

ÉVALUER L'EFFET DE L'APPLICATION DE CRIOPROTECT SUR LA RÉDUCTION DES DOMMAGES PAR LE GEL, LE RENDEMENT ET LA QUALITÉ DES FRUITS D'AVOCATIER CV. HASS.

ESSAI PEWMAN INNOVATION

2023-2024



TABLE DES MATIÈRES

OBJECTIF	3
MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
Données météorologiques	4
Traitements	6
Évaluations	9
Incidence des dommages par le gel sur les yeux reproductifs et les pousses.....	9
Interception PAR et ASTT	10
Charge frutière.....	10
Rendement et Productivité	10
Qualité des fruits.....	10
Nouaison et rétention.....	10
DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET ANALYSE STATISTIQUE	11
RÉSULTATS	12
Incidence des dommages par le froid sur les panicules et les pousses.....	12
Nouaison et rétention des fruits 2023.....	13
Nouaison et rétention des fruits 2024	13
Paramètres productifs	13
Qualité des fruits.....	14
Distribution des calibres.....	15
CONCLUSIONS	17

ÉVALUER L'EFFET DE L'APPLICATION DE CRIOPROTECT SUR LA RÉDUCTION DES DOMMAGES PAR LE GEL, LE RENDEMENT ET LA QUALITÉ DES FRUITS D'AVOCATIER CV. HASS.

RÉSUMÉ

Dans le but d'évaluer l'effet de l'application de Crioprotect sur la réduction des dommages causés par le gel et sur les paramètres de rendement et de qualité des fruits chez des avocatiers cv. Hass, une étude a été réalisée dans un verger commercial d'avocatiers appartenant à Agrícola AvoAmérica, Fundo El Cardonal, ubicado en la localidad de Santo Domingo (33°41'44.3144" Latitud sur – 71°36'39.3404" long. est), Région de Valparaíso, Chili.

Pour atteindre l'objectif fixé, deux traitements ont été établis : un témoin sans application (T0) et sept applications de Crioprotect à une concentration de 500 mL/hL¹ (T1).

Pour déterminer l'effet des traitements : (i) incidence des dommages par le froid sur les bourgeons, (ii) nouaison et rétention des fruits, (iii) interception PAR, (iv) charge fructifère, (v) rendement et productivité et (vi) qualité des fruits.

Compte tenu des conditions de cet essai où aucun épisode de gel n'a été enregistré, il n'a pas été possible de détecter un effet des applications de Crioprotect (T1) sur l'incidence et la sévérité des dommages par le froid dans les panicules d'avocatier cv. Hass soumises à une chambre froide, ni sur la nouaison et la rétention des fruits. Cependant, une différence statistiquement significative a été observée pour les fruits commercialisables : le traitement témoin a obtenu 70,5 % et le traitement Crioprotect a atteint 84,6 %.

Il a été possible d'observer que les applications de Crioprotect (T1) augmentent le rendement de 51,3 %, la productivité de 49,2 %, le poids de 10,1 % et les diamètres équatorial et polaire du fruit de 3,1 et 5,4 % respectivement, ainsi qu'une augmentation statistiquement significative de la concentration de fruits dans la catégorie de calibre 40, déplaçant la courbe de calibre vers des fruits de plus grande taille.

OBJECTIF

Évaluer l'effet de l'application de Crioprotect sur la réduction des dommages causés par le gel et son effet sur les paramètres de rendement et de qualité des fruits chez des avocats cv. Hass.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'essai a été réalisé dans un verger commercial d'avocats cv. Hass appartenant à Agrícola AvoAmérica Fundo El Cardonal, ubicado en la localidad de Santo Domingo (33°41'44.3144" Latitud sur – 71°36'39.3404" Longitud este), Región de Valparaíso, Chile.

Données de la culture

Nom scientifique	<i>Persea americana</i>
Variété	Hass
Porte-greffe	Franco
Année de plantation	2018
Distance de plantation	5 x 2 m
Système de conduite	Gobelet
Système d'irrigation	Goutte-à-goutte
Date de récolte	01/03/2024
Durée de l'essai	04/08/2023 – 07/03/2024



Figure 1. Avocats var. Hass correspondant à l'essai.

Données météorologiques

Toutes les données climatiques ont été obtenues de la station météorologique du domaine sur lequel l'étude a été réalisée. Le Tableau 1 présente les températures minimales et maximales et les précipitations durant l'essai, tandis que le Tableau 2 fournit le relevé des températures et précipitations aux moments des applications. Les Figures 2 et 3 présentent les graphiques correspondant à ces données.

L'automne et l'hiver 2023 ont été caractérisés par une faible accumulation de froid, avec quasi-absence de gel. La température la plus basse enregistrée a été de $-0,6\text{ °C}$ dans la nuit du 12 juin. Pour l'avocatier, ce fruitier à feuilles persistantes présente une résistance au gel de -1 °C lors de la floraison et de -2 °C en hiver.

Tableau 1. Moyenne mensuelle de température minimale, maximale, amplitude thermique et précipitations cumulées mensuelles durant la période de l'essai.

Mois	Température			Précipitations mm
	Minimale	Maximale	Amplitude thermique	
	°C			
Mai	7,9	17,7	9,8	49,2
Juin	8,2	16,3	8,0	50,2
Juillet	7,6	15,8	8,2	1,2
Août	8,4	16,9	8,5	8,2
Septembre	8,0	16,2	8,3	0,0
Octobre	7,0	15,2	8,3	14,2
Novembre	8,2	16,7	8,5	15,8
Décembre	9,8	18,2	8,4	1,4
Janvier	12,2	19,1	6,9	0,0
Février	12,8	20,5	7,7	1,8

Tableau 2 Relevé des températures et précipitations les jours d'application.

Date	Température			Précipitations mm
	Minimale	Maximale	Amplitude thermique	
	°C			
15-05-2023	14,0	17,9	3,9	0,0
05-06-2023	7,7	19,8	12,1	0,0
29-06-2023	6,1	18,4	12,3	0,2
20-07-2023	8,3	13,4	5,1	0,0
09-08-2023	8,8	13,8	5,0	0,0
16-08-2023	9,3	14,9	5,6	0,0
12-09-2023	5,2	15,7	10,5	0,0

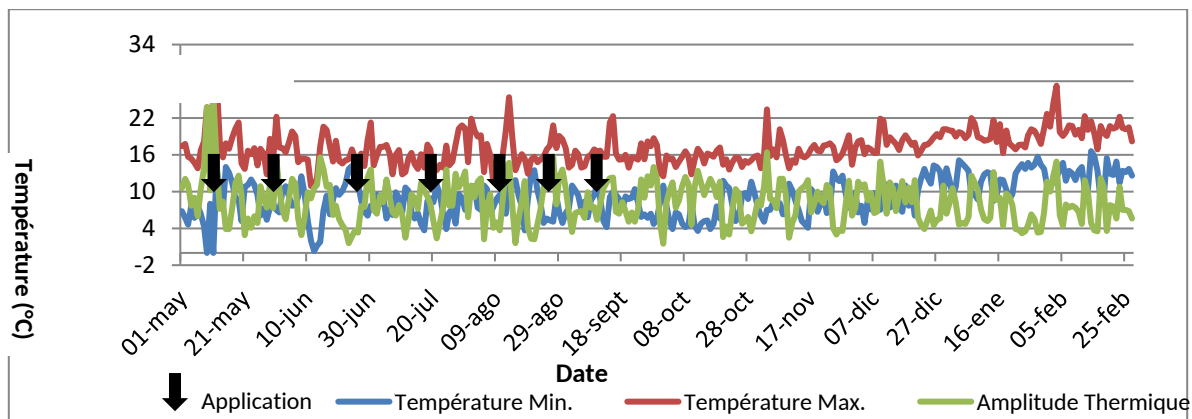


Figure 2. Graphique des températures maximales, minimales et de l'amplitude thermique enregistrées durant la période d'exécution de l'essai.

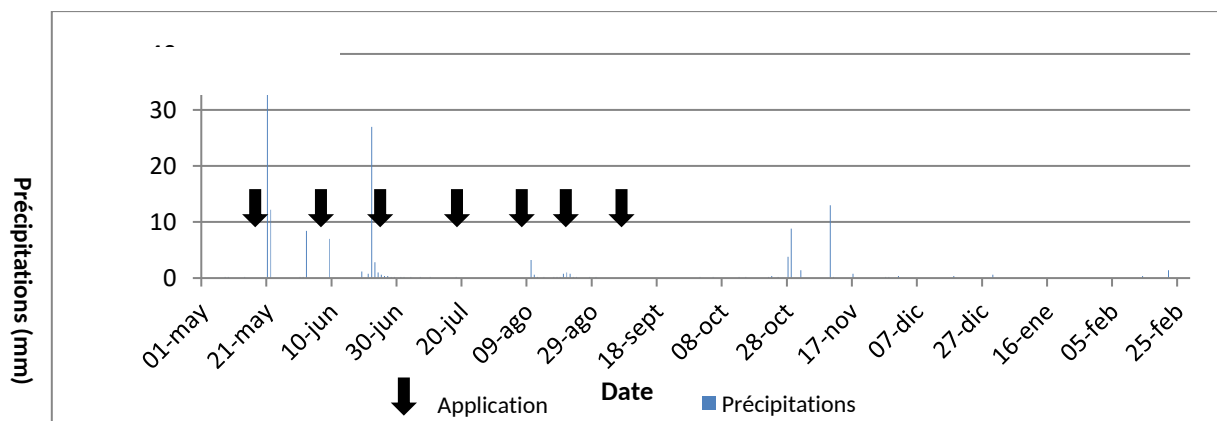


Figure 3. Graphique des précipitations durant la période de l'essai.

Traitements

Le détail des traitements appliqués est décrit dans le Tableau 3.

Tableau 3 Description des traitements.

Traitement		Concentration (ml/g* hL^{-1})	Volume (L* ha^{-1})	Nombre d'applications	Moment d'application
T0	Témoin	---	---	---	---
T1	Crioprotect	500	1000	7	ABCDEF

Légende :

- A 15 mai 2023.
- B : 05 juin 2023.
- C 29 juin 2023.
- D 20 juillet 2023.
- E 09 août 2023.*
- F 12 septembre 2023.**

*Une application supplémentaire a été réalisée le 16-08-2023 en raison de précipitations, soit 7 applications au total.

**Appliqué à 1 % en raison des précipitations et applications de cuivre du domaine.

Les applications ont été effectuées à l'aide d'une pulvérisatrice à 4 cuves équipée d'un pistolet.

Les dosages ont été réalisés en extrapolant les litres appliqués par plante selon l'écartement de plantation du verger, en utilisant un volume de $1000 L \cdot ha^{-1}$.

La Figure 4 présente un enregistrement photographique pendant l'exécution de l'essai.





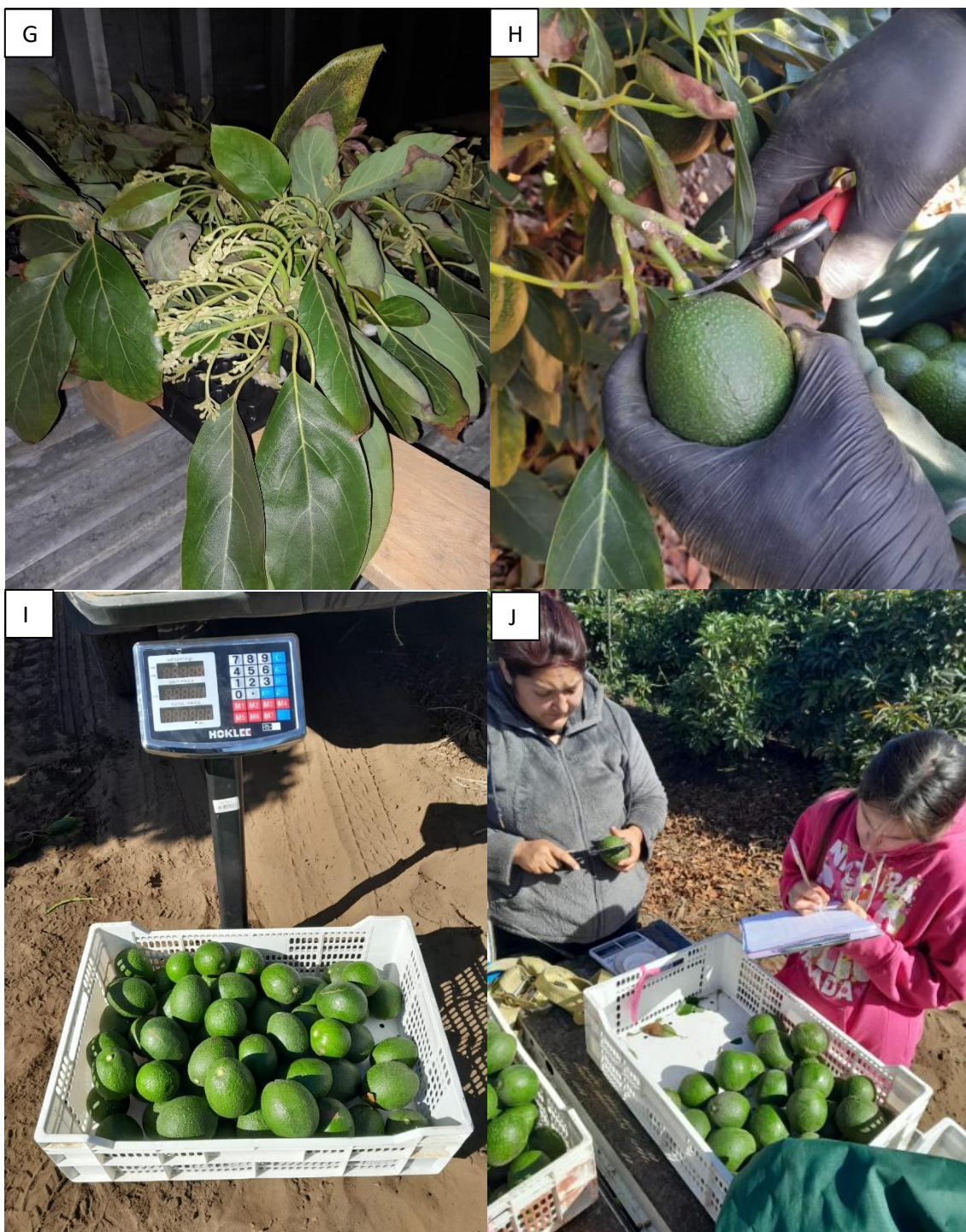


Figure 4. Application des traitements et stade phénologique lors de la deuxième application, respectivement (A et B), application des traitements et stade phénologique lors de l'application D, respectivement (C et D), évaluation de l'incidence des dommages par le gel sur les pousses (E), état des panicules prélevées pour évaluation en chambre froide (F), échantillons stockés en chambre froide (G), récolte (H), évaluation du rendement (I) et évaluation du poids et du calibre (J).

Évaluations

Incidence des dégâts causés par le gel sur les bourgeons reproducteurs et les pousses

Avant la première application, 10 pousses au hasard ont été marquées dans chaque unité expérimentale. Après l'enregistrement d'un épisode de gel (températures inférieures à -1 °C) durant la période de mai à juillet, les dommages produits ont été évalués via une échelle visuelle et la condition des bourgeons présents sur les pousses a également été évaluée.

De plus, durant le mois de septembre, 15 panicules ont été prélevées par répétition pour chacun des traitements. Le matériel prélevé a été disposé sur des plateaux avec coton humidifié avec une solution à 1 % N-P-K (9-4-10 %). Deux évaluations ont ensuite été réalisées ; le premier prélèvement a consisté à placer les panicules sur 3 plateaux dans une chambre froide à une température de -2 °C pendant 2, 4 et 6 heures. La deuxième évaluation a été placée dans une chambre froide à une température de -4 °C pendant 2, 4 et 6 heures. Une fois le temps en froid écoulé, les plateaux ont été retirés et laissés à température ambiante pendant 24 heures, puis le pourcentage de dommages par panicule a été évalué via une échelle visuelle. Les dommages ont été catégorisés comme : 0= sans dommage ; 1= dommage léger ; 2= dommage moyen ; 3= dommage sévère, détaillé dans le Tableau 4 et la Figure 5.

$$\text{Indice d'intensité des dommages} : (\sum (n*v)/V*N) * 100$$

Légende :

n : nombre de panicules par grade

v : grade de dommage

N : nombre total de panicules observées

V : valeur maximale de l'échelle

Tableau 4 Échelle de dommage utilisée pour l'évaluation de la sévérité.

Grade de dommage	Description
0	Panicule saine
1	La panicule présente des points nécrotiques sur moins de 50 % du limbe foliaire.
2	La panicule présente des points nécrotiques sur 50 % du limbe de la feuille.
3	La panicule présente des points nécrotiques sur plus de 70 % du limbe de la feuille et présente une nécrose aux apex.



Figure 5. Échelle visuelle de dommage utilisée dans l'évaluation de la sévérité.

Âire de la section transversale du tronc (ASTT)

Pour estimer la taille de la plante, le diamètre du tronc a été mesuré pour obtenir l'aire de la section transversale du tronc (ASTT), permettant de normaliser le rendement et la charge fruitière.

Charge fruitière

Elle a été estimée en pesant l'ensemble des fruits par unité expérimentale et un échantillon de 50 fruits par unité expérimentale.

Rendement et Productivité

Tous les fruits de la plante centrale ont été pesés, permettant d'obtenir le rendement de chaque traitement, exprimé en kg/arbre. La productivité a été obtenue par le rapport entre les kilogrammes obtenus de chaque plante et son ASTT respective.

Qualité des fruits

Sur un échantillon de 50 fruits par unité expérimentale, le diamètre (mm) et le poids du fruit (g) ont été évalués, obtenant la distribution des calibres par poids.

Nouaison et rétention

10 panicules par unité expérimentale ont été marquées en janvier 2024, après les chutes naturelles de post-nouaison en janvier, un comptage des fruits dans les inflorescences marquées initialement a été réalisé, obtenant le nombre moyen de fruits par panicule.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET ANALYSE STATISTIQUE

Un dispositif en blocs complètement aléatoires (DBCA) a été utilisé, avec deux traitements et cinq répétitions.

Pour comparer les traitements, les moyennes de chaque évaluation ont été soumises à une analyse de modèles linéaires généraux et mixtes (MLMix) et à une analyse de modèles linéaires généralisés mixtes (MLGM). Lorsque des différences significatives ont été détectées (p -valeur $< 0,05$), les moyennes ont été séparées par un test de comparaison multiple LSD de Fisher avec un intervalle de confiance de 95 %.

RÉSULTATS

Incidence des dommages par le froid sur les panicules et les pousses

Durant le déroulement de l'essai, le seul épisode de gel enregistré s'est produit dans la nuit du 12 juin, avec une durée de 3 heures atteignant un minimum de $-0,6$ °C. Suite à cet événement, une visite à l'essai a été effectuée le 15 juin pour évaluer les pousses marquées avant le début des applications. Dans cette évaluation, aucun dommage par gel n'a été identifié sur les pousses marquées. Le registre de cette évaluation peut être observé à la Figure 4E.

Concernant les résultats de l'essai de simulation de gel, la première évaluation des panicules soumises à -2 °C pendant 2, 4 et 6 heures n'a pas permis de détecter des dommages sur les feuilles ni sur les apex. Cependant, lorsque les panicules ont été soumises à -4 °C, il a été possible de détecter des dommages causés par le froid. Pour l'incidence, les traitements ont présenté des moyennes entre 65,2 % et 88,9 %, mais aucun effet des applications de Crioprotect (T1) n'a pu être identifié. Pour la sévérité des dommages par le froid, aucun effet des traitements n'a été détecté, avec des moyennes entre 16,1 % et 46,6 % de dommages, sans présenter de différences statistiques entre eux. Il convient de mentionner que, bien qu'il n'y ait pas de différences statistiques, il existe une tendance dans chaque évaluation par le traitement appliqué avec Crioprotect (T1) à obtenir des dommages moindres par rapport au traitement témoin (T0). De plus, es importante mencionar que, el tratamiento T1 no presenta una curva ascendente en la incidencia des dommages par le froid, ce qui pourrait être attribué à la variabilité de la susceptibilité aux dommages due à la variabilité phénologique des panicules évaluées. Ces résultats sont présentés dans le Tableau 5 et la Figure 6.

Tableau 5. Moyennes ajustées selon MLMix et MLGMix pour les paramètres de sévérité et d'incidence, respectivement, dans des panicules d'avocatier cv. Hass soumises à -4 °C pendant 2, 4 et 6 heures.

Traitement	Incidence (%)			sévérité (%)		
	2	4	6	2	4	6
heures						
T0_CONTROL	80,0	86,7	88,9	44,3	41,7	46,6
T1_CRIOPROTECT	66,7	77,4	65,2	28,7	41,0	16,1
<i>p</i> -valor	0,4589	0,405	0,0625	0,2586	0,9584	0,1294

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test LSD de Fisher (p -valor < 0,05).

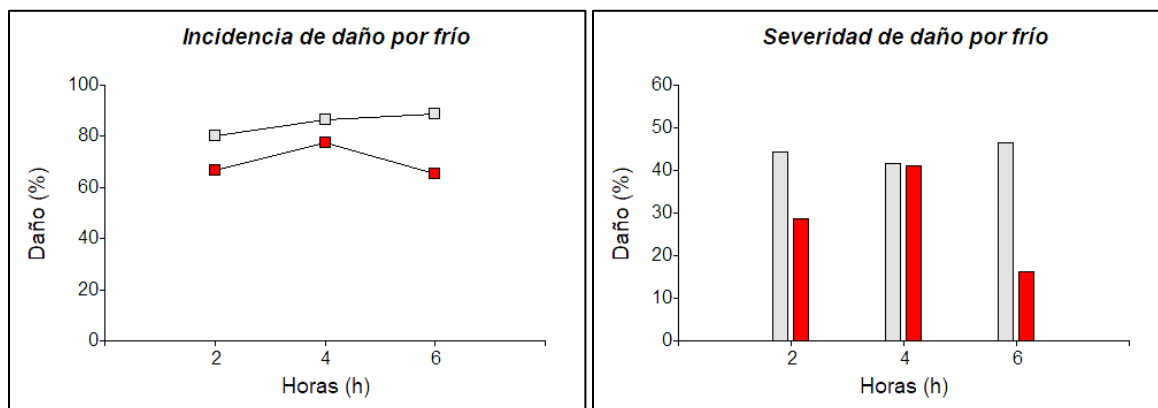


Figure 6. Graphique d'incidence (A) et de sévérité (B) des dommages par le froid.

Nouaison et rétention des fruits 2023

Le Tableau 6 présente les résultats des paramètres de nouaison, rétention initiale et rétention finale, mesures réalisées lors de la saison 2022-2023 pour les fruits récoltés en mars 2024. La rétention initiale correspond au comptage de fruits réalisé après la première chute naturelle survenue en janvier 2023, tandis que la rétention finale correspond aux fruits restants après la deuxième chute naturelle survenue en mai 2023. Ces résultats indiquent qu'il n'y a aucun effet des traitements sur ces paramètres.

Tableau 6 Moyennes ajustées selon MLMix pour les paramètres de nouaison, rétention initiale et rétention finale.

Traitement	Nouaison	Rétention initiale	Rétention finale
	n° fruits/panicule		
T0_CONTROL	5,2	3,4	1,5
T1_CRIOPROTECT	5,6	3,0	1,2
<i>p</i> -valor	0,5898	0,4279	0,0832

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test LSD de Fisher (p -valor < 0,05).

Nouaison et rétention des fruits 2024

Le Tableau 7 présente les résultats des paramètres de nouaison et de rétention initiale, mesures réalisées en décembre 2023 et février 2024, respectivement, pour les fruits correspondant à la récolte de l'année prochaine 2025. Dans aucun des paramètres évalués il n'a été possible de détecter un effet des applications de Crioprotect (T1). De plus, il est possible d'observer que la rétention initiale est en moyenne 13 fois inférieure à celle de la saison précédente (2023), ce qui pourrait s'attribuer à une situation d'alternance de production.

Tableau 7 Moyennes ajustées selon MLMix pour les paramètres de nouaison et de rétention initiale.

Traitement	Nouaison	Rétention initiale
	n° fruits/panicule	
T0_CONTROL	9,5	0,3
T1_CRIOPROTECT	9,8	0,2
<i>p</i> -valor	0,6764	0,4857

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test LSD de Fisher (p -valor < 0,05).

Paramètres productifs

Le Tableau 8 présente les résultats des paramètres productifs : rendement, charge fruitière, productivité, charge normalisée et aire de la section transversale du tronc (ASTT). Pour le rendement et la productivité, un effet des applications de Crioprotect (T1) a pu être observé, augmentant les deux moyennes par rapport au traitement témoin (T0), atteignant en moyenne 51,3 % et 49,2 % de plus de rendement et de productivité, respectivement. Il convient de mentionner que le traitement témoin (T0) et le traitement Crioprotect (T1) présentent des rendements plus élevés par rapport aux rendements de l'année précédente 2023 (8,9 et 10,7 kg/plant, respectivement), et en tenant compte de la rétention initiale évaluée cette année 2024, il est possible de projeter que le rendement dans les deux traitements sera inférieur l'année prochaine 2025 par rapport à cette année, ce qui suggère un problème d'alternance de production, où se succèdent des années de faibles rendements suivies

d'années de rendements élevés. Pour les paramètres de charge fruitière et charge normalisée, aucun effet des traitements n'a pu être détecté, présentant des moyennes statistiquement égales. Pour l'ASTT, ce paramètre a présenté des moyennes statistiquement similaires, ce qui signifie que les plantes utilisées dans l'essai sont homogènes entre elles. Ces résultats sont également présentés sous forme graphique à la Figure 7.

Tableau 8 Moyennes ajustées selon MLMix pour les paramètres de rendement, productivité, charge fruitière, charge normalisée et ASTT évalués en mars 2024 chez l'avocatier cv. Hass.

Traitement	Rendement	Productivité	Charge fruitière	Charge normalisée	ASTT
	kg/planté ¹	g/cm ² ASTT	n° frutos·planta ⁻¹ n°	fruits/cm ⁻² ASTT	cm ²
T0_CONTROL	15,2 b	82,7 b	69,1	0,4	186,8
T1_CRIOPROTECT	23,0 a	123,4 a	92,9	0,5	189,8
<i>p</i> -valor	0,0437	0,0113	0,1012	0,086	0,9256

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test LSD de Fisher (p -valor < 0,05).

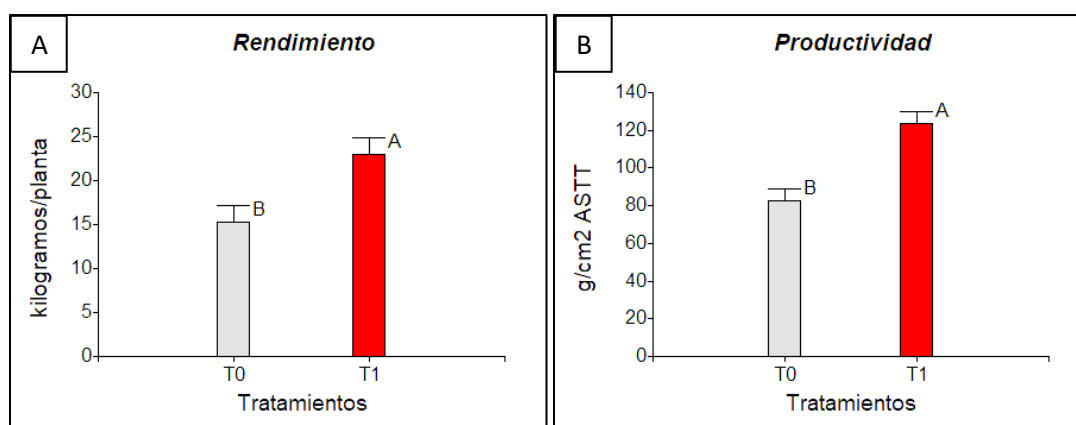


Figure 7. Graphiques des paramètres de rendement (A) et de productivité (B).

Qualité des fruits

Le Tableau 9 présente les résultats des paramètres de poids du fruit, de diamètre équatorial et de diamètre polaire. Le traitement appliqué avec Crioprotect (T1) a atteint un poids de fruit, un diamètre équatorial et un diamètre polaire plus élevés par rapport au traitement témoin (T0), ces différences étant statistiquement significatives. Cette augmentation du poids et du calibre explique l'augmentation du rendement par le traitement appliqué avec Crioprotect (T1).

Tableau 9. Moyennes ajustées selon MLMix pour les paramètres de poids du fruit, de diamètre équatorial et de diamètre polaire chez l'avocatier cv. Hass.

Traitement	Poids	Diamètre équatorial	Diamètre polaire
	g	mm	mm
T0_CONTROL	223,9 b	70,4 b	84,0 b
T1_CRIOPROTECT	246,6 a	72,6 a	88,5 a
<i>p</i> -valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test LSD de Fisher (p -valor < 0,05).

Distribution des calibres

Le Tableau 10 présente les résultats de la distribution des calibres selon le poids. Pour cette analyse, le rendement a été considéré comme covariable, s'avérant non significatif dans les catégories évaluées. Pour le calibre 40, un effet du traitement appliqué avec Crioprotect (T1) est observable, avec une différence de 14,8 % dans la concentration de fruits par rapport au traitement témoin (T0). Cela implique un déplacement de la courbe de calibres vers des fruits de plus grande taille par le traitement Crioprotect (T1) par rapport au traitement témoin (T0). Ces résultats sont également présentés sous forme graphique à la Figure 6.

Tableau 10 Moyennes ajustées selon MLGMix pour les différentes catégories de calibre chez l'avocatier cv. Hass.

Traitement	Distribution des calibres selon le poids (%)						
	précalibre	80	70	60	48	40	>40
	menores a 120 g	120-150 g	150-170 g	170-205 g	205-265 g	265-300 g	mayor a 300 g
T0_CONTROL	0,0	3,6	5,9	27,2 a	44,2	12,4 b	5,4
T1_CRIOPROTECT	0,4	0,4	4,7	15,5 b	40,0	27,2 a	10,0
<i>p</i> -valor	0,9879	0,0677	0,563	0,0134	0,3725	0,0037	0,0753

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test LSD de Fisher (p -valor < 0,05).

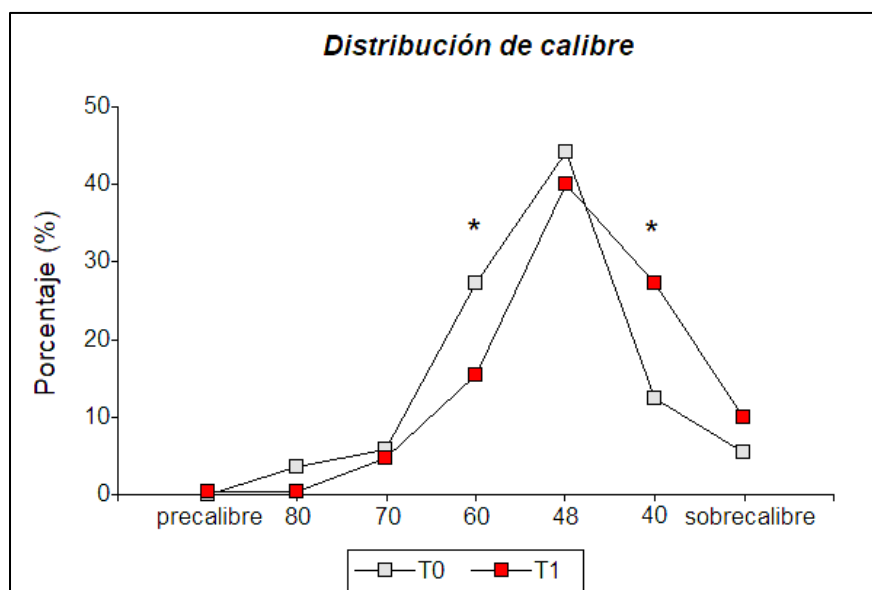


Figure 6. Graphique de distribution des calibres. * Indiquent des différences statistiques.

Le Tableau 11 présente les résultats de la distribution des calibres exprimés en fruits commercialisables et non commercialisables. Cette analyse a permis d'observer un effet des applications de Crioprotect (T1), présentant une différence dans la concentration de fruits commercialisables par rapport au traitement témoin (T0) d'en moyenne 14,1 %, cette différence étant statistiquement significative. Ces résultats sont également présentés sous forme graphique à la Figure 7.

Tableau 11 Moyennes ajustées selon MLGMix pour le paramètre de distribution des calibres mesuré en fruits non commercialisables et fruits commercialisables selon le poids.

Traitement	Fruits non commercialisables	fruits commercialisables
	%	
	moins de 200 g	plus de 200 g
T0_CONTROL	29,5 a	70,5 b
T1_CRIOPROTECT	15,4 b	84,6 a
<i>p</i> -valor	0,0057	0,0057

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test LSD de Fisher (p -valor < 0,05).

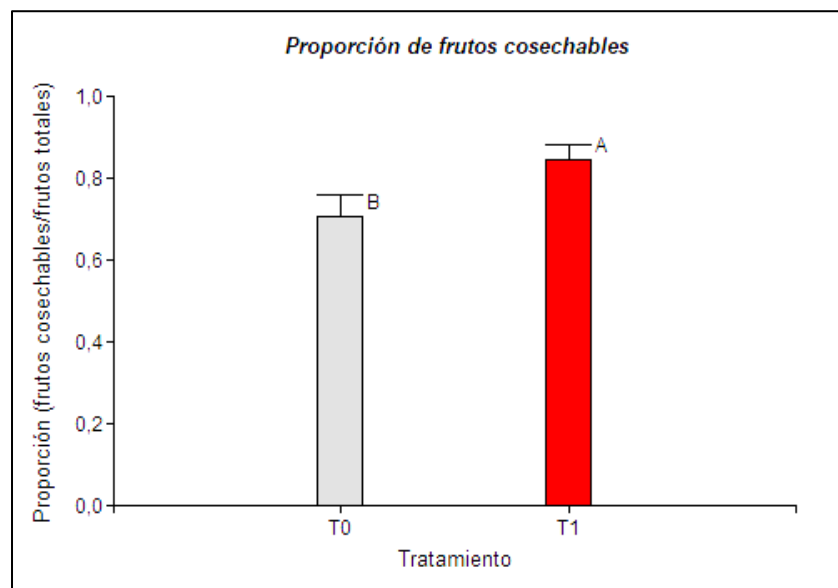


Figure 7. Graphique de la distribution des calibres exprimée en fruits commercialisables et non commercialisables.

CONCLUSIONS

Compte tenu des conditions de l'essai, il est possible de conclure que :

- Il n'est pas possible de détecter un effet des applications de Crioprotect (T1) sur l'incidence et la sévérité des dommages par le froid dans les panicules soumises à -4 °C.
- Il n'est pas possible d'observer un effet des applications des traitements sur la nouaison et la rétention des fruits lors des saisons 2022-2023 et 2023-2024.
- Lors d'une deuxième saison d'évaluation, un effet des applications de Crioprotect (T1) sur le rendement et la productivité est observable, augmentant les deux paramètres de 51,3 et 49,2 % respectivement par rapport au traitement témoin (T0).
- Les applications de Crioprotect (T1) augmentent le poids de 10,1 %, les diamètres équatorial et polaire du fruit de 3,1 et 5,3 % respectivement par rapport au traitement témoin (T0).
- Les applications de Crioprotect (T1) augmentent la concentration de fruits dans la catégorie 40 de calibre, présentant 27,2 % de fruits dans cette catégorie contre 12,4 % pour le traitement témoin (T0), déplaçant la courbe de calibre vers des fruits de plus grande taille.
- Les applications de Crioprotect (T1) augmentent la concentration de fruits commercialisables, présentant 84,6 % contre 70,5 % pour le traitement témoin (T0).