

Evaluación de técnicas de injerto de pomelo (*Citrus x paradisi*), variedad Dalandan sobre el limón Volkameriano (*Citrus volkameriana* Ten & Pasq) en diferentes fechas de otoño-invierno

Evaluation of grafting techniques for Dalandan grapefruit (*Citrus x paradisi*) on Volkamer lemon (*Citrus volkameriana* Ten & Pasq) across different autumn-winter dates

Carlos Antonio López Talavera⁸ ; Cipriano Ramón Enciso-Garay⁸ ;

Cirilo Catalino Tullo Arguello⁸ ; Natalia de Jesús Zelada Cardozo⁸ ;

Maura Isabel Díaz Lezcano⁸ ; Diego Dionisio González Espínola⁸ ; Fanni Petrona Ruiz⁸ ;

Nahir Vera Ortiz⁸ .

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar técnicas de injerto de pomelo variedad Dalandan (*Citrus x paradisi*) sobre el limón Volkameriano (*Citrus volkameriana* Ten & Pasq) en diferentes fechas en el periodo otoño-invierno se instaló un experimento en la Especialidad Técnica Fruticultura, dependiente de la Carrera Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, entre los meses de abril a noviembre del 2024. El diseño experimental fue completamente al azar (DCA) con arreglo bifactorial 4 x 4, donde el factor A corresponde a técnicas de injerto: a) T invertida, b) T normal, c) en astilla y d) injerto terminal. Mientras que el factor B corresponde a diferentes fechas en los meses de otoño-invierno: a) 15 de abril, b) 15 de mayo, c) 15 de junio y d) 15 de julio. La parcela experimental estuvo constituida por 16 tratamientos y cuatro repeticiones, totalizando 64 unidades experimentales (UE). Cada UE fue conformada por cuatro plantas de limón Volkameriano, por lo que el experimento quedó constituido por 256 plantas. Las variables dependientes evaluadas fueron: porcentaje de prendimiento, tiempo de brotación, número de hojas, altura y diámetro del injerto. Según el análisis de varianza aplicado a los datos obtenidos las técnicas de injerto de pomelo variedad Dalandan sobre el limón Volkameriano en diferentes fechas de otoño – invierno, presentan efectos significativos; a los 30 días del descubrimiento se evidenciaron que la **técnica de injerto terminal** alcanzó el mayor porcentaje de prendimiento (**81,25%**) y una brotación más precoz (**26,38 días**), superando significativamente a las demás técnicas. En cuanto al factor temporal, la **primera fecha (15 de abril)** optimizó el éxito del prendimiento (**65,63%**). No obstante, la evaluación a los 90 días reveló un cambio en la dinámica de crecimiento: las técnicas de **T invertida y en astilla** presentaron un vigor vegetativo superior en términos de longitud (29,5 cm) y diámetro (4,27 mm), destacándose la combinación **astilla/abril** con el mayor número de hojas (**21,25**). Se concluye que, si bien el injerto terminal garantiza la supervivencia inicial en condiciones de frío, las técnicas de incisión lateral ejecutadas tempranamente (abril) promueven un desarrollo biométrico más robusto a mediano plazo.

Palabras claves: *Citricultura*, callogénesis, propagación asexual, compatibilidad.

Fecha de recepción: febrero 2026 Aceptado: mayo 2026

⁸Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay.

Autor de Correspondencia: Carlos Antonio López Talavera. Email: carlonto.19@gmail.com



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons.

ABSTRACT

To evaluate grafting techniques for Dalandan grapefruit (*Citrus x paradisi*) on Volkamer lemon (*Citrus volkameriana* Ten & Pasq) across different dates during the autumn-winter period, an experiment was established at the Fruit Growing Technical Specialty, under the Agricultural Engineering Department of the Faculty of Agricultural Sciences, National University of Asunción, San Lorenzo, between April and November 2024. The experimental design was completely randomized (CRD) with a 4 x 4 bifactorial arrangement, where Factor A corresponded to grafting techniques: a) inverted T-budding, b) standard T-budding, c) chip budding, and d) cleft grafting. Factor B consisted of different dates during the autumn-winter months: a) April 15, b) May 15, c) June 15, and d) July 15. The experimental plot consisted of 16 treatments and four replications, totaling 64 experimental units (EU). Each EU was composed of four Volkamer lemon plants; therefore, the experiment consisted of 256 plants. The dependent variables evaluated were: graft take percentage, sprouting time, number of leaves, and graft height and diameter. According to the analysis of variance applied to the obtained data, the grafting techniques for Dalandan grapefruit on Volkamer lemon across on different autumn-winter dates showed significant effects. Thirty days after unwrapping, it was evidenced that the cleft grafting technique achieved the highest graft take percentage (81.25%) and the earliest sprouting (26.38 days), significantly outperforming the other techniques. Regarding the temporal factor, the first date (April 15) optimized graft success (65.63%). However, the 90-day evaluation revealed a shift in growth dynamics: inverted T-budding and chip budding techniques showed superior vegetative vigor in terms of length (29.5 cm) and diameter (4.27 mm), with the chip budding/April combination standing out with the highest number of leaves (21.25). It is concluded that while cleft grafting guarantees initial survival under cold conditions, lateral incision techniques performed early (April) promote a more robust biometric development in the medium term.

Keywords: *Citriculture, callogenesis, asexual propagation, compatibility*

INTRODUCCIÓN

En el panorama agroproductivo del Paraguay, la citricultura se erige como uno de los pilares socioeconómicos más robustos de la fruticultura. Esta relevancia no es fortuita; responde a una convergencia excepcional de factores edafoclimáticos que permiten alcanzar umbrales de rendimiento y calidad organoléptica superiores durante gran parte del ciclo anual. Dentro de este contexto, el cultivo del pomelo (*Citrus x paradisi*) ha experimentado un ascenso vertiginoso en la superficie implantada. Según lo planteado por Armadans (2009), este fenómeno responde a una demanda dual: la pujanza del consumo en fresco y el dinamismo de la industria de jugos concentrados destinados a la exportación. No obstante, la expansión de este rubro enfrenta desafíos críticos. La prolongada fase juvenil que suele extenderse hasta cinco años antes de la entrada en producción y la susceptibilidad fitosanitaria a patógenos como el Virus de la Tristeza de los Cítricos (VTC) y la gomosis (*Phytophthora* spp.), representan cuellos de botella para la rentabilidad del sector (Cruz et al. 2018). Ante esta problemática, la propagación asexual mediante el injerto se posiciona como una herramienta biotecnológica indispensable. Esta técnica, consistente en la unión física y fisiológica de un plecténquima o tejido vegetal (variedad) sobre un sistema radicular seleccionado (portainjerto), no solo reduce significativamente el periodo improductivo, sino que confiere a la planta una mayor resiliencia ante estresores bióticos y abióticos.

La fenología de la unión del injerto está intrínsecamente ligada a las variables ambientales. Si bien Segnana y Tullo (2019) sostienen que el periodo primavera-verano es óptimo para el prendimiento debido a la máxima actividad metabólica del cam-

bium vascular, la producción moderna bajo cobertura plástica en ambiente protegido, busca desestacionalizar esta labor. Sin embargo, en la localidad de San Lorenzo, se ha reportado la disminución del prendimiento durante otoño-invierno, atribuida principalmente al descenso térmico que ralentiza la callogénesis. En este sentido, Russián y Oropeza, (2008) afirman que la eficiencia en la propagación de cítricos depende de una compleja interacción entre el genotipo del patrón y las condiciones ambientales, siendo el injerto la técnica predilecta para garantizar la homogeneidad del huerto.

Históricamente, la investigación en la propagación de cítricos se ha centrado en la compatibilidad anatómica entre el patrón e injerto. Sin embargo, el conocimiento actual subraya que la eficiencia del injerto no depende únicamente de la afinidad entre genotipos, sino también de la cinética de formación del callo bajo estrés térmico. Investigaciones desarrolladas en climas subtropicales sugieren que temperaturas inferiores a los 15°C inhiben la diferenciación del parénquima en tejido vascular funcional (Hartmann & Kester, 2011). Igualmente, otros antecedentes en otros cítricos, como los reportados por Romero-Condori et al. (2020), sugieren que la arquitectura del corte como la “T invertida” puede superar en eficiencia a los métodos tradicionales, especialmente en condiciones climáticas subóptimas. A pesar de esto, existe un vacío en la literatura científica nacional sobre cómo las técnicas alternativas, como el injerto terminal, podrían mitigar este letargo metabólico mediante una mayor exposición del área cambial.

Por otro lado, la elección del portainjerto *Citrus volkameriana* Ten. & Pasq. en la investigación responde a su reconocida precocidad y vigor, atributos que teóricamente compensarían el crecimiento lento del pomelo ‘Dalandan’. No obstante, el estado

actual del conocimiento aún no ha definido si este vigor intrínseco del limón Volkameriano es suficiente para revertir los efectos de la baja presión de savia, característica del periodo invernal en la región Oriental del Paraguay. Mientras que el uso de reguladores de crecimiento y control térmico ambiental ha sido ampliamente validado en sistemas de alta tecnología (Davies, 2017), la optimización mediante la técnica mecánica de corte y el aprovechamiento de la fenología del patrón representa una vía esencial para estandarizar protocolos de bajo costo y alta eficiencia (Hartmann & Kester, 2011; Russián & Oropeza, 2008).

MÉTODO

El experimento fue conducido en un invernadero ubicado en la Especialidad Técnica de Fruticultura, dependiente del Área de Producción Agrícola de la Carrera Ingeniería Agronómica de la FCA/UNA, en donde se contaban con portainjertos de limón Volkameriano de 10 meses de edad, 1,5 mm de diámetro y 60 cm de altura, producidas con sustratos compuestos por compost, tierra agrícola y mantillo en una relación 1:1:1, en macetas de plástico de color negro con espesor de 100 micrones, 18 cm de diámetro y 35 cm de largo, ya en condiciones de ser injertados. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar (DCA) con arreglo bifactorial 4 x 4, donde el factor A corresponde a técnicas de injerto: a) T normal, b) T invertida, c) en astilla y d) injerto terminal (Figura 1). Mientras que el factor B corresponde a diferentes meses de otoño-invierno: a) abril, b) mayo, c) junio y d) julio. El experimento estuvo compuesto por 16 tratamientos y cuatro repeticiones, totalizando 64 unidades experimentales (UE). Cada UE fue compuesta por cuatro plantas de limón Volkameriano, con lo cual el experimento quedó constituido por 256 plantas.

Para cada época, el factor A (técnica de

Por lo expuesto, se vuelve imperativo investigar métodos que optimicen la coalescencia de los tejidos sin depender estrictamente del desprendimiento de la corteza, técnica que suele verse dificultada por la baja presión de savia en periodos de frío. La presente investigación se fundamenta en la necesidad de validar protocolos técnicos que aseguren la eficiencia del viverista en épocas críticas.

El objetivo de la investigación fue evaluar técnicas de injerto de pomelo variedad Dalandan sobre el limón Volkameriano en diferentes fechas del periodo otoño-invierno.

injerto) se describe a continuación: tratamiento 1, el injerto de yema en T normal (Figura 1 a), se efectuó a una altura entre 15 a 20 cm del portainjerto, para el efecto se procedió a realizar un corte transversal de la corteza y otro vertical de manera a formar una T, luego se extrajo una yema de la vareta proveniente del pomelo variedad Dalandan, con un poco de leño del cambium que fue introducido debajo de la corteza donde se realizaron los cortes de modo a que quedó perfectamente adherida al cambium y cubierta por la corteza del portainjerto. Luego se procedió a atar el injerto con una cinta plástica transparente de 35 micras de espesor.

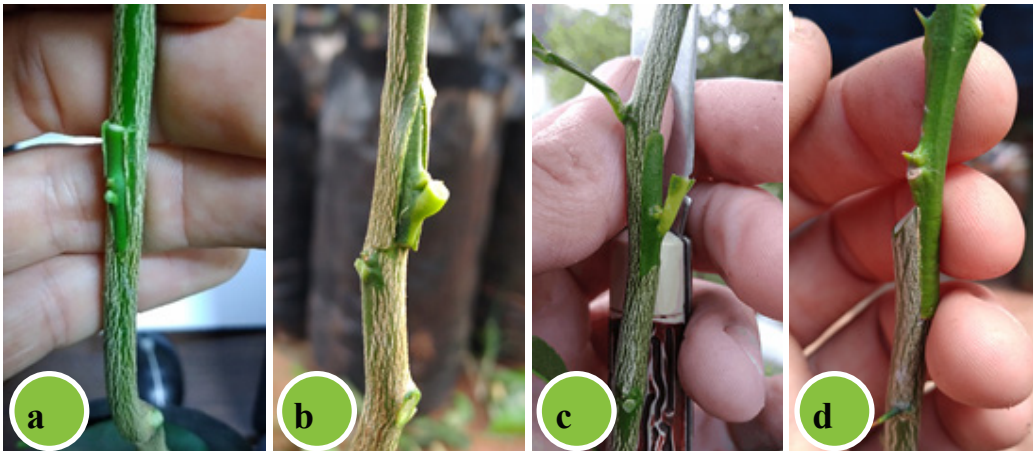
Para el tratamiento 2, injerto de yema en T invertida, se procedió a realizar un corte transversal de la corteza y otro vertical de manera a formar una T invertida (Figura 1 b), a una altura de entre 15 a 20 cm, luego se extrajo una yema de la vareta con la corteza y sin leño del cambium que fue introducida debajo de la corteza donde se realizaron los cortes de modo a que quedó perfectamente adherida al cambium y cubierta por la corteza del portainjerto. Luego se procedió a atar el injerto con una cinta plástica de 35 micras.

Para el tratamiento 3, injerto de yema en astilla (Figura 1 c), que consiste en extraer una yema de la vareta con un poco de leño del cambium e insertar en un espacio del mismo tamaño libre de corteza a una altura de 15 a 20 cm del portainjerto y posteriormente se ata con plástico de 35 micras.

Para el tratamiento 4, injerto terminal (Figura 1 d) que consiste en injertar esquejes de 5 a 10 cm de largo con 2 a 5 yemas,

sobre el pie de injerto a una altura de 15 a 20 cm. Para el efecto se realizaron cortes iguales a ambas partes de modo a que el contacto entre las mismas sea perfecto y se ata con una cinta plástica de 35 micras. Posteriormente se cubrió con una bolsista de plástico de 50 micrones y se ata en la parte inferior de modo a cerrar de forma hermética.

Figura 1: T1: T Normal (a), T2: T invertida (b), T3: Yema en astilla (c) y T4: injerto terminal (d).



En las tres primeras técnicas de injerto el descubrimiento de las yemas se realizó a los 30 días posteriores al injerto. Mientras que el T4 (injerto terminal) se descubrieron cuando se observaron los primeros brotes como se muestra en la figura 2 b, y se desató a los 45 días del injerto.

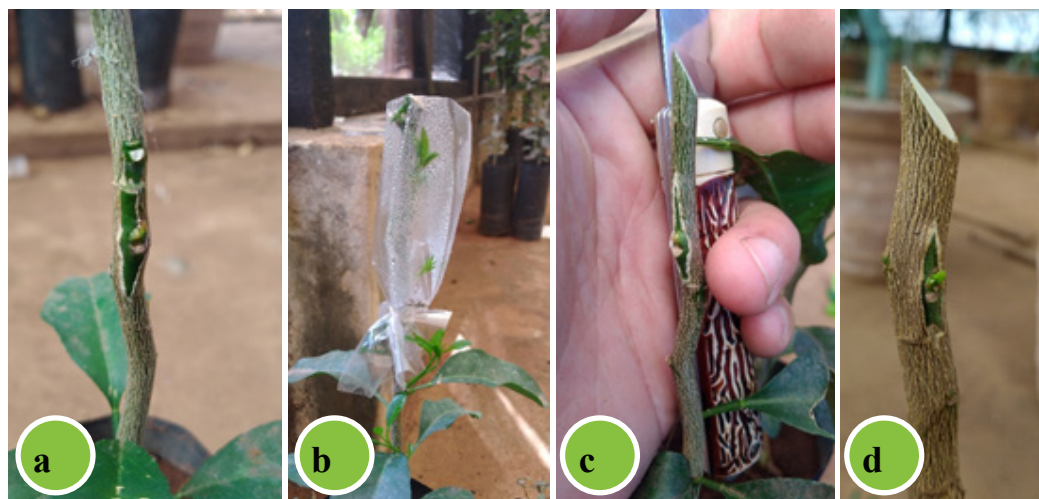
El experimento fue conducido en el interior de un invernadero que ocupó un área de 30 m². El riego se realizó las primeras horas de la mañana en día de por medio de forma manual hasta la capacidad de campo de los sustratos. Se realizó una fertilización química a base de nitrógeno, fósforo y potación, aplicando 1 g por planta de la formulación 15-15-15 un mes antes de la instalación del experimento. Respecto a los cuidados fitosanitarios efectuaron en dos oportunidades cuando se observaron pre-

sencia de minadores y ácaros en las hojas, realizando pulverización con Abamectina a razón de 1 ml por litro de agua. Se realizó monitoreo y registro de la variación de temperatura y humedad relativa del ambiente, registrándose durante el experimento, medias de 38 °C y 84%, respectivamente.

Las evaluaciones fueron realizadas en las cuatro plantas de cada unidad experimental posterior al descubrimiento de las yemas y fueron de la siguiente manera:

Porcentaje de prendimiento (%): a los 30 días del injerto se procedió a cuantificar las yemas y vareta prendidas y se promedió según la cantidad de injerto exitoso y la cantidad total injertada. Los resultados se convirtieron en su grado porcentual correspondiente.

Figura 1: *Injerto exitoso a los 30 días (a), brotación de injerto terminal (b), inducción a la brotación posterior al descubrimiento, eliminando la dominancia apical (c), brotación del injerto (d).*



En cada tratamiento se consideró un injerto exitoso cuando las yemas o varetas hayan mantenido una coloración verde al momento del descubrimiento (a los 30 días del injerto) (figura 2 a). Las plantas con el injerto intacto, se indujeron a la brotación, eliminando la dominancia apical con el corte del tallo a 2 cm por encima del injerto (Figura 2 c).

Tiempo de brotación (días): para evaluar esta variable se realizaron observaciones diarias (a partir de los 30 días del injerto en el caso de los T1, T2 y T3 para anotar las brotaciones que se den a partir del descubrimiento (Figura 2 d). Mientras que para el tratamiento T4 se realizaron observaciones diarias a partir del injerto, debido a los brotes se observan a través del plástico utilizado para la cobertura (Figura 2 b).

Los resultados se promediaron en función a la cantidad de días en brotar y la cantidad total de la población evaluada en cada repetición.

Longitud del brote (cm) se determinó a los 60 y 90 días del injerto realizando la medición desde el punto de inserción del injerto con el patrón hasta el ápice del brote del injerto (Figura 3 a) .

Número de hojas del injerto (unidades) se realizó a los 60 y 90 días del injerto, cuantificando la cantidad de hojas en cada brote (Figura 3 b)

Diámetro del brote (cm) se realizó la medición a 1 cm del punto de inserción del injerto con el patrón, mediante una forcípula a los 60 y 90 días del injerto (Figura 3 c).

Figura 3: Evaluación de las variables de crecimiento: altura del injerto (a), número de hojas por injerto (b), diámetro del injerto (c)



Los datos recabados fueron analizados y las variables que presentan diferencias estadísticas significativas según análisis de varianza fueron comparadas por el test

de Tukey al 5% de probabilidad de error, utilizando el paquete estadístico Infostat® (Di Rienzo et al. 2013).

RESULTADOS

En la tabla 1, se observan los resultados de la comparación de medias de las variables evaluadas, verificándose que hubo

diferencias estadísticas significativas entre las mismas.

Tabla 1: Variables evaluadas del pomelo (*Citrus x paradisi*), variedad Dalandan con cuatro técnicas de injerto sobre limón Volkameriano en diferentes fechas de otoño-invierno. FCA-UNA. San Lorenzo. Paraguay. 2024.

	Prendimiento del injerto (%)				
Técnica de injerto	Fecha de injerto				
	15 de abril	15 de mayo	15 de junio	15 de Julio	Media
T Normal	81,25 a	25,00 d	31,25 cd	25,00 d	40,63 B
T Invertida	62,50 abc	31,25 cd	37,50 bcd	25,00 d	39,06 B
Injerto en astilla	31,25 cd	25,00 d	25,00 d	25,00 d	26,56 C
Injerto Terminal	87,50 a	87,50 a	81,25 a	68,75 ab	81,25 A
Media	65,63 A	42,19 B	43,75 B	35,94 B	
CV %	27,22				

Técnica de injerto	Tiempo de brotación (días)				
T Normal	37,50 a	40,25 a	36,00 a	37,75 a	37,88 A
T Invertida	36,75 a	40,50 a	33,75 ab	36,00 a	36,75 A
Injerto en astilla	36,00 a	39,25 a	36,00 a	36,00 a	36,81 A
Injerto Terminal	21,50 c	24,25 c	26,50 bc	33,25 ab	26,38 B
Media	32,94^{ns}	35,75	33,06	35,75	
CV %	10,20				
Nº de hojas (unidad)					
T Normal	39,00	8,50	13,25	13,25	9,94^{NS}
T Invertida	10,50	10,00	9,75	9,75	10,81
Injerto en astilla	12,00	9,50	13,00	13,00	10,63
Injerto Terminal	13,25	13,00	11,25	11,25	12,06
Media	11,19^{ns}	10,25	11,81	11,81	
CV %	25,38				
Longitud del injerto (cm)					
T Normal	14,00 ab	8,75 b	18,00 ab	9,25 ab	12,50^{NS}
T Invertida	14,25 ab	14,00 ab	14,25 ab	15,50 ab	14,50
Injerto en astilla	21,50 a	16,50 ab	15,50 ab	13,25 ab	16,69
Injerto Terminal	19,00 ab	15,50 ab	10,00 ab	9,75 ab	13,56
Media	17,19 A	13,69 AB	14,44 AB	11,94 B	
CV %	34,72				
Diámetro del injerto (mm)					
T Normal	3,33 abc	2,93 abc	3,85 ab	3,33 abc	3,36 AB
T Invertida	3,91 a	3,53 abc	3,25abc	3,45 abc	3,53 A
Injerto en astilla	4,04 a	3,80 abc	3,35 abc	3,03 abc	3,55 A
Injerto Terminal	3,33 abc	3,18 abc	2,73 bc	2,68 c	2,98 B
Media	3,65 A	3,36 AB	3,29 AB	3,12 B	
CV %	13,15				

Medias con letras minúsculas diferentes en las líneas y columnas (fecha y técnica de injerto) difieren estadísticamente entre sí, y las letras mayúsculas en la línea (promedio) indican efectos significativos de fecha de injerto en general, mientras que letras mayúsculas en las columnas (técnicas de injerto) son significativamente diferentes, por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error. NS = no significativa entre técnicas de injerto; ns = no significativa entre fechas de injerto. CV% = coeficiente de variación.

Considerando el factor A (técnica de injerto), los mayores porcentajes de prendimiento a los 60 días de la instalación del experimento, se obtuvieron con la técnica de injerto terminal, con 81,25% de prendimiento ($p < 0,0001$), difiriendo estadísticamente de las demás técnicas, siendo el injerto en astilla la técnica con el menor porcentaje de éxito (26,56%). Por otro lado, y considerando el factor B (fecha de injerto), el mayor porcentaje de prendimiento se observa en la primera fecha, con 65,63% ($p < 0,0001$), difiriendo estadísticamente de las demás fechas, que en su conjunto presenta apenas 40,63% de prendimiento.

Considerando ambos factores (técnica y fecha de injerto), se observa mejor prendimiento con la técnica de injerto en T normal en la primera fecha de injerto, al igual que con la técnica de injerto terminal con que se obtienen mayores porcentajes de prendimiento en las tres primeras fechas, con medias de 87,50% (abril-mayo) y 81,25% (julio) ($p < 0,0020$), siendo estadísticamente similares a los resultados obtenidos con la primera y la cuarta fecha de injerto, que presentan porcentajes de prendimiento del 62,50 y 68,75% con técnicas T invertida y terminal, respectivamente; y difieren estadísticamente de las demás técnicas de injerto en las otras fechas de injerto, que presentan porcentaje de prendimiento en promedio de 25 a 37,50%. Es importante destacar que en este experimento la fecha y técnica de injerto tienen efectos significativos sobre el prendimiento, siendo menor para las tres primeras técnicas en la cuarta fecha de injerto (julio), con apenas 25%, representando una diferencia de 43,75% menos de prendimiento con la técnica de injerto terminal, con la que se obtuvo 68,75% de prendimiento.

Con relación al tiempo de brotación, se observa una superioridad significativa en técnica de injerto terminal ($p < 0,0001$),

con media general de 26,38 días a partir del injerto, representando una diferencia de casi menos 11 días respecto a las demás técnicas de injerto, las cuales presentan brotaciones más tardías, en promedio 37,14 días. Se observa que, en las dos primeras fechas de injerto (15 de abril y 15 de mayo) se obtienen brotaciones en menor tiempo ($p < 0,0185$), a los 21,50 y 24,24 días, respectivamente, difiriendo estadísticamente de las demás técnicas y fechas de injerto que presentan brotaciones recién a partir de los 33,75 y 40,75 días posterior al descubrimiento.

Con relación al número de hojas, no se observan efectos de los factores en esta variable a los 60 días del injerto, presentando para el factor fecha un promedio general de 10,86 hojas, en tanto que el factor técnicas de injerto un promedio general de 10,30 hojas.

En lo que respecta a longitud del brote de injerto a los 60 días del injerto, solamente se observan efectos significativos con el factor B (fecha) con una probabilidad de 0,0357, obteniéndose mayores valores en la primera fecha de injerto (abril) con medias de 16,25 cm, difiriendo estadísticamente de la cuarta fecha (julio) que presenta media de 11,94 cm, pero presenta similitud estadística con las segunda y tercera fecha, que presentan medias 13,69 y 14,44 cm, respectivamente. Sin embargo, considerando ambos factores (técnica y fecha de injerto), se observa mayor longitud, que representa mayor crecimiento de los injertos, con técnica de injerto en astilla en la primera fecha de injerto ($p = 0,0995$), lo cual solamente difiere estadísticamente de los resultados obtenidos con la técnica de injerto en T normal en la segunda fecha de injerto, con una diferencia de 12,75 cm, pero estadísticamente similar a las demás técnicas de injerto en las diferentes fechas.

En lo que concierne al diámetro del injerto, se observan efectos significativos

de los factores técnicas y fechas de injerto ($p < 0,0016$ y $0,0125$, respectivamente), al igual que la variable longitud, los mayores valores del diámetro se obtienen en la primera fecha con media de 3,65 mm, presentando una diferencia significativa de 0,53 mm con la cuarta fecha, pero estadísticamente similar a la segunda y tercera fecha de injerto que presentan medias de 3,36 y 3,29 mm. En cuanto al factor B (técnica de injerto, $p < 0,0016$), se observa que el grosor de los injertos aumenta significativamente con injerto en T invertida y en astillas al presentar una media común de 3,54 mm, difiriendo estadísticamente de la técnica de injerto terminal que presenta una media de 2,98 mm, pero estadísticamente similar a los resultados obtenidos

con la técnica de injerto en T normal, que presenta una media de 3,36 mm.

Considerando ambos factores (técnica y fecha de injerto), el grosor de los injertos aumenta significativamente con la técnica de injerto en T invertida y en astilla en la primera fecha de injerto con medias de 3,91 y 4,04 mm, respectivamente ($p < 0,0307$). Se observa, además, que el menor diámetro del injerto se presenta con la técnica de injerto terminal en la cuarta fecha (15 de julio) con media de apenas 2,68 mm que difiere significativamente de las técnicas de injerto en T invertida y en astilla en la primera fecha, al igual que de la técnica de injerto en T normal en la tercera fecha de injerto con media de 3,25 mm.

Tabla 1: Variables evaluadas del pomelo (*Citrus x paradisi*), variedad Dalandan con cuatro técnicas de injerto sobre limón Volkameriano en diferentes fechas de otoño-invierno; a los 90 días de ejecución de los injertos. FCA-UNA. San Lorenzo. Paraguay. 2024.

N° de hojas (unidad) a los 90 días del descubrimiento					
Técnica de injerto	Fecha de injerto				
	15 de abril	15 de mayo	15 de junio	15 de Julio	Media
T Normal	18,25 ab	11,25 b	17,75 ab	15,25 ab	15,63 ^{NS}
T Invertida	16,75 ab	17,50 ab	17,75 ab	17,00 ab	17,25
Injerto en astilla	21,25 a	14,50 ab	17,25 ab	15,50 ab	17,13
Injerto Terminal	17,79 ab	14,12 ab	19,81 ab	15,83 ab	16,89
Media	18,51 A	14,34 B	18,14 A	15,90 AB	
CV %	22,14				
Longitud del injerto (cm)					
T Normal	28,75 abc	13,75 c	31,25 abc	23,25 abc	24,25 AB
T Invertida	32,13 ab	31,25 abc	31,63 ab	27,75 abc	30,69 A
Injerto en astilla	36,38 a	25,00 abc	29,75 abc	22,25 abc	28,34 A
Injerto Terminal	26,38 abc	20,42 abc	21,75 abc	18,38 bc	21,73 B
Media	30,91 A	22,60 B	28,59 AB	21,91 B	
CV %	26,78				

Diámetro del injerto (mm)					
T Normal	4,30 abc	3,33 c	5,01 a	3,85 bc	4,12 A
T Invertida	4,49 ab	4,50 ab	4,66 ab	4,10 abc	4,44 A
Injerto en astilla	5,04 a	4,15 abc	4,18 abc	3,73 bc	4,27 A
Injerto Terminal	4,23 abc	3,73 bc	3,25 c	3,28 c	3,61 B
Media	4,51 A	3,92 BC	4,27 AB	5,63 C	
CV %	13,83				

Medias con letras minúsculas diferentes en las líneas y columnas (fecha y técnica de injerto) difieren estadísticamente entre sí, y las letras mayúsculas en la línea (promedio) indican efectos significativos de fecha de injerto en general, mientras que letras mayúsculas en las columnas (técnicas de injerto) son significativamente diferentes, por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error. NS = no significativa entre técnicas de injerto. CV% = coeficiente de variación.

A los 90 días del descubrimiento de los injertos (Tabla 2), se observa que hay efectos de la fecha de injerto con diferencias significativas en la variable número de hojas por injerto (p 0,0066), que no se observó en la primera evaluación a los 60 días posterior al descubrimiento. Mientras que, las diferencias estadísticas significativas en las variables longitud y diámetro del injerto mantienen una tendencia similar a los registrados en la primera evaluación, la cual indica que el injerto en astilla sigue presentando los mayores valores en la primera fecha de injerto,

Para la variable número de hojas y considerando a los factores (técnica y fecha de injerto), por separado, solamente se observa diferencias significativas para el segundo factor (fecha de injerto), obteniéndose mayor número de hojas por injerto en la primera y tercera fecha con medias de 18,51 y 18,14 hojas, respectivamente (p 0,0066), los cuales difieren estadísticamente de los resultados obtenidos en la segunda fecha (15 de mayo) con un promedio de 14,34 hojas por injerto, pero estadísticamente similares a los obtenidos en la última fecha de injerto (15 de julio) con media cercano a los 16 hojas por injerto.

Considerando ambos factores (técnica

y fecha de injerto), el mayor valor se observa únicamente en la primera fecha con técnica de injerto en astilla con una media de 21,25 hojas por injerto (p 0,4619), difiriendo estadísticamente en la segunda fecha de injerto con la técnica de T normal que presenta una media de 11,25 hojas por injerto, pero estadísticamente similar a los resultados obtenidos con todas las técnicas de injerto en las demás fechas evaluadas.

Con relación a la longitud del injerto y considerando el factor A (técnica de injerto), los mayores valores se obtienen con técnica de T invertida y en astilla (p 0,0027), que en conjunto presentan una media de 29,5 hojas por injerto, los cuales difieren estadísticamente de la técnica de injerto terminal que presenta una media de 21,73 hojas por injerto, pero estadísticamente similar a los resultados obtenidos con el injerto en T normal que presenta una media de 24,25 hojas.

Analizando el factor B (fecha de injerto) se encuentra mayor crecimiento en longitud en la primera fecha de injerto (p 0,0018), con media de casi 31 cm, difiriendo estadísticamente de la segunda y cuarta fecha de injerto, los cuales presentan en común una media de 22,25 cm, pero estadísticamente igual a los valores obtenidos

en la tercera fecha (15 de julio) con media de 28,59 cm.

Respecto al diámetro del injerto y considerando los factores por separado, mantiene una tendencia que en la primera evaluación (a los 60 días del descubrimiento), pero con diferencias mejor definidas ($p < 0,0001$), el grosor de los injertos aumenta significativamente con la técnica en T nor-

mal, T invertida y en astillas al presentar una media común de 4,27 mm, difiriendo estadísticamente de la técnica de injerto terminal que presenta media de 3,68 mm. Además, se observa interacción entre los factores ($p < 0,0001$), resultando con mayor grosor los brotes con técnicas de injerto en astilla y T normal en la primer y tercera fecha de injerto, respectivamente.

DISCUSIÓN

Los resultados del presente experimento difieren con Wlosekt Stañgret et al. (2014), quienes reportaron un promedio de prendimiento de los injertos igual a 97% para el limón “Volkameriano”, sin importar si el método de injerto sea T normal, T invertida o en Astilla. En cambio, Zamora Silvera (2023), reporta solamente un prendimiento de 85% empleando la técnica de T normal en mandarina sobre limón. En la presente investigación dicha técnica no alcanzó niveles de eficiencia equivalentes bajo las condiciones de otoño-invierno en San Lorenzo, mientras que López Talavera et al. (2024), injertando en la segunda quincena del mes de agosto, registraron 100% de prendimiento de injerto terminal y T invertida en pomelo, variedad Dalandan sobre el patrón limón Volkameriano. Además, encontraron que se obtiene mayor altura y número de hojas por injerto cuando es utilizada la técnica de injerto terminal a finales de agosto, en tanto que mayor grosor o diámetro de brotes de los injertos se obtienen con ambas técnicas de injerto a partir de la segunda quincena de agosto.

Esta disparidad sugiere que, si bien la técnica de T normal es altamente efectiva en periodos de activa circulación de savia como presumiblemente ocurrió en el estudio de Zamora Silvera (2023), su desempeño se ve mermado cuando el portainjerto entra en un estado de menor actividad metabólica debido al descenso térmico. En

este escenario, la técnica terminal evaluada en este trabajo se posiciona como una alternativa superior para condiciones de estrés, logrando un 81,25% de éxito, una cifra competitiva que se aproxima a los estándares óptimos reportados en condiciones ideales por otros autores, pero manteniendo la viabilidad en las condiciones del semestre frío del país. Ésta marcada estacionalidad observada en los resultados de prendimiento y desarrollo de los injertos se alinea con lo expuesto por Russián y Oropeza (2008), quienes sostienen que el éxito del injerto en cítricos no depende exclusivamente de la afinidad genética, sino de una estrecha relación con las variables meteorológicas predominantes durante la operación. Según estos autores, el prendimiento está condicionado por la actividad del cambium vascular, la cual disminuye drásticamente ante el descenso de la temperatura y la humedad relativa.

Con relación a la longitud del injerto, los resultados son inferiores a lo reportado por Russián y Oropeza (2008), quienes obtuvieron un crecimiento del injerto igual a 21,26 cm, pero en este caso a los 100 días después del injerto.

El hecho de que el injerto terminal haya presentado los mayores índices de prendimiento (81,25%) y la brotación más precoz se explica por la dominancia apical y el contacto íntimo de los tejidos vasculares en un corte transversal completo. Al reali-

zarse de forma apical, el injerto recibe de manera directa el flujo de savia ascendente del portainjerto Limon volkameriano, lo que acelera la formación del callo inicial.

Por otro lado, la superioridad en longitud, diámetro y número de hojas de las técnicas de T invertida y astilla a los 90 días sugiere una ventaja fisiológica a largo plazo. Según Hartmann y Kester (2011), las técnicas de injerto lateral conservan una mayor superficie de contacto del cambium vascular una vez que la unión se ha consolidado. En el caso del injerto en astilla (chip budding), a pesar de su dificultad inicial en climas fríos, una vez que ocurre la coalescencia, la estructura de la unión es más robusta, permitiendo una translocación de carbohidratos y nutrientes más eficiente, lo que se traduce en una mayor emisión foliar (21,25 hojas en promedio).

La marcada diferencia entre la primera fecha de injerto (abril) y la cuarta (julio) confirma que la temperatura es el factor limitante primordial. El éxito del injerto realizado en abril coincide con el final de

la estación cálida, donde la actividad metabólica del limón Volkameriano es aún elevada. El descenso térmico hacia el mes de julio induce un estado de semi-latencia en el patrón, reduciendo la presión de savia (Hartmann & Kester 2011). Esto explica por qué el diámetro del injerto disminuye significativamente en fechas tardías del injerto (de 3,65 mm en abril a 3,12 mm en julio).

La evolución positiva de la variable número de hojas entre los 60 y 90 días indica que el portainjerto Volkameriano posee una excelente compatibilidad con el pomelo 'Dalandan'. La capacidad de este patrón para sostener un crecimiento vigoroso incluso en condiciones de otoño-invierno, siempre que la técnica se aplique tempranamente resalta su valor para la citricultura regional. La técnica de astilla, aunque exigente, demuestra ser la que mejor aprovecha el potencial genético de este portainjerto una vez superada la fase crítica de prendimiento.

CONCLUSIONES

En las condiciones en que se desarrolló el experimento se concluye que:

La técnica de injerto terminal se consolida como la más eficiente para el prendimiento en condiciones de otoño-invierno, alcanzando un éxito del 81,25%. En contraste, el injerto en astilla demostró ser la técnica menos viable para este periodo, con una tasa de éxito sustancialmente menor.

Existe una relación inversa entre el avance del periodo invernal y la tasa de éxito. La primera fecha de injerto (15 de abril) optimiza el prendimiento (65,63%), evidenciando que el descenso térmico de los meses subsiguientes actúa como un factor limitante para la actividad meristemática y la callogénesis en la unión del injerto.

La técnica de injerto terminal no solo asegura un mayor prendimiento, sino que acelera significativamente la precocidad de la brotación, reduciendo el tiempo de respuesta en aproximadamente 11 días en comparación con los métodos tradicionales de "T" (normal o invertida) y astilla.

El vigor inicial de los injertos, medido a través de su longitud y diámetro, está fuertemente condicionado por la precocidad de la ejecución del injerto. Las labores realizadas en abril promueven un crecimiento longitudinal y radial superior. No obstante, se destaca que, aunque la técnica de astilla tiene bajo prendimiento, los ejemplares logrados con este método y en fechas tempranas muestran un crecimiento diamétrico sobresaliente, igualado únicamente por

la técnica de T invertida.

El número de hojas no se ve influenciado por los factores de estudio, sugiriendo que esta variable responde más a la genética de la variedad y al estado nutricional del portainjerto que a la técnica o fecha de injerto empleada.

REFERENCIAS

- Armadians, A. (2009). *Citricultura en el Paraguay: Situación actual y perspectivas*. San Lorenzo: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción.
- Cruz, M., Silva, J. & Santos, R. (2018). Propagación de cítricos y control de fitopatógenos en viveros modernos. *Revista Iberoamericana de Ciencias Agrarias*, 12(3), 45-58.
- Davies, P. J. (Ed.). (2017). *Plant hormones: Physiology, biochemistry and molecular biology* (4.^a ed.). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-9650-8>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. (2013). *InfoStat versión 2013*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Hartmann, H. T., & Kester, D. E. (2011). *Plant Propagation: Principles and Practices* (8th ed.). Prentice Hall.
- López Talavera, C., Vera López, F., Martínez Giménez, T., Santacruz Toledo, A., Bogado Martínez, G. & Riveros Pineda, M. (2024). Evaluación de técnicas de injerto de pomelo variedad Dalandan (*Citrus x paradisi*) sobre el limón volkameriano (*Citrus volkameriana* Ten & Pasq) en diferentes fechas invernales. En J. R. Salas Mayeregger, L. C. Soilán Duarte, & C. J. Grabowski Ocampos (Eds.), *VI Congreso Nacional de Ciencias Agrarias: Libro de resúmenes* (pp. 359-364). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. https://www.agr.una.py/wp/wp-content/uploads/2025/09/WEB-01-LIBRO-DE-RESUMENES-2025_up.pdf
- Martínez González, G. A. & Munguía Hernández, N. U. 2021. Uso de cuatro técnicas de injertación en dos patrones trifoliata, y su efecto en el prendimiento de yemas de lima Tahití (*Citrus latifolia* L.). Masaya, 2021. <https://repositorio.una.edu.ni/4461/>
- Romero-Condori, E., Choque, M. & Larrea, D. (2020). Evaluación de técnicas de injerto en mandarina criolla (*Citrus reticulata*) sobre el patrón mandarina Cleopatra (*Citrus reshni*). *Journal of Agricultural Research*, 7(2), 89-102.
- Russián, L. & Oropeza, A. (2008). Evaluación del prendimiento de injertos de cítricos sobre diferentes patrones en el estado Yaracuy. *Agronomía Tropical*, 58(2), 175-180. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2008000200009
- Segnana, L. & Tullo, A. (2019). Efecto de la época y el manejo ambiental en el prendimiento de injertos cítricos bajo cobertura plástica. *Boletín Técnico de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 15(1), 22-30.
- Wlosek Stañgret, C.R. Silvero Martínez, G.A. & Arzamendia Duarte, M. 2014. Evaluación de métodos de injerto en naranjo (*Citrus sinensis* Osbeck) cultivar “Valencia Limeira” sobre cinco Portainjertos diferentes. En Facultad de Ciencias Agrarias (Ed.), *Libro de Resúmenes: III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias* (pp. 148-149). Universidad Nacional de Asunción. <https://www.agr.una.py/descargas/publicaciones/IIICNCA2014.pdf>
- Zamora Silvera, L. M. (2023). Evaluación de tres técnicas de injertos en dos variedades de mandarina (*Citrus reticulata*) en la fase de vivero [Trabajo experimental de titulación, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio de la Universidad Agraria del Ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ZAMORA%20SILVERA%20LOURDES%20MICHELLE.pdf>