06	13,06	13,06	9,14	0,00	0,00	130,626		
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	7,00%	0,00%	0,00%	100%		
Ca	0,000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
			100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%		
Mg (Sulf. Mg)	0,468	165,7	9,94	9,94	9,94	9,94	9,94	16,57	19,88	19,88	19,88	19,88	19,88	0,00	0,00	165,672		
			6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	10,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	0,00%	0,00%	100%		
Zn (Sulf. Zn)	0,035	12,4	0,74	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	0,99	0,99	0,99	0,74	0,50	0,00	0,00	12,39		
			6,00%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	6,00%	4,00%	0,00%	0,00%	100%		
B (Acid. Bórico)	0,340	120,4	14,44	14,44	14,44	9,63	9,63	9,63	9,63	9,63	9,63	9,63	9,63	0,00	0,00	120,36		
			12,00%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%		
Mn (Sulf. Mn)	0,218	77,2	4,63	5,40	5,40	6,17	6,17	7,72	7,72	9,26	9,26	7,72	7,72	0,00	0,00	77,172		
			6,00%	7,00%	7,00%	8,00%	8,00%	10,0%	10,0%	12,0%	12,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	100%		
Fe (Sulf. Fe)	0,035	12,4	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,24	1,24	1,24	1,12	0,99	0,99	0,00	0,00	12,39		
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	9,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%		

Proyecto: Diagnóstico y estrategias de manejo de campo para mejorar el tamaño y la uniformidad del fruto del mango (Tommy)																		
Investigador:	Dr. Ítalo Cavalcante		Parcero:	Ing. Roni Oliveira		Área:				TOMMY - BLANCO T4								
Total de plantas:		176	Espaçamento:															
Fertilizante	kg/planta fertilizante	kg total fertilizante	Semanas														Total	
			Florada	Enchimento de frutos												Colheita		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
N (UREIA)	0,324	57,0	8,15	8,15	8,15	8,15	8,15	8,15	8,15	8,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,08		
			14,30%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
P (MAP)	0,382	67,2	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72	0,00	0,00	0,00	67,23		
			10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
K (Sulf. K)	0,369	64,9	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	6,49	6,49	6,49	4,55	0,00	0,00	64,944		
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	7,00%	0,00%	0,00%	100%	
Ca	0,000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
			100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
Mg (Sulf. Mg)	0,468	82,4	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	8,24	9,88	9,88	9,88	9,88	9,88	0,00	0,00	82,368		
			6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	10,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	0,00%	0,00%	100%	
Zn (Sulf. Zn)	0,035	6,2	0,37	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,49	0,49	0,49	0,37	0,25	0,00	0,00	6,16		
			6,00%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	6,00%	4,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
B (Acid. Bórico)	0,340	59,8	7,18	7,18	7,18	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	0,00	0,00	59,84		
			12,00%	12,0%	12,0%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%	
Mn (Sulf. Mn)	0,218	38,4	2,30	2,69	2,69	3,07	3,07	3,84	3,84	4,60	4,60	3,84	3,84	0,00	0,00	38,368		
			6,00%	7,00%	7,00%	8,00%	8,00%	10,0%	10,0%	12,0%	12,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
Fe (Sulf. Fe)	0,035	6,2	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,62	0,62	0,62	0,55	0,49	0,49	0,00	0,00	6,16		
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	9,00%	8,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%	

Proyecto: Diagnóstico y estrategias de manejo de campo para mejorar el tamaño y la uniformidad del fruto del mango (Tommy)																		
Investigador:	Dr. Ítalo Cavalcante		Parcero:	Ing. Roni Oliveira		Área:				TOMMY - AZUL T5								
Total de plantas:		444	Espaçamento:															
Fertilizante	kg/planta fertilizante	kg total fertilizante	Semanas															
			Florada	Enchimento de frutos												Colheita	Total	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
N (Nitrogel Z)	0,059	26,2	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,22		
			14,30%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
P (H28)	0,165	73,3	7,33	7,33	7,33	7,33	7,33	7,33	7,33	7,33	7,33	7,33	0,00	0,00	0,00	73,26		
			10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
K (H2)	0,316	140,3	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	14,03	14,03	14,03	9,82	0,00	0,00	140,304		
			9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	9,00%	10,0%	10,0%	10,0%	7,00%	0,00%	0,00%	100%	
Ca + Mg (Nitrato de cálcio +	0,076	33,7	33,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,74		
			100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%	
Micronutrien tes (Micron)	0,030	13,3	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,33	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	0,00	0,00	13,32		
			6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	10,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	0,00%	0,00%	100%		

Anexo 3: Planificación de la gestión del riego durante la segunda fase del proyecto (fase experimental)

PLANILHA PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO BASEADO NO BALANÇO HÍDRICO DA CULTURA

Autor: José Sebastião Costa de Sousa

Doutor em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem

Prof. do Campus Petrolina Zona Rural, IFSEITA-PE

Outras planilhas: [Clique aqui para acessar o manual do usuário](#)

[Clique aqui para consultar tabelas de kc e duração das fases fenológicas](#)

[Clique aqui para acessar planilha de cálculo de kc \(fazer após consultar a\)](#)

[Clique aqui para acessar planilha de determinação da Eficiência do sistema](#)

[Clique aqui para acessar planilha de determinação da percentagem de solo molhado](#)

ΣPe (mm) = 0,00

ΣLLI (mm) = 67,445

ΣLBI (mm) = 66,452

TF (h:min) = 0:00

Tommy Atkins

90 a 95 from flowering to harvest

Floração plena

15/07/2024

Previsão de colheita

14 a 18/10/2024

Número de casas decimais pretendidos para os arredondamentos →

3 Escolha o sistema aqui

DADOS DO SOLO E DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO										PLANTIO OU EMISSOR		DADOS DO DO SISTEMA		Localizado (Gotej., Micro., ...)	
Cc	13,00	% peso	Uini 1º dia	10,00	% peso	EP ou EE	9,00	m	Vazão	36,00	L/h	AUP (m2)	63,00		
PMP	6,50	% peso	CEa	0,00	dS/m	EF1 ou EF	7,00	m	Eficiência	75,00	%	KL	0,26		
Dg	2,20	g/cm3	CEes	6,50	dS/m	EF2		m	Pm	6,80	%	Eficiência x N	0,75		

Nº	Data	Pe mm	ET mm	kc adm.	f adm.	Zr cm	CTA mm	CRA mm	U crit mm	ETc mm	Ks	ETR mm	U ini. mm	U intr. mm	LLI mm	U fin. mm	LBI mm	Volume L	TF h	TF h:min
1	05/08/24		5,42	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,99	0,73	0,72	2,62	1,90	2,96	4,86	3,95	248,98	6,92	6:55
2	06/08/24		5,39	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,99	1,00	0,99	4,86	3,88		3,88				
3	07/08/24		5,16	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,94	0,90	0,85	3,88	3,03	1,83	4,86	2,44	153,78	4,27	4:16
4	08/08/24		5,23	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,96	1,00	0,96	4,86	3,91		3,91				
5	09/08/24		5,14	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,94	0,90	0,85	3,91	3,06	1,80	4,86	2,40	151,20	4,20	4:12
6	10/08/24		5,44	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,00	1,00	1,00	4,86	3,87		3,87				
7	11/08/24		5,19	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,95	0,90	0,85	3,87	3,02	1,84	4,86	2,46	154,79	4,30	4:18
8	12/08/24		5,38	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,98	1,00	0,98	4,86	3,88		3,88				
9	13/08/24		5,55	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,01	0,90	0,91	3,88	2,97	1,89	4,86	2,52	158,82	4,41	4:25
10	14/08/24		5,47	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,00	1,00	1,00	4,86	3,86		3,86				
11	15/08/24		5,37	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,98	0,89	0,88	3,86	2,99	1,88	4,86	2,50	157,56	4,38	4:23
12	16/08/24		5,79	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,06	1,00	1,06	4,86	3,81		3,81				
13	17/08/24		5,60	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,02	0,89	0,91	3,81	2,90	1,97	4,86	2,62	165,06	4,59	4:35
14	18/08/24		5,18	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,95	1,00	0,95	4,86	3,92		3,92				
15	19/08/24		5,43	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,99	0,90	0,89	3,92	3,02	1,84	4,86	2,45	154,48	4,29	4:17
16	20/08/24		5,43	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,99	1,00	0,99	4,86	3,87		3,87				
17	21/08/24		5,01	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,92	0,90	0,82	3,87	3,05	1,81	4,86	2,42	152,15	4,23	4:14
18	22/08/24		4,97	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,91	1,00	0,91	4,86	3,95		3,95				
19	23/08/24		5,25	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,96	0,91	0,87	3,95	3,08	1,78	4,86	2,37	149,37	4,15	4:09
20	24/08/24		5,19	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,95	1,00	0,95	4,86	3,91		3,91				
21	25/08/24		5,23	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,96	0,90	0,86	3,91	3,05	1,81	4,86	2,41	151,96	4,22	4:13
22	26/08/24		5,38	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,98	1,00	0,98	4,86	3,88		3,88				
23	27/08/24		5,24	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,96	0,90	0,86	3,88	3,02	1,84	4,86	2,46	154,67	4,30	4:18
24	28/08/24		5,26	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,96	1,00	0,96	4,86	3,90		3,90				
25	29/08/24		5,54	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,01	0,90	0,91	3,90	2,99	1,87	4,86	2,50	157,19	4,37	4:22
26	30/08/24		5,10	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,93	1,00	0,93	4,86	3,93		3,93				
27	31/08/24		5,53	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,01	0,90	0,91	3,93	3,02	1,84	4,86	2,46	154,92	4,30	4:18

28	01/03/24		4,36	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,17	1,00	1,17	4,86	3,70		3,70				
29	02/03/24		4,86	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,14	0,88	1,00	3,70	2,70	2,16	4,86	2,83	181,76	5,05	5:03
30	03/03/24		4,68	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,10	1,00	1,10	4,86	3,76		3,76				
31	04/03/24		5,07	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,13	0,88	1,05	3,76	2,71	2,15	4,86	2,87	180,62	5,02	5:01
32	05/03/24		4,83	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,15	1,00	1,15	4,86	3,71		3,71				
33	06/03/24		5,01	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,18	0,88	1,03	3,71	2,68	2,18	4,86	2,91	183,14	5,03	5:05
34	07/03/24		4,75	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,12	1,00	1,12	4,86	3,75		3,75				
35	08/03/24		4,82	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,13	0,88	1,00	3,75	2,75	2,11	4,86	2,82	177,41	4,93	4:56
36	09/03/24		4,74	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,11	1,00	1,11	4,86	3,75		3,75				
37	10/03/24		5,01	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,18	0,88	1,04	3,75	2,71	2,15	4,86	2,87	180,68	5,02	5:01
38	11/03/24		4,90	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,15	1,00	1,15	4,86	3,71		3,71				
39	12/03/24		5,11	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,20	0,88	1,05	3,71	2,66	2,20	4,86	2,94	184,37	5,14	5:08
40	13/03/24		4,83	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,13	1,00	1,13	4,86	3,73		3,73				
41	14/03/24		4,97	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,17	0,88	1,03	3,73	2,70	2,16	4,86	2,88	181,44	5,04	5:02
42	15/03/24		4,94	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,16	1,00	1,16	4,86	3,70		3,70				
43	16/03/24		5,03	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,20	0,88	1,05	3,70	2,66	2,21	4,86	2,94	185,28	5,15	5:03
44	17/03/24		4,65	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,09	1,00	1,09	4,86	3,77		3,77				
45	18/03/24		5,16	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,21	0,88	1,07	3,77	2,70	2,16	4,86	2,88	181,63	5,05	5:03
46	19/03/24		5,13	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,21	1,00	1,21	4,86	3,66		3,66				
47	20/03/24		5,40	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,27	0,87	1,10	3,66	2,55	2,31	4,86	3,08	194,04	5,33	5:23
48	21/03/24		5,19	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,22	1,00	1,22	4,86	3,64		3,64				
49	22/03/24		4,88	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,15	0,87	1,00	3,64	2,65	2,22	4,86	2,95	186,04	5,17	5:10
50	23/03/24		4,93	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,16	1,00	1,16	4,86	3,71		3,71				
51	24/03/24		4,83	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,15	0,88	1,01	3,71	2,70	2,16	4,86	2,83	181,76	5,05	5:03
52	25/03/24		5,04	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,18	1,00	1,18	4,86	3,68		3,68				
53	26/03/24		4,83	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,15	0,87	1,00	3,68	2,68	2,13	4,86	2,92	183,65	5,10	5:06
54	27/03/24		5,05	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,13	1,00	1,13	4,86	3,68		3,68				
55	28/03/24		5,19	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,22	0,87	1,06	3,68	2,61	2,25	4,86	3,00	183,00	5,25	5:15
56	29/03/24		5,14	0,300	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	1,21	1,00	1,21	4,86	3,65		3,65				
57	30/03/24		5,02	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,92	0,87	0,80	3,65	2,86	2,01	4,86	2,68	168,53	4,68	4:41
58	01/10/24		4,91	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,90	1,00	0,90	4,86	3,97		3,97				
59	02/10/24		5,08	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,93	0,91	0,84	3,97	3,13	1,74	4,86	2,32	145,91	4,05	4:03
60	03/10/24		4,84	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,88	1,00	0,88	4,86	3,98		3,98				
61	04/10/24		4,82	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,88	0,91	0,80	3,98	3,18	1,68	4,86	2,25	141,44	3,93	3:56
62	05/10/24		5,11	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,93	1,00	0,93	4,86	3,93		3,93				
63	06/10/24		5,06	0,700	0,30	50,00	4,86	1,46	3,40	0,93	0,90	0,83	3,93	3,09	1,77	4,86	2,36	148,49	4,13	4:08

Apéndice 4: Características del suelo consideradas adecuadas para el cultivo de huertos de mango de alto rendimiento según Cavalcante y Paiva Neto (2024).

Características del suelo	Valores adecuados
pH	5.5 – 6.5
Carbono orgánico	1-3 %
Conductividad eléctrica	< 0.2 dSm
Fósforo	60 – 80 mg/dm ³
Potasio	0.25 – 0.4 meq/100 g
Azufre	> 12 mg/kg
Sodio	<1.0 meq/100 g
Calcio	3 - 5 meq/100 g
Magnesio	0.75 – 1.25 meq/100 g
Intercambio de Cationes	~5
% Sodio	< 1%
% Potasio	5 – 10 %
% Calcio	65 – 70%
% Magnesio	15 - 20 %
Cobre	0.3 – 10 mg/kg
Zinc	2 – 15 mg/kg
Manganeso	4 – 50 mg/kg
Hierro	4 - 100 mg/kg
Boro	1 - 2 mg/kg