

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

**Tema: "Evaluación adaptabilidad de tres variedades de sandía (*Citrullus lanatus*) a campo abierto en el Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC"**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del  
título de Ingeniero en Agropecuaria

AUTORA: Quelal Puetate Dayana Mishel

TUTOR: Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander, MSc.

Tulcán, 2026.

## CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la estudiante Quelal Puetate Dayana Mishel con el número de cédula 0401976113 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de la adaptabilidad de tres variedades de sandía (*Citrullus lanatus*) a campo abierto en el Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC."

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva

---

Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander, MSc.

**TUTOR**

Tulcán, abril de 2026

## AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Quelal Puetate Dayana Mishel con cédula de identidad número 0401976113 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



---

Quelal Puetate Dayana Mishel

**AUTOR**

Tulcán, abril de 2026

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Quelal Puetate Dayana Mishel declaro ser autora de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de la adaptabilidad de tres variedades de sandía (*Citrullus lanatus*) a campo abierto en el Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC." y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



---

Quelal Puetate Dayana Mishel

**AUTOR**

Tulcán, abril de 2026

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por concederme salud, fortaleza y sabiduría para culminar con éxito esta importante etapa de mi formación profesional.

A mi Madre Tania Puetate a mis hermanos, por su apoyo incondicional, comprensión y especialmente por la motivación permanente lo que me impulso a alcanzar este objetivo académico.

A mi tutor MSc. Guillermo Jácome por su orientación y seguimiento tras la realización de este trabajo, aportando valiosas recomendaciones metodológicas de manera significativa a mi formación y al fortalecimiento de este estudio.

A la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, a los docentes de la Carrera de Agropecuaria, por compartir sus conocimientos y experiencias, los cuales contribuyeron de forma representativa a mi formación profesional y al fortalecimiento de esta investigación.

Quelal Puetate Dayana Mishel

## DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía durante esta etapa de mi formación académica siento mi guía, para atravesar cualquier obstáculo, dándome fuerzas y salud para seguir adelante. Dedico este trabajo a mi Madre y a mis hermanos de manera muy especial por su amor incondicional, comprensión y palabras de aliento, por cada esfuerzo realizado para que logre culminar esta etapa académica, este trabajo representa el fruto del acompañamiento familiar y del compromiso asumido durante mi proceso de formación profesional.

"Cada página escrita lleva implícito el esfuerzo y el apoyo de quienes han sido mi mayor fortaleza."

Quelal Puetate Dayana Mishel

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>I. EL PROBLEMA</b> .....	16
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	16
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	17
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	18
<b>1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	19
1.4.1. Objetivo General .....	19
1.4.2. Objetivos Específicos .....	19
1.4.3. Preguntas de Investigación .....	20
<b>II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	21
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	21
<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b> .....	25
2.2.1. Generalidades del cultivo de sandía ( <i>Citrullus lanatus</i> ) .....	25
2.2.2. Adaptabilidad Agronómica y Fisiológica.....	33
2.2.3. Fisiología del rendimiento y parámetros de calidad del fruto.....	34
2.2.4. Análisis económico agrícola y viabilidad financiera .....	36
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	38
<b>3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO</b> .....	38
3.1.1. Enfoque .....	38
3.1.2. Tipo de Investigación .....	38
<b>3.2. HIPÓTESIS</b> .....	38
<b>3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES</b> .....	39

<b>3.3.1. Definición de las variables</b> .....	39
3.3.2. Operacionalización de las variables .....	40
<b>3.4. MÉTODOS UTILIZADOS</b> .....	41
3.4.1. Área de estudio .....	41
3.4.2. Tratamientos del diseño experimental.....	41
3.4.3. Características del diseño experimental .....	42
3.4.4. Distribución y características del experimento .....	42
3.4.5. Población y muestra de la investigación .....	43
3.4.6. Procedimientos .....	44
3.4.7. Variables evaluadas.....	46
3.4.7.1. Porcentaje de germinación (%) .....	46
3.4.7.2. Número de hojas .....	46
3.4.7.3. Diámetro de guías (mm) .....	46
3.4.7.4. Longitud de guías (cm) .....	47
3.4.7.5. Número de guías .....	47
3.4.7.6. Número de flores.....	47
3.4.7.7. Número de frutos .....	47
3.4.7.8. Peso de fruto y clasificación por categorías (kg) .....	47
3.4.7.9. Circunferencia ecuatorial del fruto (cm) .....	47
3.4.7.10. Sólidos solubles totales (Grados Brix) .....	48
3.4.7.11. Análisis Beneficio/Costo (B/C) .....	48
<b>3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	48
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	49
<b>4.1. RESULTADOS</b> .....	49
4.1.1. Porcentaje de germinación (%) .....	49
4.1.2. Número de hojas .....	50

4.1.3. Diámetro de guías .....	51
4.1.4. Número de guías .....	53
4.1.5. Longitud de guías .....	55
4.1.6. Número de flores .....	57
4.1.7. Número de frutos .....	58
4.1.8. Peso de fruto .....	60
4.1.8. Clasificación por categorías (kg) .....	62
4.1.9. Circunferencia ecuatorial del fruto .....	64
4.1.10. Sólidos solubles totales (Grados Brix) .....	66
4.1.11. Análisis Beneficio/Costo (B/C) .....	68
<b>4.2. DISCUSIÓN .....</b>	<b>69</b>
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de sandía.....	25
Tabla 2. Características agronómicas y productivas de las variedades de sandía evaluadas.....	33
Tabla 3. Mecanismos fisiológicos de adaptación de la sandía ( <i>Citrullus lanatus</i> ) a factores ambientales de valles interandinos .....	34
Tabla 4. Parámetros de clasificación comercial y calidad organoléptica en frutos de sandía ( <i>Citrullus lanatus</i> ) .....	36
Tabla 5. Operacionalización de variables .....	40
Tabla 6. Tratamientos del experimento .....	42

Tabla 7. Características del experimento.....	42
Tabla 8. Porcentaje de germinación de las variedades de sandía evaluadas .....	49
Tabla 9. Análisis de varianza para número de hojas (14, 28, 42, 56 y 70 ddt) ..	50
Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para número de hojas (14, 42, 56 y 70 ddt) .	51
Tabla 11. Análisis de varianza para para el diámetro de guías (28, 42, 56 y 70 ddt) .....	52
Tabla 12. Prueba de Tukey al 5% para el diámetro de tallos, (42 y 70 ddt) .....	53
Tabla 13. Análisis de varianza para el número de guías (28, 42, 56 y 70 ddt) ..	54
Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para el número de guías, (28, 42, 56 y 70 ddt) .....	55
Tabla 15. Análisis de varianza para longitud de guías (28, 42, 56 y 70 ddt) .....	56
Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para la longitud de guías, (42, 56 y 70 ddt) .	57
Tabla 17. Análisis de varianza para el número de flores (42, 56 y 70 ddt) .....	57
Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% para el número de flores, (42, 56 y 70 ddt) ..	58
Tabla 19. Análisis de varianza para el número de frutos (42, 49, 56, 63 y 70 ddt) .....	59
Tabla 20. Prueba de Tukey al 5% para el número de frutos .....	60
Tabla 21. Análisis de varianza para el peso de frutos (77, 84, 91 y 98 ddt).....	61
Tabla 22. Prueba de Tukey al 5% para el peso de frutos .....	62
Tabla 23. Análisis de varianza para la categoría 4.....	63
Tabla 24. Medias de peso para los frutos de la Categoría 4 a los 98 ddt .....	64
Tabla 25. Análisis de varianza para la circunferencia ecuatorial de fruto (77, 84, 91 y 98 ddt).....	65
Tabla 26. Prueba de Tukey al 5% para circunferencia ecuatorial del fruto .....	66
Tabla 27. Análisis de varianza para para grados brix a los (77, 84, 91 y 98 ddt) .....	67
Tabla 28. Prueba de Tukey al 5% para grados brix.....	68
Tabla 29. Análisis costo/beneficio para el cultivo de sandía .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura de la planta de sandía ( <i>Citrullus lanatus</i> ).....	27
Figura 2. Ubicación del experimento.....	41
Figura 3. Distribución del ensayo.....	43
Figura 4. Parcela neta.....	44
Figura 5. Bandejas de germinación.....	79
Figura 6. Preparación del terreno.....	79
Figura 7. Fertilización.....	79
Figura 8. Control fitosanitario.....	79
Figura 9. Cosecha.....	79
Figura 10. Peso de fruto en kg.....	79

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de sustentación de pre-defensa de TIC.....	77
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas.....	78
Anexo 3. Procedimiento experimental.....	79
Anexo 4. Script para realizar el análisis estadístico en R Studio.....	80

## RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo a campo abierto en el Centro Experimental Alonso Tadeo de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), ubicado en un valle cálido interandino, con el objetivo de evaluar la adaptabilidad agronómica, el rendimiento y la viabilidad económica de genotipos de sandía (*Citrullus lanatus*). Se evaluaron cuatro variedades (Crimson Sweet, Riverside, Allsweet y el híbrido Santanella) analizando variables de desarrollo fenológico, rendimiento, calidad organoléptica (°Brix) y la relación Beneficio/Costo (B/C). Los resultados evidenciaron una respuesta fenológica inicial favorable, con porcentajes de germinación superiores al 85 %. Durante el desarrollo vegetativo, Allsweet y Crimson Sweet destacaron con longitudes de guía de 2,84 m y 2,89 m, respectivamente, siendo esta última la de mayor eficiencia reproductiva al retener 8,03 frutos por parcela. Sin embargo, el estrés hídrico transitorio provocado por la alta evapotranspiración y el rápido drenaje de los suelos franco-arenosos de la zona restringió severamente la hipertrofia celular del fruto. En consecuencia, los rendimientos físicos fueron bajos: Riverside (878,33 g), Allsweet (806,92 g) y Crimson Sweet (657,54 g) se ubicaron íntegramente en la Categoría comercial 4, mientras que Santanella (365,15 g) fue catalogada como descarte. Fisiológicamente, esta limitación volumétrica desencadenó un efecto de concentración osmótica que maximizó el dulzor, permitiendo a la variedad Crimson Sweet alcanzar una calidad organoléptica *premium* de 13,75 °Brix. En el ámbito financiero, el análisis demostró que ninguna variedad alcanzó el punto de equilibrio ( $B/C < 1$ ), dado que los mercados mayoristas tradicionales penalizan económicamente los calibres pequeños. Se concluye que, aunque la especie logra adaptarse y producir frutos de excepcional dulzor, su viabilidad financiera en la zona depende estrictamente de redirigir la comercialización hacia nichos de mercado especializados que paguen un sobreprecio por la calidad organoléptica por encima del volumen físico.

**Palabras Claves:** *Citrullus lanatus*, Adaptabilidad agronómica, Grados Brix, Estrés hídrico, Clasificación comercial, Relación Beneficio/Costo.

## ABSTRACT

This study was conducted in an open field at Universidad Politécnica Estatal del Carchi's (UPEC) Alonso Tadeo Experimental Center, located in a warm inter-Andean valley, with the aim of evaluating the agronomic adaptability, yield, and economic viability of watermelon (*Citrullus lanatus*) genotypes. Four varieties (Crimson Sweet, Riverside, Allsweet, and the Santanella hybrid) were evaluated by analyzing variables related to phenological development, yield, organoleptic quality (°Brix), and the benefit-to-cost ratio (B/C). The results showed a favorable initial phenological response, with germination rates exceeding 85%. During vegetative development, Allsweet and Crimson Sweet stood out with vine lengths of 2.84 m and 2.89 m, respectively, with the latter exhibiting the highest reproductive efficiency by producing 8.03 fruits per plot. However, transient water stress caused by high evapotranspiration and rapid drainage of the loamy-sandy soils in the area severely restricted fruit cell hypertrophy. Consequently, physical yields were low: Riverside (878.33 g), Allsweet (806.92 g), and Crimson Sweet (657.54 g) all fell into Commercial Category 4, while Santanella (365.15 g) was classified as a reject. Physiologically, this volume limitation triggered an osmotic concentration effect that maximized sweetness, enabling the Crimson Sweet variety to achieve a premium organoleptic quality of 13.75 °Brix. From a financial perspective, the analysis showed that no variety reached the break-even point ( $B/C < 1$ ), since traditional wholesale markets penalize small fruit sizes economically. It is concluded that, although the species manages to adapt and produce fruit of exceptional sweetness, its financial viability in the area depends strictly on redirecting marketing toward specialized niche markets that pay a premium for organoleptic quality over physical volume.

**Keywords:** *Citrullus lanatus*, Agronomic adaptability, Brix degrees, Water stress, Commercial grading, Cost-benefit ratio.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) constituye una alternativa agrícola de alto potencial para la diversificación productiva en los valles cálidos interandinos del Ecuador, debido a su creciente demanda y valor comercial. En la provincia del Carchi, y específicamente en las zonas bajas como el cantón Mira, este frutal se desarrolla bajo condiciones edafoclimáticas muy particulares: alta radiación solar, marcada amplitud térmica y suelos de textura franco-arenosa. Si bien este entorno favorece la sanidad del cultivo, presenta desafíos físicos críticos relacionados con el rápido drenaje y la alta evapotranspiración, factores que condicionan directamente el crecimiento vegetativo, el estado hídrico de la planta y el calibre final del fruto.

Históricamente, los sistemas de producción frutícola en esta zona se han sustentado en un modelo empírico de "ensayo y error", intentando forzar la adaptación de paquetes tecnológicos y genotipos diseñados para las condiciones de humedad del nivel del mar (región Costa). No obstante, la incompatibilidad climática y la falta de validación científica local han llevado a este modelo a un punto de insostenibilidad. Como consecuencia, los productores enfrentan ciclos productivos de alto riesgo, donde el estrés hídrico transitorio restringe la expansión masiva de las células del fruto, generando cosechas de bajo peso (Categoría 4) que son severamente penalizadas en los mercados mayoristas tradicionales, lo que reduce drásticamente su competitividad y margen de ganancia.

Frente a este escenario, surge la necesidad imperiosa de validar nuevas alternativas tecnológicas basadas en la adaptabilidad agronómica y la selección genética de precisión. La presente investigación propone la evaluación a campo abierto de diferentes cultivares de sandía en el Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC. A diferencia del enfoque convencional que insiste en competir por volumen masivo bajo condiciones adversas, esta propuesta busca aprovechar la interacción Genotipo x Ambiente para capitalizar el "efecto de concentración osmótica" que el clima local ejerce sobre la planta, transformando la limitante del tamaño físico en una ventaja competitiva inigualable basada en la altísima calidad organoléptica.

La eficacia de esta estrategia radica en la plasticidad fenotípica de las variedades evaluadas. La capacidad genética de ciertos cultivares para realizar ajustes estomáticos frente al estrés moderado y mantener una alta tasa fotosintética permite estabilizar la translocación de azúcares, asegurando que procesos fisiológicos clave,

como el cuajado y el llenado del fruto, ocurran de manera ininterrumpida. Por tanto, es imperativo determinar qué variedad (Crimson Sweet, Riverside, Allsweet o Santanella) logra expresar su máximo potencial genético y alcanzar niveles *premium* de sólidos solubles (°Brix) en las condiciones específicas del valle de Mira.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico, el desarrollo fenológico, la calidad comercial y la viabilidad económica del cultivo de sandía bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona de estudio. Los resultados obtenidos pretenden entregar al sector agrícola carchense una herramienta técnica validada que permita transitar hacia una fruticultura más resiliente, estratégica y orientada a nichos de mercado especializados. Al demostrar mediante la relación Beneficio/Costo (B/C) la viabilidad financiera real de la especie, se fortalece la toma de decisiones del productor, reduciendo la vulnerabilidad económica familiar e impulsando la diversificación agropecuaria del Carchi.

## I. EL PROBLEMA

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La diversificación agrícola mediante la introducción de frutales de alto valor comercial, como la sandía (*Citrullus lanatus*), constituye una de las estrategias fundamentales para dinamizar la economía de las familias campesinas en los valles cálidos de la provincia del Carchi, específicamente en el cantón Mira. Sin embargo, la sostenibilidad de esta iniciativa enfrenta una crisis estructural derivada de la interacción negativa entre las condiciones edafoclimáticas atípicas de los Andes ecuatorianos y un manejo agronómico extrapolado de otras regiones. El principal cuello de botella radica en las características del ecosistema local: los valles interandinos ubicados sobre los 1.300 m s. n. m. presentan una alta tasa de evapotranspiración, extrema radiación ultravioleta y suelos de textura franco-arenosa. Esta combinación, aunque favorable para la sanidad foliar, genera un drenaje excesivamente rápido que somete a la planta a un estrés hídrico transitorio, limitando severamente la expansión celular masiva del fruto durante su fase crítica de desarrollo (López et al., 2023; MAG, 2024).

Frente a esta limitante natural, el agricultor carchense ha optado históricamente por un modelo de "ensayo y error", importando y sembrando paquetes tecnológicos y semillas de híbridos diseñados genéticamente para las condiciones de humedad y altitud del nivel del mar (costa ecuatoriana). Esta práctica ha generado un círculo productivo ineficiente: la siembra de genotipos no adaptados al microclima de Mira provoca que las plantas sufran aborto floral, reducción del área foliar y un deficiente transporte de agua hacia el sumidero. Como resultado, la planta es incapaz de alcanzar la hipertrofia acuosa esperada, dejando al agricultor con un producto que no cumple con los estándares biométricos de su ficha técnica original (Gómez y Pérez, 2022; Zambrano et al., 2023).

Desde una perspectiva económica, este modelo convencional empírico se ha vuelto insostenible. La alta inversión requerida para la adquisición de semillas híbridas certificadas y sistemas de fertirriego no se recupera al momento de la cosecha. A

pesar del esfuerzo del productor, los rendimientos físicos en la zona se estancan y la cosecha arroja un alto porcentaje de frutos de bajo peso (Categoría 4 o descarte). Al ingresar a los mercados mayoristas tradicionales, los cuales tasan el producto estrictamente por volumen y tamaño (exigiendo Categorías 1 y 2), el agricultor es severamente penalizado en el precio, obligándolo a vender su cosecha a valores que ni siquiera cubren los costos de producción (SIPA, 2023).

Paradójicamente, mientras el agricultor se frustra por no obtener sandías gigantes, ignora que la zona de La Concepción posee un recurso agroclimático de incalculable valor: la amplitud térmica y la alta radiación solar. Estas variables provocan un "efecto de concentración" que eleva drásticamente los sólidos solubles totales (Grados Brix) del fruto. Existe un vacío de conocimiento tecnológico local sobre cómo aprovechar esta respuesta fisiológica; el desconocimiento impide que los productores dirijan estos frutos pequeños, pero extraordinariamente dulces ("personal size"), hacia nichos de mercado especializados o supermercados *gourmet* que pagan un sobreprecio por la calidad organoléptica por encima del tamaño físico (FAO, 2022; Martínez y González, 2021).

Finalmente, la ausencia de investigación aplicada en condiciones locales agrava la situación. Aunque se conoce teóricamente el comportamiento de la sandía, no existen validaciones científicas ni financieras en la provincia del Carchi que demuestren qué genotipo específico (Crimson Sweet, Allsweet, Riverside o Santanella) posee la plasticidad fenotípica necesaria para soportar el ecosistema de Mira. Esta carencia de datos y de "evidencia local" genera un alto riesgo financiero para los agricultores, quienes perciben la introducción de nuevos cultivares como una apuesta azarosa y no como una tecnología validada para maximizar la rentabilidad, frenando así el desarrollo agro-productivo de la región (INEC, 2023).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La producción de sandía (*Citrullus lanatus*) en los valles interandinos del Carchi está limitada por el estrés hídrico de la zona (suelos de rápido drenaje y alta evapotranspiración), lo que reduce severamente el tamaño comercial del fruto. Esta limitante física, sumada al vacío de investigación local sobre qué genotipos logran adaptarse para compensar este bajo calibre con una alta concentración de azúcares (°Brix), frena la adopción de la sandía como una alternativa agrícola

rentable, ya que el agricultor carece de evidencia técnica y económica para enfrentar a los mercados mayoristas tradicionales que castigan el bajo peso.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica técnica y agronómicamente al transformar la principal limitante edafoclimática de los valles interandinos del Carchi el rápido drenaje de los suelos franco-arenosos y la alta evapotranspiración en una oportunidad de eficiencia fisiológica. Frente al estrés hídrico transitorio que restringe históricamente la expansión volumétrica del fruto, este estudio valida la plasticidad fenotípica de genotipos específicos de sandía (*Citrullus lanatus*). Al demostrar que la interacción Genotipo x Ambiente bajo estas condiciones no solo asegura el cuajado de la planta, sino que desencadena un "efecto de concentración osmótica", se logra acumular niveles *premium* de sólidos solubles (> 13 °Brix) que superan los promedios nacionales (Mendoza et al., 2025). De esta manera, se transita de un modelo empírico de siembra de variedades desadaptadas, a uno de "selección genética de precisión", permitiendo que el cultivo demuestre su verdadera capacidad de adaptación en un ecosistema de altitud media donde antes se manejaba a ciegas.

Desde la perspectiva económica, el estudio responde de manera directa a la crisis de rentabilidad que asfixia al productor frutícola y hortícola de la zona norte al intentar competir bajo las reglas convencionales. Ante la amenaza constante de la penalización de precios por calibres menores en los mercados mayoristas (Categoría 4), esta investigación entrega al agricultor una herramienta de reorientación y resiliencia comercial. La justificación es plena al comprobar, mediante el análisis de la relación Beneficio/Costo (B/C), la viabilidad financiera real de las variedades a campo abierto. Al validar que el volumen masivo no es el único camino hacia la utilidad, el estudio traza la ruta técnica para que el productor transite hacia nichos de mercado especializados que pagan un sobreprecio por la calidad organoléptica. Esto convierte la vulnerabilidad económica de las familias campesinas en estabilidad financiera, demostrando que es posible desacoplar la producción local de las exigencias inflexibles de tamaño del mercado tradicional (Villavicencio y Torres, 2024).

En el ámbito ambiental y social, la investigación promueve una diversificación agrícola estratégica que actúa como escudo frente a la vulnerabilidad climática local. Los valles cálidos enfrentan sequías estacionales cada vez más marcadas; la introducción y evaluación de variedades rústicas de sandía, capaces de tolerar

déficits hídricos moderados gracias a su profundo sistema radicular, justifica el estudio al alinearse directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico y ODS 13: Acción por el Clima). Además, dota a la comunidad de una alternativa productiva validada que rompe la dependencia de los monocultivos tradicionales, reduciendo el riesgo de pérdidas económicas totales y fomentando el arraigo del agricultor a su territorio mediante prácticas más eficientes en el uso del agua.

Finalmente, la justificación científica radica en la generación de evidencia local inédita que sienta las bases para la agricultura del futuro en la provincia del Carchi. Frente al vacío de información técnica que obligaba a los agricultores a importar paquetes tecnológicos diseñados exclusivamente para la región Litoral, este trabajo desarrollado en el Centro Experimental Alonso Tadeo de la UPEC aporta datos cuantitativos robustos sobre el desarrollo fenológico, la eficiencia en la asimilación de azúcares y el potencial adaptativo de la sandía bajo condiciones de valles secos de altura. Estos resultados llenan el vacío de conocimiento existente, permitiendo que la transferencia de tecnología en la provincia deje de basarse en suposiciones empíricas de "ensayo y error" y pase a fundamentarse en datos científicos validados (Cedeño et al., 2025), asegurando así la adopción exitosa, escalable y sostenible de nuevas variedades por parte de los productores de la región.

#### **1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

##### 1.4.1. Objetivo General

Evaluar la adaptabilidad de tres variedades de sandía (*Citrullus lanatus*) a campo abierto en el Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC.

##### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el desarrollo fenológico de las variedades de sandía bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona de estudio.
- Cuantificar el rendimiento y la calidad organoléptica (°Brix) de los frutos para establecer su clasificación comercial.
- Realizar un análisis económico mediante la relación Beneficio/Costo (B/C) para determinar la viabilidad financiera de los genotipos evaluados.

### 1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cómo es el desarrollo fenológico de las diferentes variedades de sandía al interactuar con las condiciones edafoclimáticas de la zona de estudio?
- ¿Cuáles son los parámetros de rendimiento y la calidad organoléptica (°Brix) que alcanzan los frutos, y a qué categoría de clasificación comercial corresponden?
- ¿Cuál es la rentabilidad y viabilidad financiera de los genotipos evaluados de acuerdo con el análisis económico de la relación Beneficio/Costo (B/C)?

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Vega (2023), en su investigación con el objetivo general de evaluar la adaptación de cultivares de sandía (*Citrullus lanatus*) bajo condiciones edafoclimáticas del valle de Asa-Pinra-Huacaybamba-Huánuco, Perú, a una altitud de 1900 m.s.n.m., aplicó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar (DBCA). Las variables de estudio fueron fenología, diámetro ecuatorial del fruto, número de frutos y peso del fruto, evaluando los tratamientos: Sugar Baby (T1), Crimson Sweet (T2) y Peacock Improved (T3). En cuanto a los resultados, el rendimiento de frutos por planta fue de 3,53 en el tratamiento Crimson Sweet, seguido de Sugar Baby con 2,61, mientras que Peacock Improved se ubicó en el último lugar con 2,26 frutos por planta. Para la variable diámetro ecuatorial, Crimson Sweet obtuvo 27,25 cm, seguido de Sugar Baby con 24,63 cm y finalmente Peacock Improved con 21,25 cm. Con relación al peso del fruto, Crimson Sweet obtuvo una media de 5,60 kg, Sugar Baby 4,90 kg y Peacock Improved solamente 4,53 kg. Se concluye que el mejor tratamiento en esta investigación fue Crimson Sweet, ya que obtuvo los valores más altos en todas las variables evaluadas, demostrando una mejor adaptación frente a Peacock Improved, que reportó el rendimiento más bajo.

Maquera (2024) desarrolló una investigación con el objetivo de determinar el rendimiento y calidad de cuatro cultivares de sandía (*Citrullus lanatus*) en el Centro Experimental Agrícola III "Los Pichones", Tacna, Perú, a una altitud de 541 m.s.n.m., utilizando un diseño experimental DBCA. Los tratamientos evaluados fueron las variedades Riverside (T1), Crimson Sweet (T2), Delta (T3) y Santa Matilde (T4), midiendo las variables: número de frutos, peso de frutos, diámetro polar, diámetro ecuatorial, grosor de cáscara y grados Brix. En cuanto a los resultados del número de frutos por planta, Santa Matilde obtuvo 2,05, Delta 1,9, Crimson Sweet 1,55 y Riverside 1,45. Respecto al peso de fruto, Santa Matilde consiguió 12,62 kg, Delta 12,11 kg, Riverside 10,58 kg y Crimson Sweet alcanzó los 10,41 kg. En el diámetro polar, Santa Matilde llegó a 29,59 cm, Delta 29,51 cm, Riverside 27,42 cm y Crimson Sweet 25,67 cm; mientras que en diámetro ecuatorial, Santa Matilde logró un promedio de 22,98 cm,

Delta 22,89 cm, Crimson Sweet 22,25 cm y Riverside obtuvo el menor valor. Para el grosor de cáscara, el mayor resultado lo obtuvo Santa Matilde con 13,64 mm, seguida de Delta (13,53 mm), Crimson Sweet (12,50 mm) y Riverside (11,88 mm). Finalmente, en los grados Brix, Santa Matilde obtuvo 10,74 °Brix, Delta 10,60 °Brix, Crimson Sweet 10,47 °Brix y Riverside 9,44 °Brix. Se concluye que el mejor tratamiento para todas las variables evaluadas fue la variedad Santa Matilde, seguida de Delta, mientras que Crimson Sweet y Riverside intercalaron entre el tercer y cuarto lugar de rendimiento y calidad.

Vásquez (2021), en su investigación con el objetivo de evaluar la relación entre el comportamiento agronómico y rendimiento de una variedad y tres híbridos de sandía en Zungarococha, Loreto, Perú, aplicó un diseño DBCA. Los tratamientos fueron las variedades Peacock WR 124 (T1), Phoenix F1 (T2), Orión F1 (T3) y Riverside (T4), analizando las variables: número de frutos por planta y parcela, largo y diámetro del fruto, grosor de la corteza, peso del fruto, peso por planta y rendimiento por hectárea. Los resultados para el número de frutos por planta indicaron que Orión F1 obtuvo una media de 4 frutos, Phoenix F1 3 frutos, Peacock WR 2 frutos y Riverside 1 fruto; proporcionalmente, por parcela Orión F1 logró 40 frutos, Phoenix 30, Peacock 20 y Riverside 10. Con respecto al largo de fruto, Riverside, Orión y Phoenix destacaron con 21 cm, mientras Peacock obtuvo 20 cm. En el diámetro del fruto, Orión presentó el promedio más alto con 10,68 cm, seguido de Phoenix (10,00 cm), Peacock (9,63 cm) y Riverside (9,48 cm). Para el grosor de cáscara, Riverside obtuvo 20,00 mm, seguido de Orión (19,00 mm), Phoenix (13,00 mm) y Peacock (10,00 mm). En los pesos promedio del fruto, Phoenix F1 alcanzó 2964 g, Orión F1 2746 g, Riverside 2010 g y Peacock 1729 g, lo que derivó en rendimientos proyectados por hectárea de 16477,88 kg para Orión F1, 13336,13 kg para Phoenix F1, 5184,00 kg para Peacock y 3015,05 kg para Riverside. Se concluye que el tratamiento que más destacó fue el híbrido Orión F1 por su mayor número de frutos y alto rendimiento final, demostrando superioridad agronómica en la zona de estudio.

Barrios (2023) ejecutó un estudio con el objetivo de evaluar el rendimiento y calidad de nueve híbridos de sandía (*Citrullus lanatus*) bajo manejo orgánico en La Molina, Perú, a una altitud de 240 m.s.n.m., mediante un diseño experimental DBCA. Los tratamientos incluyeron a Santanella F1 (T1), Ballet F1 (T2), Borneo F1 (T3), Linda F1 (T4), 9533 F1 (T5), Amaltea (T6), Coanguita (T7), Gatinho (T8) y Huelva (T9), analizando parámetros de fenología, rendimiento, dimensiones del fruto, grosor de cáscara y

grados Brix. Los resultados mostraron que la aparición de flores femeninas ocurrió a los 26 ddt para Santanella y 24 ddt para Borneo, mientras que Ballet, Linda y Huelva fueron más precoces (19 ddt). En rendimiento, Coanguita destacó con 62 t/ha (3,2 frutos/planta) y Santanella reportó el menor rendimiento con 37,85 t/ha (0,8 frutos/planta). Respecto al peso del fruto, el híbrido 9533 F1 ocupó el primer lugar con 8,44 kg, seguido de Borneo (7,53 kg) y Santanella (7,07 kg), siendo Gatinho el de menor peso (2,66 kg). El diámetro ecuatorial máximo fue para 9533 F1 (23,99 cm) y el polar para Borneo F1 (33,75 cm) y Santanella (33,41 cm). Para el grosor de cáscara, 9533 F1 reportó 14,57 mm frente a los 10,71 mm de Santanella. Finalmente, la mayor concentración de azúcares se registró en 9533 F1 con 12,46 °Brix, mientras que Santanella obtuvo 11,60 °Brix y Amaltea el valor más bajo con 11,00 °Brix. Se concluye que no existió un único tratamiento sobresaliente absoluto, ya que el comportamiento dependió de la variable específica evaluada bajo el sistema de manejo orgánico.

Chávez y Mamani (2021) realizaron una investigación con el objetivo general de comparar el rendimiento de cuatro variedades de sandía bajo las condiciones edafoclimáticas del Valle de Tambo, Perú, a una altitud de 3 m.s.n.m., utilizando un diseño DBCA. Los tratamientos evaluados fueron Crimson Sweet (T1), Peacock Improved (T2), Santa Teresa (T3), Santa Catalina (T4) y un testigo local (T5), analizando el porcentaje de germinación, longitud de guía, número de frutos, peso de frutos, diámetro ecuatorial, diámetro polar y grosor de cáscara. Los resultados indicaron que el mayor porcentaje de germinación lo obtuvo Santa Catalina con 99,25 %, seguida de Crimson Sweet (88,75 %) y el testigo (75 %). En longitud de guías, el testigo lideró con 143,32 cm, mientras Crimson Sweet fue el menor con 79,71 cm. Para el número de frutos por planta, el testigo logró 1,6, Santa Catalina 1,4 y Crimson Sweet 0,7. En el diámetro polar, Crimson Sweet obtuvo el máximo con 41,80 cm frente a los 33,00 cm de Peacock Improved; sin embargo, en diámetro ecuatorial Santa Catalina destacó con 26,07 cm frente a los 24,52 cm de Crimson Sweet. El grosor de cáscara mayor fue para el testigo (2,12 cm) y Crimson Sweet (1,87 cm). Finalmente, para el peso del fruto, el testigo alcanzó 18,69 kg, Santa Catalina 17,24 kg y Crimson Sweet 8,10 kg, resultando en un rendimiento total de 14451,78 kg/ha para el testigo y 12451,40 kg/ha para Crimson Sweet. Se concluye que la variedad testigo procedente de la zona presentó la mejor adaptación agronómica, destacándose en la mayoría de las variables de rendimiento evaluadas.

Caicedo (2023), en su investigación con el objetivo de evaluar la adaptabilidad de dos variedades comerciales de sandía en la parroquia Imantag, cantón Cotacachi, Ecuador, a una altitud de 2376 m.s.n.m., empleó un diseño DBCA. Los tratamientos correspondieron a las variedades Riverside (T1) y Charleston Gray (T2), evaluando el porcentaje de germinación, largo de guías, días a la floración y número de flores femeninas y masculinas. Los resultados demostraron que Riverside obtuvo un porcentaje de germinación del 96 %, superando a Charleston Gray que alcanzó el 88 %. En la variable largo de guía, el promedio de Riverside fue de 16,44 cm, frente a los 12,51 cm de Charleston Gray. Respecto a la fenología, la floración en Riverside se presentó a los 111 días y en Charleston Gray a los 113 días. Para la emisión floral, Riverside emitió un promedio de 2,72 flores masculinas y 1,49 flores femeninas por planta, mientras que Charleston Gray registró 2,89 flores masculinas y 1,70 flores femeninas. Se concluye que Riverside mostró un mejor establecimiento inicial (germinación y vigor vegetativo), aunque el ensayo enfrentó limitaciones por las bajas temperaturas propias de la altitud, impidiendo la evaluación del rendimiento productivo final debido a condiciones climáticas inadecuadas para el cultivo.

Walters et al. (2021) llevaron a cabo una investigación con el objetivo de evaluar poblaciones locales y comerciales de melón y sandía para moderar el rendimiento en respuesta al cambio climático en el norte de África. Para el caso de la sandía, se evaluaron los tratamientos Orangeglo (T1), Bush Sugar Baby (T2) y Allsweet (T3), midiendo las variables de vigor de la planta, rendimiento (peso medio) y susceptibilidad a enfermedades foliares. Los resultados evidenciaron que Allsweet y Orangeglo presentaron un excelente vigor de planta, superando a Bush Sugar Baby, que mostró un vigor significativamente bajo. Con respecto al rendimiento y peso medio del fruto, la variedad Allsweet registró el valor más alto con 9,2 kg, seguida de Orangeglo con 8,2 kg y Bush Sugar Baby con 4,1 kg. Adicionalmente, se determinó que Allsweet presentó una baja susceptibilidad a enfermedades foliares durante su ciclo. Se concluye que la variedad Allsweet demostró ser la mejor opción de adaptación bajo las condiciones evaluadas, gracias a su excelente consistencia de fruto, destacado vigor vegetativo, alta resistencia sanitaria y un tamaño de fruto comercialmente adecuado.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Generalidades del cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*)

#### 2.2.1.1 Origen y taxonomía

La sandía (*Citrullus lanatus*) es una especie hortícola y frutal de gran importancia económica a nivel global. Originaria del continente africano, investigaciones genómicas recientes confirman que su domesticación se remonta a más de 4.000 años en la región nororiental de África (actual Sudán y Egipto), desde donde se dispersó hacia la cuenca del Mediterráneo y, durante la época colonial, al continente americano (Renner et al., 2021). Según Chomicki y Renner (2020), evolutivamente la sandía desarrolló un fruto con un altísimo contenido hídrico (superior al 90 %) como una estrategia botánica de supervivencia para almacenar agua en climas áridos y desérticos, perdiendo el amargor característico de sus parientes silvestres mediante selección genética.

Taxonómicamente, la clasificación actual de la especie se detalla en la Tabla 1. Al pertenecer a la familia Cucurbitaceae, comparte similitudes fisiológicas, requerimientos nutricionales y susceptibilidad a plagas con el melón, el pepino y el zapallo, caracterizándose por ser una especie termoexigente (altamente demandante de unidades de calor) y heliófila obligada (dependiente de alta radiación solar).

**Tabla 1.** Taxonomía del cultivo de sandía

<b>Categoría</b>	<b>Nombre</b>
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta (Angiospermas)
Clase	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Orden	Cucurbitales
Familia	Cucurbitaceae
Subfamilia	Cucurbitoideae
Género	<i>Citrullus</i>
Especie	<i>Citrullus lanatus</i>

**Fuente:** (Guerra, 2021)

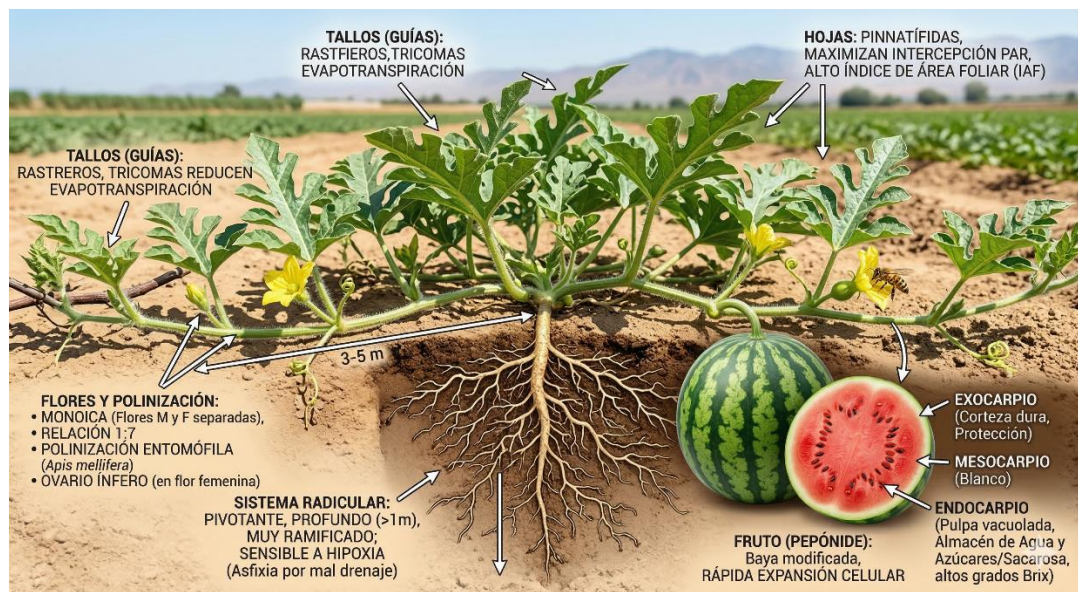
#### 2.2.1.2 Morfología y fisiología vegetal

La arquitectura de la planta de sandía presenta adaptaciones evolutivas específicas para la captación de luz y el rápido crecimiento en climas cálidos. A diferencia de las hortalizas de crecimiento vertical, *C. lanatus* posee un hábito de crecimiento rastrero y expansivo, con una alta eficiencia en la translocación de fotoasimilados.

- Sistema radicular: Es de tipo pivotante, profundo y muy ramificado. En suelos bien estructurados, la raíz principal puede superar el metro de profundidad,

confiriéndole una excelente tolerancia a períodos de déficit hídrico transitorio. Sin embargo, fisiológicamente, su sistema radicular es extremadamente sensible a la hipoxia (asfixia por falta de oxígeno); en suelos compactados o con mal drenaje, la raíz detiene la absorción de nutrientes y se vuelve vulnerable a fitopatógenos del suelo como *Fusarium oxysporum* (Caballero, 2023).

- Tallos (Guías): Son herbáceos, cilíndricos, provistos de zarcillos bífidos que facilitan su anclaje, y están cubiertos de tricomas (vellosidades) que reducen la evapotranspiración. De la corona basal emergen múltiples guías secundarias y terciarias que pueden alcanzar entre 3 y 5 metros de longitud. Estas guías poseen haces vasculares de gran calibre, indispensables para el transporte masivo de agua hacia el fruto durante la fase de llenado (Vega, 2023).
- Hojas: Son pecioladas, alternas y profundamente pinnatífidas (lobuladas). Su amplia superficie foliar y alta densidad estomática son cruciales para maximizar la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Un índice de área foliar (IAF) robusto es el principal responsable de la síntesis de sacarosa necesaria para asegurar un alto nivel de grados Brix en la cosecha (Walters et al., 2021).
- Flores y Polinización: Es una especie monoica diclina, produciendo flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. Las flores masculinas aparecen primero para atraer vectores. Las flores femeninas, distinguibles por poseer un ovario ínfero en la base de la corola amarilla, aparecen en menor proporción (relación 1:7). Su biología reproductiva es de alogamia obligada, dependiendo en un 100 % de insectos polinizadores (entomofilia, principalmente *Apis mellifera*) para fecundar el ovario y garantizar un cuajado simétrico del fruto (Maquera, 2024).
- Fruto: Botánicamente clasificado como una baya modificada o pepónide. Consta de un exocarpio (corteza) duro que protege contra la deshidratación y daños mecánicos, un mesocarpio blanco, y un endocarpio (pulpa) altamente vacuolado donde se almacenan el agua y los azúcares. La rápida división y posterior expansión celular de este órgano define el rendimiento comercial final (Caicedo, 2023).



**Figura 1.** Arquitectura de la planta de sandía (*Citrullus lanatus*).

**Fuente:** (Caicedo, 2023)

### 2.2.1.3 Etapas fenológicas del cultivo

El ciclo de vida de la sandía se rige por la acumulación de grados día (integral térmica). Fisiológicamente, su desarrollo a campo abierto se divide en cuatro fases críticas:

- Fase de Establecimiento: Abarca desde la siembra o trasplante hasta la emisión de las primeras tres a cuatro hojas verdaderas. Durante este periodo, la planta prioriza la partición de asimilados hacia el sistema radicular para asegurar un anclaje profundo y prepararse para la alta demanda hídrica futura.
- Fase de Desarrollo Vegetativo: Ocurre un crecimiento exponencial del dosel aéreo. La planta emite rápidamente sus guías laterales y consolida su área foliar. Existe una alta demanda de nitrógeno (N) y magnesio (Mg) para la síntesis masiva de clorofila (Barrios, 2023).
- Fase Reproductiva (Floración y Cuajado): Inicia con la antesis (apertura) de las flores. Tras la polinización efectiva, los niveles de auxinas y giberelinas se disparan en el ovario fecundado, provocando una rápida división celular conocida como "cuajado". En esta etapa, el fruto se convierte en el principal sumidero (vertedero) de la planta.

- Fase de Llenado y Maduración: La división celular cesa y da paso a la expansión celular masiva impulsada por la absorción de agua y potasio (K). En las semanas previas a la cosecha, la planta transloca azúcares desde las hojas hacia la pulpa. La madurez se alcanza cuando la concentración de sólidos solubles (grados Brix) llega a su pico genético máximo y el crecimiento perimetral se detiene (Vega, 2023).

#### 2.2.1.4 Requerimientos edafoclimáticos y limitantes en valles cálidos interandinos

El éxito productivo de *Citrullus lanatus* depende de la interacción precisa entre el genotipo y el medio ambiente. En las zonas de valles cálidos interandinos, como los presentes en la provincia del Carchi, los factores climáticos y edáficos actúan como determinantes fisiológicos que pueden potenciar la calidad organoléptica (grados Brix) o inducir desórdenes como la falta de expansión celular del fruto (bajo calibre) o necrosis apical.

##### Factores Edáficos (Suelo)

- Textura y Estructura Física: La sandía requiere suelos de textura franca, franco-arenosa o franco-limosa, que ofrezcan una excelente macroporosidad y baja densidad aparente. Según Caballero (2023), la "suavidad" del perfil del suelo es un requisito innegociable para este cultivo, ya que su raíz pivotante debe profundizar rápidamente para anclar la planta y buscar humedad; en suelos arcillosos o compactados, la resistencia mecánica atrofia el sistema radicular, limitando severamente la capacidad de la planta para absorber el volumen de agua necesario para la expansión masiva del fruto.
- pH y Química del Suelo: El rango óptimo de pH para el cultivo oscila entre 5,8 y 6,8. En los valles interandinos, las variaciones del pH pueden limitar la disponibilidad de nutrientes clave. Caicedo (2023) advierte que, bajo condiciones de acidez (pH < 5,5), se restringe drásticamente la asimilación de Fósforo (P) y Calcio (Ca), elementos vitales para el desarrollo inicial y la firmeza de la corteza del fruto. Asimismo, la sandía es extremadamente sensible a la salinidad; conductividades eléctricas superiores a 1,5 dS/m generan un estrés osmótico que inhibe la absorción de agua, reduciendo el tamaño final de la cosecha.
- Drenaje y Sensibilidad a la Hipoxia: *Citrullus lanatus* es una especie con nula tolerancia al encharcamiento o hipoxia radicular. El exceso de humedad en el suelo reduce el intercambio gaseoso, provocando la asfixia inmediata de

las raíces y favoreciendo la proliferación de patógenos destructivos del sistema vascular como *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. Un drenaje rápido y eficiente es fundamental no solo para la sanidad, sino para evitar fluctuaciones drásticas de agua que provoquen el rajado del fruto ("cracking") durante la fase de maduración (Guerra, 2021).

#### Factores Climáticos y Altitud

El comportamiento fenológico de la sandía es altamente sensible a las variables meteorológicas. La temperatura y la radiación actúan como las principales señales ambientales que regulan la tasa fotosintética y la posterior translocación de fotoasimilados (azúcares) hacia el fruto.

- **Temperatura:** Es el factor abiótico más influyente en la velocidad de las reacciones metabólicas y el desarrollo ontogénico. Según Vega (2023), el rango térmico óptimo para el crecimiento vegetativo y el llenado del fruto oscila entre 25 °C y 32 °C. Temperaturas diurnas inferiores a 15 °C ralentizan severamente el metabolismo celular. Un aspecto fisiológico crucial en los valles interandinos es la amplitud térmica (días calurosos y noches frescas). Walters et al. (2021) señalan que esta marcada diferencia de temperaturas induce un comportamiento particular en la sandía: las bajas temperaturas nocturnas reducen la tasa de respiración de mantenimiento de la planta, evitando que se consuman los fotoasimilados sintetizados durante el día. Este fenómeno fisiológico resulta en frutos de un calibre comercial menor, pero con una acumulación de sólidos solubles (grados Brix) extraordinariamente alta.
- **Humedad Relativa:** El requerimiento higrométrico varía según la etapa fenológica. Durante el establecimiento, la planta tolera una humedad relativa moderada. Sin embargo, para la fase de floración, llenado y maduración, el rango ideal se sitúa en un ambiente seco, entre el 55 % y 65 %. Barrios (2023) advierte que una humedad relativa excesiva (> 80 %) reduce el déficit de presión de vapor (DPV), limitando la transpiración estomática. Esta reducción en el flujo transpiratorio disminuye la absorción pasiva de nutrientes poco móviles en el xilema, como el Calcio ( $Ca^{2+}$ ), provocando desórdenes fisiológicos graves como la podredumbre apical (Blossom-end rot). Además, la alta humedad predispone al cultivo al ataque de patógenos foliares como el mildiu veloso (*Pseudoperonospora cubensis*) y la antracnosis (*Colletotrichum orbiculare*).

- Radiación y Fotoperiodo: Aunque la sandía es una planta de fotoperiodo neutro para la inducción floral, es una especie heliófila obligada (requiere exposición directa al sol). La inducción de una alta tasa fotosintética exige que la duración del día supere las 10 horas de luz efectiva. Según Caicedo (2023), la interacción entre la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y la temperatura es determinante: una alta intensidad lumínica sin nubosidad constante, característica de los valles secos andinos, maximiza la tasa de fijación de carbono. Si el cultivo sufre de sombreamiento, se obtendrán guías delgadas, aborto floral y frutos de baja calidad organoléptica y materia seca, independientemente del plan de fertilización aplicado.

#### 2.2.1.5 Descripción agronómica de los genotipos evaluados

##### 2.2.1.5.1. Variedad 'Crimson Sweet'

La variedad 'Crimson Sweet' es un genotipo de polinización abierta (OP) que se ha consolidado como el estándar de referencia a nivel mundial en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*). Genéticamente, ha sido seleccionada por su extraordinaria plasticidad fenotípica, lo que le permite adaptarse a una amplia gama de pisos altitudinales y rangos térmicos, desde zonas costeras hasta valles interandinos (Guerra, 2021).

- Morfología del Fruto y Calidad: Este genotipo se distingue por desarrollar frutos de forma globosa a ligeramente ovalada. Su exocarpio (corteza) presenta un color de fondo verde claro surcado por estrías de un verde oscuro e intenso. Internamente, desarrolla un endocarpio (pulpa) de color rojo brillante, textura crujiente y un contenido de sólidos solubles medio-alto (10 a 12 °Brix), lo que le confiere un dulzor comercialmente muy atractivo. Su corteza es lo suficientemente gruesa para tolerar el transporte postcosecha.
- Arquitectura Foliar y Sistema Radicular: Posee un aparato fotosintético vigoroso con guías expansivas que superan los 2 metros de longitud. Su denso follaje proporciona una excelente cobertura (dosel), previniendo quemaduras por radiación directa ("golpe de sol") sobre los frutos. Cuenta con un sistema radicular pivotante profundo que le otorga rusticidad frente a fluctuaciones hídricas.
- Ciclo Fenológico y Potencial Productivo: Su ciclo vegetativo es intermedio, oscilando entre los 85 y 95 días desde la siembra hasta la madurez fisiológica.

Su potencial de rendimiento es alto, logrando producir frutos que, bajo condiciones óptimas, alcanzan calibres de 10 a 12 kg.

#### 2.2.1.5.2. Variedad 'Riverside'

'Riverside' es un híbrido comercial (F1) de sandía diseñado para satisfacer las demandas de los mercados de exportación e industria agroalimentaria. Su genética híbrida le confiere el fenómeno de heterosis (vigor híbrido), expresado en una mayor uniformidad de cosecha y resistencia a estreses abióticos (Caicedo, 2023).

- **Morfología del Fruto y Calidad:** Desarrolla frutos de forma predominantemente oblonga (alargada). Su exocarpio exhibe un patrón de franjas anchas de color verde oscuro sobre un fondo verde más claro. La pulpa es de color rojo profundo, muy firme y con excelente retención de líquidos, característica crucial para extender su vida de anaquel.
- **Arquitectura Foliar y Sistema Radicular:** El atributo agronómico más relevante de 'Riverside' es la agresividad y sanidad de su sistema radicular. Exhibe una alta capacidad de exploración rizosférica y una tolerancia genética comprobada a marchitamientos vasculares provocados por *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. Sus guías son gruesas y de rápido crecimiento inicial.
- **Ciclo Fenológico y Potencial Productivo:** Presenta un ciclo intermedio-precoc, requiriendo entre 85 y 90 días para su cosecha. Tiene una alta tasa de cuajado y, dependiendo de la densidad de siembra, sus frutos comerciales estándar oscilan entre los 10 y 14 kg.

#### 2.2.1.5.3. Variedad 'Allsweet'

La variedad 'Allsweet' es un material genético clásico, descendiente de las líneas Crimson, pero modificado estructuralmente para obtener frutos de formato cilíndrico. Es altamente valorada en nichos de mercado que priorizan la calidad organoléptica tradicional sobre el rendimiento en volumen masivo (Walters et al., 2021).

- **Morfología del Fruto y Calidad:** Físicamente, sus frutos son cilíndricos y muy alargados (pudiendo medir entre 48 y 60 cm de longitud). Su corteza es verde oscuro con estrías irregulares de tono verde claro (patrón "all-sweet"). Su pulpa es rojo intenso, destacando por ser excepcionalmente dulce y poseer semillas de tamaño pequeño, lo que mejora la experiencia del consumidor final.
- **Arquitectura Foliar y Sistema Radicular:** Desarrolla plantas extremadamente rústicas y expansivas. Sus guías pueden alcanzar longitudes superiores a los 3

metros. Esta variedad destaca por poseer una alta resistencia genética a patógenos foliares necrotróficos, particularmente a la Antracnosis (*Colletotrichum orbiculare*), manteniendo su área foliar verde y funcional hasta el final del ciclo.

- Ciclo Fenológico y Potencial Productivo: Su ciclo es el más tardío del grupo, oscilando entre los 90 y 105 días para alcanzar la madurez comercial. Produce frutos pesados, con promedios que pueden variar entre los 9 y 12 kg en ambientes cálidos sin limitantes hídricas.

#### 2.2.1.5.4. Variedad 'Santanella'

'Santanella' F1 es un híbrido diploide de última generación, introducido recientemente para maximizar los rendimientos por hectárea bajo sistemas de agricultura intensiva y fertirriego (Barrios, 2023).

- Morfología del Fruto y Calidad: Sus frutos son de formato oblongo a ovalado grande. La corteza exhibe un patrón rayado muy definido y brillante. Se caracteriza por desarrollar una pulpa excepcionalmente firme, rojo brillante, con la capacidad genética de acumular los niveles más altos de sólidos solubles del grupo (pudiendo alcanzar de 11 a 13 °Brix bajo óptima radiación).
- Arquitectura Foliar y Sistema Radicular: Posee una arquitectura de planta sumamente compacta en su corona pero con emisión de guías laterales de rápido follaje, logrando un Índice de Área Foliar (IAF) muy alto en las primeras etapas fenológicas. Posee un paquete de resistencias múltiples frente a enfermedades radiculares y foliares (*Fusarium* y Mildiu).
- Ciclo Fenológico y Potencial Productivo: Es una variedad precoz a intermedia, con un ciclo de cosecha de 80 a 95 días. Su potencial productivo genético es sobresaliente, diseñándose para sostener frutos de gran calibre (10 a 16 kg) siempre y cuando el manejo nutricional y las temperaturas nocturnas no actúen como factores limitantes.

Análisis comparativo de los genotipos evaluados. Se presenta la matriz de comparación agronómica de las cuatro variedades de *Citrullus lanatus* utilizadas en la presente investigación (Tabla 2).

**Tabla 2.** Características agronómicas y productivas de las variedades de sandía evaluadas

Genotipo	Tipo Genético	Forma del Fruto	Ciclo Fenológico	Sólidos Solubles (Potencial)	Resistencia/Tolerancia principal
Crimson Sweet	Polinización Abierta (OP)	Ovalado / Globoso	85 - 95 días	10 - 12 °Brix	Amplia plasticidad / Tolerancia a sequía
Riverside	Híbrido (F1)	Oblongo	85 - 90 días	10 - 11 °Brix	Fusarium oxysporum / Larga vida de anaquel
Allsweet	Polinización Abierta (OP)	Cilíndrico / Alargado	90 - 105 días	10 - 12 °Brix	Antracnosis (Colletotrichum orbiculare)
Santanella	Híbrido (F1)	Oblongo / Grande	80 - 95 días	11 - 13 °Brix	Fusarium y Mildiu / Alta firmeza de pulpa

**Fuente:** (Guerra, 2021; Barrios, 2023)

### 2.2.2 Adaptabilidad Agronómica y Fisiológica

La adaptabilidad agronómica trasciende la mera supervivencia biológica del individuo; se define como la capacidad integral de un genotipo para modular su fisiología, morfología y fenología con el fin de completar eficientemente su ciclo ontogénico y maximizar el rendimiento bajo condiciones agroecológicas estresantes o atípicas. Este fenómeno se rige estrictamente por la Interacción Genotipo x Ambiente (G x E) y por la plasticidad fenotípica inherente a la especie, la cual dicta qué tan flexible es el metabolismo de la planta ante las fluctuaciones de su entorno.

En *Citrullus lanatus*, la adaptación a ecosistemas de valles interandinos (caracterizados por alta radiación, amplitud térmica marcada y suelos de rápido drenaje) desencadena complejas respuestas a nivel celular y bioquímico. Según Wang et al. (2022), frente a las fluctuaciones hídricas típicas de los suelos franco-arenosos y a la alta tasa de evapotranspiración de estas zonas, la sandía activa mecanismos primarios de osmorregulación. Esto lo logra mediante la síntesis activa de solutos compatibles en el citoplasma (tales como prolina, betaína y azúcares solubles) y un ajuste dinámico de la conductancia estomática. Estas adaptaciones a nivel de tejido permiten mantener el potencial hídrico y la presión de turgencia en el follaje, asegurando que la asimilación de CO<sub>2</sub> (tasa fotosintética neta) no se detenga por completo, aun cuando la disponibilidad de agua libre en el perfil del suelo disminuye transitoriamente en las horas de máxima insolación.

Más allá del ajuste hídrico, la verdadera adaptabilidad de un genotipo hortícola se mide por su eficiencia en la translocación de energía. Una variedad se considera exitosamente adaptada cuando su genética le permite sostener el equilibrio "fuente-sumidero" (dosel foliar-fruto) sin llegar al punto de marchitez permanente. En

ambientes de alta radiación, las hojas maduras (fuentes) actúan a máxima capacidad fijando carbono. Si la variedad está bien adaptada, su sistema vascular (floema) mantendrá la integridad necesaria para bombear estos fotoasimilados hacia el ovario fecundado (sumidero), garantizando la viabilidad comercial del fruto. A continuación, en la Tabla 3 se resumen los principales mecanismos fisiológicos que la sandía emplea para adaptarse a las condiciones edafoclimáticas específicas de los valles cálidos interandinos, detallando su efecto directo sobre el rendimiento agronómico.

**Tabla 3.** Mecanismos fisiológicos de adaptación de la sandía (*Citrullus lanatus*) a factores ambientales de valles interandinos

<b>Factor Ambiental (Estrés / Estímulo)</b>	<b>Respuesta Fisiológica y Morfológica de la Planta</b>	<b>Efecto Agronómico Directo</b>
Suelos de rápido drenaje (Estrés hídrico transitorio)	Cierre estomático parcial al mediodía y síntesis de prolina (ajuste osmótico) para retener agua celular.	Mantenimiento del follaje verde, pero restricción drástica en la expansión volumétrica del fruto (calibre menor / Categoría 4).
Alta Radiación Solar y UV	Síntesis de ceras epicuticulares y alta tasa de fijación de carbono (fotosíntesis acelerada).	Alto vigor vegetativo; inducción de frutos con altísima concentración de sólidos solubles (Grados Brix).
Amplitud Térmica (Noches frescas)	Disminución brusca de la tasa de respiración de mantenimiento durante la noche.	Se evita el consumo nocturno de los azúcares sintetizados en el día, garantizando una pulpa extradulce.
Humedad Relativa Baja (Ambiente seco)	Incremento del déficit de presión de vapor (DPV); mayor tensión en el xilema.	Sanidad foliar excepcional (nula incidencia de hongos), pero riesgo de necrosis apical si falta calcio en el riego.

**Fuente:** (Wang et al. 2022; Kyriacou & Roupael, 2021)

### 2.2.3 Fisiología del rendimiento y parámetros de calidad del fruto

El rendimiento físico y la calidad organoléptica en las cucurbitáceas no son eventos aleatorios, sino el resultado de procesos metabólicos estrictamente regidos por la fuerza de los sumideros (*sink strength*), la disponibilidad de agua y la tasa de translocación de fotoasimilados desde el dosel vegetativo.

- **Fisiología del Calibre (Expansión Celular):** El tamaño final y el peso del fruto están determinados por dos fases biológicas secuenciales. La primera es la hiperplasia (división celular), que ocurre durante las dos o tres primeras semanas tras la polinización; esta fase es genéticamente dependiente y define el número máximo de células que tendrá el fruto. La segunda fase, y la más crítica para definir el peso comercial, es la hipertrofia (expansión celular masiva). Este proceso es estrictamente dependiente del potencial hídrico (ingreso de agua a las vacuolas celulares) y de la acción de las proteínas "expansinas" que flexibilizan la pared celular. Si la planta sufre una restricción

de agua durante esta fase (como ocurre en suelos de rápido drenaje), la expansión celular se detiene abruptamente. Esto desplaza la cosecha hacia calibres inferiores, impactando negativamente el rendimiento volumétrico, aunque el fruto alcance su madurez fisiológica normal (Maquera, 2024).

- Bioquímica de los Sólidos Solubles Totales (Grados Brix): La calidad organoléptica de la sandía está dictada casi en su totalidad por la acumulación de azúcares en la pulpa. Fisiológicamente, las hojas maduras (fuentes) fijan el carbono ambiental y sintetizan fotoasimilados que son translocados a través del floema hacia el fruto (sumidero). Una vez allí, intervienen enzimas como la invertasa ácida y la sacarosa-fosfato sintasa (SPS), encargadas de metabolizar estos azúcares y almacenarlos predominantemente en forma de sacarosa, fructosa y glucosa durante las últimas semanas de maduración. Kyriacou y Rouphael (2021) demostraron que, bajo condiciones de déficit hídrico moderado y altísima radiación solar, se produce un "efecto de concentración osmótica". En este escenario, el fruto restringe su hipertrofia acuosa (se queda pequeño), pero el dosel vegetativo continúa bombeando azúcares de forma ininterrumpida. El resultado es un fruto de menor tamaño físico, pero con una concentración de Grados Brix exponencialmente superior a la de frutos cultivados en climas húmedos o tropicales.

Para estandarizar la evaluación de estos parámetros fisiológicos en la presente investigación, se utilizaron los rangos métricos de clasificación comercial y organoléptica que determinan la viabilidad del cultivo en los mercados de destino, los cuales se detallan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Parámetros de clasificación comercial y calidad organoléptica en frutos de sandía (*Citrullus lanatus*)

Parámetro Evaluado	Rango / Nivel de Clasificación	Descripción Fisiológica y Comercial
Clasificación por Peso (Calibre)	Categoría 1: 8,00 – 15,00 kg	Máxima expresión de hipertrofia celular. Alta demanda en mercados mayoristas.
	Categoría 2: 5,00 – 7,99 kg	Calibre estándar ideal para supermercados y consumo familiar tradicional.
	Categoría 3: 2,00 – 4,99 kg	Fruto de expansión media ("Icebox size"). Atractivo para familias pequeñas.
	Categoría 4: 0,50 – 1,99 kg	Expansión celular restrictiva ("Personal size"). Calibre penalizado en mercado tradicional, pero valorado en nichos gourmet si el dulzor es alto.
Calidad Organoléptica (Dulzor)	Descarte: < 0,50 kg	Aborto fisiológico tardío o falta severa de asimilados. Sin valor comercial.
	Calidad Premium: > 12,0 °Brix	Altísima concentración de sacarosa. Típico de valles secos con alta radiación.
	Calidad Estándar: 10,0 – 11,9 °Brix	Nivel de dulzor comercialmente aceptable a nivel global.
	Calidad Deficiente: < 10,0 °Brix	Fruto desabrido (exceso de agua o falta de sol durante el llenado).

**Fuente:** (Maquera, 2024; Barrios, 2023; Kyriacou & Roupheal, 2021)

#### 2.2.4 Análisis económico agrícola y viabilidad financiera

La introducción de un nuevo genotipo a un ecosistema agroecológico específico carece de validez técnica si no se demuestra su sostenibilidad financiera. La evaluación microeconómica en cultivos hortícolas a campo abierto se fundamenta en la estructuración de costos operativos (fijos y variables) y la proyección de ingresos brutos basados en el rendimiento neto comercializable.

El indicador financiero estandarizado para esta evaluación es la Relación Beneficio/Costo (B/C). Según García-Salazar y Ramírez-Gómez (2022), en los sistemas de producción hortícola, la rentabilidad está fuertemente penalizada por el calibre del fruto; los mercados mayoristas tradicionales castigan severamente el precio de las categorías inferiores, independientemente de la calidad interna o los niveles de °Brix alcanzados.

La interpretación teórica de este indicador establece que:

- $B/C > 1$  (Rentabilidad positiva): El sistema productivo genera un retorno de capital que supera la inversión y los costos operativos.
- $B/C = 1$  (Punto de equilibrio): Los ingresos netos absorben exactamente la estructura de costos, sin generar utilidad marginal.
- $B/C < 1$  (Rentabilidad negativa o Déficit): Indica que el rendimiento comercial (ya sea por bajo tonelaje o por calibres castigados en precio) no es suficiente

para cubrir los costos de producción. En este escenario, aunque la variedad haya demostrado una excelente adaptación biológica y calidad, su establecimiento no es económicamente viable bajo el esquema de comercialización tradicional.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

##### 3.1.1. Enfoque

El enfoque fue de carácter cuantitativo, se evaluaron variables numéricas como porcentaje de germinación, número de guías, número de flores, número de fruto, número de hojas, diámetro de guías en mm, diámetro ecuatorial de fruto en cm, longitud de guías en cm, peso de fruto en kg, grados brix y el análisis costo/beneficio.

##### 3.1.2. Tipo de Investigación

Experimental: se implementó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con 4 tratamientos y 5 repeticiones, con 20 unidades experimentales distribuidas aleatoriamente y una parcela neta de 8 plantas. Finalizada la investigación y con los datos recolectados se realizó en análisis estadístico para comprobar o refutar la hipótesis de estudio.

#### 3.2. HIPÓTESIS

##### Hipótesis Alternativa (Ha)

Existen diferencias estadísticamente significativas en la adaptabilidad agronómica y en el rendimiento entre las tres variedades de sandía (*Citrullus lanatus*) evaluadas a campo abierto en el Centro Experimental Alonso Tadeo.

##### Hipótesis Nula (H0)

No existen diferencias estadísticamente significativas en la adaptabilidad agronómica ni en el rendimiento entre las tres variedades de sandía (*Citrullus lanatus*) evaluadas a campo abierto en el Centro Experimental Alonso Tadeo.

### 3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

#### 3.3.1. Definición de las variables

**Variable independiente:**

- Variable Independiente: variedades de sandía
  - Crimson Sweet
  - Riverside
  - Allsweet

**Variable dependiente:** Adaptabilidad agronómica y rendimiento productivo de la sandía (*Citrullus lanatus*). Esta variable macro será cuantificada a través de cuatro dimensiones de desarrollo en el campo:

- **Parámetros fisiológicos y de establecimiento:** Porcentaje de germinación y número de flores.
- **Desarrollo morfológico y vegetativo:** Número de hojas, número de guías, longitud de las guías y diámetro de las guías.
- **Parámetros de rendimiento (Productividad):** Número de frutos por planta, diámetro del fruto y peso del fruto.
- **Calidad organoléptica del fruto:** Concentración de sólidos solubles totales (expresados en grados Brix).

### 3.3.2. Operacionalización de las variables

**Tabla 5.** Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
<b>Independiente</b>	Variedades de sandía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crimson Sweet</li> <li>• Riverside</li> <li>• Allsweet</li> </ul>	Establecimiento de parcelas bajo el mismo manejo agronómico.	Libreta de campo, croquis del ensayo.
	Germinación	Porcentaje de semillas germinadas	Conteo directo de plántulas emergidas en semillero.	Libreta de campo
	Diámetro de guías	Grosor (mm) a los 28, 42, 56 y 70 ddt.	Medición en la base de las 4 guías etiquetadas.	Libreta de campo Calibrador pie de rey
	Número de hojas	Cantidad a los 14, 28, 42, 56 y 70 días después del trasplante (ddt).	Conteo manual en las 4 guías etiquetadas de la parcela neta.	Libreta de campo
	Longitud de guía	Distancia (cm) a los 28, 42, 56 y 70 ddt.	Medición desde la base hasta el ápice de la guía.	Libreta de campo flexómetro
<b>Dependiente</b>	Número de guías	Cantidad total a los 28, 42, 56 y 70 ddt.	Conteo manual por planta en la parcela neta.	Libreta de campo
	Número de flores	Cantidad de flores a los 42, 56 y 70 ddt.	Conteo visual por planta en la parcela neta.	Libreta de campo
	Número de fruto	Cantidad de frutos cuajados a los 42, 49, 56, 63 y 70 ddt.	Conteo visual de frutos en desarrollo.	Libreta de campo
	Peso de fruto en base a categorías	Masa (kg) a los 77, 84, 91 y 98 ddt.	Pesaje y clasificación (Extra, Primera, Segunda, Tercera, Descarte).	Balanza Libreta de campo
	Circunferencia ecuatorial de fruto	Perímetro (cm) a los 77, 84, 91 y 98 ddt.	Medición transversal del fruto cosechado.	Cinta métrica Libreta de campo
	Grados Brix	Concentración de sólidos solubles (°Brix) a los 77, 84, 91 y 98 ddt.	Extracción de zumo y lectura óptica.	Refractómetro Libreta de campo
	Costo beneficio	Relación B/C (USD) al final del ensayo.	Cálculo de Ingresos Brutos sobre Costos Totales.	Computadora

### 3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

#### 3.4.1. Área de estudio

La fase de campo de la presente investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental Alonso Tadeo, perteneciente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), ubicado en la parroquia La Concepción, cantón Mira, Ecuador. Geográficamente, el sitio del ensayo se encuentra referenciado en las coordenadas 0.601430 de latitud y -78.129510 de longitud, a una altitud de 1.399 m s. n. m.

La zona presenta un clima seco cálido, con una temperatura promedio de 24 °C, una precipitación anual acumulada de 1.100 mm y una humedad relativa del 94 %. En cuanto a sus características edáficas, los suelos son principalmente franco-arenosos y franco-limosos, los cuales poseen una excelente capacidad de retención de agua y buen drenaje. Estas condiciones edafoclimáticas resultan ideales para el establecimiento y desarrollo expansivo de cultivos exigentes en unidades de calor, como es el caso de la sandía (*Citrullus lanatus*) (Gobierno Autónomo Descentralizado de Mira, 2007).



**Figura 2.** Ubicación del experimento

#### 3.4.2. Tratamientos del diseño experimental

Para el desarrollo de la presente investigación, el factor de estudio (Variable Independiente) correspondió al material genético. Por lo tanto, se establecieron cuatro tratamientos, representados por las diferentes variedades comerciales de sandía (*Citrullus lanatus*) introducidas para evaluar su adaptabilidad agronómica en la zona.

La distribución y codificación de los tratamientos dentro del Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) se detalla a continuación:

**Tabla 6.** Tratamientos del experimento

Tratamientos	Factor en Estudio (Variedades de <i>Citrullus lanatus</i> )
T1	Variedad Crimson Sweet
T2	Variedad Riverside
T3	Variedad Allsweet
T4	Variedad Santanella (Testigo)

### 3.4.3. Características del diseño experimental

Para la ejecución de la fase de campo se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). El ensayo agronómico estuvo constituido por cuatro tratamientos (variedades de *Citrullus lanatus*) distribuidos en cinco repeticiones, generando un total de 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental abarcó un área de 36 m<sup>2</sup> (6 m x 6 m), albergando una población de 24 plantas. Para la recolección rigurosa de los datos morfológicos y productivos, se descartaron las hileras perimetrales para evitar el efecto de borde, definiendo una parcela neta de 8 plantas centrales por cada unidad experimental.

A continuación, se detallan las dimensiones y características técnicas del ensayo en el campo:

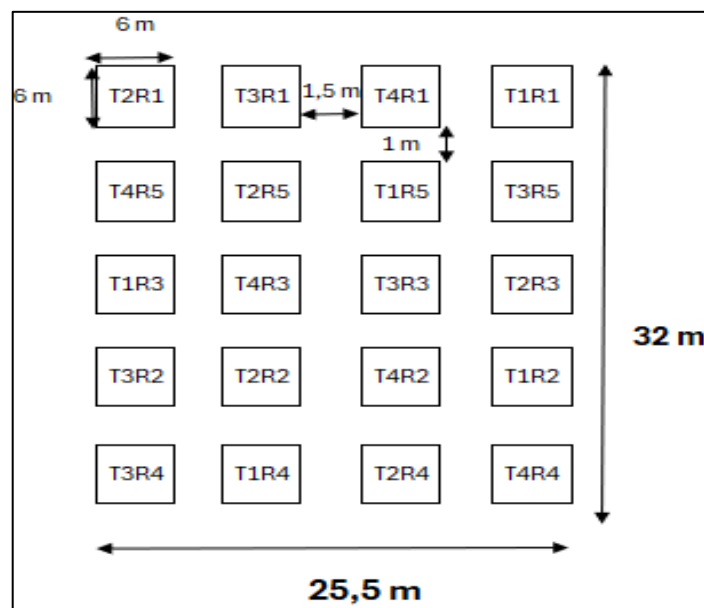
**Tabla 7.** Características del experimento

Características	Dimensiones / Cantidad
Diseño estadístico	Bloques Completos al Azar (DBCA)
Tratamientos (Variedades)	4
Repeticiones (Bloques)	5
Unidades experimentales totales	20
Plantas por unidad experimental	24
Plantas en la parcela neta (medición)	8
Número total de plantas en el ensayo	480
Distancia entre plantas	1.00 m
Distancia entre surcos	1.50 m
Área por unidad experimental	36 m <sup>2</sup> (6 m x 6 m)
Área total del ensayo (incluyendo calles)	816 m <sup>2</sup>

### 3.4.4. Distribución y características del experimento

Para la delimitación física del ensayo en campo, se estableció un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) unifactorial. Las 20 unidades experimentales, producto de los 4 tratamientos (variedades de sandía) y las 5 repeticiones (bloques), fueron distribuidas de forma estandarizada y aleatorizada dentro de cada bloque. La conformación en bloques tuvo como objetivo metodológico principal controlar el error experimental y minimizar el efecto de posibles gradientes espaciales, tales como variaciones en la fertilidad, retención de humedad del suelo o la pendiente del terreno en el Centro Experimental Alonso Tadeo.

Cada unidad experimental fue demarcada individualmente en el terreno mediante estacas y rótulos de identificación que especificaban claramente la variedad de *Citrullus lanatus* asignada a dicha parcela. Se definieron parcelas de 36 m<sup>2</sup> (6 m x 6 m) cada una, separadas por calles de tránsito. Este diseño espacial se implementó con el fin de facilitar las labores culturales, permitir el libre desarrollo horizontal de las guías de la sandía sin causarles daño mecánico durante las evaluaciones, y anular el "efecto de borde" al tomar los datos de rendimiento morfológico y productivo exclusivamente de las 8 plantas centrales (parcela neta) de cada unidad.

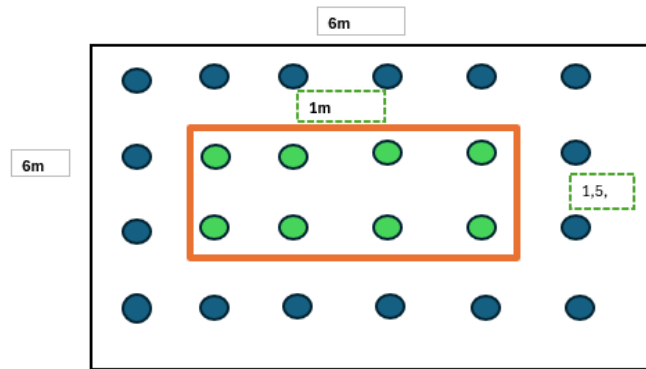


**Figura 3.** Distribución del ensayo

### 3.4.5. Población y muestra de la investigación

**Población:** La población total de la presente investigación estuvo conformada por 480 plantas de sandía (*Citrullus lanatus*). Estos individuos fueron distribuidos equitativamente en las 20 unidades experimentales que integraron el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), estableciéndose una densidad de 24 plantas por cada unidad experimental.

**Muestra:** Para la evaluación rigurosa de las variables agronómicas, fisiológicas y de rendimiento, el tamaño de la muestra efectiva fue de 160 plantas en total. Esta muestra se determinó aplicando un criterio de selección por "parcela neta", la cual estuvo constituida exclusivamente por las 8 plantas centrales de cada unidad experimental (20 unidades x 8 plantas). Se descartaron estrictamente las hileras perimetrales y las plantas de los extremos de cada parcela para eliminar el "efecto de borde".



**Figura 4.** Parcela neta

### 3.4.6. Procedimientos

#### 3.4.6.1. Preparación del sustrato y siembra en semillero

La propagación inicial se realizó en bandejas de germinación de 72 cavidades (dos bandejas por tratamiento). Se utilizó turba agrícola como sustrato (1 libra por bandeja), la cual fue humedecida e inoculada previamente con una mezcla desinfectante a base de Carboxin (200 g/L) + Thiram (200 g/L) para prevenir el complejo de marchitamiento fúngico (*Damping-off*). Se depositó una semilla por cavidad, se cubrió con una ligera capa de turba y se protegió bajo malla sombra (zarán) para mantener condiciones óptimas de humedad y temperatura.

#### 3.4.6.2. Preparación del terreno

El acondicionamiento físico del suelo en el Centro Experimental Alonso Tadeo se ejecutó de forma mecanizada mediante el paso de rastra. Esta labor cultural permitió romper terrones, mullir el perfil superficial y garantizar una cama de siembra con la textura suelta y aireada que requiere el sistema radicular de *Citrullus lanatus*.

#### 3.4.6.3. Trazado y delimitación del ensayo

El experimento se estableció a campo abierto abarcando un área total de 816 m<sup>2</sup>. Mediante el uso de estacas y piolas, se delimitaron 20 unidades experimentales de 36 m<sup>2</sup> (6 m x 6 m) cada una, correspondientes a los 4 tratamientos y 5 repeticiones del Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). Se trazaron calles de tránsito de 0.50 m de ancho entre unidades y bloques para facilitar las labores culturales sin afectar el desarrollo de las guías.

#### 3.4.6.4. Trasplante y desinfección inicial

El trasplante se ejecutó a los 18 días posteriores a la siembra en semillero, momento en el cual las plántulas alcanzaron el vigor adecuado. Se estableció una plántula por golpe (hoyo), respetando un marco de siembra de 1.00 m entre plantas y 1.50 m entre hileras. Inmediatamente después del trasplante, se aplicó un riego de asiento y una

desinfección localizada tipo *drench* en la base del tallo utilizando una mezcla de Clorotalonil (720 g/L), Tiametoxam (141 g/L) y Lambda-cialotrina (106 g/L) para prevenir el ataque temprano de patógenos del suelo e insectos cortadores.

#### 3.4.6.5. Manejo del riego

Considerando las condiciones edafoclimáticas cálido-secas de la zona, el suministro hídrico se gestionó mediante riego superficial por gravedad. Los turnos de riego se establecieron con una frecuencia de cada dos días, con una duración de 3 a 4 horas por evento, manteniendo un caudal mínimo estimado de 3 litros por minuto por surco, asegurando así que el suelo permaneciera a capacidad de campo durante las etapas fenológicas críticas de la sandía.

#### 3.4.6.6. Control de arvenses (malezas)

El manejo de arvenses se realizó mediante control físico-mecánico. Se ejecutaron deshierbes manuales con azadón a intervalos de 15 días desde el trasplante hasta el inicio de la primera cosecha, eliminando la competencia directa por agua, luz y nutrientes, y destruyendo posibles hospederos de plagas.

#### 3.4.6.7. Plan de fertilización edáfica

El programa de nutrición mineral se basó en la aplicación fraccionada de fertilizante compuesto N-P-K (8-20-20), buscando suplir la alta demanda de fósforo y potasio indispensable para la floración y el llenado del fruto en cucurbitáceas.

- Primera fertilización: Se realizó a los 10 días después del trasplante. Se aplicó una dosis de 20 g por planta, depositada en banda (a 5 cm de la base del tallo) y cubierta con suelo húmedo.
- Segunda fertilización: Se ejecutó a los 28 días después del trasplante, coincidiendo con el inicio de la fase de activo crecimiento vegetativo y emisión de guías.

#### 3.4.6.8. Manejo fitosanitario

El control de plagas y enfermedades se estructuró de manera preventiva y curativa, con aplicaciones quincenales mediante bomba de mochila de 20 L, adaptando los ingredientes activos a la etapa fenológica del cultivo:

3.4.6.9. Etapa vegetativa: Se priorizó el control de mosca blanca, minador de hojas y manchas foliares mediante la rotación de Lambda-cialotrina + Tiametoxam, Abamectina (18 g/L), Clorotalonil (720 g/L) y Azoxistrobina (500 g/L).

- Etapa de floración y fructificación: Para proteger las flores y frutos recién cuajados de insectos barrenadores, se aplicó Benzoato de emamectina + Indoxacarb, Spinosad (120 g/L) y Tebuconazol (250 g/L).
- Etapa de maduración y precosecha: Se enfocó en prevenir pudriciones fúngicas del fruto en contacto con el suelo mediante aplicaciones de Carbendazima (500 g/L) y Boscalid (500 g/kg).

#### 3.4.6.10. Cosecha y clasificación

La recolección de los frutos se realizó de forma manual y escalonada. El primer corte se ejecutó a los 78 días después del trasplante (ddt), extendiéndose el periodo de recolección hasta los 98 ddt. Los frutos fueron acopiados, limpiados e inmediatamente clasificados y pesados según las categorías comerciales preestablecidas para la evaluación del rendimiento.

#### 3.4.7. Variables evaluadas

Para la recolección de datos morfofisiológicos en la fase de campo, se seleccionaron las 8 plantas centrales de la parcela neta en cada unidad experimental. Para garantizar la precisión en las variables de desarrollo vegetativo, se identificaron y etiquetaron 4 guías (tallos) principales por cada planta evaluada.

##### 3.4.7.1. Porcentaje de germinación (%)

Se evaluó durante la fase de semillero. Se sembraron 144 semillas por cada variedad evaluada (distribuidas en 2 bandejas de germinación de 72 cavidades por tratamiento). El porcentaje se calculó relacionando el número de plántulas emergidas frente al total de semillas sembradas por variedad.

$$\% \text{ germinación} = \frac{144}{N^{\circ} \text{ semillas germinadas}} \times 100$$

##### 3.4.7.2. Número de hojas

Se cuantificó mediante el conteo visual directo de las hojas verdes funcionalmente activas presentes en las 4 guías etiquetadas de la parcela neta. Los registros se tomaron a los 14, 28, 42, 56 y 70 días después del trasplante (ddt).

##### 3.4.7.3. Diámetro de guías (mm)

Se midió el grosor de las 4 guías principales seleccionadas utilizando un calibrador vernier (pie de rey). La medición se estandarizó a 5 cm de la base de la guía (cuello de la planta) para evitar sesgos por ahusamiento apical. Se evaluó a los 28, 42, 56 y 70 ddt.

#### 3.4.7.4. Longitud de guías (cm)

Se determinó utilizando un flexómetro metálico, midiendo desde la inserción basal de la guía en el tallo principal hasta su ápice (meristemo apical). Los datos se registraron a los 28, 42, 56 y 70 ddt.

#### 3.4.7.5. Número de guías

Se realizó el conteo manual del total de guías secundarias y terciarias emitidas por cada planta de la parcela neta. Las mediciones se ejecutaron a los 28, 42, 56 y 70 ddt.

#### 3.4.7.6. Número de flores

Se cuantificó mediante observación directa el total de flores emitidas por planta. Este registro se realizó a los 42, 56 y 70 ddt para identificar el vigor reproductivo, lo cual permitió identificar la precocidad de las variedades y marcar el inicio exacto de su etapa reproductiva.

#### 3.4.7.7. Número de frutos

Se ejecutó el conteo manual de los frutos cuajados y en desarrollo presentes en las plantas de la parcela neta. La evaluación se realizó a los 42, 49, 56, 63 y 70 ddt.

#### 3.4.7.8. Peso de fruto y clasificación por categorías (kg)

El rendimiento productivo se evaluó durante la etapa de cosecha (entre los 77, 84, 91 y 98 ddt). Tras la recolección escalonada, los frutos de la parcela neta fueron pesados individualmente utilizando una balanza de precisión y se clasificaron en cinco categorías comerciales según su masa:

- Categoría 1 (Extra): Frutos de 8.00 kg a 15.00 kg.
- Categoría 2 (Primera): Frutos de 5.00 kg a 7.99 kg.
- Categoría 3 (Segunda): Frutos de 2.00 kg a 4.99 kg.
- Categoría 4 (Tercera): Frutos de 0.50 kg a 1.99 kg.
- Descarte: Frutos deformes, dañados o con un peso inferior a 0.50 kg.

#### 3.4.7.9. Circunferencia ecuatorial del fruto (cm)

Se determinó el grosor máximo de los frutos cosechados utilizando una cinta métrica flexible, midiendo el perímetro en la zona ecuatorial (transversal). Esta variable se registró en todos los frutos recolectados durante los cortes realizados a los 77, 84, 91 y 98 ddt.

#### 3.4.7.10. Sólidos solubles totales (Grados Brix)

Para determinar la calidad organoléptica y el nivel de dulzor, se extrajo una muestra de zumo de la pulpa central de los frutos cosechados (77, 84, 91 y 98 ddt). La lectura de la concentración de azúcares se realizó de forma directa utilizando un refractómetro óptico, expresando los resultados en porcentajes de °Brix.

#### 3.4.7.11. Análisis Beneficio/Costo (B/C)

Se desarrolló una evaluación financiera para determinar la rentabilidad económica de cada variedad evaluada. Se extrapoló el rendimiento de la parcela neta a kilogramos por hectárea (kg/ha). El indicador B/C se calculó dividiendo los Ingresos Brutos (proyección de ventas según la categoría del fruto en el mercado local) para los Costos Totales de Producción (preparación de terreno, semilla, fertilizantes, agroquímicos, riego y mano de obra) invertidos en cada tratamiento.

### **3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

En el experimento se implementó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), que incluyó 4 tratamientos y 5 repeticiones, sumando un total de 20 unidades experimentales. El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el programa R Studio, verificando los supuestos de normalidad a través de la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Bartlett para cada variable. Para las variables que cumplían con estos supuestos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de identificar diferencias significativas entre bloques y tratamientos. Los niveles de significancia arrojados por el ANOVA se reportarán bajo la siguiente jerarquía: Altamente Significativo ( $p < 0,001$ ), Muy Significativo ( $p < 0,01$ ), Significativo ( $p < 0,05$ ) y No Significativo ( $p > 0,05$ ). Además, se aplicó la prueba de Tukey al 5% de nivel de significancia para comparar las medias.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. Porcentaje de germinación (%)

En la Tabla 8 se exponen los resultados correspondientes a la variable porcentaje de germinación, evaluada durante la fase de semillero para las cuatro variedades de sandía (*Citrullus lanatus*). Estos valores experimentales fueron contrastados con los parámetros de referencia establecidos en las fichas técnicas de cada genotipo.

El tratamiento T4 (variedad Santanella) presentó el mayor porcentaje de germinación total, alcanzando un 96,5 %. Este valor supera ampliamente el estándar mínimo indicado por su casa comercial (> 72 %), lo que evidencia un excelente vigor inicial y una respuesta fisiológica sobresaliente bajo las condiciones de propagación del ensayo. En segundo lugar, el tratamiento T3 (Allsweet) logró un desempeño del 93,7 %, sobrepasando también lo reportado en su respectiva ficha técnica (> 85 %).

Por otro lado, los tratamientos T2 (Riverside) y T1 (Crimson Sweet) obtuvieron porcentajes de germinación del 86,8 % y 85,4 %, respectivamente. Si bien estos resultados se ubicaron de manera ligera por debajo de sus umbrales teóricos referenciales (90 % y 86,5 %), continúan siendo índices agrónomicamente altos y adecuados para garantizar el establecimiento del cultivo. En síntesis, las variedades Santanella y Allsweet demostraron la mayor calidad fisiológica de semilla, aunque todos los materiales genéticos garantizaron una viabilidad superior al 85 %.

**Tabla 8.** Porcentaje de germinación de las variedades de sandía evaluadas

Tratamientos	Semillas sembradas	Semillas no germinadas	Porcentaje total	Porcentaje ficha técnica
T1 V. Crimson Sweet	144	21	85.4%	86.5
T2 V. Riverside	144	19	86.8%	90
T3 V. AllSweet	144	9	93.7%	>85
T4 V. Santanella	144	5	96.5%	>72

#### 4.1.2. Número de hojas

El Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado para evaluar la emisión foliar en las cuatro variedades de sandía (*Citrullus lanatus*), presentado en la Tabla 9, demostró la existencia de variabilidad genética en el desarrollo vegetativo a lo largo del ciclo del cultivo. El factor tratamientos (variedades) presentó diferencias estadísticas Significativas ( $p < 0,05$ ) a los 14 y 42 días después del trasplante (ddt), y Muy Significativas ( $p < 0,01$ ) en las etapas de mayor expansión de guías, correspondientes a los 56 y 70 ddt. Únicamente a los 28 ddt la emisión de hojas fue estadísticamente igual para todas las variedades, resultando No Significativo ( $p > 0,05$ ).

Por otro lado, el efecto de los bloques no fue significativo en la mayoría de las evaluaciones, a excepción de los 42 ddt, donde resultó Altamente Significativo ( $p < 0,001$ ). Esto justifica metodológicamente la implementación del Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) para controlar la heterogeneidad espacial transitoria del lote experimental.

Finalmente, los coeficientes de variación (CV) oscilaron entre el 10,36 % y el 17,82 %, valores inferiores al 20 % que reflejan una alta precisión experimental y confiabilidad de los datos. El número promedio general de hojas aumentó de manera progresiva, pasando de 4,29 hojas en la fase de establecimiento (14 ddt) a 91,75 hojas en la etapa de fructificación (70 ddt), evidenciando un desarrollo vegetativo sostenido.

**Tabla 9.** Análisis de varianza para número de hojas (14, 28, 42, 56 y 70 ddt)

F.v	GL	# Hojas 1 (14 ddt)	# Hojas 2 (28 ddt)	# Hojas 3 (42 ddt)	# Hojas 4 (56 ddt)	# Hojas 5 (70 ddt)
		p valor				
Bloque	4	0.6713	0.326	0.001 ***	0.17212	0.311
Tratamientos	3	0.0311 *	0.125	0.0291 *	0.00201 **	0.003 **
Error	12					
Total	19					
Media (#)		4.29	17.85	62.56	77.3	91.75
CV (%)		10.36	16.22	0017.54	12.38	17.82

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de significancia para el número de hojas, detallada en la Tabla 10, evidenció que las variedades de sandía evaluadas presentan diferencias significativas en su desarrollo foliar a lo largo del ciclo de crecimiento. Durante la etapa inicial de establecimiento (14 ddt), el tratamiento T4 (Santanella) presentó la mayor cantidad de hojas verdaderas (4,90), ubicándose en el grupo estadístico A y compartiendo similitud con T1 (Crimson Sweet) y T2 (Riverside).

Sin embargo, a medida que el cultivo avanzó hacia las etapas de mayor expansión vegetativa, se observó un cambio drástico en el vigor de las plantas. El tratamiento T2 (Riverside) despuntó consistentemente a partir de los 42 días, registrando los mayores valores promedio y alcanzando 114,96 hojas a los 70 ddt (grupo A). De igual manera, el tratamiento T3 (Allsweet) presentó un excelente desempeño en las etapas finales, alcanzando 98,66 hojas a los 70 ddt, con lo cual igualó estadísticamente a Riverside (compartiendo el grupo A).

Por su parte, el tratamiento T1 (Crimson Sweet) mostró un desarrollo foliar intermedio, ubicándose en el grupo AB en la mayoría de las fechas y finalizando con 88,61 hojas. En contraste, el tratamiento T4 (Santanella), a pesar de su buen inicio, redujo significativamente su tasa de emisión foliar a partir de los 42 ddt, registrando el menor promedio al final del ensayo con apenas 64,76 hojas (grupo B).

Estos resultados sugieren que las variedades Riverside y Allsweet poseen una mayor capacidad de desarrollo vegetativo y adaptabilidad a las condiciones de campo abierto del Centro Experimental Alonso Tadeo.

**Tabla 10.** Prueba de Tukey al 5% para número de hojas (14, 42, 56 y 70 ddt)

Tratamientos	#Hojas 1 (14 ddt)		#Hojas 3 (42 ddt)		#Hojas 4 (56 ddt)		#Hojas 5 (70 ddt)	
	Media (cm)	Grupo	Media (cm)	Grupo	Media (cm)	Grupo	Media (cm)	Grupo
T1 V. Crimson Sweet	4.12	AB	62.68	AB	70.21	BC	88.61	AB
T2 V. Riverside	4.10	AB	74.30	A	92.05	A	114.96	A
T3 V. AllSweet	4.05	B	63.65	AB	83.79	AB	98.66	A
T4 V. Santanella	4.90	A	49.60	B	63.41	C	64.76	B

**Nota.** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.3. Diámetro de guías

El Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado para evaluar el diámetro de las guías principales en las cuatro variedades de sandía (*Citrullus lanatus*), detallado en la Tabla 11, evidenció un comportamiento fisiológico diferenciado durante el ciclo del cultivo. El factor tratamientos (variedades) presentó diferencias estadísticas Significativas ( $p < 0,05$ ) a los 42 y 70 días después del trasplante (ddt). Por el contrario, a los 28 y 56 ddt no se observaron diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ), indicando que en estas etapas específicas de establecimiento e intermedio, el grosor estructural de las guías fue similar entre todos los materiales genéticos evaluados.

Respecto al control local, el efecto de los bloques fue No Significativo ( $p > 0,05$ ) durante la mayor parte de las evaluaciones (28, 42 y 56 ddt). Sin embargo, a los 70 ddt se presentó un efecto Significativo ( $p < 0,05$ ), lo que sugiere que en la etapa final del cultivo (fructificación) influyeron ligeras variaciones edafoclimáticas propias del microespacio dentro del sitio de evaluación.

Es fundamental destacar que los coeficientes de variación (CV) fueron inferiores al 10 % en todas las lecturas (oscilando entre 4,21 % y 6,99 %). Estos valores reflejan una altísima precisión experimental y garantizan la confiabilidad de las mediciones realizadas. Finalmente, el diámetro promedio general de las guías aumentó de forma progresiva a lo largo del ciclo, pasando de 4,10 mm a los 28 ddt hasta consolidar 4,76 mm a los 70 ddt, lo cual evidencia un engrosamiento continuo y necesario para soportar el transporte masivo de agua y fotoasimilados hacia los frutos.

**Tabla 11.** Análisis de varianza para el diámetro de guías (28, 42, 56 y 70 ddt)

F.v	GL	Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3	Diámetro 4
		(28 ddt)	(42 ddt)	(56 ddt)	(70 ddt)
		<b>p valor</b>			
Bloque	4	0.12247	0.1789	0.128	0.0333 *
Tratamientos	3	0.0649	0.0129*	0.149	0.0293 *
Error	12				
Total	19				
Media (mm)		4.10	4.47	4.64	4.76
CV (%)		6.99	5.52	4.99	4.21

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 '.' 1.

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de significancia para el diámetro de guías a los 42 y 70 días después del trasplante (ddt), reflejada en la Tabla 12, evidenció diferencias significativas en el vigor estructural de las variedades de sandía evaluadas. El tratamiento T3 (Allsweet) mostró el mayor diámetro promedio en las etapas evaluadas, perteneciendo consistentemente al grupo estadístico A.

Por su parte, el tratamiento T1 (Crimson Sweet) mostró un desempeño intermedio, ubicándose en el grupo AB tanto a los 42 como a los 70 ddt. El tratamiento T2 (Riverside) presentó un menor vigor a los 42 ddt (grupo B), pero logró un engrosamiento compensatorio posterior que lo posicionó en el grupo AB a los 70 ddt. En contraste, el tratamiento T4 (Santanella) permaneció como la variedad con el menor desarrollo estructural, ubicándose en el grupo B en ambas etapas. Esto confirma una diferencia estadísticamente significativa respecto al tratamiento T3 (Allsweet) en todas las fechas, y en algunos casos, también frente a T1 (Crimson Sweet) y T2 (Riverside).

Este comportamiento indica un desarrollo vegetativo limitado en Santanella, lo que podría reflejar una menor adaptabilidad de esta variedad a las condiciones del sitio experimental. En conclusión, estos resultados sugieren que el tratamiento T3 (Allsweet) posee una mayor capacidad de crecimiento estructural bajo las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo, mostrando consistentemente las guías más gruesas en las fechas evaluadas.

**Tabla 12.** Prueba de Tukey al 5% para el diámetro de tallos, (42 y 70 ddt)

Tratamientos	Diámetro 2 (42 ddt)		Diámetro 4 (70 ddt)	
	Media (mm)	Grupos	Media (mm)	Grupos
T1 V. Crimson Sweet	4.57	AB	4.76	AB
T2 V. Riverside	4.25	B	4.65	AB
T3 V. AllSweet	4.80	A	5.02	A
T4 V. Santanella	4.28	B	4.61	B

**Nota.** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.4. Número de guías

El Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado para evaluar el número de guías emitidas en las cuatro variedades de sandía, presentado en la Tabla 13, mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos en todas las fechas evaluadas. Estos resultados indican que las variedades expresaron comportamientos diferenciados en su capacidad de ramificación a lo largo del ciclo. Específicamente, el factor tratamientos presentó diferencias Significativas ( $p < 0,05$ ) a los 28 y 70 días después del trasplante (ddt), y diferencias Muy Significativas ( $p < 0,01$ ) en las etapas de mayor emisión vegetativa, correspondientes a los 42 y 56 ddt.

Por otro lado, el efecto de los bloques resultó No Significativo ( $p > 0,05$ ) en todas las lecturas, lo que indica que las condiciones ambientales y de suelo dentro del campo experimental se mantuvieron homogéneas y no influyeron de manera importante en la variabilidad observada.

Los coeficientes de variación (CV) se mantuvieron por debajo del 15 % (oscilando entre 12,01 % y 14,52 %), lo que refleja una alta precisión en los datos obtenidos en campo. Finalmente, los valores promedio del número de guías mostraron un crecimiento progresivo a lo largo del ciclo, iniciando con 2,63 guías a los 28 ddt y alcanzando un promedio general de 3,90 guías a los 70 ddt.

**Tabla 13.** Análisis de varianza para el número de guías (28, 42, 56 y 70 ddt)

F.v	GL	Nº guías 1	Nº guías 2	Nº guías 3	Nº guías 4
		(28 ddt)	(42 ddt)	(56 ddt)	(70 ddt)
<b>p valor</b>					
Bloque	4	0.8095	0.44579	0.50063	0.328
Tratamientos	3	0.0472 *	0.00223 **	0.00224 **	0.011 *
Error	12				
Total	19				
Media (#)		2.63	3.62	3.68	3.90
CV (%)		14.52	12.17	12.60	12.01

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de significancia para el número de guías a los 28, 42, 56 y 70 días después del trasplante (ddt), reflejada en la Tabla 14, evidenció que las variedades de sandía evaluadas muestran diferencias significativas en su capacidad de ramificación a lo largo del ciclo. El tratamiento T2 (Riverside) registró los mayores valores promedio desde los 28 hasta los 70 ddt, perteneciendo consistentemente al grupo estadístico A, lo que lo posiciona como la variedad con mayor vigor vegetativo y mejor adaptabilidad. El tratamiento T3 (Allsweet) también presentó un desempeño destacado, compartiendo el grupo A con Riverside en todas las fechas evaluadas.

Por su parte, el tratamiento T1 (Crimson Sweet) mostró un comportamiento intermedio; se ubicó en el grupo AB a los 28 ddt, posteriormente alcanzó el grupo A a los 42 y 56 ddt, y finalizó en el grupo AB a los 70 ddt. Esto indica que, si bien mantiene un nivel de desarrollo vegetativo aceptable, presenta valores ligeramente inferiores a los de Riverside y Allsweet hacia el final del ciclo. En contraste, el tratamiento T4 (Santanella) presentó los promedios más bajos, perteneciendo consistentemente al grupo B en las cuatro evaluaciones. Esto evidencia una diferencia estadísticamente significativa con respecto a Riverside y Allsweet durante todo el crecimiento del cultivo.

Estos resultados sugieren que las variedades Riverside y Allsweet presentan una mayor expresión de crecimiento vegetativo y adaptabilidad al ambiente de campo abierto, mientras que Crimson Sweet mantiene un desempeño intermedio. En contraparte, Santanella muestra la menor respuesta en esta variable, lo que podría influir negativamente en su desempeño agronómico general.

**Tabla 14.** Prueba de Tukey al 5% para el número de guías, (28, 42, 56 y 70 ddt)

Tratamientos	N° guías 1 (28 ddt)		N° guías 2 (42 ddt)		N° guías 3 (56 ddt)		N° T guías 4 (70 ddt)	
	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
T1 V. Crimson Sweet	2.46	AB	3.75	A	3.85	A	3.87	AB
T2 V. Riverside	2.92	A	4.12	A	4.25	A	4.37	A
T3 V. AllSweet	2.87	A	3.85	A	3.85	A	4.15	A
T4 V. Santanella	2.26	B	2.77	B	2.80	B	3.21	B

**Nota.** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.5. Longitud de guías

El Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado para evaluar la longitud de las guías principales en las cuatro variedades de sandía, desde los 28 hasta los 70 días después del trasplante (ddt), detallado en la Tabla 15, evidencia que el comportamiento de esta variable presentó diferencias estadísticas entre variedades. Específicamente, el factor tratamientos mostró diferencias Muy Significativas ( $p < 0,01$ ) a los 42 y 70 ddt, y Altamente Significativas ( $p < 0,001$ ) a los 56 ddt. Por el contrario, a los 28 ddt no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), lo que sugiere que durante las primeras etapas de desarrollo la elongación de la guía fue similar entre los materiales genéticos evaluados.

Respecto al control local, el efecto de los bloques evidenció diferencias Significativas ( $p < 0,05$ ) únicamente a los 28 ddt, lo que sugiere una ligera variabilidad espacial transitoria en el campo experimental durante el establecimiento del cultivo. No obstante, la ausencia de significancia ( $p > 0,05$ ) en las evaluaciones posteriores confirma una adecuada homogeneidad en las condiciones del lote.

Los coeficientes de variación (CV) fueron inferiores al 15 % (oscilando entre 10,62 % y 13,44 %), lo que indica una alta precisión en los datos obtenidos. Finalmente, las longitudes promedio de las guías muestran un crecimiento progresivo, pasando de 0,31 m a los 28 ddt a un valor de 2,50 m a los 70 ddt, lo cual evidencia un crecimiento continuo y sostenido del sistema vegetativo, con diferencias definidas entre variedades en las etapas intermedias y finales del desarrollo.

**Tabla 15.** Análisis de varianza para longitud de guías (28, 42, 56 y 70 ddt)

F.v	GL	Long 1 (28 ddt)	Long 2 (42 ddt)	Long 3 (56 ddt)	Long 4 (70 ddt)
		p valor			
Bloque	4	0.0467 *	0.08795	0.404	0.30196
Tratamientos	3	0.1531	0.00306 **	4.94e-05 **	0.00765 **
Error	12				
Total	19				
Media (m)		0.31	0.98	1.93	2.50
CV (%)		10.62	12.23	11.89	13.44

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de significancia para la longitud de guías a los 42, 56 y 70 días después del trasplante (ddt), reflejada en la Tabla 16, evidencia que las variedades de sandía evaluadas presentan diferencias significativas en su capacidad de elongación vegetativa a lo largo del ciclo del cultivo.

A los 42 y 56 ddt, los tratamientos T2 (Riverside) y T3 (Allsweet) registraron las mayores longitudes promedio, ubicándose en el grupo estadístico A. Sin embargo, hacia el final de la evaluación (70 ddt), se ubicaron en el grupo intermedio AB. Por su parte, el tratamiento T1 (Crimson Sweet) mostró un comportamiento diferente; a los 42 ddt presentó un vigor intermedio (grupo AB), pero a los 56 y 70 ddt aceleró su crecimiento ubicándose en el grupo A, lo que indica un desarrollo vegetativo competitivo y sostenido en las etapas finales.

En contraste, el tratamiento T4 (Santanella) presentó los menores valores promedio de longitud de guías en las tres fechas evaluadas (42, 56 y 70 ddt), ubicándose consistentemente en el grupo B. Esto confirma una diferencia estadísticamente significativa respecto a las variedades Crimson Sweet, Riverside y Allsweet. Este comportamiento sugiere un menor vigor vegetativo y una adaptabilidad limitada bajo las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC.

En síntesis, estos resultados sugieren que Riverside y Allsweet presentan un crecimiento vegetativo destacado, especialmente en las etapas iniciales y medias del cultivo, mientras que Crimson Sweet consolida la mayor elongación hacia el final de la fase vegetativa, demostrando en conjunto una buena adaptabilidad al ambiente de campo abierto.

**Tabla 16.** Prueba de Tukey al 5% para la longitud de guías, (42, 56 y 70 ddt)

Tratamientos	Long 2 (42 ddt)		Long 3 (56 ddt)		Long 4 (70 ddt)	
	Media (m)	Grupos	Media (m)	Grupos	Media(m)	Grupos
T1 V. Crimson Sweet	0.91	AB	2.33	A	2.69	A
T2 V. Riverside	1.08	A	1.95	A	2.52	AB
T3 V. AllSweet	1.15	A	2.17	A	2.84	AB
T4 V. Santanella	0.78	B	1.27	B	1.96	B

**Nota.** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.6. Número de flores

El Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado para evaluar el número de flores en las cuatro variedades de sandía a los 42, 56 y 70 días después del trasplante (ddt), detallado en la Tabla 17, evidenció que las variedades presentan comportamientos florales contrastantes durante el ciclo reproductivo. El factor tratamientos mostró diferencias estadísticas Altamente Significativas ( $p < 0,001$ ) en las tres fechas evaluadas.

Por otro lado, el efecto de los bloques fue No Significativo a los 42 y 56 ddt ( $p > 0,05$ ), lo que indica que las condiciones ambientales del campo se mantuvieron homogéneas durante la etapa de máxima floración. Sin embargo, a los 70 ddt se registró un efecto Significativo del bloque ( $p < 0,05$ ).

Los coeficientes de variación (CV) fueron inferiores al 20 % (oscilando entre 13,44 % y 18,10 %), lo que indica una precisión aceptable en los datos obtenidos en campo. Finalmente, el número promedio general de flores emitidas por planta mostró un incremento progresivo al inicio de la etapa reproductiva, pasando de 4,37 flores a los 42 ddt, a un máximo de 6,37 flores a los 56 ddt; seguido de una reducción fisiológica natural y drástica hacia los 70 ddt (0,31 flores), momento en el cual la planta prioriza la partición de asimilados hacia el llenado de los frutos.

**Tabla 17.** Análisis de varianza para el número de flores (42, 56 y 70 ddt)

F.v	GL	# Flores 1 (42 ddt)	# Flores 2 (56 ddt)	# Flores 3 (70 ddt)
		p valor		
Bloque	4	0.396	0.457073	0.04100 *
Tratamientos	3	5.2e-08 ***	0,001 ***	0,001 ***
Error	12			
Total	19			
Media (#)		4.37	6.37	0.31
CV (%)		13.44	15.27	18.10

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '\*' 0.1 '.' 1. ''

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de significancia para el número de flores, evaluado a los 42, 56 y 70 días después del trasplante (ddt) y

reflejada en la Tabla 18, evidencia que las variedades de sandía presentan diferencias significativas en su capacidad reproductiva a lo largo del ciclo.

A los 42 y 56 ddt, los tratamientos T1 (Crimson Sweet), T2 (Riverside) y T3 (Allsweet) lograron la mayor emisión de flores, perteneciendo consistentemente al grupo estadístico A en ambas fechas, lo que indica un desempeño reproductivo superior y estadísticamente similar entre ellos. A los 70 ddt, etapa de declive floral natural, el tratamiento T1 (Crimson Sweet) continuó liderando en el grupo A, mientras que el tratamiento T2 (Riverside) se ubicó en el grupo AB, indicando un desempeño ligeramente inferior, pero sin diferencias estadísticas marcadas frente a T1. Por su parte, el tratamiento T3 (Allsweet) pasó al grupo BC, mostrando una caída estadística más pronunciada en la cantidad de flores residuales.

En contraste, el tratamiento T4 (Santanella) presentó los menores promedios en todas las evaluaciones, ubicándose en el grupo B a los 42 y 56 ddt, y cayendo al grupo C a los 70 ddt. Esto confirma una diferencia estadísticamente significativa respecto a las otras tres variedades a lo largo de toda la fase reproductiva.

Estos resultados sugieren que Crimson Sweet y Riverside presentan una mayor capacidad reproductiva bajo las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo, especialmente en las etapas iniciales e intermedias del cultivo. Allsweet muestra un comportamiento aceptable, pero con una reducción marcada hacia el final del ciclo. En contraparte, Santanella exhibe consistentemente una menor producción de flores, lo que evidencia una menor adaptabilidad reproductiva al ambiente de campo abierto y podría limitar su desempeño agronómico general.

**Tabla 18.** Prueba de Tukey al 5% para el número de flores, (42, 56 y 70 ddt)

Tratamientos	# Flores 1 (42 ddt)		# Flores 2 (56 ddt)		# Flores 3 (70 ddt)	
	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
T1 V. Crimson Sweet	9.87	A	7.79	A	0.44	A
T2 V. Riverside	11.18	A	6.38	A	0.34	AB
T3 V. AllSweet	10.77	A	7.54	A	0.38	BC
T4 V. Santanella	2.91	B	3.77	B	0.19	C

**Nota.** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

#### 4.1.7. Número de frutos

El Análisis de Varianza (ADEVA) aplicado para el número de frutos en las cuatro variedades de sandía, desde los 42 hasta los 70 días después del trasplante (ddt), presentado en la Tabla 19, mostró diferencias estadísticas entre tratamientos. Específicamente, se detectaron diferencias Altamente Significativas ( $p < 0,001$ ) a los

42 ddt, Significativas ( $p < 0,05$ ) a los 49 ddt, y Muy Significativas ( $p < 0,01$ ) a los 70 ddt. Por el contrario, a los 56 y 63 ddt no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos ( $p > 0,05$ ), lo que indica que en esta etapa intermedia del ciclo el comportamiento de cuaje productivo fue similar.

Respecto al control local, el efecto de los bloques fue No Significativo ( $p > 0,05$ ) a los 42, 49, 56 y 70 ddt, evidenciando que las condiciones del campo experimental se mantuvieron uniformes durante la mayor parte del ciclo. Sin embargo, a los 63 ddt y en el consolidado de frutos totales se registró un efecto Significativo del bloque ( $p < 0,05$ ), lo que podría indicar la influencia puntual de variaciones ambientales o microedáficas.

El conteo del "Total de frutos" presentó diferencias Altamente Significativas ( $p < 0,001$ ) entre tratamientos, lo cual confirma que las variedades evaluadas difieren estadísticamente en su rendimiento final en número de frutos, constituyendo un indicador clave para determinar su adaptabilidad. Los coeficientes de variación (CV) se mantuvieron por debajo del 20 % (oscilando entre 10,79 % y 18,65 %), valores aceptables que reflejan una adecuada precisión experimental. Finalmente, el número promedio de frutos por planta mostró una ligera variación a lo largo del ciclo, iniciando con 1,22 frutos a los 42 ddt, alcanzando un máximo de 1,60 a los 56 ddt y estabilizándose en 1,38 frutos hacia los 70 ddt; mientras que el acumulado total promedio alcanzó 7,01 frutos por parcela neta.

**Tabla 19.** Análisis de varianza para el número de frutos (42, 49, 56, 63 y 70 ddt)

F.v	GL	# Frutos 1 (42 ddt)	# Frutos 2 (49 ddt)	# Frutos 3 (56 ddt)	# Frutos 4 (63 ddt)	# Frutos 5 (70 ddt)	Total
		p valor					
Bloque	4	0.4727	0.1975	0.6023	0.2673	0.1124	0.0368 *
Tratamientos	3	0,001 ***	0.3355	0.1695	0.0711	0.00399 **	0,001 ***
Error	12						
Total	19						
Media (#)		1.22	1.32	1.60	1.48	1.38	7.01
CV (%)		18.31	17.84	16.79	17.73	18.65	10.79

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de significancia para el número de frutos, detallada en la Tabla 20, reveló diferencias significativas en la capacidad de cuajado y rendimiento final de las variedades evaluadas. A los 42 y 70 días después del trasplante (ddt), así como en el total acumulado de frutos, el tratamiento T1 (Crimson Sweet) se destacó con el mayor número promedio, integrándose de manera constante en el grupo estadístico A.

Por su parte, el tratamiento T4 (Santanella) mostró una capacidad de cuajado progresiva: a los 42 ddt se ubicó en el grupo intermedio BC, pero a los 70 ddt alcanzó su máxima emisión, ubicándose en el grupo A (compartido con T1). Al final del ciclo, Santanella logró un promedio total de 7,50 frutos por planta, ubicándose en el grupo A de mayor rendimiento junto a Crimson Sweet (8,03 frutos acumulados).

El tratamiento T2 (Riverside) mantuvo un cuajado intermedio a lo largo de las evaluaciones (grupo AB a los 42 y 70 ddt), finalizando su ciclo productivo en el grupo A con un total de 7,12 frutos. En contraste, el tratamiento T3 (Allsweet) presentó sistemáticamente los valores más bajos; a los 42 ddt se ubicó en el grupo C, y a los 70 ddt en el grupo B. Esta baja tasa de emisión repercutió directamente en su rendimiento final, registrando el menor número total de frutos acumulados (5,40), con lo cual quedó aislado estadísticamente en el grupo B.

Estos resultados indican que Crimson Sweet y Santanella presentan la mejor capacidad productiva bajo las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo, destacándose en varias etapas del desarrollo reproductivo y en el rendimiento final. Estos hallazgos sugieren una mayor adaptabilidad productiva de las variedades Crimson Sweet y Santanella en condiciones de campo abierto.

**Tabla 20.** Prueba de Tukey al 5% para el número de frutos

Tratamientos	# fruto 1 (42 ddt)		# fruto 5 (70 ddt)		Total, frutos	
	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
T1 V. Crimson Sweet	1.64	A	1.65	A	8.03	A
T2 V. Riverside	1.34	AB	1.20	AB	7.12	A
T3 V. AllSweet	0.74	C	1.02	B	5.40	B
T4 V. Santanella	1.14	BC	1.65	A	7.50	A

**Nota.** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.8. Peso de fruto

El Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado para evaluar el peso del fruto en las cuatro variedades de sandía durante las cosechas realizadas a los 77, 84, 91 y 98 días después del trasplante (ddt), presentado en la Tabla 21, mostró diferencias estadísticas entre tratamientos. Específicamente, el factor tratamientos evidenció diferencias Altamente Significativas ( $p < 0,001$ ) en todas las fechas evaluadas y en el peso total acumulado. Esto indica que el peso de los frutos varió de manera consistente y marcada entre las distintas variedades genéticas.

Por su parte, el efecto de los bloques fue No Significativo ( $p > 0,05$ ) en todas las fechas evaluadas, así como en el total acumulado. Esto evidencia que las condiciones

ambientales y edáficas dentro del campo experimental fueron homogéneas y no influyeron de manera detectable en la variabilidad del peso de los frutos.

Los coeficientes de variación (CV) se mantuvieron inferiores al 20 % (oscilando entre 7,94 % para el total y 19,90 % en las mediciones parciales), reflejando una precisión adecuada en la recolección de datos. Las medias de peso obtenidas por cosecha muestran fluctuaciones entre 1,30 kg y 1,51 kg a lo largo del ciclo, estabilizándose en 1,38 kg a los 98 ddt, mientras que el peso total promedio por parcela alcanzó los 5,69 kg. Estos resultados indican que las variedades presentan respuestas diferenciadas en el rendimiento físico bajo las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC, lo que permite identificar genotipos con mayor potencial productivo durante las etapas finales del cultivo.

**Tabla 21.** Análisis de varianza para el peso de frutos (77, 84, 91 y 98 ddt)

F.v	GL	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Total
		(77 ddt)	(84 ddt)	(91 ddt)	(98 ddt)	
		p valor				
Bloque	4	0.407	0.248749	0.154612	0.73406	0.0727
Tratamientos	3	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***
Error	12					
Total	19					
Media (kg)		1.30	1.49	1.51	1.38	5.69
CV (%)		12.69	18.05	19.62	19.90	7.94

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de significancia para el peso de fruto, evaluado entre los 77 y 98 días después del trasplante (ddt) y presentado en la Tabla 22, evidenció que las variedades de sandía muestran diferencias significativas en su capacidad de acumulación de biomasa a lo largo del ciclo reproductivo.

Los tratamientos T1 (Crimson Sweet) y T2 (Riverside) alcanzaron los mayores pesos promedio en los días 77, 84, 91 y 98 ddt, clasificándose consistentemente en el grupo estadístico A. Este desempeño destaca su capacidad para producir frutos de mayor tamaño desde las primeras cosechas. El tratamiento T3 (Allsweet) mostró un comportamiento intermedio a los 77 ddt ubicándose en el grupo B, diferenciándose significativamente de T1 y T2; sin embargo, a partir de los 84, 91 y 98 ddt pasó a formar parte del grupo A, igualando estadísticamente a Crimson Sweet y Riverside. En contraste, el tratamiento T4 (Santanella) se ubicó de forma consistente en el grupo inferior B desde los 77 hasta los 98 ddt, evidenciando una menor capacidad de llenado de fruto.

Al analizar el peso total acumulado a lo largo de las cuatro cosechas, la tendencia estadística se consolida. Los tratamientos T2 (6,57 kg), T1 (6,54 kg) y T3 (6,31 kg) comparten el grupo de mayor rendimiento (grupo A), distanciándose significativamente del tratamiento T4 (Santanella), el cual registró el menor acumulado con 3,31 kg (grupo B).

Estos resultados sugieren que Crimson Sweet y Riverside poseen la mejor expresión productiva en términos de peso de fruto, seguidos por Allsweet, que presenta un desempeño aceptable y compensatorio en etapas avanzadas del cultivo. Por otro lado, Santanella se posiciona como la variedad de menor potencial productivo para esta variable, lo que podría estar relacionado con características genéticas propias del híbrido o una menor adaptación al ambiente evaluado.

**Tabla 22.** Prueba de Tukey al 5% para el peso de frutos

Tratamientos	Peso 1 (77 ddt)		Peso 2 (84 ddt)		Peso 3 (91 ddt)		Peso 4 (98 ddt)		Total	
	Media (Kg)	Grupos	Media (Kg)	Grupos	Media (Kg)	Grupos	Media (Kg)	Grupos	Media (Kg)	Grupos
T1 V. Crimson Sweet	1.57	A	1.83	A	1.60	A	1.54	A	6.54	A
T2 V. Riverside	1.57	A	1.59	A	1.84	A	1.57	A	6.57	A
T3 V. AllSweet	1.14	B	1.73	A	1.77	A	1.67	A	6.31	A
T4V. Santanella	0.93	B	0.80	B	0.83	B	0.75	B	3.31	B

**Nota:** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.8. Clasificación por categorías (kg)

El análisis para la variable de categorías del fruto en las variedades de sandía fue realizado de acuerdo con los rangos de peso comercial (kg) establecidos en las fichas técnicas, dividiéndolas en: Categoría 1 (8 – 15 kg); Categoría 2 (5 – 7,9 kg); Categoría 3 (2 – 4 kg); Categoría 4 (0,5 – 1,99 kg) y Categoría Descarte (< 0,5 kg). De acuerdo con los pesos promedios obtenidos, los tratamientos T1 (Crimson Sweet), T2 (Riverside) y T3 (Allsweet) se ubicaron comercialmente en la Categoría 4, ya que sus frutos oscilaron en el rango inferior a 2 kg. Por su parte, el tratamiento T4 (Santanella) no fue tomado en cuenta en este análisis de varianza, debido a que el promedio de su peso fue de 365,15 gramos, ubicándose directamente en la Categoría Descarte.

El Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado exclusivamente a las variedades clasificadas en la Categoría 4, presentado en la Tabla 23, no presentó diferencias estadísticas Significativas entre los tratamientos evaluados ( $p > 0,05$ ). Esto indica que Crimson Sweet, Riverside y Allsweet tuvieron un comportamiento estadísticamente

similar dentro de este rango de peso. Asimismo, el efecto de los bloques fue No Significativo ( $p > 0,05$ ), lo que indica que las condiciones del campo experimental se mantuvieron homogéneas y la variabilidad espacial no influyó de manera importante sobre el rendimiento obtenido.

El coeficiente de variación (CV) fue de 26,56 %, con una media general de 780,90 gramos por fruto en esta categoría. Estos resultados permiten concluir que, si bien las tres mejores variedades no difirieron estadísticamente entre sí dentro de la Categoría 4, el rendimiento general sí está fuertemente influenciado por la genética, ya que la variedad Santanella ni siquiera logró alcanzar los estándares mínimos de peso comercial, lo que aporta un criterio sólido para la selección de materiales genéticos bajo las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC.

**Tabla 23.** Análisis de varianza para la categoría 4

F.v	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	p-valor
Bloque	4	471664	117916	2.739	0.105
Tratamientos	2	126944	63472	1.474	0.285
Error	8	344371	43046		
Total	14				
Media (kg)	780.90				
CV (%)	26.56				

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

El análisis de medias para la Categoría 4, presentado en la Tabla 24, mostró que las variedades evaluadas no evidenciaron diferencias estadísticas en la producción de frutos correspondientes a esta categoría comercial a los 98 días después del trasplante (ddt). Los tratamientos T1 (Crimson Sweet), T2 (Riverside) y T3 (Allsweet) se ubicaron dentro del mismo grupo estadístico A, indicando que el peso promedio de los frutos clasificados en la Categoría 4 fue similar entre las tres variedades.

Aunque las medias registraron variaciones numéricas desde 657,54 g en Crimson Sweet hasta 878,33 g en Riverside, estas diferencias matemáticas no fueron suficientes para establecer contrastes estadísticamente significativos entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ). Esta homogeneidad en la respuesta sugiere que el peso específico dentro de la Categoría 4 no depende de manera marcada del factor varietal bajo las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC, sino que su variabilidad podría estar asociada a factores ambientales o a la amplitud natural del rango de esta categoría de clasificación.

**Tabla 24.** Medias de peso para los frutos de la Categoría 4 a los 98 ddt

Tratamientos	Media (g)
T1 V. Crimson Sweet	657.54
T2 V. Riverside	878.33
T3 V. AllSweet	806.92

**Nota.** El tratamiento T4 (Santanella) fue excluido del análisis por no alcanzar el peso mínimo de esta categoría comercial (considerado descarte).

#### 4.1.9. Circunferencia ecuatorial del fruto

El Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado para evaluar la circunferencia ecuatorial del fruto en las cuatro variedades de sandía, desde los 77 hasta los 98 días después del trasplante (ddt), presentado en la Tabla 25, mostró diferencias estadísticas entre tratamientos. Específicamente, se detectaron diferencias Significativas ( $p < 0,05$ ) a los 84 y 91 ddt, y Muy Significativas ( $p < 0,01$ ) a los 98 ddt. En contraste, a los 77 ddt no se detectaron diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ), lo que sugiere que, en esta etapa temprana del llenado, el crecimiento transversal del fruto aún es similar entre las variedades evaluadas.

Respecto al control local, el efecto de los bloques fue No Significativo ( $p > 0,05$ ) a los 77, 84 y 91 ddt, lo que indica condiciones homogéneas dentro del campo experimental. Sin embargo, a los 98 ddt se registró un efecto Muy Significativo del bloque ( $p < 0,01$ ), lo que podría indicar una influencia puntual del microclima o suelo en la etapa final de cosecha.

Los coeficientes de variación (CV) se mantuvieron inferiores al 20 % (oscilando entre 14,10 % y 19,61 %), evidenciando una buena precisión. Además, la circunferencia ecuatorial promedio mostró variaciones a lo largo del ciclo, con valores entre 26,78 cm y 27,18 cm en las mediciones iniciales, disminuyendo a 24,48 cm a los 98 ddt, lo que podría estar asociado a ajustes fisiológicos o a la recolección de frutos de diferentes calibres propios de la etapa final del desarrollo. Estos resultados reflejan que las diferencias entre variedades se expresan principalmente en las fases intermedias y finales del llenado del fruto, evidenciando comportamientos diferenciados en su capacidad de crecimiento y adaptación a las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC.

**Tabla 25.** Análisis de varianza para la circunferencia ecuatorial de fruto (77, 84, 91 y 98 ddt)

F.v	GL	Circunferencia 1	Circunferencia 2	Circunferencia 3	Circunferencia 4
		(77 ddt)	(84 ddt)	(91 ddt)	(98 ddt)
		<b>p valor</b>			
Bloque	4	0.0767	0.6783	0.2176	0.00275 **
Tratamientos	3	0.0834	0.0184 *	0.0169 *	0.00111 **
Error	12				
Total	19				
Media (cm)		26.78	27.18	27.03	24.48
CV (%)		18.8	19.58	19.61	14,1

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de significancia para la circunferencia ecuatorial del fruto, reflejada en la Tabla 26, indicó que las variedades evaluadas muestran diferencias significativas en determinadas etapas del desarrollo reproductivo a partir de los 84 días después del trasplante (ddt).

A los 84 ddt se evidenciaron contrastes notorios. El tratamiento T1 (Crimson Sweet) presentó la mayor circunferencia promedio (32,73 cm), ubicándose en el grupo estadístico A, mientras que el tratamiento T4 (Santanella) se situó en el grupo B, mostrando el menor crecimiento perimetral en esta fecha. Los tratamientos T2 (Riverside) y T3 (Allsweet) integraron el grupo de transición AB, lo que refleja un comportamiento intermedio.

A los 91 ddt, los tratamientos T2 (Riverside) y T1 (Crimson Sweet) lideraron el crecimiento, manteniéndose en el grupo A con las mayores circunferencias promedio (31,79 cm y 31,12 cm, respectivamente). En contraste, el tratamiento T3 (Allsweet) se ubicó en el grupo B, registrando el menor valor en esta evaluación, mientras que el tratamiento T4 (Santanella) quedó en el grupo intermedio AB.

Finalmente, a los 98 ddt, el comportamiento se invirtió: el tratamiento T3 (Allsweet) alcanzó la mayor circunferencia promedio (31,62 cm) y se posicionó de manera aislada en el grupo A, diferenciándose estadísticamente de los demás. Por su parte, T1 (Crimson Sweet), T2 (Riverside) y T4 (Santanella) se ubicaron en el grupo B, evidenciando circunferencias significativamente menores a la de T3 en esta fase final de recolección.

**Tabla 26.** Prueba de Tukey al 5% para circunferencia ecuatorial del fruto

Tratamientos	Circunferencia 2 (84 ddt)		Circunferencia 3 (91 ddt)		Circunferencia 4 (98 ddt)	
	Media (cm)	Grupos	Media (cm)	Grupos	Media (cm)	Grupos
T1 v. Crimson Sweet	32.73	A	31.12	A	21.87	B
T2 v. Riverside	23.30	AB	31.79	A	20.30	B
T3 v. AllSweet	30.62	AB	20.74	B	31.62	A
T4 v. Santanella	22.06	B	24.46	AB	24.12	B

**Nota.** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.10. Sólidos solubles totales (Grados Brix)

El Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado para evaluar los sólidos solubles totales (grados Brix) en las cuatro variedades de sandía, desde los 77 hasta los 98 días después del trasplante (ddt), presentado en la Tabla 27, mostró diferencias estadísticas Altamente Significativas entre tratamientos ( $p < 0,001$ ) en todas las fechas evaluadas. Esto indica que los grados Brix variaron de manera consistente y genéticamente marcada entre las variedades.

Por su parte, el efecto de los bloques fue No Significativo en ninguna de las mediciones ( $p > 0,05$ ), lo que confirma que las condiciones del campo experimental se mantuvieron homogéneas. Este comportamiento refuerza la confiabilidad del ensayo y la validez de las diferencias detectadas exclusivamente por el factor varietal.

Los coeficientes de variación (CV) se mantuvieron por debajo del 8 % en todas las evaluaciones (oscilando entre 4,35 % y 7,30 %), lo que reflejó una altísima precisión en los datos obtenidos con el refractómetro. Los valores promedio generales de grados Brix se mantuvieron relativamente estables a lo largo de las cosechas, oscilando entre 11,57 y 11,91 °Brix. Estos resultados permiten concluir que la calidad interna del fruto, medida como concentración de sólidos solubles, está fuertemente influenciada por la variedad en todas las fases de madurez evaluadas. Esto aporta un criterio relevante para la selección de materiales con mayor potencial de aceptación comercial bajo las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo - UPEC.

**Tabla 27.** Análisis de varianza para para grados brix a los (77, 84, 91 y 98 ddt)

F.v	GL	Brix° 1	Brix° 2	Brix° 3	Brix° 4
		(77 ddt)	(84 ddt)	(91 ddt)	(98 ddt)
		<b>p valor</b>			
Bloque	4	0.836	0.292157	0.509	0.61
Tratamientos	3	8.07e-08 ***	0.000124 ***	2.38e-05 ***	1.29e-05 ***
Error	12				
Total	19				
Media (°B)		11.6	11.59	11.91	11.57
CV (%)		4.35	7.30	6.34	6.19

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de significancia para los sólidos solubles totales (grados Brix), evaluados entre los 77 y 98 días después del trasplante (ddt) y reflejada en la Tabla 28, indicó que las variedades tienen un efecto estadísticamente significativo en la acumulación de azúcares del fruto a lo largo del ciclo de cosecha.

El tratamiento T1 (Crimson Sweet) destacó al registrar los valores promedio más altos en los días 77, 84, 91 y 98 ddt, manteniéndose consistentemente en el grupo estadístico A. Esto confirma que esta variedad posee una mayor concentración de sólidos solubles de forma estable a lo largo del tiempo. El tratamiento T3 (Allsweet) presentó un comportamiento destacable pero fluctuante; a los 77 y 91 ddt logró ubicarse en el grupo A (compartiendo el liderazgo estadístico con Crimson Sweet), pero a los 84 y 98 ddt descendió al grupo B, mostrando valores intermedios.

En contraste, los tratamientos T2 (Riverside) y T4 (Santanella) obtuvieron sistemáticamente los valores más bajos. A los 77 y 91 ddt ambos se ubicaron en el grupo B. Sin embargo, a los 84 ddt Riverside se ubicó en el grupo de transición BC y Santanella en el grupo C; tendencia de baja acumulación que se confirmó plenamente a los 98 ddt, donde ambas variedades quedaron rezagadas de forma conjunta en el grupo estadístico C.

Estos resultados demuestran que Crimson Sweet y Allsweet poseen una mayor capacidad fisiológica para acumular azúcares, lo que les confiere ventajas comerciales importantes. Por el contrario, Riverside y especialmente Santanella presentan un menor dulzor interno, lo que podría limitar su preferencia en mercados donde los grados Brix son un atributo determinante de calidad.

**Tabla 28.** Prueba de Tukey al 5% para grados brix

Tratamientos	Brix° 1 (77 ddt)		Brix° 2 (84 ddt)		Brix° 3 (91 ddt)		Brix° 4 (98 ddt)	
	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
T1 V. Crimson Sweet	13.56	A	13.5	A	13.75	A	13.70	A
T2 V. Riverside	10.14	B	11.24	BC	10.34	B	10.48	C
T3 V. AllSweet	12.82	A	11.89	B	12.84	A	12.06	B
T4 V. Santanella	9.96	B	9.72	C	10.70	B	10.04	C

**Nota.** Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.11. Análisis Beneficio/Costo (B/C)

El análisis económico para la producción de sandía, estimado para una hectárea (ha) y enfocado exclusivamente en la comercialización de frutos de Categoría 4 (precio de venta de \$2,00 USD por unidad), se detalla en la Tabla 29. Los resultados evidencian que, bajo las condiciones del Centro Experimental Alonso Tadeo y con la estructura de costos implementada, la producción no alcanzó el punto de equilibrio económico en ninguna de las variedades evaluadas, registrando utilidades netas negativas.

El tratamiento T1 (Crimson Sweet) presentó el mejor comportamiento económico relativo. Al registrar el mayor rendimiento comercial (3.444 frutos/ha), generó los ingresos más altos (\$6.888,00 USD). Sin embargo, frente a un costo de producción de \$9.434,44 USD, resultó en una utilidad neta de -\$2.546,44 USD. Su relación Costo/Beneficio (B/C) fue de 0,73; lo que indica que, por cada dólar invertido en esta variedad, el productor logró recuperar apenas 73 centavos, asumiendo una pérdida o beneficio directo de -0,27 USD.

Los tratamientos T3 (Allsweet) y T2 (Riverside) presentaron un panorama financiero aún más restrictivo, con ingresos que apenas cubrieron el 51 % y 46 % de sus costos operativos, respectivamente, generando pérdidas netas que rondaron los cinco mil dólares por hectárea. Finalmente, el tratamiento T4 (Santanella) representó el escenario más desfavorable; al no producir frutos clasificados en la Categoría 4 comercializable (rendimiento cero), no generó ingresos (\$0,00 USD), lo que se tradujo en una pérdida total de la inversión (\$9.323,33 USD) y un beneficio directo de -1,00 USD por cada dólar invertido.

Estos resultados económicos demuestran que la rentabilidad del cultivo de sandía en esta zona está fuertemente limitada si la producción se concentra en frutos de bajo calibre (Categoría 4). Esto sugiere la necesidad de implementar estrategias

agronómicas que promuevan calibres superiores (Categorías 1 o 2), cuyos precios de mercado justifiquen la alta inversión inicial que demanda este cultivo.

**Tabla 29.** Análisis costo/beneficio para el cultivo de sandía

Tratamientos	Rendimiento Categoría 4 (frutos/ha)	Precio venta USD/U	Total ingresos USD	Costo por tratamiento USD/ha	Utilidad neta USD	Costo beneficio	Beneficio directo
T1 V. Crimson Sweet	3444	\$2,00	\$6.888,00	\$9.434,44	-2546,44	0,73	-0,27
T2 V. Riverside	2111	\$2,00	\$4.222,00	\$9.212,22	-4990,22	0,46	-0,54
T3 V. All Sweet	2333	\$2,00	\$4.666,00	\$9.212,22	-4546,22	0,51	-0,49
T4 V. Santanella	0	\$0,00	\$0,00	\$9.323,33	-9323,33	0,00	-1,00

#### 4.2. DISCUSIÓN

El establecimiento inicial del cultivo en el Centro Experimental Alonso Tadeo demostró un alto vigor genético, destacando Santanella (96,5 %) y Allsweet (93,7 %) en porcentaje de germinación. Estos valores superan ampliamente los registros obtenidos en otras latitudes para estas especies; por ejemplo, Chávez y Mamani (2021) reportaron un 88,75 % para Crimson Sweet bajo condiciones de costa, mientras que en la presente investigación esta variedad alcanzó un 85,4 %, demostrando una viabilidad estándar. Por su parte, Riverside obtuvo un 86,8 %, un valor ligeramente inferior al 96 % reportado por Caicedo (2023) en Imantag (2.376 m. s. n. m.). Esta respuesta inicial confirma que el clima seco cálido de la zona de estudio, con una temperatura promedio de 24 °C, proporciona la integral térmica ideal para romper la latencia de las semillas de los híbridos comerciales sin requerir manejos pregerminativos complejos.

En cuanto al desarrollo vegetativo y estructural, el cultivo expresó un vigor excepcional, favorecido por los suelos franco-arenosos que permitieron una rápida expansión radicular. Las variedades Crimson Sweet y Allsweet evidenciaron la mayor capacidad de elongación, alcanzando longitudes de guía de 2.89m y 2.84m respectivamente a los 70 ddt. Este vigor concuerda con Walters et al. (2021), quienes determinaron que Allsweet posee una arquitectura de planta superior. Lo más destacable es el comportamiento de Crimson Sweet, que en este ensayo logró guías de 2,69 m, un crecimiento vegetativo que supera abismalmente los 79,71 cm (0,79 m) reportados por Chávez y Mamani (2021) para la misma variedad. Esto demuestra que la alta radiación solar del valle interandino de Mira estimula una mayor tasa fotosintética y, por ende, una mayor producción de biomasa foliar y estructural en comparación con climas más nubosos.

Respecto al desarrollo reproductivo, la floración y el cuajado de frutos mostraron una fuerte interacción genotipo-ambiente. Crimson Sweet sobresalió con la mayor cantidad de frutos cuajados por parcela (8,03 frutos acumulados) y Riverside mantuvo un desempeño competitivo (7,12 frutos). Estos resultados difieren del estudio de Maquera (2024), quien en condiciones de costa (541 m. s. n. m.) determinó que Santa Matilde y Delta fueron superiores, relegando a Riverside y Crimson Sweet a los últimos lugares con apenas 1,45 y 1,55 frutos por planta. Sin embargo, los datos de la presente investigación se alinean con los hallazgos de Vega (2023) en el valle de Huánuco (1.900 m. s. n. m.), donde Crimson Sweet también lideró el rendimiento con 3,53 frutos por planta. Esto corrobora que Crimson Sweet es una variedad con alta plasticidad fenotípica, cuyo potencial de cuajado se maximiza en valles cálidos interandinos, superando el estrés que otras variedades no logran tolerar.

El aspecto fisiológico más crítico de esta investigación radicó en la acumulación de biomasa y el tamaño físico del fruto comercial. Al momento de la clasificación final (98 ddt), los pesos promedios en Riverside, Allsweet y Crimson Sweet fluctuaron apenas entre los 657,54 g y 878,33 g (ubicándose en el límite inferior de la Categoría comercial 4), mientras que Santanella no superó los 400 gramos, siendo considerada material de descarte. Estas dimensiones contrastan drásticamente con los registros de la literatura agronómica bajo condiciones estándar; Maquera (2024) reportó 10,58 kg para Riverside y 10,41 kg para Crimson Sweet, mientras que Barrios (2023) logró 7,07 kg para Santanella y Chávez y Mamani (2021) alcanzaron 8,10 kg para Crimson Sweet.

La marcada reducción del calibre obtenida en el Centro Experimental Alonso Tadeo encuentra su explicación en la dinámica hídrica del ecosistema: el clima seco cálido combinado con suelos franco-arenosos y franco-limosos genera una altísima tasa de evapotranspiración y un drenaje extremadamente rápido. En estas condiciones, la planta prioriza el mantenimiento del follaje y la supervivencia fisiológica, limitando severamente la translocación masiva de agua hacia el ovario fecundado. El hecho de que Vásquez (2021) haya reportado pesos bajos (2,01 kg) para Riverside incluso en la selva de Loreto, ratifica que cuando estos híbridos comerciales enfrentan condiciones edafoclimáticas de drenaje rápido o estrés hídrico transitorio, su respuesta natural es restringir drásticamente la expansión celular del fruto, sacrificando el volumen.

No obstante, esta limitación física extrema generó un efecto compensatorio extraordinario en la calidad interna organoléptica. La variedad Crimson Sweet alcanzó concentraciones de 13,75 °Brix, un índice de dulzor significativamente superior al reportado por Maquera (2024), quien documentó 10,47 °Brix para la misma variedad, y superando también el máximo de 12,46 °Brix obtenido por los híbridos del estudio de Barrios (2023). Desde el punto de vista fisiológico, la alta radiación solar de la zona de Mira maximizó la síntesis de fotoasimilados, los cuales, al ser transportados hacia frutos de menor tamaño (Categoría 4) con un contenido de agua reducido, generaron un evidente "efecto de concentración". Es decir, la misma cantidad de azúcares se almacenó en un sumidero físico más pequeño, elevando exponencialmente los grados Brix. Por el contrario, Santanella (9,72 °Brix) evidenció una total incompatibilidad con la zona, alejándose de los 11,60 °Brix reportados por Barrios (2023).

Finalmente, la integración de las variables agronómicas en el análisis económico reflejó que el ecosistema de la zona moldea un modelo de negocio particular. Al no obtener frutos de Categorías 1, 2 o 3, ninguna de las variedades alcanzó el punto de equilibrio económico, generando rentabilidades negativas (Relación B/C inferior a 1) bajo un enfoque de comercialización tradicional por volumen. Aunque Crimson Sweet demostró ser la variedad mejor adaptada productivamente, los resultados evidencian que el cultivo de sandía en este valle interandino produce frutos de bajo calibre, pero de calidad organoléptica premium. Esto determina que la rentabilidad futura del cultivo en la región no dependerá de competir en mercados de abasto masivo, sino de direccionar la comercialización de estas variedades hacia nichos de mercado especializados (tales como la agroindustria de jugos o exportación de calibres "personal size") que prioricen y paguen un sobreprecio por los altos grados Brix.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- El comportamiento agronómico en el Centro Experimental Alonso Tadeo fue favorable. En la fase inicial, la germinación superó el 85 % (destacando Santanella con 96,5 % y Allsweet con 93,7 %). En el desarrollo vegetativo, Allsweet y Crimson Sweet alcanzaron el mayor vigor con longitudes de guía de 2,84 m y 2,69 m, respectivamente. Finalmente, en la fase reproductiva, Crimson Sweet demostró la mejor adaptación al entorno al registrar la mayor eficiencia de cuajado, con 8,03 frutos por parcela.
- El clima seco y el rápido drenaje del suelo limitaron la expansión celular del fruto, reduciendo el rendimiento físico. En consecuencia, Riverside (878,33 g), Allsweet (806,92 g) y Crimson Sweet (657,54 g) se ubicaron en la Categoría comercial 4 (calibres pequeños), mientras que Santanella (365,15 g) pasó a descarte. No obstante, esta restricción volumétrica concentró los azúcares, permitiendo que Crimson Sweet alcanzara una calidad organoléptica premium de 13,75 °Brix, un dulzor excepcionalmente alto para la especie.
- La evaluación demostró que ninguna variedad alcanzó el punto de equilibrio económico. Debido a que el mercado tradicional penaliza el precio de los frutos de bajo peso (Categoría 4), los ingresos no lograron cubrir los costos de producción, generando una Relación Beneficio/Costo (B/C) inferior a 1 en todos los tratamientos. Por lo tanto, bajo el modelo de comercialización masiva, la producción no es financieramente viable en la zona de estudio.

### 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un manejo integrado del cultivo de sandía mediante el uso de sistemas de riego por goteo combinados con acolchado plástico (mulch) y un programa de fertirriego ajustado a las etapas fenológicas, sustentado en análisis de suelo y agua. Este sistema permite optimizar la retención de humedad en suelos franco-arenosos durante la hipertrofia,

mejora la eficiencia en la absorción de nutrientes y reduce pérdidas por lixiviación, incrementando el rendimiento y la calidad comercial del fruto.

- Se sugiere descartar el uso del híbrido Santanella para siembras a campo abierto en este valle interandino, debido a su incompatibilidad y alto porcentaje de descarte. En su lugar, se debe priorizar la variedad Crimson Sweet como material base para futuras investigaciones, evaluando en ella nuevas densidades de siembra o el uso de portainjertos para potenciar su vigor y rendimiento físico.
- Se recomienda incorporar otras variedades de sandía con adecuada adaptación a las condiciones edafoclimáticas del Centro Experimental Alonso Tadeo o, en su efecto, considerar la sustitución por cultivos alternativos que presenten un mejor desempeño agronómico y mayor rentabilidad, logrando así tener una Relación Beneficio/Costo (B/C) > 1.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrios Canaza, P. (2023). *Rendimiento y calidad de nueve híbridos de Sandía (Citrullus lanatus) bajo manejo orgánico* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5716>
- Caballero, S. (2023). *Comportamiento morfológico y agronómico del cultivo de sandía (Citrullus lanatus)* [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional UNJFSC.
- Cedeño, A., Macías, K., & Zambrano, M. (2025). Interacción genotipo-ambiente y plasticidad fenotípica de cucurbitáceas en valles secos interandinos. *Revista Ecuatoriana de Investigaciones Agropecuarias*, 12(1), 34-48.
- Chávez Arque, [Inicial], & Mamani Vizcarra, [Inicial]. (2021). *Comparativo de rendimiento de cuatro variedades de sandía (Citrullus lanatus th.) bajo las condiciones edafoclimáticas del Valle de Tambo - Punta de Bombón 2021* [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/>
- Chomicki, G., & Renner, S. S. (2020). Watermelon origin solved with molecular phylogenetics including Linnaean material: another example of museomics. *New Phytologist*, 227(3), 903-911. <https://doi.org/10.1111/nph.16568>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2022). *Adaptación de la agricultura y diversificación de cultivos frente al cambio climático en zonas andinas*. Roma, Italia: FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9876es>
- García-Salazar, J. A., & Ramírez-Gómez, M. (2022). Análisis de rentabilidad y relación beneficio-costos en sistemas de producción hortícola a campo abierto. *Revista de Economía Agrícola*, 29(2), 45-60.
- Gómez, A., & Pérez, L. (2022). Interacción genotipo-ambiente en cucurbitáceas introducidas en valles interandinos de Sudamérica. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 55-68.
- Guerra, D. (2021). *Adaptabilidad y rendimiento del cultivo de sandía (Citrullus lanatus)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH.

- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2022*. Quito, Ecuador: INEC.
- Kyriacou, M. C., & Roupael, Y. (2021). Genotypic and agro-environmental factors shaping the ripening and quality of watermelon. *Horticulturae*, 7(5), 114. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050114>
- López, C., Ramírez, E., & Silva, J. (2023). Respuestas fisiológicas y limitantes hídricas en frutales de clima cálido cultivados bajo condiciones de altura. *Agronomía Mesoamericana*, 34(2), 48100.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2024). *Zonificación agroecológica y potencial productivo de valles cálidos en la Sierra Norte del Ecuador*. Dirección de Investigación y Generación de Datos, Quito, Ecuador.
- Maquera Encinas, W. (2024). *Rendimiento y calidad de cuatro cultivares de sandía (Citrullus lanatus thunb) en el Centro Experimental Agrícola III "Los Pichones" – Tacna* [Tesis de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional UNJBG. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/>
- Martínez, R., & González, M. (2021). Calidad organoléptica y acumulación de grados Brix en frutales sometidos a estrés hídrico moderado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), 250-258.
- Mendoza, J., Silva, J., & Ramírez, E. (2025). Respuestas ecofisiológicas y acumulación de sólidos solubles en *Citrullus lanatus* bajo estrés hídrico transitorio. *Agronomía Tropical*, 75(2), 112-125.
- Renner, S. S., Wu, S., Pérez-Escobar, O. A., Silber, M. V., Schaefer, H., & Chomicki, G. (2021). A chromosome-level genome of a Kordofan melon illuminates the origin of domesticated watermelons. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(23), e2101486118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2101486118>
- SIPA (Sistema de Información Pública Agropecuaria). (2023). *Boletín situacional de mercados mayoristas y precios de comercialización de frutas y hortalizas*. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.
- Tulcán Caicedo, M. A. (2023). *Evaluación de la adaptabilidad de dos variedades comerciales de sandía (Citrullus lanatus), en la parroquia Imantag, cantón Cotacachi* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14750>
- Vásquez Dávila, J. A. (2021). *Variedad y tres híbridos de Citrullus lanatus Schard "sandía", su relación con el comportamiento agronómico y rendimiento, en Zungarococha, provincia de Maynas-Loreto. 2021* [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional UNAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/7637>
- Vega Sifuentes, W. (2023). *Adaptación de cultivares de sandía (Citrullus lanatus) bajo condiciones edafoclimáticas del Valle de Asa-Pinra-Huacaybamba- Huánuco*

[Tesis de grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio Institucional UNHEVAL. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/9829>

Villavicencio, R., & Torres, P. (2024). Economía agraria y nichos de mercado para frutales de alto valor organoléptico en la región andina. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 21(93), 1-18. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr21.eanm>

Walters, S. A., Abdelaziz, M., & Bouharroud, R. (2021). Local melon and watermelon crop populations to moderate yield responses to climate change in North Africa. *Climate*, 9(8), 1-13. <https://doi.org/10.3390/cli9080129>


Wang, Y., Li, X., & Zhang, J. (2022). Physiological and molecular responses of watermelon (*Citrullus lanatus*) to abiotic stresses. *Frontiers in Plant Science*, 13, 854321. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.854321>

Zambrano, M., Cedeño, P., & Macías, K. (2023). Manejo agronómico de *Citrullus lanatus* en suelos de textura arenosa y rápido drenaje. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e2871.

## VII. ANEXOS

### Anexo 1. Acta de sustentación de pre-defensa de TIC

0000103




**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI**

FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

**ACTA**

DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR




ESTUDIANTE: Quejal Puelate Dayana Mishel	CÉDULA DE IDENTIDAD: 0401976113
PERIODO ACADÉMICO: 2026 A	
PRESIDENTE TRIBUNAL: MSC. HADDY DANIELA JACOME LUCERO	DOCENTE TUTOR: MSC. GUILLERMO ALEXANDER JACOME SARCHI
DOCENTE: MSC. JOSE ALFONSO ANGEL ARMAS	
TEMA DEL TIC: "Evaluación de la adaptabilidad de tres variedades de sandía (Citrullus lanatus) a campo abierto en el Centro Experimental Alonso Torres UPEC"	

No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	8,00	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8,00	
3	METODOLOGÍA	8,00	
4	RESULTADOS	8,00	
5	DISCUSIÓN	8,00	
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	8,00	
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	8,00	Mejorar la exposición
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	8,00	


Obteniendo una nota de: **8,00** Por lo tanto, **APRUEBA** : debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

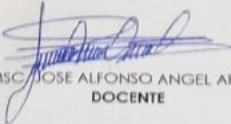
Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **miércoles, 25 de marzo de 2026**



MSC. HADDY DANIELA JACOME LUCERO  
PRESIDENTE TRIBUNAL



MSC. GUILLERMO ALEXANDER JACOME SARCHI  
DOCENTE TUTOR



MSC. JOSE ALFONSO ANGEL ARMAS  
DOCENTE

## Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



### UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES CENTER

#### Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o Investigación.

**Autor:** Dayana Mishel Quelal Puetate

**Fecha de recepción del abstract:** Miércoles, 08 de abril de 2026

**Fecha de entrega del informe:** Jueves, 09 de abril de 2026

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

#### Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros  
RESPONSABLE CIDEN

### Anexo 3. Procedimiento experimental



**Figura 5.** Bandejas de germinación



**Figura 6.** Preparación del terreno



**Figura 7.** Fertilización



**Figura 8.** Control fitosanitario



**Figura 9.** Cosecha



**Figura 10.** Peso de fruto en kg

#### **Anexo 4.** Script para realizar el análisis estadístico en R Studio

```
library(agricolae)
###DBCA
# Subir base de datos
dbca=read.delim("clipboard")
attach(dbca)
str(dbca)

summary(dbca)
boxplot(Peso.6 ~ Trat)

mod1= aov(Peso.6 ~ Bloq + Trat)
summary(mod1) # Bloq p-value = MENOR a 0,05 HAY DIFERENCIA ENTRE BLOQUES
# Trat p-value = MENOR a 0,05 HAY DIFERENCIA ENTRE TRATAMIENTOS
cv.model(mod1)

#SUPUESTOS
shapiro.test(residuals(mod1)) #p-value debe ser mayor a 0,05
bartlett.test(Peso.6 ~ Trat) # p-value debe ser mayor a 0,05

library(agricolae)
HSD.test(mod1, "Trat", console=T) #PRUEBA DE TUKEY

B=HSD.test(mod1, "Trat", console=T)
bar.group(B$groups,ylim=c(0,26), col=2:9, ylab="Altura cm"
, main="Altura a los 15 días")
box()
```