



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Factores de manejo del cultivo que influyen sobre la conservación poscosecha de cebolla en sistemas prediales

Adriana Laura Vieta Delgado

Maestría en Ciencias Agrarias opción Ciencias Vegetales

Diciembre 2020

Tesis aprobada por el tribunal integrado por la Dra. María Inés Siri (Presidente), el Dr. Claudio Galmarini, la Dra. Cristina Mallor, y el Ing. Agr. M.Sc. Pablo González Rabelino, el 11 de diciembre de 2020.

Autora: Ing. Agr. Adriana Vieta Delgado

Director: Ing. Agr. Dr. Guillermo Galván

Codirectora: Ing. Agr. Dra. Fernanda Zaccari

Dedico este trabajo a los productores hortícolas que he conocido en el desarrollo de mi labor, de los cuales he aprendido mucho, compartiendo su idiosincrasia por provenir de familia granjera

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo permanente.

A mis amigas de siempre.

A las familias de los productores hortícolas del Departamento de Canelones que me abrieron las puertas de sus predios para poder hacer esta tesis.

A la Dirección General de la Granja del MGAP que me permitió usar parte del tiempo de mi trabajo en el desarrollo de mi Maestría.

A la Agencia Nacional de Investigación e Innovación por el apoyo recibido en el proyecto María Viñas y el otorgamiento de la beca de estudios.

A Oscar Bentancur de la cátedra de Estadística.

A las funcionarias de la Biblioteca de Facultad de Agronomía por su disposición en la búsqueda de bibliografía solicitada.

Al equipo de docentes y funcionarios de la cátedra de horticultura del Centro Regional Sur por hacerme sentir parte y brindarme su apoyo permanente: a Natalia Curbelo, Mariana Arias, Gastón Soust por su acompañamiento y apoyo moral.

A Paula Colnago y Mariana Scarlato que siempre tuvieron para mí palabras de aliento.

A Fernanda Zaccari por su dedicación, enseñanza y aportes al desarrollo de mi tesis.

A Guillermo Galván un agradecimiento infinito por confiar en mí para realizar esta tesis de Maestría, ser un gran tutor de mi trabajo, teniendo siempre en cuenta mi opinión y ayudándome de manera permanente.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. PROBLEMÁTICA DEL CULTIVO DE CEBOLLA EN EL URUGUAY	1
1.2. FISOLOGÍA DE LA CEBOLLA	2
1.2.1. <u>Bulbificación</u>	2
1.2.2. <u>Latencia o dormancia</u>	4
1.2.3. <u>Floración</u>	5
1.3. ASPECTOS DE MANEJO DEL CULTIVO QUE AFECTAN LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA	5
1.3.1. <u>Manejo durante la etapa de cultivo</u>	5
1.3.2. <u>Manejo durante la etapa de cosecha y curado</u>	6
1.3.3. <u>Manejo durante el almacenamiento</u>	8
1.4. PÉRDIDAS POSCOSECHA CAUSADAS POR HONGOS	9
1.5. PÉRDIDAS POSCOSECHA CAUSADOS POR BACTERIAS ..	10
1.6. OBJETIVOS	12
2. <u>IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE PRE Y POSTCOSECHA QUE DETERMINAN LA CONSERVACIÓN DE CEBOLLA EN PREDIOS COMERCIALES</u>	14
2.1. RESUMEN	14
2.2. SUMMARY	15
2.3. INTRODUCCIÓN	15
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	18

2.4.1. <u>Descripción de la zona de relevamiento</u>	18
2.4.2. <u>Factores estudiados y variables evaluadas</u>	20
2.4.3. <u>Análisis estadístico</u>	22
2.5. RESULTADOS	23
2.5.1. <u>Descripción de la conservación poscosecha, los descartes y comparación entre zafras</u>	23
2.5.2. <u>Efecto del tipo de variedad, fecha de cosecha y sistemas de almacenamiento</u>	25
2.5.3. <u>El estado de madurez y sanitario del cultivo al momento de la cosecha</u>	26
2.6. DISCUSIÓN	34
2.7. CONCLUSIONES	38
2.8. AGRADECIMIENTOS	39
2.9. BIBLIOGRAFÍA	39
3. <u>UN MÉTODO SIMPLE PARA PREDECIR LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA DE CEBOLLAS (<i>Allium cepa</i> L.) EN ALMACENAMIENTO DE PRODUCTORES FAMILIARES</u>	45
3.1. RESUMEN	45
3.2. SUMMARY	46
3.3. INTRODUCCIÓN	46
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.4.1. <u>Descripción del muestreo y determinación de variables de análisis</u>	50
3.4.2. <u>Desarrollo del índice de predicción</u>	54
3.5. RESULTADOS	55
3.6. DISCUSIÓN	62
3.7. CONCLUSIONES	65
3.8. AGRADECIMIENTOS	66
3.9. BIBLIOGRAFÍA	66

4. <u>DISCUSIÓN GENERAL</u>	71
5. <u>CONCLUSIONES GENERALES</u>	73
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	75
7. <u>ANEXOS</u>	80

RESUMEN

La oferta anual de cebolla en Uruguay depende en gran medida de la duración de la conservación poscosecha realizada en predios comerciales familiares con diversidad de sistemas de producción. El almacenamiento generalmente dura de cinco a siete meses. La determinación temprana de la capacidad de conservación poscosecha de un lote de cebolla sería una herramienta de utilidad práctica. Este estudio tuvo por objetivos (1) evaluar y jerarquizar el efecto de la variedad, la fecha de cosecha, el estado de madurez y sanitario a la cosecha, y las formas de almacenamiento sobre la calidad y cantidad de los bulbos conservados a los 150 días luego de la cosecha (150 ddc) en predios comerciales en dos zafras de producción; y (2) validar un test de incubación acelerada para determinar tempranamente el potencial de conservación poscosecha de lotes comerciales. El relevamiento de predios comerciales comprendió 42 cultivos en dos zafras (2015-16 y 2016-17). La conservación de cebollas fue diferente entre zafras, con 71,7 % en 2015-16 y 85,3 % en 2016-17 de bulbos con calidad comercial a los 150 ddc. La conservación de las variedades de Día Intermedio (82% en promedio) no difirió de las de Día Largo (79%). La fecha de cosecha y el sistema de almacenamiento no tuvieron efecto significativo sobre la conservación poscosecha de las cebollas. Lotes de bulbos con bajo número de catáfilas protectoras al momento de la cosecha ($< 2,1$), con mayor porcentaje de hojas verdes ($> 55\%$) y menos de 1% de bulbos con bacteriosis al inicio del almacenamiento mostraron la mayor conservación de las cebollas (91,6%). El número de catáfilas protectoras (secas) formadas al momento de la cosecha fue la variable de mayor correlación negativa ($r = -0,62$; $p = 0,0001$) con la conservación de las cebollas (150 ddc). El test de incubación acelerada (dos semanas a 30 ± 2 °C, 98-100 % HR) fue puesto en práctica con bulbos muestreados al inicio del almacenamiento. La cantidad y severidad de bulbos con bacterias fue un buen predictor de la conservación poscosecha a los 150 ddc ($r = -0,81$, $p \leq 0,0001$), constituyendo una herramienta simple y buena predictora del potencial de almacenamiento de las cebollas.

Palabras clave: bacteriosis, cerrado del cuello, catáfilas protectoras, estructuras de conservación poscosecha

Crop management factors determining onion post-harvest conservation ability in farming systems in Uruguay

SUMMARY

The onion annual supply in Uruguay depends to a large extent on the duration of post-harvest conservation of the bulbs in farming systems. Storage usually last up to five to seven months. An early determination of post-harvest ability of a given onion lot will be an interesting tool with practical use. This study aimed to (1) evaluate and rank the determination effects of onion variety, leaf senescence and disease levels, and storage systems on the quality and quantity of stored onion in farming systems in two seasons, and (2) validate an accelerated incubation test for an early determination potential post-harvest conservation of commercial onion lots. The survey of commercial farming system comprised 42 onion crops in two seasons (2015-16 and 2016-17). The difference between seasons was significant with 71.7 % and 85.3 % of healthy bulbs after 150 days in average for 2015-16 and 2016-17 respectively. Intermediate-Day (82%) and Long-Day (79%) cultivars did not differ in conservation. Harvesting date and conservation systems in diverse shelter structures did not significantly influence post-harvest conservation. Onion marketable lots with low number of protecting skins at harvesting time (< 2.08), a larger percentage of green leaves ($> 55\%$) and less than 1% of bulbs with bacterial rot at the beginning of storage showed the higher postharvest conservation (91.6%). The number of bulbs with bacterial rot and bacterial rot severity were the variables best associated with post-harvest conservation (Pearson -0.62 , $p < 0.01$). An accelerated incubation test (two weeks under 30 ± 2 °C and 98-100% RH) was developed, with bulbs sampled at the beginning of the storage period. The level of bacterial rot in the test was the best predictor of post-harvest conservation of commercial onion lots after 150 days ($r = -0.81$, $p \leq 0.0001$), representing a simple and good forecast tool for the post-harvest potential.

Keywords: bacterial rots, neck-thickness, protecting skins, post-harvest conservation systems

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMÁTICA DEL CULTIVO DE CEBOLLA EN EL URUGUAY

La cebolla (*Allium cepa* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importante en Uruguay, siendo la tercera hortaliza de importancia en volumen (5,1 %) y la cuarta en importancia económica (4,1 %) en el principal mercado mayorista del país. La producción de cebolla en Uruguay se destina principalmente al mercado interno, aunque hay experiencias de exportación sostenidas (Observatorio Granjero, 2019). Es un cultivo intensivo en mano de obra, aportada por el productor y su familia. Las dificultades para conseguir mano de obra asalariada han empujado hacia la mecanización del rubro (Observatorio Granjero, 2013).

A lo largo de los últimos años las características de la producción de cebolla han cambiado, se ha reducido la superficie plantada en 27% (2110 a 1531 ha) y el número de productores en 54% (2195 a 1014) (MGAP-DIEA 2000 y 2011, MGAP-DIEA 2017 publicado en Observatorio Granjero 2018). Sin embargo, la producción total aumentó en un 25 %. Actualmente, en el sur del Uruguay cultivan cebolla 817 productores familiares en 1148 ha (MGAP-DIEA, 2020). El tamaño promedio de las explotaciones aumentó, ya que la disminución del área no acompañó la disminución del número de productores. Este aumento está relacionado a la adopción de tecnología por parte de los productores cada vez más especializados. Arboleya (2005) había señalado la necesidad de incrementar la infraestructura y profundizar en la logística del predio, así como en la mecanización para el cultivo de cebolla.

La oferta de cebolla nacional se sostiene durante todo el año. Desde junio a setiembre disminuye en algunos años porque la cebolla de conservación de la región sur no llega a cubrir la demanda. Este déficit en la oferta se extiende hasta que en octubre ingresan las cebollas más precoces, principalmente de la zona norte del país, y la oferta se estabiliza. En los períodos de déficits inter zafras se han importado cebollas para abastecer la demanda y controlar el alza de los precios (Observatorio Granjero 2014). Las pérdidas de cebolla almacenada son uno de los principales factores de desabastecimiento en el período entre zafras, y pueden alcanzar desde 10 a

20% del producto en un año favorable, hasta 40-50% del lote almacenado en años problemáticos.

La etapa de cosecha y la poscosecha son dos instancias fundamentales en las que se compromete gran parte de la capacidad de conservación de la cebolla. La calidad del producto en cada zafra depende en gran medida de las condiciones meteorológicas durante la cosecha y el curado, principalmente en las cebollas tipo Pantanoso del Sauce, dado que es el cultivar mayoritario (Observatorio Granjero 2013). Las lluvias cercanas a la cosecha son un factor que se ha asociado como decisivo para el desarrollo de podredumbres bacterianas. En temporadas de escasas precipitaciones, las podredumbres se mantienen a un nivel relativamente bajo, mientras que en años de lluvias abundantes se observa un incremento explosivo (Delhey et al., 2019). Existe entonces una necesidad de disminuir las pérdidas de la cebolla de guarda, para lo cual es necesario determinar los principales factores causales.

1.2. FISIOLOGIA DE LA CEBOLLA

La cebolla es una especie bienal, donde en el primer año se produce el crecimiento vegetativo foliar, que continúa con la etapa de formación del bulbo (bulbificación), culmina con la maduración y pasa a una etapa de latencia o dormición del bulbo. En el segundo año, al finalizar la dormición del bulbo se generan nuevas hojas, seguido de un periodo de inducción floral que continua con la floración y finalmente la maduración de las semillas (Brewster, 1990).

1.2.1. Bulbificación

El inicio de la bulbificación se identifica cuando el diámetro mayor del bulbo es el doble del diámetro menor (cuello) y su ocurrencia depende fundamentalmente del fotoperíodo y la temperatura, entre otros factores ambientales (Brewster, 1990). Para desencadenar la bulbificación se requiere un fotoperíodo largo, con un mínimo por debajo del cual la cebolla no bulbificará. El fotoperíodo mínimo crítico es característico de cada cultivar o variedad de cebolla. La sincronización entre el inicio de la bulbificación y el crecimiento alcanzado de la parte aérea es un factor crítico para la determinación del rendimiento, dado que el tamaño de los bulbos dependerá del área

foliar formada en el momento que comienza a bulbificar (Arbeletche et al., 1999). Mac Callum et al. (2016) encontraron la existencia de genes de respuesta al fotoperíodo que controlan las fases de desarrollo del cultivo. El gen AcFT4 (*Allium cepa* Fotoperíodo 4) está activo durante el desarrollo foliar, y la transición al bulbo se asocia con una reducción en la expresión de AcFT4 y se produce un aumento en AcFT1 (*Allium cepa* Fotoperíodo 1) que promueve la formación del bulbo. En tanto, el gen AcFT2 (*Allium cepa* Fotoperíodo 2) se expresa en los meristemos basales del bulbo después del tratamiento con frío, y su expresión ocasiona el pasaje a la fase reproductiva. La tasa de desarrollo del bulbo aumenta desde el inicio del desarrollo y disminuye hacia la madurez, a medida que el fotoperíodo aumenta. La evidencia indica que la finalización del desarrollo del bulbo requiere largos fotoperíodos y no es una respuesta inductiva como la floración en muchas plantas de día largo.

Los términos “Día Largo”, “Día Intermedio” y “Día Corto” son utilizados para describir los diferentes grupos de cultivares con requerimientos de diferente duración del fotoperíodo crítico. Para un fotoperíodo dado, la bulbificación será más rápida cuanto mayor sea la temperatura (Brewster,1990). Cuando la duración del día se hace más larga y las temperaturas aumentan las plantas de cebolla bulbifican, y durante este proceso se producen cambios hormonales entre los que se encuentran el aumento del ácido indolacético (IAA), así como compuestos de la familia de las citoquininas y del etileno (en las primeras etapas del desarrollo del bulbo). Se producen cambios morfológicos que dan lugar a la preparación de la planta de cebolla para un estado de reposo. El estado de reposo le permite evitar condiciones ambientales desfavorables para la especie, como son las condiciones estivales. Generalmente estos cambios son el resultado de movilización de carbohidratos y el almacenamiento en las bases de las hojas para formar el bulbo. La bulbificación se produce por el engrosamiento de la base (vainas) de las hojas. Finalmente, cuando los bulbos maduran, las bases de las hojas más externas se secan y desaparecen o quedan como catáfilas secas protectoras (Brewster,1990).

1.2.2. Latencia o dormancia

La dormancia de la cebolla es un carácter de tipo cuantitativo, ya que no es roto abruptamente en un momento específico, sino que desaparece de manera gradual. Cuando se cultiva en fotoperiodos largos los bulbos entran en un estado latente. La latencia se hace gradualmente más profunda, alcanza un máximo y luego se vuelve gradualmente más leve. Cuando se termina la latencia, se observa el inicio de la elongación interna del brote. La latencia del bulbo está controlada por inhibidores del crecimiento que son sintetizados en las hojas verdes, son traslocados y concentrados dentro del bulbo hasta una cierta etapa del desarrollo, a partir de la cual comienza la destrucción de los inhibidores, actuando las citoquininas en la ruptura de la dormancia (Brewster 1990).

Las condiciones óptimas para la brotación del bulbo luego de la dormancia están en el entorno de 10 a 20 °C, con un óptimo de 15 °C (Arbolea, 2013). La brotación es inhibida con temperaturas de alrededor de 30 °C y con temperaturas cercanas a 0 °C (Brewster, 1990). El almacenamiento a bajas temperaturas provoca menores pérdidas durante la poscosecha debido a que se detiene la elongación del brote, la división celular y por ende se impide la brotación. Por otro lado, las bajas temperaturas disminuyen la deshidratación e impiden el crecimiento de patógenos, lo que determina la menor expresión de pudriciones. La humedad relativa ha mostrado tener poca influencia en la brotación, teniendo mayor influencia en la brotación de raíces del bulbo (Carballo, 2005). Se recomienda 70-75% de humedad relativa para la supresión de la aparición de raíces durante la conservación y una menor pérdida por podredumbres que se daría con humedad relativa más alta (Brewster, 1990).

Existen métodos artificiales para reducir la brotación aplicando irradiación gamma (Ruiz Ramos, 2016). El uso de inhibidores del crecimiento como la hidrazida maleica aplicada antes de la cosecha, prolonga la dormición del bulbo y retrasa la brotación, pero no impide las pérdidas cuando existen problemas sanitarios u otras deficiencias en la calidad (Campelo et al., 2013).

Durante el periodo de almacenamiento de la cebolla se produce pérdida de peso por la transpiración de los bulbos, principalmente en las superficies externas de las catáfilas saliendo el vapor de agua por el cuello del bulbo hacia la atmósfera. La

transpiración es menor en cultivares de Día Largo, y las tasas de pérdida son más altas inmediatamente después de la cosecha, y a partir de entonces tienden a ser constantes en niveles más bajos. La pérdida de agua podría minimizarse significativamente controlando la humedad relativa dentro del ambiente de almacenamiento a niveles no menores de 65-70%, que se consideran óptimos para el almacenamiento a largo plazo (Petropoulos et al., 2017).

1.2.3. Floración

La floración de las plantas durante la producción de bulbos es negativa, una causa de descarte. La floración se produce por la acumulación de temperaturas bajas durante el cultivo (Carballo, 2005). Al igual que el crecimiento del follaje y del bulbo, la floración está regulada por las condiciones ambientales, las plantas cultivadas bajo temperaturas frías forman inflorescencias (Brewster, 1990). La respuesta a la floración de un cultivar en una localidad depende de una serie de factores, entre ellos el clima, la temperatura requerida para la inducción floral, la época de plantación y el tamaño de los bulbos madre (Melo y Ribeiro, 1990). La fase reproductiva se inicia con el estímulo provocado por el frío sobre la yema apical y eventualmente las yemas localizadas en las axilas de las hojas de los bulbos o plantas, que pasan de vegetativas a reproductivas en condiciones naturales o artificiales de vernalización, resultando posteriormente en la emisión de escapos florales (Gubb y Mac Tavish, 2002). La vernalización es un fenómeno inductivo que provoca una aptitud para la floración, fenómeno que se manifiesta normalmente a temperaturas superiores a la de vernalización y con fotoperiodos largos. La vernalización es un proceso cuantitativo más que un cambio brusco de un estado no inductivo a uno inductivo (Thomas, 1994).

1.3. ASPECTOS DE MANEJO DEL CULTIVO QUE AFECTAN LA CONSERVACION POSCOSECHA

1.3.1. Manejo durante la etapa de cultivo

Factores de manejo del cultivo que afectan el desarrollo foliar como la fertilización nitrogenada, el riego, y la ocurrencia de enfermedades foliares, pueden dificultar el correcto cerrado del cuello del bulbo, y derivar en una menor conservación poscosecha (García et al., 1985; García et al., 1998; Carballo, 2005). Petropoulos et al.

(2017) describieron el efecto más profundo del uso excesivo de nitrógeno antes de la cosecha, lo que retrasa la maduración del bulbo y da como resultado cuellos anchos y en consecuencia mayores pérdidas de agua y una mayor susceptibilidad a las infecciones por patógenos que se desarrollan y magnifican durante el almacenamiento. Abdalla et al. (2017) encontraron que agregar la última dosis de nitrógeno dos meses antes de levantar los bulbos, evitar la aplicación de nitrógeno durante el mes anterior a cosechar, y contar con un período de sequía en el final del crecimiento del bulbo de dos semanas antes del levantamiento de los bulbos permite lograr un rendimiento máximo y una mejor calidad durante el almacenamiento.

El período de formación del bulbo es una etapa crítica en cuanto al abastecimiento de agua. En general coincide con el máximo consumo de las plantas y tiene una relación directa con la disminución de los rendimientos. Al final del ciclo de cultivo, en un período que abarca aproximadamente los últimos 15 días, la recomendación general es suspender los riegos para permitir un cierre de cuello adecuado y obtener buena conservación poscosecha (Arboleya, 2005). Si por el contrario el déficit de agua se produce en un periodo mayor esto provoca una reducción del tamaño del bulbo, una aceleración de la brotación y una mayor tasa de pérdida de peso durante el almacenamiento (Rattin et al., 2011).

En consecuencia, y de acuerdo a lo mencionado anteriormente por los diferentes autores, el tamaño del bulbo, el cerrado del cuello, la cantidad de hojas, el tamaño y el estado sanitario de las hojas al momento de la cosecha son consecuencia del manejo previo a la cosecha y serán tomados como posibles indicadores del potencial de conservación de las cebollas.

1.3.2. Manejo durante la etapa de cosecha y curado

La cosecha de la cebolla se continúa con el curado de los bulbos, con el cual se completa el cerrado del cuello y el secado de las catáfilas externas (Hardenburg et al., 1988). El curado de la cebolla es la etapa inmediatamente posterior a la cosecha en la cual se logra el secado externo de las catáfilas protectoras del bulbo y el cierre completo del cuello (Maw et al., 1997). Las condiciones óptimas recomendadas para el curado de la cebolla (25-35°C, 60-65 % HR y ausencia de precipitaciones) hacen referencia a la velocidad con la cual se logra el secado (Carballo, 2005). El cerrado del

cuello es resultado de la interacción entre el cultivar y las condiciones ambientales, y está correlacionado con la capacidad de conservación poscosecha (Patil y Kale, 1985). Las características de las catáfilas (retención, número y color) y el cerrado del cuello son aspectos importantes en la calidad de los bulbos a la hora de su comercialización. La duración y la temperatura del curado están estrechamente relacionadas con la incidencia y la gravedad de enfermedades de almacenamiento, que pueden afectar gravemente la calidad y la pérdida de productos. Según Eshel et al., (2014), la aplicación del curado rápido (9 días a 30 °C) mejoró la calidad del bulbo como resultado de un mayor número de catáfilas externas y un aumento de color y firmeza. La eliminación del follaje antes del curado también puede afectar la calidad y el comportamiento de almacenamiento de los bulbos secos. Nabi et al., (2013) puntualizaron que la eliminación del follaje resultó en un menor contenido de materia seca y sólidos solubles totales, mientras que las pérdidas de peso y la incidencia de brotación y enraizamiento durante el almacenamiento fueron mayores, ya que las heridas causadas por el corte del follaje aumentaron la tasa de respiración y los procesos metabólicos e infecciones por patógenos.

En Uruguay, el curado se realiza generalmente en el campo en gavillas: hileras de cebollas acondicionadas manualmente en las que el follaje de unas plantas cubre los bulbos de otras plantas colocadas anteriormente (Galván et al., 2011). Para que este proceso se dé adecuadamente se requiere alta temperatura, alta tasa de remoción de aire y baja humedad relativa durante un período de hasta 20 a 30 días en el caso de que se cure a campo, y de 2 a 4 días para el curado forzado (Arbolea, 2005). El curado a campo es una técnica de bajo costo, pero el resultado es muy dependiente de las condiciones ambientales que haya en ese periodo. En los años secos con alta temperatura los bulbos pueden sufrir quemado de sol, mientras que en los años lluviosos hay pérdidas por pudriciones y mal cerrado del cuello (Galván et al., 2011). La conservación dependerá en gran medida de que el proceso de curado se dé en las mejores condiciones ambientales (Arbolea, 2005).

Existen antecedentes nacionales buscando estrategias para mejorar la calidad de la cebolla. Carballo (2005) evaluó diferentes métodos de curado forzado de los bulbos. Para la producción familiar, estos métodos no se difundieron ya que no se

justificaba la inversión que implican, y solo se habrían justificado si se le dan otros usos que amorticen la inversión (Carballo, 2005). En ensayos que se realizaron entre 2009 y 2011 en Canelones, se evaluaron aspectos del manejo y mejoras más económicas (Galván et al., 2011). Se encontró que el efecto año sobre las pérdidas y la calidad es muy marcado, con diferencias entre las dos zafas, así como con diferencias entre los predios relevados.

Al evaluar cultivos destinados a conservación poscosecha, el estado de madurez del cultivo (porcentaje de vuelco) en el momento de cosecha no fue determinante en el rendimiento y el diámetro del bulbo (Galván et al., 2011). Sin embargo, esto no concuerda con lo encontrado por Brunetto (1997) para cebolla Granex 33, donde se vio que la cosecha anticipada afectó negativamente el rendimiento y mejoró la calidad. Para algunos de los sitios en los que se realizaron los ensayos con variedades destinadas a conservación poscosecha, la cosecha anticipada aumentó el número de catáfilas protectoras y el índice de color (la coloración oscura), sin afectar negativamente el rendimiento (Galván et al., 2011).

La mecanización o el manejo incorrecto de los bulbos durante la cosecha o después de la misma debido a lesiones mecánicas, pueden afectar gravemente su calidad y su vida útil en almacenamiento, ya que los daños del tejido interno o superficial provocan pérdidas de agua y enfermedades de almacenamiento elevadas. El manejo también es importante después del curado, ya que las catáfilas exteriores muy secas son más propensas a desgarrarse y dañarse debido al roce (Petropoulos et al., 2017).

1.3.3. Manejo durante el almacenamiento

En las condiciones típicas de almacenamiento en el sur de Uruguay, se produce en general un marcado incremento de las pérdidas comerciales a partir de mayo (3 a 4 meses después del fin del curado). Esto se debe principalmente a que en este período se produce en el almacenamiento natural un ambiente con temperaturas en el entorno a los 15 °C y humedad relativa por encima del 70%, condiciones que favorecen el brotado y las pudriciones. Las estructuras típicamente utilizadas para el almacenamiento en Uruguay son galpones, tubos o túneles, estanterías o zarzos y

estibas de cajones o bins. Las condiciones óptimas de almacenamiento son temperaturas de 0 a 2 °C, humedad relativa de 65 a 75%, una circulación de aire de 1 a 2 m³ aire/min/m³ de cebolla (Arboleya, 2005). La respiración, la brotación y los problemas fitopatológicos son factores involucrados en el deterioro de la calidad de la cebolla.

1.4. PÉRDIDAS POSCOSECHA CAUSADAS POR HONGOS

Uno de los problemas más frecuente en el almacenamiento es la carbonilla causada por *Aspergillus niger* y *Aspergillus fumigatus*, que desmerecen la calidad externa del producto. Son hongos saprófitos que habitan el suelo y viven sobre tejidos de la planta muertos. La infección del bulbo se produce a través de heridas de los tejidos, generalmente en el cuello de la cebolla madura (Schwartz y Mohan, 2008). El crecimiento de *Aspergillus* requiere alta humedad relativa (80-100 %) y temperaturas de 30-35 °C (Maude, 1990). Bajas temperaturas durante el almacenamiento reducen el crecimiento del patógeno; con temperaturas de 1°C a 15°C durante el almacenamiento *Aspergillus* sp. no esporula, y con 50 % de HR baja mucho la incidencia de la enfermedad (Schwartz y Mohan, 2008).

Otra enfermedad problemática es la podredumbre basal causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*, cuyos síntomas incluyen moho blanco, la formación de una esporulación naranja-rojiza en la base del bulbo y pudrición de raíces. Es un hongo habitante común del suelo que sobrevive como clamidosporas en condiciones adversas, prevaleciendo con temperaturas de 25-28 °C (Schwartz y Mohan, 2008). Sánchez et al., (2015) encontraron que aislamientos nativos de *Trichoderma harzianum* pueden ser potenciales biocontroladores de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*.

La raíz rosada producida por *Setophoma terrestris* es una enfermedad devastadora en climas cálidos y en las zonas subtropicales y tropicales. La sintomatología típica es la ocurrencia de raíces que se tornan rosadas, que se desintegran a posteriori con estrés por falta de absorción de nutrientes (De Albuquerque, 2009). El hongo sobrevive en el suelo como picnidios o clamidosporas y en cultivos susceptibles, siendo su óptimo de temperatura 24-28°C, y se reduce la enfermedad con temperaturas por debajo de 16 °C (Schwartz y Mohan, 2008).

1.5. PÉRDIDAS POSCOSECHA CAUSADAS POR BACTERIAS

Alonso y Riva (1999) determinaron en lotes de cebolla experimentales del Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía (Canelones, Uruguay), que las pérdidas por hongos y bacterias representaron entre 40 y 60% de los descartes totales, con predominancia de bacterias. En estos estudios pioneros, las bacterias identificadas con técnicas tradicionales a nivel de género fueron *Erwinia* sp. y *Pseudomonas* sp., mientras que *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. fueron los géneros de hongos predominantes (Alonso y Riva, 1999). De forma sistemática, otros autores han determinado similares pérdidas por pudriciones bacterianas en estudios anuales sobre el comportamiento de las variedades utilizadas en el Sur del Uruguay (Peluffo et al., 2010).

Las pudriciones de bulbos almacenados ocasionadas por bacterias pueden ser como agentes patogénicos primarios, o que aparecen luego de otros daños (Maude 1990). La pudrición blanda de la cebolla es causada por especies de los géneros *Pectobacterium*, *Pseudomonas*, *Dickeya* (*Erwinia*), y *Enterobacter*. Cepas de *Pseudomonas* spp. y *Dickeya* spp. han sido reclasificadas respectivamente como *Burkholderia* (Yabuuchi et al. 1992) y *Pantoea* (Gavini et al. 1989). Las bacteriosis se desarrollan en clima cálido, con fuertes lluvias, ocurrencia de granizo, y viento. *Dickeya* infecta hojas en la base de la planta cerca del suelo, los tejidos se vuelven blandos, viscosos y las hojas caen sobre el suelo. Los tejidos afectados toman un aspecto acuoso, se vuelven blandos y pueden implicar varias hojas. La podredumbre progresa a lo largo de la hoja en las bases y a través del cuello penetra al bulbo. Los tejidos del bulbo desarrollan una podredumbre blanda y acuosa que finalmente toma la mayoría de las catáfilas internas (Schwartz y Mohan, 2008).

Pectobacterium causa blanqueamiento de las hojas y marchitamiento que puede causar pudrición del bulbo en el campo o durante el almacenamiento. La podredumbre suele iniciarse en el tejido del cuello o a través de heridas y se extiende al bulbo. Los tejidos aparecen húmedos y de color amarillo claro a marrón y se ablandan a medida que la pudrición progresa. Todo el interior del bulbo puede descomponerse y un líquido viscoso con olor sucio se desprende (Schwartz y Mohan 2008). *Dickeya* y *Pectobacterium* tienen como principales fuentes de inóculo los

residuos de plantas infestadas, el suelo contaminado y el agua de riego. Las salpicaduras de lluvia, e insectos plaga son capaces de propagar patógenos bacterianos (Dutta et al., 2014). Las bacterias entran en el bulbo también a través de las hojas y los tejidos del cuello de las plantas, a través de lesiones mecánicas o tejido dañado por el gusano de la cebolla (Snowdon, 2010).

Pseudomonas marginalis fue reportada en Nueva Zelanda con lesiones acuosas en hojas pequeñas, que pueden causar una pudrición viscosa gris marrón que puede progresar a la base y pudrir toda la planta (Wright et al., 1993). La enfermedad requiere condiciones húmedas, y la bacteria entra por el cuello a través de las catáfilas reservantes, las que se decoloran y toman color amarillo y marrón. En casos avanzados los bulbos se vuelven completamente descompuestos (Schwartz y Mohan, 2008).

Otra enfermedad bacteriana es la “piel resbaladiza” cuyo organismo causal es *Burkholderia gladioli* pv. *allicola* (antes *Pseudomonas gladioli*). En etapas tempranas de la enfermedad el bulbo no presenta síntomas externos, salvo el ablandamiento del cuello. Si se corta el bulbo longitudinalmente aparecen uno o dos catáfilas de aspecto amarronado, con color amarillo cremoso. La pudrición avanza desde la parte superior de las catáfilas hacia abajo sin extenderse hacia las catáfilas adyacentes. Frecuentemente, se desprende olor acético y si la infección es muy avanzada el tejido se puede secar y el bulbo encogerse (Snowdon, 2010).

Burkholderia cepacia (antes *Pseudomonas cepacia*) es una bacteria que sobrevive en el suelo, el agua y es patógeno de plantas y animales. En cebolla produce la enfermedad denominada “piel agria”, siendo sus síntomas color amarillo pálido a marrón claro en las catáfilas externas de los bulbos, presentándose el centro del bulbo firme. La zona del cuello se ablanda luego de que caen las hojas. La infección ocurre por heridas provocadas por lluvias, y puede entrar cuando el follaje cae por la madurez y se cortan las hojas (Schwartz y Mohan, 2008).

La pudrición central causada por *Pantoea ananatis* aparece como síntomas primero en hojas jóvenes o centrales de la planta, de tipo acuosas que luego se vuelven blancas y después se oscurecen a marrón. Una infección grave hace que todo el follaje se marchite. Avanza la infección por el cuello y pasa al bulbo, siendo una catáfila central o varias cerca del centro las que muestran síntomas de bacteriosis. Al momento

de la cosecha, el cuello puede contener un líquido viscoso al intentar arrancar la planta. (Snowdon, 2010).

Pantoea agglomerans (antes *Erwinia herbicola*) causa necrosis del tallo y hoja, presentando manchas en las hojas de apariencia clorótica y zonas blanquecinas. La infección de la hoja progresa y va invadiendo el cuello del bulbo, cerca del centro o las catáfilas externas. La enfermedad es más dañina en inviernos fríos y progresa con lluvias, agravándose cuando hay un sistema frontal durante tres a cinco días (Schwartz y Mohan, 2008).

El decaimiento del bulbo es producido por *Enterobacter cloacae* (Schroeder et al., 2009) cuyos síntomas se producen en la etapa de almacenamiento. Los bulbos parecen externamente sanos, pero cuando se abren las catáfilas interiores están marrones con el tejido en desintegración. Los anillos afectados son más firmes en relación a otras pudriciones como *Dickeya* o *Pectobaacterium*, y no presenta el mal olor característico de las pudriciones blandas. Se registraron infecciones en ambientes con temperaturas extremas de 40-45°C, lluvias y falta de oxígeno (Bishop y Davis, 1990).

1.6. OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio fue contribuir a determinar qué factores de manejo en el cultivo de cebolla a nivel de los predios comerciales de productores familiares tienen mayor incidencia en la duración de la conservación poscosecha de cebolla.

Los objetivos específicos fueron:

- i. Evaluar en cultivos de cebollas comerciales la conservación poscosecha y las causas de pérdidas, compararlas entre los dos años de producción (zafra); y jerarquizar el efecto del tipo de variedad (día intermedio y día largo), de la fecha de cosecha, del sistema de conservación (cajón y bins en galpón, bins y sierra a campo) y el estado de madurez y sanitario

del cultivo en cosecha, sobre la calidad y cantidad de los bulbos conservados.

- ii. Construir y validar un test de incubación acelerada de las pudriciones en bulbos de cebollas causadas por bacterias u hongos, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa al inicio de almacenamiento para predecir la conservación en poscosecha de cebolla a los 150 días desde la cosecha (junio).

La tesis se estructura en cinco capítulos. Este capítulo 1 corresponde a la introducción general a la problemática, revisión bibliográfica y objetivos. En el capítulo 2 se presenta un artículo científico referido al objetivo específico i. En el capítulo 3 se presenta un artículo científico referido a la construcción y validación de un test de predicción de la conservación de la cebolla, respondiendo al objetivo específico ii. El capítulo 4 corresponde a una discusión general y el capítulo 5 a las conclusiones.

2. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE PRE Y POSTCOSECHA QUE DETERMINAN LA CONSERVACIÓN DE CEBOLLA EN PREDIOS COMERCIALES¹

2.1. RESUMEN

La oferta de cebolla en Uruguay depende del éxito en la conservación poscosecha que es realizada en predios familiares de Canelones. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto del tipo varietal, la fecha de cosecha y el sistema de almacenamiento, y jerarquizar los factores que inciden sobre la conservación poscosecha de cebolla en predios comerciales. En 2015-16 y 2016-17 fueron relevados 42 cultivos en Canelones. A la cosecha, se evaluó el estado de madurez y sanitario en una muestra de 24 plantas al azar. Se registraron el número, peso y porcentaje de hojas verdes, peso y diámetro del bulbo, número de catáfilas protectoras, color y sólidos solubles. Luego de 50, 150 y 210 días posteriores a la cosecha (ddc), se evaluó el peso de cebollas comerciales y descartes. La conservación de las cebollas fue diferente entre zafras con 73% y 85% de los bulbos con calidad comercial respectivamente. Las principales causas de descarte fueron los bulbos con bacterias a los 150 ddc y bulbos brotados a los 210 ddc. El tipo varietal, la fecha de cosecha y el sistema de almacenamiento no tuvieron efecto significativo sobre la conservación de las cebollas. La mayor conservación de las cebollas (91,6%) estuvo asociada a menos de 2,1 catáfilas protectoras al momento de la cosecha, más del 55% de hojas verdes en la planta y menos de 1% de bulbos con bacteriosis al inicio del almacenamiento. Estas variables determinan en gran medida la conservación de las cebollas en los predios comerciales.

Palabras clave: pudrición bacteriana, catáfilas protectoras, pérdidas poscosecha, almacenamiento, producción familiar

¹ Este capítulo está preparado en base a las normas editoriales de “Agrociencia Uruguay”, para ser publicado como Vieta et al. “Identificación de los factores de pre y poscosecha que determinan la conservación de cebolla en predios comerciales”.

2.2. SUMMARY

Identification of pre and post-harvest factors that determine the conservation of onion in family farming systems

Onion supply in Uruguay depends on the success of post-harvest conservation period in family farming systems. The goal of this research was to evaluate the effect of cultivar type, harvesting date, and storage system and rank the factors determining postharvest conservation of onions in farming systems. In 2015-16 and 2016-17, 42 farmers crops were selected in Canelones. At harvest, maturity and sanitary stage were evaluated by sampling 24 plants at random. Total number, weight and percentage of green tissue of leaves were measured, bulb weight and diameter, number of protecting developed skins, colour and soluble solids content. At 50, 150 and 210 days after harvest, the marketable bulb weight and causes of losses were evaluated. Marketable bulbs 150 days after harvest, differed between season, with 73% in 2015-16, and 85% in 2016-17. Bacterial rot was the main cause of losses at 150 days, whereas bulb sprouting was the main cause at 210 days in both seasons. Cultivar type, harvesting date and storage systems did not show significant differences on onion conservation. A higher post-harvest conservation (91.6 %) was associated with less than 2.1 protecting dry skins at harvest, more than 55 % of green leaf tissue, and less than 1% of bacterial rot at the beginning of storage. These variables determine to a large extent bulb conservation in commercial storages.

Keywords: bacterial rot, protective skins, post-harvest losses, storage, family farming systems.

2.3. INTRODUCCIÓN

La cebolla es el tercer cultivo hortícola en Uruguay, realizado mayoritariamente en el sur por 817 productores familiares en 1148 ha. Es la tercera hortaliza en volumen (5,1%) y la cuarta en importancia económica (4,1%) comercializada en el principal mercado mayorista del país ⁽¹⁾. El objetivo de la producción de cebolla en Uruguay es abastecer el mercado interno durante todo el año,

aunque hay experiencias de exportación sostenidas, con un promedio de 846 toneladas anuales en el período 2004-2013 ⁽²⁾. La oferta de cebolla nacional en algunos años tiene dificultades, principalmente desde junio a setiembre, donde la oferta de cebolla de la región Sur conservada no cubre la demanda. Las pérdidas de cebolla en almacenamiento son uno de los principales factores de desabastecimiento, alcanzando 10-20% del producto en años favorables y 40-50% de los lotes almacenados en años problemáticos ^(3, 4). En los periodos donde no se cubre la demanda se realizan importaciones. Durante 2016 y 2017 los niveles de importación de cebolla tuvieron valores inferiores al período 2013-2015 ⁽⁵⁾ debido a la buena conservación obtenida.

La formación del bulbo de cebolla como órgano de reserva conlleva su entrada en dormición, detiene la aparición de nuevas hojas y raíces, y permite la conservación poscosecha del bulbo ⁽⁶⁾. La capacidad de conservación de un lote comienza a definirse desde el cultivo con cultivares de mayor dormición y conservación, mientras que otros se adecuan a la venta inmediata ^(7, 8, 9). En Uruguay, los cultivares para conservación son los de día intermedio (DI) y de día largo (DL). En tres años de ensayos de evaluación de conservación de cultivares de cebolla, se observó que “Pantanos del Sauce” (DI) y “Canarita CRS” (DI) tuvieron una conservación de 96 a 85% a fines de mayo (150 días desde cosecha), mientras que materiales genéticos de DL (“Cobra”, “Santina”, “Cruce Canario LB”, UR9719 y “Martínez”) estuvieron en el rango de 96 a 93 % (un año) y 80 a 87 % de bulbos con calidad comercial (dos años) a esa fecha ^(4, 10, 11).

Existen factores de manejo del cultivo que afectan el desarrollo foliar como la fertilización nitrogenada, el riego y las enfermedades foliares, perjudicando el cerrado del cuello y derivando en una menor conservación poscosecha ^(12, 13, 14). El cerrado del cuello es resultado de la interacción entre el cultivar y condiciones ambientales, y está correlacionado positivamente con la capacidad de conservación poscosecha ⁽¹⁵⁾. Es resultado del balance entre la fase de desarrollo foliar y la fase de bulbificación. El área foliar alcanzada al inicio de la bulbificación determina el rendimiento del cultivo. Un área foliar excesiva puede determinar mayores tamaños de bulbos, pero con cerrado de cuello deficiente, asociándose a mayores pérdidas en poscosecha ^(13, 15).

En evaluaciones del efecto del momento de cosecha con el cultivar “Granex 33”, Brunetto ⁽¹⁶⁾ encontró que cosechas anticipadas disminuyeron el rendimiento, pero mejoraron la calidad y disminuyeron las pérdidas en poscosecha. Sin embargo, Galván et al. ⁽¹⁷⁾ con el cultivar “Pantanos del Sauce”, encontraron que el estado de madurez a la cosecha no fue determinante en el rendimiento y diámetro del bulbo, y en algunos sitios la cosecha anticipada aumentó el número de catáfilas protectoras y el índice de color luego de la conservación ⁽¹⁷⁾.

La cosecha de cebolla se continúa con el curado de los bulbos, con el cual se completa el cerrado del cuello y el secado de las catáfilas externas ⁽¹⁸⁾. Las características de las catáfilas y el cerrado del cuello son aspectos importantes en la calidad de los bulbos. El curado requiere alta temperatura (36-38 °C), alta tasa de remoción de aire (7-20 m³ aire/minuto/m³ cebolla) y baja humedad relativa (50-60%) ⁽¹⁹⁾.

En el Sur del Uruguay la cosecha y curado se realizan a campo durante la época estival (diciembre-enero). Las plantas se arrancan y los bulbos se colocan arracimados en gavillas ordenadas sobre los canteros, donde las hojas de las propias plantas los protejan del sol. Presenta ventajas por su bajo costo, pero requiere desde 10 a 30 días para completarse, según la senescencia del cultivo al momento de la cosecha ⁽¹⁹⁾. El resultado es dependiente de las condiciones agroclimáticas de la temporada, y varía dentro y entre años. En cosecha (diciembre-enero) se han registrado temperaturas extremas de 3 a 40 °C, humedad relativa entre 40 a 100 % y precipitaciones entre 0 y 183 mm mensuales para una serie de 30 años ⁽²⁰⁾. En años secos con alta temperatura, los bulbos pueden sufrir quemado de sol durante el curado a campo, mientras que en años lluviosos hay pérdidas por pudriciones y mal cerrado del cuello ⁽¹⁷⁾. Las lluvias cercanas a la cosecha son un factor decisivo para el desarrollo de podredumbres bacterianas. Esta respuesta muy marcada a la intensidad de las lluvias se limita a las podredumbres de origen bacteriano, mientras que la podredumbre basal (*Fusarium* sp.) es poco influenciada ⁽²¹⁾. Fernández et al. ⁽²²⁾ encontraron que altas precipitaciones en el periodo de cosecha y curado a campo hacen bajar la oferta de cebolla al año siguiente.

Las enfermedades poscosecha son determinantes en la conservación de la cebolla. Las pérdidas por hongos y bacterias representan entre 40 y 60 % de los descartes totales, con predominancia de bacterias ⁽²³⁾. Peluffo et al. ⁽²⁴⁾ también encontraron como principales problemas a las pudriciones bacterianas. Éstas pueden darse como agentes patogénicos primarios o aparecer luego de otros daños ⁽²⁵⁾. Los patógenos bacterianos encontrados en Uruguay pertenecen principalmente a los géneros *Pantoea* y *Burkholderia* ⁽²⁶⁾. Condiciones de temperatura de 25 a 35 °C combinadas con humedad relativa mayor a 90 % favorecen la velocidad de crecimiento de las principales bacterias durante el almacenamiento ^(27, 28, 29).

La respiración, brotación y problemas sanitarios son factores involucrados en el deterioro de la calidad de la cebolla. Entre los problemas sanitarios, la carbonilla causada por *Aspergillus niger* y *Aspergillus fumigatus* desmerece la calidad externa del producto ⁽²⁷⁾. El uso de inhibidores como la hidrazida maleica, prolonga la dormición del bulbo y retrasa la brotación ⁽³⁰⁾, pero no impide las pérdidas poscosecha cuando existen problemas fitosanitarios o deficiencias en la calidad.

En síntesis, la conservación poscosecha de cebolla en Uruguay presenta importantes variaciones entre años y entre predios debido a las condiciones ambientales y el manejo del cultivo, la cosecha y el curado. El objetivo de este trabajo fue evaluar la conservación poscosecha y las causas de pérdidas en cultivos de cebollas comerciales en dos años de producción, y jerarquizar el efecto del tipo de variedad, de la fecha de cosecha, el estado de madurez y sanitario del cultivo a la cosecha, y el sistema de almacenamiento sobre la calidad y cantidad de los bulbos conservados.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Descripción de la zona de relevamiento

El estudio se realizó en dos zafra de producción (2015-16 y 2016-17), en 42 cultivos comerciales del sur del Uruguay en el departamento de Canelones (34°31'22" S - 56°16'40" W). En el período de cosecha y curado de los bulbos, en la primera zafra se registraron temperaturas promedio de 21,8 °C en diciembre y 23,4 °C en enero, y en la segunda zafra de 22,2 y 23,2 °C respectivamente. Las precipitaciones acumuladas

durante diciembre y enero fueron de 139,8 mm y de 278,6 mm para las zafras 2015-16 y 2016-17 respectivamente ⁽²⁰⁾. En la primera, las lluvias se concentraron en diciembre, y en la segunda se distribuyeron en diciembre y enero (Figura 1). Los días acumulados con pronóstico de riesgo para la infección de *Peronospora* spp. fueron de 104 días en la zafra 2015 y 86 días en 2016 ⁽³¹⁾.

El relevamiento de predios comerciales se realizó mediante selección de productores tradicionales, con experiencia mayor a cinco años en el cultivo y superficie de cultivo entre 1 - 2 ha a 5 - 10 ha, con utilización de cultivares o variedades criollas de día intermedio y día largo ^(9, 32), así como con antecedentes de buena y mala conservación poscosecha. Se consideró como antecedentes en conservación si a los 150 días desde cosecha se mantenían con calidad comercial más del 70% o menos del 60% de las cebollas almacenadas respectivamente.

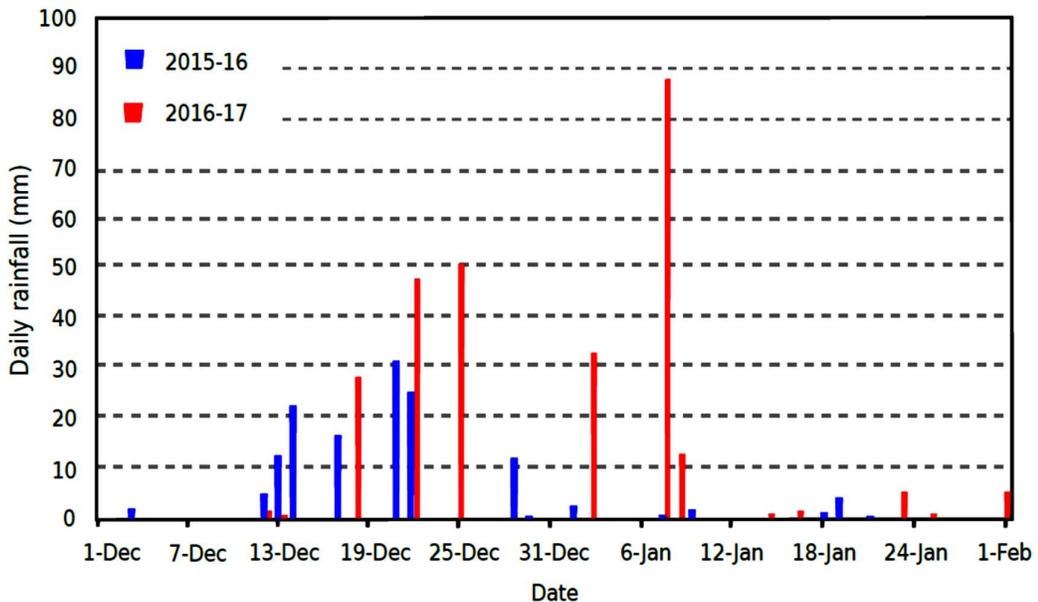


Figura 1. Distribución de precipitaciones para las dos zafras estudiadas: diciembre 2015 y enero 2016 (color azul); diciembre 2016 y enero 2017 (color rojo).

2.4.2. Factores estudiados y variables evaluadas

Para evaluar el efecto del tipo varietal en la conservación de las cebollas, se agruparon en variedades de Día Intermedio (cultivares “Pantanoso del Sauce” y “Canarita”) y de Día Largo (“Santina”, “Siete Cáscaras” y variedades caseras o criollas del tipo “valencianas” mantenidas por los productores).

Para estimar el efecto de fechas de cosecha sobre la conservación poscosecha, se agruparon los cultivos en tres categorías para las variedades de día intermedio: cosecha temprana (primeros diez días de diciembre), estación (segundo período decádico de diciembre) y tardía (tercer período decádico de diciembre). Para las variedades de día largo, se correspondieron las épocas de cosecha con los primeros, segundos y terceros diez días de enero. La cosecha de estación se corresponde al estado de madurez fisiológico de planta definida como un 50% de plantas volcadas ^(9,32).

Para analizar el efecto del manejo y las condiciones precosecha del cultivo sobre la conservación poscosecha, se determinó el estado de madurez y sanitario del cultivo mediante variables medidas en cosecha que son consecuencia del manejo realizado, denominadas factores de manejo de cultivo. Los días previos a la fecha probable de cosecha definida por el productor, se tomó una muestra al azar de 24 plantas por cultivo y se le determinó el número y peso de hojas, el porcentaje de hoja verde, el diámetro ecuatorial y del cuello del bulbo, el índice de bulbificación, el número de catáfilas secas y el porcentaje de cobertura de catáfilas del bulbo, el peso del bulbo, y los sólidos solubles totales (SST). Se registró la fecha real de cosecha de cada cultivo. El porcentaje de hoja verde se determinó visualmente relacionando el área verde de las hojas en el total de la planta, mediante escala ordinal (0 a 100 %) y rangos incrementales de 5 %. El índice de bulbificación se calculó como el cociente entre el diámetro mayor del bulbo y el diámetro del cuello, medidos con calibre digital (Mitutoyo, China). Para evaluar los sólidos solubles se conformaron muestras compuestas con cuatro bulbos al azar de los 24 de cada cultivo. Se cortó una cuña sagital del tejido reservante de cada bulbo a los cuales se extrajo el jugo con una prensa-ajo doméstica determinando los sólidos solubles totales con un refractómetro digital (Milwaukee MA 871, USA).

Para cada cultivo se marcaron al momento de la cosecha cuatro parcelas al azar de 5 m de largo por 0,9 a 1,5 m de ancho, según el sistema de cultivo utilizado. Se contaron las plantas y se calculó la densidad (número de plantas ha⁻¹). Las cebollas se cosecharon y se colocaron en “gavillas” sobre el cantero, de manera similar a lo que realizó el productor en cada caso. A los 15-20 días posteriores a cosecha, las cebollas de cada parcela se ingresaron a las estructuras de conservación poscosecha simulando el procedimiento habitual del productor.

Los sistemas de conservación estudiados fueron (1) cajones en galpón, (2) bins en galpón, (3) bins a campo y (4) sierras a campo. Los galpones consistieron en cobertizos techados utilizando como envases cajones de madera con capacidad para 20 kg de cebolla (largo 50 cm, ancho 40 cm, alto 23 cm), y en otros bins de madera con 400 kg de cebolla (largo 120 cm, ancho 110 cm, alto 80 cm). En los sistemas de conservación a campo, bins y sierras dispuestas al aire libre, fueron cubiertos por polietileno de uso agrícola para preservar las cebollas de la lluvia. En el almacenamiento en sierras las cebollas están dispuestas a granel dentro de una estructura de madera de largo variables con 1 a 2 m de ancho y hasta 2 m de altura.

Las cebollas almacenadas en los sistemas de conservación prediales fueron evaluadas a los 50, 150 y 210 días posteriores a la cosecha (ddc). A los 50 ddc se evaluó rendimiento comercial del cultivo y pérdidas durante el curado. En cada momento de evaluación se determinó el peso y número de cebollas sin defectos visibles, el peso y número de descartes evaluados de manera externa, identificando las causas de pérdidas, y se calculó el porcentaje de cebollas conservada en poscosecha. Los descartes fueron agrupados como pudriciones por bacterias, brotación, podredumbre basal (*Fusarium* spp.), quemado de sol y bulbos florecidos. Con los datos obtenidos al inicio del almacenamiento (50 ddc), se calculó el rendimiento comercial (Mg ha⁻¹) y descartes (Mg ha⁻¹) en cada caso. El porcentaje de bulbos descartados por pudriciones bacterianas visibles al inicio del almacenamiento (50 ddc) se consideró un indicador de sanidad inicial de bulbos en cada lote.

Debido a que a los 180-210 días posteriores a la cosecha el número de muestras a nivel de los predios comerciales disminuyó para los dos años de estudio porque

algunos productores vendieron antes su cebolla, la evaluación de la conservación poscosecha se definió principalmente a los 150 ddc.

2.4.3. Análisis estadístico

Para caracterizar la conservación de las dos zafas estudiadas se realizó un análisis descriptivo calculando el promedio del porcentaje en peso de cebollas sanas y por causa de descarte respecto del peso total en cada momento de evaluación (50 ddc, 150 ddc y 210 ddc). Además, para cada zafra (2016, n =15; 2017 n=27) se calculó el porcentaje en peso de cebollas conservadas a los 150 ddc respecto al peso inicial almacenado y se determinó la moda para rangos de porcentaje incrementales de 10 %, desde 40-50 a 90-100%.

A fin de evaluar el efecto entre años y comparar la conservación de cebollas de las dos zafas (42 casos), estudiar el efecto del tipo de variedad, la fecha de cosecha, y los sistemas de almacenamiento sobre el porcentaje de conservación poscosecha a los 150 ddc, se realizó un análisis mediante modelos lineales generalizados (máxima verosimilitud, Chi cuadrado χ^2 , $p < 0,05$) en Genstat Discovery Edition (VSN International Ltd., Lawes Agricultural Trust, UK).

Se analizó la correlación lineal de Pearson ($p \leq 0,05$) entre el porcentaje de conservación poscosecha a los 150 ddc y las variables de estado de madurez y sanitario del cultivo, y la sanidad de los bulbos al inicio del almacenamiento (50 ddc).

Para jerarquizar el impacto del estado de madurez y sanitario de las cebollas al momento de la cosecha, la densidad, el rendimiento comercial, la conservación poscosecha y causas de descartes, se realizó un análisis multivariado (Análisis de Componentes Principales, ACP). Se utilizó el programa INFOSTAT ⁽³³⁾ con una matriz de 34 casos (10 cultivos en 2015-16 y 24 cultivos en 2016-17) y 14 variables (once variables relacionadas al estado del cultivo evaluadas al momento de la cosecha; el rendimiento comercial, la densidad y causas de descarte) y el porcentaje de cebollas que mantuvieron la calidad comercial conservadas en poscosecha a los 150 ddc.

Además, para las mismas variables analizadas en el ACP se realizó un árbol de regresión con el objetivo de analizar el efecto de los factores precosecha y causas de pérdidas colocando la conservación poscosecha a los 150 ddc como variable de

respuesta y 14 variables regresoras, utilizando el programa JMP Statistics and Graphics Guide, Release 8⁽³⁴⁾. Las variables regresoras para este análisis fueron las mismas utilizadas en el ACP. El criterio de partición fue el de máxima significación. *A posteriori*, para la variable que fue estadísticamente significativa (número de catáfilas secas en el momento de la cosecha) se realizó un análisis de varianza (ANAVA, $p \leq 0,05$) comparando los tres grupos terminales del árbol de regresión respecto al rendimiento, densidad, el porcentaje de conservación y las variables indicadoras del estado de madurez y sanidad de las cebollas a cosecha (14 variables). Las medias se compararon por Tukey ($p \leq 0,05$). Luego, se analizó la correlación lineal de determinación (R^2) entre el número de catáfilas a la cosecha y el porcentaje de hoja verde, para las dos temporadas de análisis, con cebollas de día intermedio y de día largo.

Finalmente, para identificar las variables del estado de madurez y sanitario del cultivo y principales causas de descartes que determinaron mayor o menor conservación de las cebollas evaluada a los 150 ddc como porcentaje del peso inicialmente almacenado, se seleccionaron casos extremos de conservación poscosecha ($\geq 90\%$ y $\leq 65\%$, $n=10$) y se hizo un contraste para las dos zafas de estudio utilizando el programa INFOSTAT⁽³³⁾.

2.5. RESULTADOS

2.5.1. Conservación poscosecha, descartes y comparación entre zafas

En las dos zafas (2015-16 y 2016-17), el porcentaje de cebollas con calidad comercial conservados fue muy variable (Figura 2). En la primera (2015-16), la conservación poscosecha a los 150 ddc estuvo en el rango de 47 a 95 % del peso inicial del total de bulbos al inicio de la conservación (50 días de la cosecha), con un promedio de $71,8 \pm 14,1\%$. En la segunda la conservación de los 27 cultivos relevados estuvo en el rango de 60 a 94 %, con un promedio de $85,3 \pm 7,4\%$ (Figura 2). En el primer año, la moda estuvo entre 70-80 % de conservación, mientras que en el segundo año el valor modal estuvo en el rango de 80-90 %. La conservación poscosecha promedio en 2017 fue significativamente mayor (χ^2 , $p < 0,001$) a la del año 2016 (Cuadro 1).

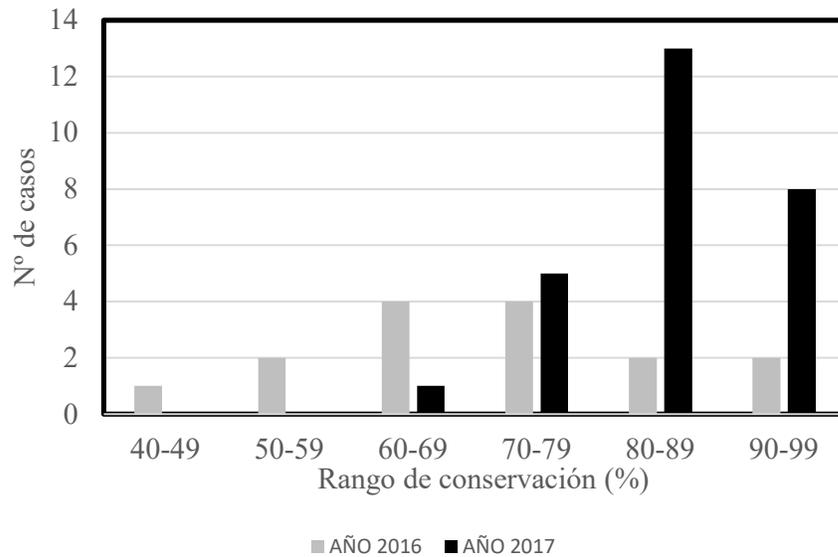


Figura 2. Número de casos según el rango de porcentaje de conservación poscosecha a los 150 días desde la cosecha (gris 2016, negro 2017).

Las principales causas de descartes en los almacenamientos de cebolla fueron la pudrición por bacterias y brotación de los bulbos, seguida de bulbos florecidos, quemado por sol y pudrición basal (*Fusarium* spp.). En la primera zafra, los lotes evaluados presentaron en promedio un descarte total de 14 % al inicio del almacenamiento (50 ddc), y en la segunda zafra 5 % en promedio. El mayor descarte del primer año se debió a las pudriciones bacterianas (12 %) (Figura 3).

A los 150 ddc, para ambas zafras se mantuvieron las pudriciones por bacterias (10 % y 4% en cada zafra) como principal problema, y se observó la aparición de descartes por brotación de bulbos (Figura 3). Al final de la conservación (210 ddc) aumentó en 3 y 6 veces el total de descartes promedio respecto a los 150 ddc, siendo la principal causa de descarte los bulbos brotados, 28% y 24% para las zafras 2016 y 2017 respectivamente. En este momento de la conservación los descartes de bulbos por pudriciones bacterianas fueron de 6 % y 5% (Figura 3).

2.5.2. Efecto del tipo de variedad, fecha de cosecha y sistemas de almacenamiento

Los tipos de variedad de Día Intermedio y Día Largo no difirieron en la conservación poscosecha ($X^2 p \leq 0,485$). Ni las fechas de cosechas ($X^2 p \leq 0,917$), ni el sistema de almacenamiento utilizado ($X^2 p \leq 0,117$) tuvieron efecto sobre el porcentaje de cebollas conservadas a los 150 ddc (Cuadro 1). La conservación poscosecha fue de $80,5 \pm 1,9\%$ en promedio para el tipo de variedad, para la fecha de cosecha $80,7 \pm 2,0\%$ y según el sistema de almacenamiento $76,6 \pm 2,6\%$, (Cuadro 1).

Los sistemas de conservación poscosecha fueron estadísticamente similares entre sí con el mayor valor absoluto en la conservación de la cebolla en cajones apilados galpón con $84,3\%$ (Cuadro 1).

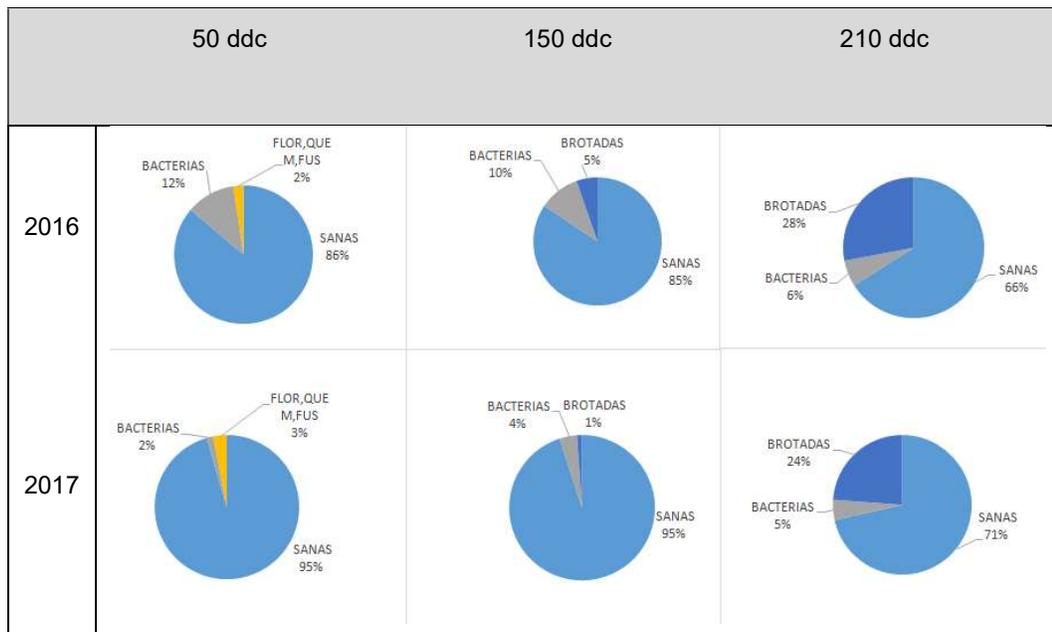


Figura 3. Proporción de cebollas sanas y discriminación de descartes al inicio de la conservación (50 ddc, n = 15 y 27), 150 ddc (n=15 y 27) y 210 ddc (n=8 y 20) para las dos zafras (ddc: días desde la cosecha).

Cuadro 1. Comparación de la conservación poscosecha de cebollas (150 días desde la cosecha) entre zafras (año), tipos varietales, fecha de cosecha y sistemas de almacenaje utilizados (Media \pm DE, $\chi^2 \leq 0,050$).

Factores	Niveles	Casos Evaluados	Conservación poscosecha (%)	χ^2 Chi-square (valor p)
Año	2015-2016	15	71,8 \pm 14,1	0,001
	2016-2017	27	85,3 \pm 7,4	
Tipos varietales	Día Intermedio	21	81,8 \pm 11,4	0,485
	Día Largo	21	79,2 \pm 12,8	
Fecha de cosecha	Temprano	14	80,3 \pm 13,9	0,917
	Estación	19	80,0 \pm 11,3	
	Tardía	9	82,0 \pm 11,7	
Sistemas de almacenamiento	Cajones en galpón	19	84,3 \pm 9,9	0,117
	Bins en galpón	6	76,8 \pm 17,3	
	Bins a campo	15	79,1 \pm 11,6	
	Sierras a campo	2	66,3 \pm 1,2	

2.5.3. El estado de madurez y sanitario del cultivo al momento de la cosecha

Para explicar las diferencias de la conservación poscosecha entre los cultivos comerciales evaluados, se determinaron variables del estado de madurez y sanitario de las plantas al momento de la cosecha, principales causas de descartes y rendimiento comercial correlacionándose con la conservación poscosecha a los 150 ddc (Cuadro 2).

Cuadro 2. Correlación lineal de Pearson (r) entre el porcentaje de la cebolla conservada a los 150 ddc para 2016 y 2017 y variables del estado de madurez y sanitario del cultivo, rendimiento al momento de la cosecha y causas de descartes a los 150 ddc (n=34).

Variable	Promedio	Rango	r	p-valor
Porcentaje de hoja verde (%)	53,1	4,2 – 96,0	0,33	0,0600
Sólidos solubles (°Brix)	9,6	6,7 – 12,1	-0,08	0,6443
Número de catáfilas secas	2,7	1,4 - 5,7	-0,62	0,0001
Cerrado del cuello	5,4	3,2 - 9,5	0,33	0,0605
Peso de la planta (g)	200,0	125,9 - 310,3	0,21	0,2349
Peso de las hojas (g)	26,5	2,6 - 79,0	0,13	0,4529
Peso del bulbo (g)	162,0	97,7 – 238,5	0,21	0,2285
Rendimiento comercial (Mg ha ⁻¹)	28,8	7,2 – 55,2	0,21	0,2678
Bacteriosis 50 ddc (%)	2,8	0 – 15,46	-0,42	0,0144
Bacteriosis 150 ddc (%)	5,8	0,36 – 42,61	-0,62	0,0002
Brotadas 150 ddc (%)	0,4	0 - 9,34	-0,66	0,0001

ddc: días desde la cosecha

El número de catáfilas protectoras (secas) formadas al momento de la cosecha fue la variable de mayor correlación negativa ($r = -0,62$; $p = 0,0001$) con la conservación de las cebollas (150 ddc) seguida del porcentaje de bulbos con brotaciones y pudriciones por bacterias a los 150 ddc, y los bulbos afectados por bacterias determinadas al inicio de la conservación a los 50 ddc (Cuadro 2).

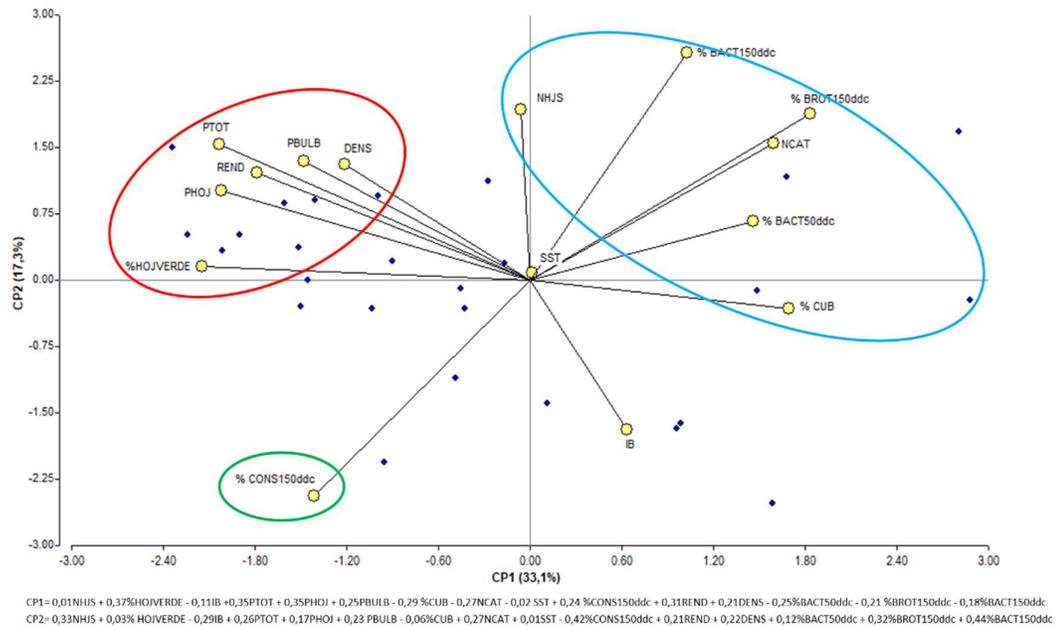


Figura 4. Análisis de componentes principales (ACP) basado en 34 casos de cultivos (azul) y 14 variables (amarillo) potencialmente relacionadas al porcentaje de conservación poscosecha a los 150 ddc (%CONS150 ddc). Las variables se corresponden al porcentaje de hoja verde (%HOJVERDE), peso de hojas (PHJ), rendimiento comercial (REND), peso total (PTOT), peso del bulbo (PBULB), densidad (DENS), el número de hojas (NHJS), porcentaje de descartes por bacterias a los 50ddc y 150ddc (%BACT50 ddc, %BACT150ddc), porcentaje de bulbos brotados a los 150ddc (%BROT150 ddc), número de catáfilas (NCAT), porcentaje de cobertura del bulbo (%CUB), cerrado del cuello (IB), sólidos solubles totales (SST). La elipse verde representa la conservación poscosecha a los 150 ddc, la celeste el conjunto de variables opuestas la conservación poscosecha y la roja el conjunto de variables independientes a la conservación poscosecha a los 150 ddc.

La conservación poscosecha no se correlacionó significativamente con el rendimiento del cultivo, el peso del bulbo, el peso de la planta, el peso de hojas, el contenido de sólidos solubles en el bulbo, el porcentaje de hoja verde a la cosecha ($r = 0,33$; $p = 0,06$), ni con el cerrado del cuello ($r = 0,33$; $p = 0,06$) (Cuadro 2).

En el análisis multivariado (Figura 4) se presenta el agrupamiento de las variables analizadas por componentes principales (CP1 y CP2) que explican el 50,4 % de la variabilidad observada.

El porcentaje de hoja verde, el peso fresco de las hojas, el peso total de la planta, el rendimiento comercial, el peso de bulbo a la cosecha y la densidad de plantas fueron variables asociadas entre sí y débilmente al porcentaje de bulbos conservados con calidad comercial a los 150 ddc. No se encontró asociación entre la conservación poscosecha (%) y el contenido de sólidos solubles totales en el bulbo (Cuadro 2, Figura 4).

El número de catáfilas secas en el bulbo, el peso de hojas al momento de cosecha, el porcentaje de bulbos con bacteriosis al inicio del almacenamiento (50 ddc), el porcentaje de bulbos descartados por brotado y con bacteriosis en el almacenamiento (150 ddc) y el porcentaje del bulbo cubierto por catáfilas secas en cosecha estuvieron asociadas entre sí y fuertemente opuestas a la conservación de las cebollas a los 150 ddc. (Figura 4).

El árbol de regresión identificó únicamente al número de catáfilas protectoras formadas al momento de la cosecha, como principal variable que explica las diferencias en la conservación poscosecha evaluada. Las demás variables (14 en total) no discriminaron estadísticamente en la conservación a los 150 ddc (Figura 5).

Los grupos terminales del árbol de regresión sólo diferenciaron estadísticamente la conservación poscosecha de bulbos con un número de catáfilas $\geq 3,42$ de los demás grupos ($\leq 2,08$ y $\leq 3,42 \geq 2,08$) (Cuadro 3). Los bulbos con más de 3,42 catáfilas tuvieron un 17 y 27 % menos de conservación poscosecha a los 150 ddc que el resto de los grupos. Los grupos con bulbos con $\leq 2,08$ y $\leq 3,42 \geq 2,08$ catáfilas externas secas a la cosecha fueron similares entre sí para todas las variables analizadas (Cuadro 3). No se encontró efecto del número de catáfilas externas secas sobre las demás variables del estado de madurez y sanitario del cultivo a cosecha, el rendimiento y la densidad (datos no presentados).

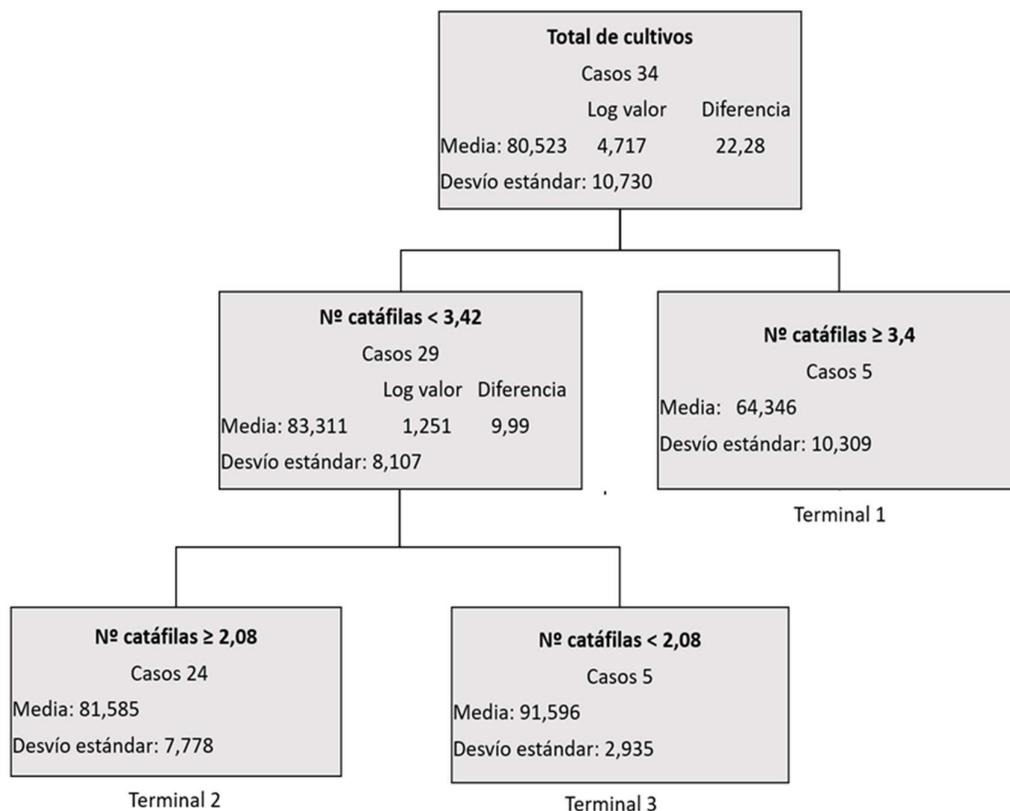


Figura 5. Árbol de regresión de la conservación poscosecha (porcentaje en peso de cebollas conservadas a los 150 ddc) en función de variables medidas como indicadores de madurez y sanidad del cultivo a la cosecha. Cada recuadro corresponde al nodo de división con el nombre de la variable (Nº catáfilas = número de catáfilas secas en cosecha) y valor del grupo terminal ($\geq 3,42$, $\geq 2,08 < 3,42$ y $< 2,08$), el número de observaciones (casos), la media, el desvío estándar (DE) y el valor de significancia estadística [$\text{LogValor} = -\log_{10} \times (\text{p-valor})$]. Si $\text{LogValor} \geq 1,3$ entonces el valor $p \leq 0,05$, $n = 34$, número de particiones = 2, $R^2 = 0,592$.

Cuadro 3. Efecto del número de catáfilas protectoras formadas a la cosecha ($\geq 3,42$; $\leq 2,08$ y $2,08 \leq n < 3,42$) sobre la conservación poscosecha 150 ddc (%), el porcentaje hoja verde; pudriciones bacterianas a los 50 y 150 ddc (%), y bulbos brotados a los 150 ddc (%).

Grupos de casos por número de catáfilas	Conservación 150 ddc (%)	Porcentaje de hoja verde	Bacterias 50 ddc (%)	Bulbos brotados 150 ddc (%)	Bacteriosis 150 ddc (%)
n \geq 3,42	64,4 \pm 3,5 A	20,9 \pm 12,1 A	9,7 \pm 1,2 A	6,17 \pm 0,9 A	15,0 \pm 2,8 A
2,08 \leq n \leq 3,42	81,6 \pm 1,6 B	57,8 \pm 5,5 B	1,9 \pm 1,2 B	1,79 \pm 0,4 B	4,9 \pm 1,3 B
n \leq 2,08	91,6 \pm 3,5 B	65,5 \pm 12,1 B	1,5 \pm 0,6 B	0,48 \pm 0,9 B	1,2 \pm 2,8 B
p valor	0,0001	0,0211	0,0001	0,0001	0,0030

Medias \pm DE. Medias seguidas de letras diferentes indica que hay diferencia estadística (ANAVA $p \leq 0,05$, Tukey $p \leq 0,05$). ddc: días desde la cosecha.

Se analizó la asociación entre el número de catáfilas secas al momento de la cosecha y el porcentaje de hoja verde en variedades de Día Intermedio y Día Largo (Figura 6). La correlación fue negativa, tanto en las cebollas de Día Intermedio ($R^2 = 28,7\%$, $p = 0,0264$) como de Día Largo ($R^2 = 23,7\%$; $p = 0,0473$).

El Cuadro 4 presenta los promedios en conservación poscosecha y las variables evaluadas para dos grupos contrastantes, formados por los cinco mejores casos y los cinco peores en conservación poscosecha, del total de casos estudiados. La conservación a los 150 ddc fue de $92,9 \pm 0,6\%$ para los cinco mejores casos frente a $61,6 \pm 3,93\%$ de los cinco peores.

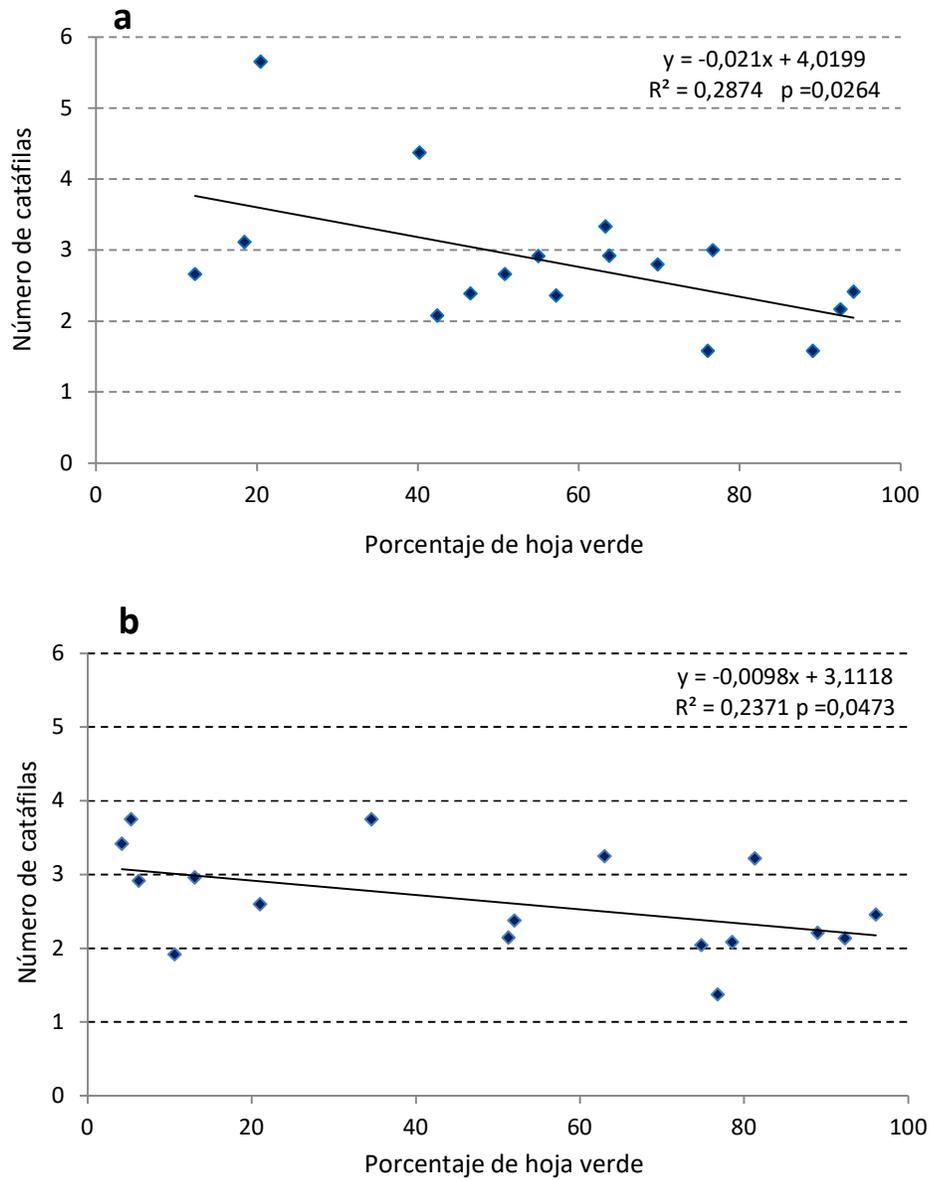


Figura 6. Asociación entre el porcentaje de hoja verde y el número de catáfilas secas a la cosecha en **(a)** variedades de día intermedio y **(b)** variedades de día largo.

Cuadro 4 Contraste entre cinco peores y cinco mejores casos de conservación poscosecha a los 150 días desde la cosecha (ddc).

Variable	Peores	Mejores	p-valor
Conservación poscosecha 150 ddc (%)	61,6 (± 3,9)	92,9 (± 0,6)	< 0,0001
Porcentaje hoja verde (%)	16,6 (± 5,6)	59,0 (± 13,41)	0,0194
Peso de la planta (g)	156,0 (± 15,6)	230,3 (± 30,6)	0,0632
Peso hojas (g)	8,7 (± 1,20)	29,8 (± 8,6)	0,0407
Peso bulbo (g)	140,4 (± 16,1)	190,0 (± 22,7)	0,1118
Índice de bulbificación	5,22 (± 0,15)	6,22 (± 0,9)	0,2896
Bulbo cubierto (%)	97,1 (± 0,84)	87,2 (± 3,5)	0,0249
Número catáfilas secas	3,94 (± 0,45)	2,23 (± 0,4)	0,0195
Bacteriosis 50 ddc (%)	10,0 (± 2,9)	0,86 (± 0,2)	0,0133
Bacteriosis 150 ddc (%)	13,4 (± 7,3)	3,8 (± 1,6)	0,2345
Brotación 150 ddc (%)	6,1 (± 1,0)	0,52 (± 0,2)	0,0009

Media (± DE), n=10.

El porcentaje de hoja verde al momento de la cosecha tuvo un valor promedio de 59 % para los cinco mejores, y de 16,6 % para los cinco peores, diferencia estadísticamente significativa. También fue significativamente asociado a la buena conservación poscosecha el mayor peso de las hojas a la cosecha (Cuadro 3). No presentaron significancia estadística las variables de peso total de la planta, peso del bulbo, índice de bulbificación y porcentaje de pudriciones por bacteriosis a los 150 ddc (Cuadro 4).

Para los casos contrastantes de conservación poscosecha (peores y mejores), un mayor número de catáfilas protectoras formadas a la cosecha, un mayor porcentaje del bulbo cubierto por catáfilas y un menor peso de hojas al momento de la cosecha se asociaron con los peores casos de conservación poscosecha. Finalmente, también fueron significativamente diferentes el porcentaje de bulbos descartados por

bacteriosis al inicio del almacenamiento (50 ddc), y el porcentaje de brotación observado a los 150 días (Cuadro 4).

2.6. DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo evidenciaron las variaciones en el resultado de la conservación de cebollas en el sur de Uruguay, entre años y dentro de cada zafra entre diferentes cultivos comerciales.

Las diferencias significativas entre zafras con una conservación poscosecha de 72 % promedio a los 150 días en el periodo de almacenamiento en 2016 y de 85 % promedio en 2017, y la alta variación entre productores dentro de cada zafra, se explica por las diferencias entre las condiciones de desarrollo de los cultivos y en su manejo. Los sistemas de producción de cebolla de tipo familiar tienen la característica de poseer una gran diversidad en cuanto a recursos humanos, infraestructura, cultivos y suelos ⁽³⁶⁾, que determinan manejos del cultivo, de cosecha y condiciones de almacenamientos diversos.

Fueron constatadas diferencias en las condiciones ambientales de las dos zafras, particularmente las precipitaciones y condiciones predisponentes al desarrollo de *Peronospora* spp. durante la etapa de cultivo y en el período cercano a la cosecha (Figura 1). En el cultivo de 2015 hubo 104 días con riesgo alto de Peronóspora, mientras que en 2016 hubo 86 días predisponentes ⁽³¹⁾. Estas diferencias en las condiciones climáticas durante el cultivo pueden también favorecer la infección y posterior desarrollo de otras enfermedades, como las producidas por bacterias.

Además, en 2015 hubo más días de lluvia durante diciembre (3 días más), retrasando la cosecha y curado de variedades de día intermedio, respecto al mismo periodo de 2016. Esta variabilidad climática entre zafras como determinante de la variación de la conservación de cebollas había sido señalada por Galván et al. ⁽¹⁷⁾ y por el Observatorio Granjero ⁽³⁾. Estos autores reportaron pérdidas de cebollas superiores al 50% de los bulbos almacenados en una zafra (2013-2014) con 435 mm de lluvias en el periodo de cosecha y curado de los bulbos ⁽²⁰⁾. En nuestro estudio, las precipitaciones fueron un 45% (zafra 2015-16) y 68% (zafra 2016-17) inferiores en el período de cosecha y curado de las cebollas, respecto a las ocurridas en esos años

problemáticos para la conservación de las cebollas. Estas condiciones ambientales previas al almacenamiento podrían explicar en parte el rango de conservación de cebollas (65% a 94%) obtenido en la mayoría de los casos estudiados en los dos años.

Los tipos varietales (DI y DL), las fechas de cosechas (temprana, estación y tardía) y los sistemas de almacenamiento no explicaron las variaciones en la conservación de las cebollas en los sistemas productivos estudiados. El comportamiento similar entre los tipos de DI y DL se corresponde con resultados de ensayos comparativos de cultivares en su comportamiento poscosecha ^(4, 10, 11). Los cultivares actualmente utilizados a nivel comercial con destino a conservación poscosecha presentan los mejores resultados, independientemente de su respuesta al fotoperíodo.

Las fechas de cosecha temprana, estación y tardía refieren al momento cronológico en el cual se cosecharon los bulbos. Se esperaba que las fechas de cosecha tardías pudieran tener consecuencias negativas sobre la conservación poscosecha, de acuerdo a observaciones previas de Brunetto ⁽¹⁶⁾ y Galván et al. ⁽¹⁷⁾. La fecha de cosecha no necesariamente coincide con la fecha de madurez fisiológica del cultivo, ya que si en dos casos se sembró y se trasplantó una variedad de ciclo intermedio (Pantanoso del Sauce) con una diferencia de un mes, el cultivo más tardío puede presentar un follaje mayormente verde en una fecha dada, en relación a una que se trasplantó un mes más temprano. Esta diferencia podría explicar la ausencia de efectos significativos de la fecha de cosecha sobre la posterior conservación poscosecha.

Sin embargo, en cosechas tempranas, el menor estado de madurez fisiológica a la cosecha se evidenció en el mayor porcentaje de hoja verde, menor número de catáfilas protectoras formadas en el bulbo y menor cobertura del bulbo con catáfilas secas, variables que sí se relacionaron positivamente a una mejor conservación poscosecha (Cuadro 4). Se confirma la importancia de la cosecha temprana como el momento más adecuado, observado en trabajos previos ^(16, 17), a fin de disminuir las pérdidas en poscosecha que se originarían en infecciones bacterianas iniciadas en el campo, en la etapa de senescencia del cultivo.

El número de catáfilas formadas al momento de cosecha fue la variable que mejor explicó la conservación de las cebollas a los 150 ddc. Un número mayor de

catáfilas secas formadas en el bulbo al momento de la cosecha se asoció con una menor conservación poscosecha. El mayor número de catáfilas secas formadas indica un mayor grado de madurez fisiológica del bulbo, así como de permanencia en el campo previo a la cosecha, por lo cual podría ser indicativo de que cosechas anticipadas (tempranas) se asocian a mayor conservación poscosecha. Brunetto ⁽¹⁶⁾ había observado en cebolla de día corto que cosechas muy tardías conllevan mayores problemas en la poscosecha, con aumento de los descartes, por mayor incidencia en daños por patógenos y quemado de sol. Wright et al ⁽³⁷⁾ encontraron que a medida que se aumenta la madurez de cosecha (semanas posteriores al 50% de volcado), disminuye el porcentaje de cebollas con tres o más catáfilas (medido en el almacenamiento, al momento de la venta).

El porcentaje de hoja verde de la cebolla al momento de la cosecha es otra variable indicativa del mejor desempeño de cosechas anticipadas, así como de la sanidad foliar del cultivo y del estado hídrico durante la bulbificación. El porcentaje de hoja verde y el número de catáfilas a la cosecha tuvieron una correlación negativa, que se diferenció por variedad, siendo mayor en variedades de día intermedio que de día largo. Por lo tanto, en variedades de día intermedio como “Pantano del Sauce” el mayor porcentaje de hoja verde a la cosecha es un interesante indicador que repercutirá en una mayor conservación poscosecha a los 150 ddc. Cuando se analizaron los cinco mejores y los cinco peores casos relevados de conservación poscosecha a los 150 ddc, la mayor conservación de los bulbos se asoció al mayor porcentaje de hoja verde (> 55 %), menor número de catáfilas secas en el bulbo al momento de la cosecha (1 a 2), mayor peso de hojas por planta (> 29 g) y bajo porcentaje de bacteriosis al inicio del almacenamiento (< 1 %).

Los sistemas de almacenamiento si bien no mostraron diferencias significativas entre ellos, tuvieron el mayor absoluto de conservación en cajones a galpón, debido a que son estructuras de menor tamaño que brindan una mejor circulación del aire por volumen de cebolla almacenada. Estas condiciones favorecen el curado de las cebollas en los meses de diciembre-febrero y el almacenamiento hasta junio, ya que las condiciones ideales para el almacenamiento son temperaturas bajas

(de 0 a 2 °C), humedad relativa de 65 a 75 % y la circulación de aire (1 a 2 m³ aire/min/m³ de cebolla) ⁽¹⁸⁾.

Las variables de rendimiento comercial, peso del bulbo a la cosecha, peso total de la planta a la cosecha, peso de hojas y peso del bulbo, mostraron correlaciones débilmente positivas (no significativas) con la conservación poscosecha, y en el análisis multivariado aparecieron como vectores independientes a la conservación poscosecha (no asociadas positiva ni negativamente). González et al. ⁽³⁸⁾ encontraron mayores pérdidas poscosecha en bulbos de tamaño pequeño (diámetro 4-5 cm) con respecto a calibres mayores (diámetro 9-10 cm) debido a la alta relación superficie/volumen que presentan los de menor tamaño. Contrariamente, otros autores encontraron que los mayores rendimientos y tamaños de bulbos se asociaron a mayores pérdidas en poscosecha ^(11, 12, 13).

En nuestro estudio, encontramos casos con alta conservación poscosecha asociados con alto rendimiento del cultivo y peso del bulbo, explicándose por la alta especialización alcanzada por algunos productores en el rubro con alto control de los factores de cultivo, lo que les permite alcanzar altos rendimientos a la vez que un manejo adecuado durante la cosecha y el curado, con una infraestructura y manejo poscosecha en bins o cajones adecuado para alcanzar buena conservación. Por el contrario, cultivos con bajo rendimiento fueron consecuencia de suelos con malas propiedades físicas, presencia de *Fusarium* sp., control sanitario deficiente, alto enmalezamiento durante la bulbificación y otros factores que determinaron que el cultivo tenga senescencia prematura del follaje al momento de la cosecha, lo que se asoció a una menor conservación poscosecha.

El porcentaje de sólidos solubles no presentó correlación con la conservación poscosecha en nuestro estudio, a diferencia de lo señalado en la literatura ^(14, 15) donde los sólidos solubles se identifican como uno de los factores primordiales en la conservación de la cebolla y correlacionados con el contenido de materia seca ⁽³⁹⁾. Debe tenerse en cuenta que en nuestro estudio, los sólidos solubles se midieron al momento de la cosecha y pueden tener una variabilidad que no refleja el estado de los bulbos al inicio de la conservación (50 ddc).

El porcentaje de bulbos con bacteria al inicio del almacenamiento fue otra de las variables que marcó diferencias entre años de estudio y explicó las diferencias en conservación poscosecha a los 150 ddc. Las pudriciones de bulbos almacenados ocasionadas por bacterias pueden aparecer como agentes patogénicos primarios, o aparecen luego de otros daños ⁽²⁵⁾. El mildiú de la cebolla (*Peronospora destructor*) es una enfermedad foliar de gran importancia en Uruguay, con condiciones predisponentes durante la primavera, siendo sus síntomas devastadores, con pérdidas de rendimiento mayores al 50% ^(40, 41, 42). Los daños en hoja generados por *Peronospora destructor* pueden ser vía de entrada de bacterias que probablemente permanecen como inóculo ingresando al bulbo por el cuello ⁽⁴³⁾. La infección de los bulbos se desarrolla y magnifican durante el periodo de curado (20-30 días) y los primeros 2-4 meses del almacenamiento. En el periodo de curado a campo las condiciones ambientales en especial la presencia de lluvias y temperatura ambiente son favorables al desarrollo de las bacterias ⁽⁴³⁾.

Por otro lado, los productores realizan el curado a campo engavillado durante 10-20 días. En esas condiciones, Galván et al. ⁽⁴⁴⁾ registraron temperaturas entre 17,8 a 30,4 °C dentro de las gavillas. Delhey et al. ⁽²¹⁾ concluyeron que las epidemias por bacterias están correlacionadas con abundantes lluvias en la época de cosecha. Estas condiciones de probable mayor infección de bacteriosis durante el desarrollo del cultivo y curado podrían estar explicando el porcentaje mayor (10% más) de descartes por bulbos podridos por bacteriosis a los 50 ddc en 2016 que en 2017. Es clave, lograr un buen manejo sanitario durante el cultivo y en el periodo de cosecha-curado para reducir la principal causa de pérdidas identificada como bacterias en el almacenamiento de cebollas a los 150 ddc.

2.7. CONCLUSIONES

La conservación poscosecha fue diferente entre las dos zafras estudiadas existiendo alta variabilidad entre los cultivos comerciales analizados dentro de cada año. La conservación de las cebollas a los 150 ddc almacenadas en predios comerciales no fue determinada por el tipo varietal, la fecha de cosecha ni por el sistema de almacenamiento utilizado.

El número de catáfilas secas de las cebollas al momento de la cosecha y el porcentaje de bulbos con pudriciones bacterianas al inicio del almacenamiento fueron las variables que explican la conservación poscosecha de la cebolla a los 150 ddc en los predios de producción familiar. Un alto número de catáfilas secas a la cosecha ($\geq 3,4$) se relaciona a plantas con menor cantidad de hojas verdes ($< 55\%$) indicando mayor grado de senescencia del cultivo al momento de cosecha. Por otro lado, las pudriciones de cebollas por bacteriosis que se desarrollan en el almacenamiento están probablemente condicionadas por la aparición de esta enfermedad en la fase final del cultivo y vinculada a las condiciones predisponentes para esta patología en cada año de estudio.

Lograr cultivos de cebolla que lleguen al momento de la cosecha con buena sanidad y una alta proporción de hoja verde ($>55\%$), buena sanidad de los bulbos ($<1\%$ de pudriciones bacterianas), y no retrasar la cosecha obteniendo bulbos con una a dos catáfilas protectoras secas influye positivamente en la mejor conservación poscosecha.

2.8. AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Nacional de Investigación e Innovación por su apoyo en la Beca de Maestría del Sistema Nacional de Becas y al Fondo María Viñas que financió el proyecto (FMV_1_2014_1_104703).

2.9. BIBLIOGRAFÍA

1. Observatorio Granjero, CAMM, DIGEGRA MGAP. 2019. Anuario estadístico 2019. Uruguay. 75p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=bbe0999d-7fd5-474b-9bcb-29201e3a5873&groupId=42766.
2. CAMM (Comisión Administradora Mercado Modelo). 2013. Informe sobre cebolla, abril 2013. Uruguay. 19p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=b25a75eb-9951-428a-b0d2-0cb70f18185d&groupId=42766.

3. Observatorio Granjero. 2015. Cebolla situación y perspectivas, junio 2015. Uruguay. 6p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en [http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=82a992ab-ae3c-47bf-a3a1-b316a22caf94 &groupId=42766](http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=82a992ab-ae3c-47bf-a3a1-b316a22caf94&groupId=42766).
4. Peluffo S, Curbelo N. 2012. Ensayos de evaluación de la conservación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur (2010-11). INIA. Uruguay. Actividades de difusión 676. p.59-65.
5. Observatorio Granjero. 2018. Comportamiento de la producción de cebolla y su impacto en la oferta en los últimos años, setiembre 2018. Uruguay. 6 p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=b99dc0a4-82ae-41e8-a9a6-ed241af3e219&groupId=42766.
6. Brewster JL. 1990. Physiology of crop growth and bulbing. In: Rabinovitch y Brewster JL (eds) Onions and allied crops. Vol. I. Botany, physiology and genetics. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, Inc., p.53-88.
7. Corgan JN, Kedar N.1990. Onion cultivation in subtropical climates. In: Rabinovitch y Brewster (eds) Onions and allied crops, Vol. II. CRC Press: Boca Raton. p.273-296.
8. Gubb IR, Mac Tavish HS. 2002. Onion pre- and postharvest considerations. In: Rabinovitch y Currah (eds) Allium crop science: recent advances. CABI publishing : Wallingford. p. 233-265.
9. Giménez G, González M, Rodríguez G, Vicente E, Vilaró F. 2014. Catálogo de cultivares Hortícolas 2014. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. p. 35-47.
10. Peluffo S, Curbelo N. 2013. Ensayos de evaluación de la conservación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur. INIA. Uruguay. Actividades de difusión 707. p.43-50.
11. Peluffo S, Curbelo N. 2014. Ensayos de evaluación de la conservación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur (2012-13). INIA. Uruguay. Actividades de difusión 733. p.63-68.

12. García F, Moltini C, Cardellino G, Zamalvide J. 1985. Agua, población y nitrógeno en el cultivo de cebolla. En: Agua en la agricultura 1, DUMA-MGAP. Montevideo. Uruguay. p. 13-22.
13. Arboleya J, Carballo S, García C. 1998. Efectos de diferentes momentos de riego durante el ciclo del cultivo sobre la conservación de cebolla Granex 33. INIA. Montevideo. Uruguay. Serie Actividades de Difusión 160. p.32-36.
14. Carballo S. 2005. Poscosecha de cebolla en Uruguay. INIA. Montevideo, Uruguay. Boletín de Divulgación. No 89. 64p.
15. Patil RS, Kale PN. 1985. Correlation studies on bulb characteristics and storage losses in onion. Journal of Maharashtra Agricultural Universities 10:38-39.
16. Brunetto, I. 1997. Momento de cosecha y sistemas de curado de cebolla tipo Granex para exportación. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 82p.
17. Galván GA, Zaccari F, Costa N, Perdomo E, González P, Peluffo S. 2011. Obtención de cebolla de alta calidad mediante la mejora del manejo a la cosecha y poscosecha. INIA Montevideo. Uruguay. Serie Actividades de Difusión 640. 8-16.
18. Hardenburg RE, Watada AE, Chien Yi Wang. 1988. Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencia de floristerías y viveros. IICA, Costa Rica. 150p.
19. Arboleya J. (ed.). 2005. Tecnología para la producción de cebolla. Boletín de Divulgación 88. INIA. Montevideo, Uruguay. 247p.
20. INIA-GRAS. 2020. Banco de datos agroclimáticos. Consultado 14 febrero 2020. Disponible en: <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>.
21. Delhey R, Kiehr M, García U, Bellacomo C, Caracotche V, Frayssinet S, Zazzetta M, Sosa C, Kroneberger E. 2019. Podredumbres bacterianas de cebolla en Argentina. Situación Actual y Perspectivas a Mediano plazo. Boletín de la Asociación Argentina de Fitopatologos. N°3.
22. Fernández JL, García Vieta, A, Mattos, F, Santos, MC. 2003. Estudio del proceso del grupo hortícola Amanecer de Tala y propuesta de desarrollo. Tesis de Grado. Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 648p.

23. Alonso A, Riva G. 1999. Comparación de la susceptibilidad de poblaciones locales y variedades de cebolla a podredumbres de bulbos en poscosecha. Tesis de Grado Ing. Agrónomo., Montevideo. Facultad de Agronomía. 61p.
24. Pelufo S, Curbelo N, Costa N, González H, Galván G. 2010. Ensayos de evaluación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur. INIA. Uruguay. Actividades de difusión 640.1-7.
25. Maude RB. 1990. Storage diseases of onions. In: Rabinovitch y Brewster (eds) Onions and allied crops, Vol. II. CRC Press: Boca Raton. p. 273-296. Vol.I. CRC Press: Boca Raton. 28-99.
26. De Armas, S, Galván GA, Vicente E, Pianzola MJ, Siri MI. 2019. Bacteria causing bulb rots and leaf spots in Uruguay (summary). International Allium Research Symposium. Madison, Wisconsin, USA.
27. Schwartz HF, Mohan KS. 2008. Compendium of onion and garlic diseases and pests. 2nd ed. St Paul, MN, USA: American Phytopathological Society. 127p.
28. Snowdon AI. 2010. Post-harvest diseases and disorders of fruit and vegetables: vol 2. Boca Raton.FL.USA: CRC Press;260 p.
29. Vahling-Armstronga C, Dungeb JKS, Humannc JL, Schroeder BK. 2016. Effects of postharvest onion curing parameters on bulb rot caused by *Pantoea agglomerans*, *Pantoea ananatis* and *Pantoea allii* in storage. Plant Pathology, 65: 536–544.
30. Campelo E, Arboleya J, Franchi S, Falero M. 2013. Uso de la Hidrazida maleica en la prolongación de la conservación de la cebolla. INIA. Montevideo. Uruguay. Actividades de difusión 707. 51-70.
31. Campelo, E, Maeso, DC, Arboleya, J. 2015. Acceso a tecnologías para una mejor gestión del riesgo: implementación y difusión de sistemas de pronóstico de enfermedades de cebolla. INIA. Montevideo. Uruguay. Actividades de difusión 707. 71-74.
32. Monteverde, E, Galván, GA, Speranza P. 2015. Genetic diversification of local onion populations under different production systems in Uruguay. Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization 13(3):238-246.

33. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL . Consultado 14 febrero 2020. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
34. SAS Institute Inc. 2008. JMP 8 Statistics and Graphics Guide, Volumes 1 and 2, release 8. SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina. 1234 p.
35. Scarlato M. 2015. El cultivo de frutilla en el sur del Uruguay: principales variables que explican los resultados productivos. Uruguay. [Tesis de Maestría]. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 136 p.
36. Dogliotti S, van Ittersum MK, Rossing WAH. 2005. A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agricultural Systems* 86: 29–51.
37. Wright P J, Grant DG, Triggs CM. 2001. Effects of onion (*Allium cepa*) plant maturity at harvest and method of topping on bulb quality and incidence of rots in storage. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 29: 85-91.
38. González, MV, Miravé JP, Saluzzo JA, Rattin J, Tognetti JA. 2005. Relaciones entre el tamaño y la conservación de bulbos de cebolla para diferentes cultivares y condiciones de almacenamiento. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 4 (1-2): 21-30.
39. Porta B, Rivas M, Gutiérrez L, Galván GA. 2014. Variability, heritability, and correlations of agronomic traits in an onion landrace and its derived S1-lines. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 14:29-35.
40. Schroeder BK, Humann JL, du Toit LJ. Schwartz, H. F 2009. First report of *Enterobacter cloacae* causing onion bulb rot in the Columbia Basin of Washington State. *Plant Disease* . 93:323
41. González PH, Colnago P, Peluffo S, González Idiarte H, Zipitria J, Galván G.A. 2011. Quantitative studies on downy mildew (*Peronospora destructor* Berk. Casp.) affecting onion seed production in southern Uruguay. *European Journal of Plant Pathology*, 129: 303 – 314.

42. Marcuzzo L, Moraes JCV. 2018. Efeito da temperatura e do fotoperíodo na germinação in vitro de esporângios de *Peronospora destructor*, agente etiológico do míldio da cebola. *Summa phytopathologica* 44(1): 92-93.
43. Kawamoto SO, Lorbeer JW. 1974. La infección de las hojas de cebolla por *Pseudomonas cepacia*. *Phytopathology* 64: 1440-1445
44. Schwartz HF, Mohan SK. 2008. Compendium of onion and garlic diseases. St Paul: APS Press. 54p.
45. Galván G, Arias M, Curbelo N, Zaccari F, Arboleja J. 2015. Mejora del curado a campo de la cebolla mediante sombreado con mallas plásticas. Serie Actividades de Difusión N° 757 Jornada de Divulgación. 24-34.

3. UN MÉTODO SIMPLE PARA PREDECIR LA CONSERVACIÓN
POSCOSECHA DE CEBOLLAS (*Allium cepa* L.) EN ALMACENAMIENTO
DE PRODUCTORES FAMILIARES²

3.1. RESUMEN

El cultivo de cebolla en Uruguay es realizado en predios familiares con diversos sistemas de cultivo y de almacenamiento que determinan una amplia variación en cantidad y en calidad de cebollas conservadas. Las principales causas de descartes en estos almacenamientos son pudriciones bacterianas y la brotación de los bulbos. La determinación temprana de la capacidad de conservación poscosecha de un lote de cebolla sería una herramienta de utilidad práctica para la toma de decisiones. Este estudio tuvo por objetivo desarrollar y validar un test de incubación acelerada para determinar tempranamente el potencial de conservación poscosecha de lotes comerciales de cebolla. El test se basó en un muestreo de bulbos al azar realizado al final del curado (inicio del período de conservación), e incubación a 30 ± 2 °C y 98-100 % HR durante dos semanas. La cantidad de bulbos con bacterias (incidencia y severidad) al final del test fue la variable que mejor explicó la conservación ($r = -0,49$; $p < 0,01$). El nivel de bacteriosis en el test tuvo muy alta correlación con la conservación poscosecha a los 150 días ($r = -0,81$, $p \leq 0,0001$). La validación demostró una buena predicción de la capacidad de conservación de los lotes comerciales, con un error promedio de $-7,8$ % (subestimación de la conservación). Los mayores márgenes de error se observaron en el rango de 60 a 69 % de conservación, con un máximo de $-22,5$ %. La predicción desarrollada aporta a las estrategias de comercialización y al abastecimiento del mercado.

Palabras clave: *Allium cepa*, bacterias, calidad de bulbos, pronóstico, potencial poscosecha.

² Este capítulo está preparado en base a las normas editoriales de “Agrociencia Uruguay”, para ser publicado como Vieta et al. “Un método simple para estimar la conservación poscosecha de cebollas (*Allium cepa* L.) en almacenamiento de productores familiares”.

3.2. SUMMARY

A simple method to predict postharvest conservation of onions (*Allium cepa* L.) in family farming systems storages

Onion cultivation in Uruguay is performed in family farming systems with differences in crop and post-harvest conditions determining an ample range of results among them, either in the quality and quantity of conserved onions. The main reasons of reported losses are bacterial rot and bulb sprouting. An early determination of post-harvest ability of a given onion lot would be an interesting tool with practical usage and decision support. This study aimed to develop and validate an accelerated incubation test for an early determination potential post-harvest conservation of commercial onion lots. The test was based on a bulb random sampling at the end of curing (beginning of storage) and incubation at 30 ± 2 °C y 98-100 % RH for two weeks. The level of bacterial rot at the beginning of storage (incidence and severity) was the variable best associated with post-harvest conservation in commercial farming systems ($r = -0,49$; $p < 0,01$). The level of bacterial rot in the test showed high correlation with postharvest conservation at 150 days after storage ($r = -0,81$, $p \leq 0,0001$). The validation of the test proved to be a good prediction of postharvest conservation ability of commercial lots, with an average error of -7.8 % (underestimation of preserved marketable bulbs). The larger error margins were observed in the range of 60 to 69 % of postharvest conservation, with a maximum of -22.5 %. The prediction will allow more efficiency in selling strategies and market supply.

Keywords: *Allium cepa*, bacterial rot, bulb quality, forecast, postharvest potential.

3.3. INTRODUCCIÓN

La cebolla es una de las hortalizas más producidas y consumidas a nivel mundial ⁽¹⁾. En Uruguay es el tercer cultivo hortícola, y es realizado mayoritariamente en la región sur del país por 817 productores (un 46 % del total de los productores hortícolas del sur). Ocupa un área de 1148 ha (16 % de la superficie hortícola), siendo la cuarta hortaliza en valor económico (4,1 %) y tercera en volumen (5,1 %) que se comercializa en el principal mercado mayorista del país ⁽²⁾.

El objetivo principal de la producción de cebolla en Uruguay es abastecer el mercado interno ⁽³⁾. La oferta de cebolla nacional en algunos años tiene dificultades, en particular hacia el final del período de conservación poscosecha en la región sur, debido a que la oferta no llega a cubrir la demanda (junio a setiembre). La pérdida de cebolla en los almacenamientos es uno de los principales factores de desabastecimiento y puede alcanzar desde 10-20% del producto total en un año favorable, hasta 40-50% del lote almacenado en un año problemático ⁽⁴⁾.

En el almacenamiento prolongado de cebolla (marzo a setiembre) en la región sur de Uruguay se han cuantificado e identificado dos etapas que caracterizan las pérdidas de cebollas en las estructuras tradicionales de conservación con condiciones ambientales naturales (sin control de temperatura y humedad). En los primeros meses de almacenamiento las principales causas de descartes son las pudriciones por bacteriosis, mientras que hacia el final de la conservación las pérdidas principales se deben a la brotación de los bulbos ^(5, 6, 7, 8, 9). Similares resultados han encontrado otros autores en varias regiones del mundo, identificando en los primeros meses del almacenamiento y comercialización a los agentes causales de la pudrición de cebollas ⁽¹⁰⁾.

Las principales bacterias reportadas en poscosecha son *Burkholderia cepacia* (piel agria), *Dickeya* sp. ⁽¹¹⁾, *Psuedomonas gladioli*, *Pantoea agglomerans*, *Pantoea ananatis*, *Pantoea alli*, entre otras ⁽¹²⁾. Los principales hongos reportados son *Botrytis* spp. (pudrición gris, pudrición del cuello), *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium oxysporum* y *F. proliferatum* ^(7, 10, 13, 14, 15, 16).

Las variaciones anuales de los descartes de cebollas debidas a pudriciones por bacterias se han atribuido a las características climáticas de período previo a la cosecha y durante el secado de las catáfilas externas (curado). En este sentido, Schwartz y Mohan ⁽¹⁷⁾ determinaron que altas temperaturas (28 – 35 °C) y precipitaciones acumuladas (150 a 295 mm) durante el crecimiento del bulbo tienen una alta asociación con la intensidad de bacteriosis en hojas ($R^2 = 0,993$; $p < 0,0001$) y en la planta ($R^2 = 0,9226$; $p = 0,0024$). Para predecir la aparición inicial (grado día de crecimiento, GDD) y la proporción final de enfermedad bacteriana (*Xanthomonas*) en planta (FPD), estos autores desarrollaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{GDD} = -6,15343 + 215,50 T_{\text{jmax}} - 0,92 P_a$$

$$\text{FPD} = 222,79 - 6,92 T_{\text{jmax}} + 0,52 P_{\text{ja}},$$

donde T_{jmax} es la temperatura máxima diaria promedio de julio, P_a es la precipitación acumulada de agosto, y P_{ja} es la precipitación acumulada en julio y agosto, para el hemisferio norte ⁽¹⁷⁾.

Las hojas enfermas con bacterias son una fuente de inóculo de la infección de los bulbos que serán almacenados, desarrollando y expresando la enfermedad durante la conservación ⁽¹⁸⁾. Otros autores han encontrado una correlación positiva ($r = 0,42$; $p \leq 0,001$) entre las pudriciones y el grosor del cuello, diámetro del bulbo (polar y ecuatorial) y peso del bulbo, con una menor conservación o mayores descartes por bacteriosis cuando las cebollas son de tamaño grande (más de 250 g) ⁽¹⁹⁾. Los mayores tamaños de bulbos se correlacionan con un mal cerrado del cuello ($r = 0,86$; $p \leq 0,05$) ⁽⁷⁾, bajo contenido de materia seca ^(19, 20) y menor contenido de sólidos solubles totales ($r = -0,320$ $p \leq 0,05$) ⁽¹⁹⁾. Lee et al. ⁽²¹⁾ también encontraron correlación positiva entre el peso fresco de los bulbos y las pérdidas en almacenamiento, mientras que el contenido de materia seca y de sólidos solubles se correlacionó negativamente con las pérdidas en almacenamiento. Otros factores como la aplicación de N tardía en combinación con el riego hasta el final del cultivo condujeron a mayor rendimiento con menor contenido de materia seca y sólidos solubles, y mayores pérdidas en poscosecha ⁽²²⁾.

La detección temprana de la capacidad de conservación poscosecha en las cebollas destinadas a la conservación es de interés para la toma de decisiones comerciales, ya que durante el período de almacenamiento pueden producirse alteraciones que hacen perder la calidad comercial de los bulbos y por ende se traducen en pérdidas económicas. Es por ello que diversos métodos no destructivos se están investigando para la detección de enfermedades en el almacenamiento de cebollas ^(23, 24, 25). Wang y Li ⁽²⁶⁾ desarrollaron un sistema de visión artificial multimodal para evaluar de manera no destructiva la calidad externa e interna de la cebolla utilizando integralmente imágenes en color, imágenes espectrales, 3D y de rayos X. Estos autores evaluaron el método en cebollas dulces sanas e inoculadas con *Burkholderia cepacia* y con *Pseudomonas viridiflava*, determinaron las infecciones en forma no destructiva y clasificaron con 81 a 90% de exactitud las cebollas sanas y con defectos externos e

internos (pudrición bacteriana). Sinha et al. ^(27, 28, 29) lograron a través del sistema de espectrometría de movilidad de iones asimétrica de campo portátil (FAIMS) la detección de compuestos volátiles (biomarcadores) en concentraciones de trazas producidos por *Burkholderia cepacia* y *Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum* inoculadas en las cebollas, diferenciando entre bulbos sanos (control) y bulbos con bacteria con una exactitud de 44 a 100% dentro de los 3 y 16 días posteriores a la inoculación.

Por otro lado, Islam et al. ⁽³⁰⁾ ajustaron un método midiendo en forma continua la temperatura y humedad relativa del aire en torno a las cebollas como indicadores de cambios de calidad sanitaria y por ende de la calidad comercial de los bulbos durante el proceso de secado y almacenamiento. Los resultados mostraron que la ocurrencia de bulbos con problemas de pudriciones o brotación en el almacenamiento estaba asociada a un incremento de la temperatura acumulada diariamente (13 a 25 °C) y de la humedad relativa del aire (90 a 93 %) en el entorno a las cebollas.

Las condiciones de temperatura de 25 a 35 °C combinadas con humedad relativa mayor a 90 % favorecen la velocidad de crecimiento de las principales bacterias que se desarrollan durante el almacenamiento ^(10, 13, 16). La incubación de los bulbos sin pudriciones visibles en condiciones controladas de temperatura y humedad favorables para el crecimiento y desarrollo de bacterias y hongos permitiría acelerar el deterioro de los bulbos afectados por estas patologías, y así evaluar la calidad inicial de los mismos y tempranamente definir su aptitud para una larga conservación. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue desarrollar y validar un test de incubación acelerada de bulbos de cebollas destinados a conservación poscosecha (de día intermedio y día largo), bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa al inicio del almacenamiento para predecir la conservación poscosecha de lotes comerciales de cebolla a los 150 días del inicio del almacenamiento.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Descripción del muestreo y determinación de variables de análisis

El trabajo se realizó en dos etapas durante cuatro años (2016 a 2019). En la primera etapa se ajustó la metodología (2016 y 2017) con 5 y 8 lotes de cebollas en cada zafra, y en la segunda etapa se realizó la validación del test de predicción (años 2018 y 2019) con 13 y 11 lotes en cada año respectivamente. Las muestras de bulbos de cebollas se obtuvieron de predios comerciales de productores familiares de Canelones (34°31'22" S 56°16'40" W), la principal zona de producción de cebollas de Uruguay ⁽³¹⁾. En cada zafra se calculó la moda para los rangos del porcentaje en peso de cebollas conservadas en los predios comerciales. La conservación se consideró como el porcentaje de bulbos sanos comercializables a finales de mayo a principios de junio, unos 150 días desde la cosecha (150 ddc), en porcentaje del peso almacenado al final del curado e inicio de la conservación, unos 50 días desde cosecha (50 ddc).

Para comparar las cuatro zafras (37 casos) en los resultados obtenidos en la conservación poscosecha se realizó un análisis mediante modelos lineales generalizados (máxima verosimilitud, Chi cuadrado χ^2 , $p < 0,05$) en Genstat Discovery Edition 7.2.0.220 (VSN International Ltd., Lawes Agricultural Trust, UK). En los cuatro años estudiados, al finalizar el curado de los bulbos (15 de febrero al 15 de marzo, 50 ddc) se extrajeron al azar las muestras de cebollas provenientes de un lote de cebolla guardado en el almacenamiento de los productores (lote comercial). Cada lote (120 bulbos) muestreado correspondió a un cultivo.

Los sistemas de almacenamiento tradicionales en este trabajo se corresponden con los utilizados por productores familiares como cajones de madera apilados en galpón, bins en galpón, sierras a campo, y bins a campo. Las cebollas evaluadas correspondieron a cultivares de Día Intermedio (Canarita, Pantanoso del Sauce, variedades criollas tipo Pantanoso) y de Día Largo (variedades criollas tipo Valenciana, Sintética, Santina).

En cada almacenamiento tradicional y por cada cultivo (lote), se muestrearon 120 bulbos con catáfilas externa secas y cuello cerrado (bulbos curados), sin defectos graves visibles. Los bulbos se descolaron y se pesaron individualmente. Se

recondicionaron 60 bulbos en bolsas de malla red plástica dentro de la estructura de almacenamiento del productor. Los otros 60 bulbos fueron trasladados al laboratorio del Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía (Progreso, Canelones). En las muestras que permanecieron en los almacenamientos de los productores se determinó al inicio (marzo, 50 ddc) y a los tres meses del almacenamiento (finales de mayo a principios de junio, 150 ddc) el peso de bulbos con calidad comercial y el peso y número de bulbos con defectos, identificando y cuantificando las causas de descartes (pudriciones por bacteria u hongos, crecimiento del brote). Se calculó el porcentaje en peso de cebollas conservadas con calidad comercial (PCC) al final del período evaluado (150 ddc) con la siguiente fórmula:

$$PPC(\%) = \frac{\text{peso final de cebollas con calidad comercial (150 ddc)}}{\text{peso inicial de cebollas con calidad comercial (50 ddc)}} \times 100$$

Las muestras ingresadas al laboratorio fueron descoladas y se determinó para cada bulbo el peso, el diámetro mayor, el diámetro del cuello, la presencia o ausencia de carbonilla (*Aspergillus niger*) y pudrición basal (*Fusarium* spp.). Se calculó el cerrado del cuello (CC) como la relación diámetro ecuatorial del bulbo y el diámetro del cuello. Estas variables fueron determinadas al inicio del almacenamiento como indicativas del estado de madurez y sanitario (externo) de los bulbos.

A fin de identificar y cuantificar tempranamente la presencia de pudriciones (bacterias y/u hongos) se realizó un test de incubación acelerada de las muestras una vez ingresadas al laboratorio. Los bulbos sin hojas (descolados) y sin defectos graves visibles fueron incubados en una cámara acondicionada a $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y 98-100 % HR durante 15 días. Las cebollas se mantuvieron dentro de una bolsa de polipropileno para mantener en el entorno de los bulbos la humedad relativa del aire próxima a saturación (Figura 1b). A los 15 días de incubación se evaluó visualmente la presencia o ausencia de pudriciones externas a nivel del cuello de los bulbos y en el interior de la cebolla realizando cortes por el eje vertical y horizontal.

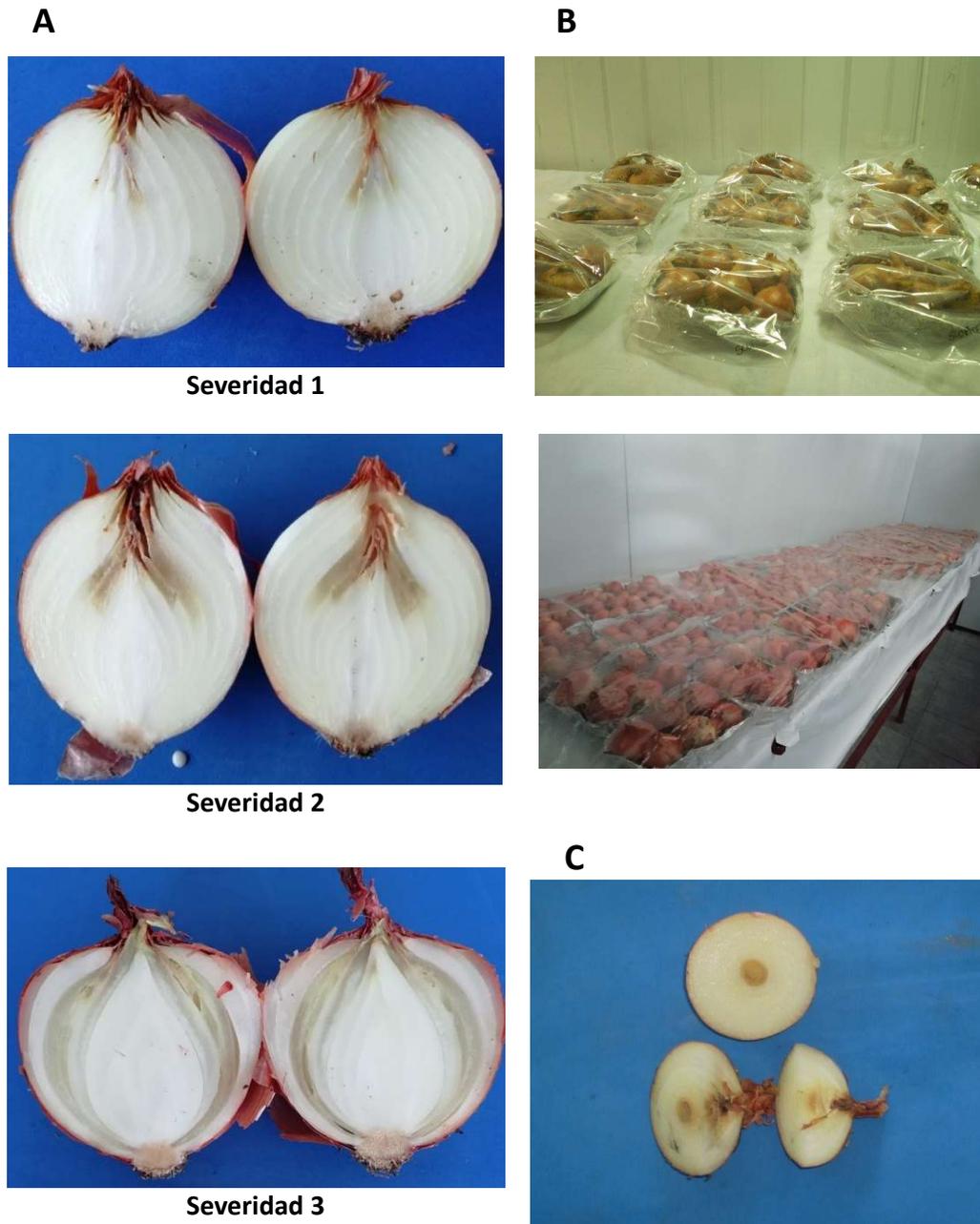


Figura 1 (a) Imágenes representativas de la escala de severidad de la bacteriosis al final del test de incubación acelerada. (b) Imagen de las muestras durante el test de incubación acelerada de bulbos de cebolla provenientes de lotes comerciales, en condiciones controladas en laboratorio. (c) Detalle de los cortes horizontal y vertical realizados para evaluar la presencia de pudriciones internas en los bulbos.

Los niveles de bacteriosis observados en cada bulbo se evaluaron en base a una escala de severidad ordinal de 0 a 3 (Figura 1a), donde los niveles se corresponden con:

- (0) Ausencia de síntomas;
- (1) Infección leve: Pudrición incipiente en parte de una catáfila, coloraciones oscuras en la zona del cuello del bulbo, tejido del bulbo firme;
- (2) Infección grave: Pudrición que penetra en el bulbo por una o más catáfilas; color caramelo o más oscuro, tejidos algo blandos y resbaladizos;
- (3) Infección muy grave: Pudrición con una o más catáfilas completamente amarronadas, oscuras, traslúcidas, tejido muy blando y acuoso.

Después de 15 días de incubación en condiciones controladas, se evaluó y registró el número de cebollas con cada nivel de severidad (b0, b1, b2, b3). Además, se ponderó la incidencia de pudriciones bacterianas por el nivel de severidad para cada lote. Para ello, se calculó el nivel de bacteriosis (NB) como la sumatoria del número de cebollas con cada nivel de severidad (b1, b2, b3) multiplicado por el valor asignado a la severidad (1, 2 o 3) dividido el total de cebollas del lote como se describe en la siguiente ecuación:

$$NB = (b1 \times 1) + (b2 \times 2) + (b3 \times 3) / N^{\circ} \text{ total de cebollas}$$

El peso de los bulbos, el diámetro menor, diámetro mayor, el índice de cerrado de cuello, el nivel de bacteria (NB), la presencia de *Aspergillus niger* y pudrición basal (*Fusarium* spp.) fueron relacionados al porcentaje de cebollas conservado en las condiciones de los lotes comerciales, luego de tres meses en los almacenamientos tradicionales, mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r). Además, se analizó la regresión lineal entre la conservación poscosecha (%) y el nivel de bacteria (NB) para la zafra 2016 y 2017.

Dado que se encontró que el nivel de bacteriosis (NB) en el desarrollo del test de incubación (2016/2017) fue la variable con la mayor correlación significativa con la conservación de las cebollas en almacenamiento de productores a los 150 ddc (Cuadro 2), se construyó un índice para predecir la conservación poscosecha de los bulbos cuyo objetivo fue obtener una estimación en peso del porcentaje conservado con calidad comercial, en base al número de cebollas con cada nivel de severidad.

3.4.2. Desarrollo del índice de predicción

Se construyó un índice de predicción de la conservación poscosecha en peso en base a la incidencia en el test de incubación acelerada. En el primer paso, se calculó el índice B^* de predicción de la conservación de las cebollas (ecuación 1) estimada en base los niveles con mayor infección de bacteria, b_2 y b_3 , ya que el nivel b_1 llevaba a una sobreestimación de pérdidas. El índice B^* incluyó, además, un factor de corrección empírico debido a que con los niveles b_2 y b_3 ocurre una subestimación de las pérdidas en los lotes más sanos, en los lotes con menores descartes por efecto del muestreo (Figura 4a). La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$B^* = b_2 + b_3 + \left[\frac{2 + \ln(b_3 + 1)}{b_3} - 1 \right] \quad (\text{ecuación 1})$$

donde: B^* : índice de predicción de conservación de cebollas

b_2 y b_3 : porcentaje de bulbos con nivel 2 y 3 en la escala visual de bacteriosis.

En segundo lugar, en base al anterior índice B^* , se calculó otro índice de predicción de la conservación de las cebollas (B^{**}) donde se aplicó un factor de corrección que tuvo en cuenta las pérdidas por deshidratación de los bulbos. Esta pérdida de peso es función del período de conservación considerado en días (d), estimadas en 4% mensual ^(5, 6, 8, 9, 29, 37), lo que suma 12% en el período marzo a junio (90 días). También es función del valor B^* calculado anteriormente, teniendo en cuenta que las pérdidas por deshidratación tienen más importancia relativa en los lotes con menor incidencia de bacteriosis, ya que una alta incidencia de bacteriosis conlleva la pérdida total de los bulbos. La fórmula aplicada es la siguiente:

$$B^{**} = B^* - \left[0,12 * d * \left(1 + \frac{B^* - 100}{100} \right) \right] \quad (\text{ecuación 2})$$

donde:

B^{**} : índice de predicción de conservación de cebollas incluyendo un factor de deshidratación;

B^* : índice de predicción de conservación de cebollas en base al nivel de bacteriosis;

d : duración en días del período de conservación (rango de 80 a 120 días).

A través de la regresión lineal de Pearson ($p \leq 0,05$), se analizó la relación entre la conservación poscosecha de lotes comerciales a los 150 ddc (PPC%) calculados para la variable porcentaje en peso de cebollas con calidad almacenadas y el nivel de bacteriosis (NB) evaluado al final del test de incubación acelerada (Figura 3). La predicción de la conservación en los lotes de cebolla comerciales dada por los índices B^* y B^{**} , calculados a partir del test de incubación acelerada, se evaluó en base al coeficiente de determinación y la correlación lineal de Pearson.

Por último, la predicción del test (B^{**}) de la conservación real de los predios se evaluó a través del cálculo del margen del error. El margen de error se calculó como la diferencia entre la conservación estimada por el test y la conservación real.

$$\text{Margen de error} = \text{Predicción Índice } B^{**} - \text{Conservación real del predio}$$

3.5. RESULTADOS

En los cuatro años comprendidos en este trabajo, el porcentaje de conservación poscosecha (PCC) a los 150 ddc tuvo un rango promedio anual de 63,7 a 89,5 % encontrándose diferencias entre años (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de la conservación poscosecha (150 ddc) de las cuatro zafas comprendidas en este trabajo (Media \pm DE, $n = 37$, $X^2 p \leq 0,050$).

Año	Casos evaluados	Conservación poscosecha promedio	
		Promedio anual ^a (% en peso)	Desvío Estándar (% en peso)
2016	5	63,7 a	$\pm 5,9$
2019	11	72,9 a	$\pm 19,9$
2017	7	79,6 ab	$\pm 8,5$
2018	13	89,5 b	$\pm 3,6$

^a Test de Fisher, $p < 0,001$, DMS = 11,63 %.

La conservación de las cebollas en los años 2016 y 2019 fue significativamente menor que en el año 2018, mientras que la conservación obtenida en 2017 fue intermedia y no se diferenció de ninguna de las zafras. En el año 2016, la conservación poscosecha en los predios comerciales para la mayoría de los casos evaluados estuvo en el rango 60-69 % mientras que en 2017 en el rango 80-89 %. En 2018 los valores de conservación fueron muy altos, predominando el rango 90-99 %, y en la zafra 2019 la conservación fue muy diversa entre los casos y con valores en todos los rangos, situación característica de un año problemático (Figura 2).

En el Cuadro 2 se presenta la correlación entre la conservación poscosecha en los predios con las variables evaluadas como indicativas del estado fisiológico y sanitario (externo) de la muestra ingresada al laboratorio. El peso de los bulbos tuvo una correlación positiva con la conservación poscosecha para las zafras 2016, 2017 ($r = 0,66$; $p = 0,01$) y 2019 ($r = 0,70$; $p = 0,02$). En cambio, en la zafra 2018, la correlación entre el peso de los bulbos y la conservación en los predios comerciales no fue estadísticamente significativa ($r = 0,18$; $p = 0,56$).

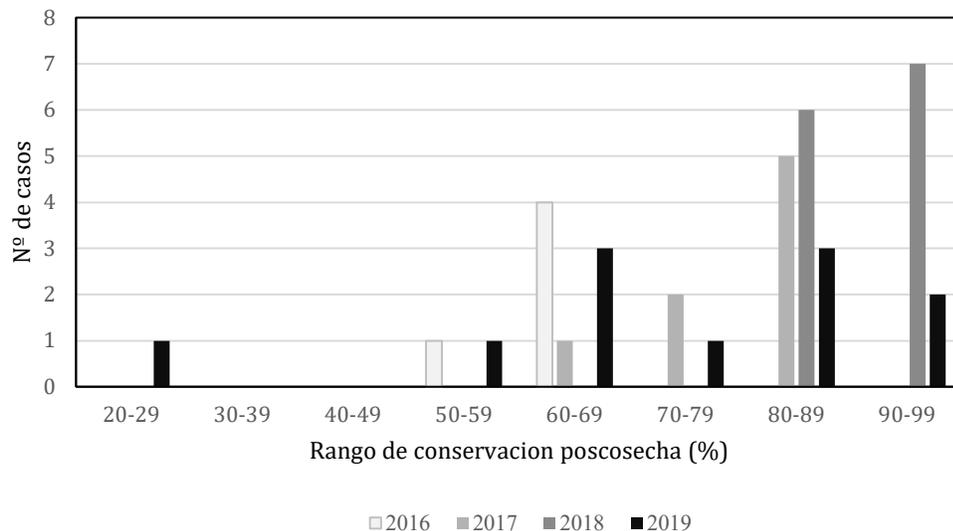


Figura 2. Número de casos por rangos de conservación poscosecha (150 ddc) para los cuatro años de estudio (2016, 2017, 2018 y 2019).

Cuadro 2. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre la conservación poscosecha de cebolla observada en almacenamiento en predios comerciales, y las variables evaluadas al final del test de incubación acelerada en cada año de estudio.

Variable	2016/2017	2018	2019	Total
Peso del bulbo	0,66*	0,18	0,70*	0,37*
Diámetro Mayor	0,60*	0,25	0,59*	0,29
Diámetro Menor	0,08	0,15	0,35	-0,07
Cerrado del Cuello	0,20	-0,05	-0,24	-0,06
<i>Aspergillus niger</i> (%) ^a	-0,45	0,56*	-0,23	-0,29
<i>Fusarium</i> spp. ^a	0,07	-0,20	0,03	-0,02
Nivel de Bacteriosis (NB)	-0,80**	-0,46	-0,13	-0,49**
Número de casos	13	13	11	37

(*) $p \leq 0,05$; (**) $p \leq 0,01$. (^a) incidencia.

Algo similar sucedió con el diámetro mayor del bulbo, donde en las zafas 2016-2017 ($r = 0,60$) y en 2019 ($r = 0,59$) la correlación con la conservación poscosecha fue positiva, pero en la zafa 2018 la correlación no tuvo significación estadística. Por otro lado, no presentaron correlación con la conservación poscosecha las variables cerrado del cuello, ni la incidencia de *Aspergillus* sp. y de *Fusarium* sp. La excepción fue que, en forma contraintuitiva, la incidencia de *Aspergillus* sp. se correlacionó positivamente con la conservación poscosecha en 2018.

En los dos años de construcción del test de incubación (2016/2017) el nivel de bacteria (NB) se identificó como la variable con mayor poder predictor de la capacidad de conservación de las cebollas (Figura 3). El nivel de bacteria de los lotes se correlacionó de manera negativa con la conservación poscosecha en el análisis realizado por año, y en el análisis conjunto de las cuatro zafas ($r = -0,49$ $p=0,002$).

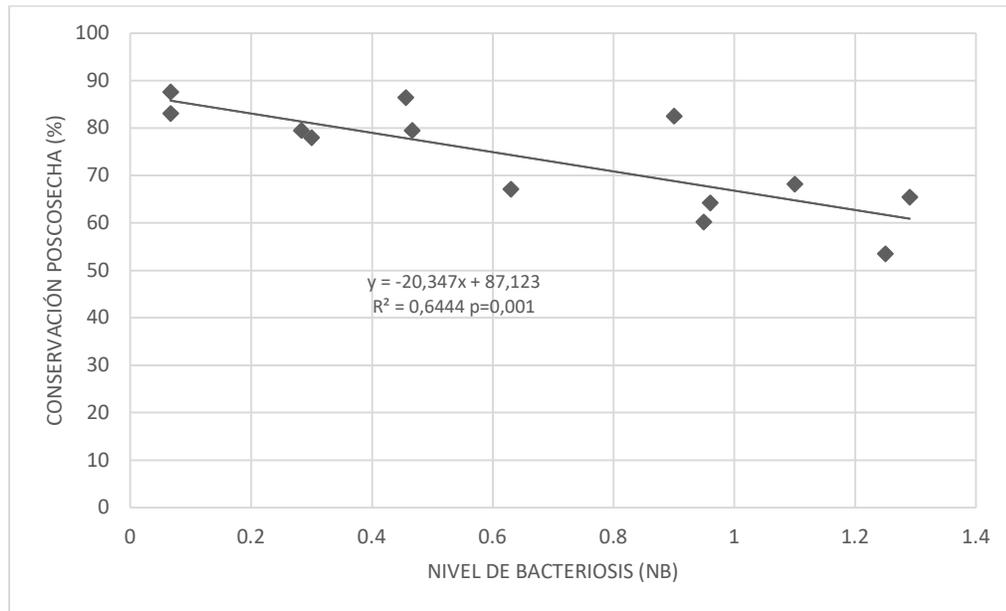


Figura 3. Relación entre la conservación poscosecha de lotes comerciales y el nivel de bacteriosis (NB) evaluado al final del test de incubación acelerada de las zafras 2016 y 2017 ($R^2 = 0,64$; $p = 0,001$).

La incidencia de bacteriosis considerando el grado de severidad 2 y 3 (b2, b3) en el test de incubación acelerada (Figura 4a) se relacionó mejor con el porcentaje de conservación poscosecha a los 150 ddc que cuando también se incluyeron los casos de menor severidad, con infecciones incipientes (nivel 1; $R^2 = 0,50$; $p = 0,006$; datos no mostrados). En base a los niveles b2 y b3, el índice B* introdujo un factor de corrección empírico, no lineal, que considera una subestimación de pérdidas en los lotes más sanos (Figura 4b). La sobreestimación podría darse por efecto de muestreo cuando la incidencia de bacteriosis es muy baja. Finalmente, teniendo en cuenta que se pretende estimar la conservación poscosecha en peso, el índice de predicción B** agregó una corrección por deshidratación de los lotes durante el período conservado. Con estos factores de corrección empíricos, el índice B** logró el mayor ajuste con la conservación real de los lotes en predios comerciales (Figura 4c).

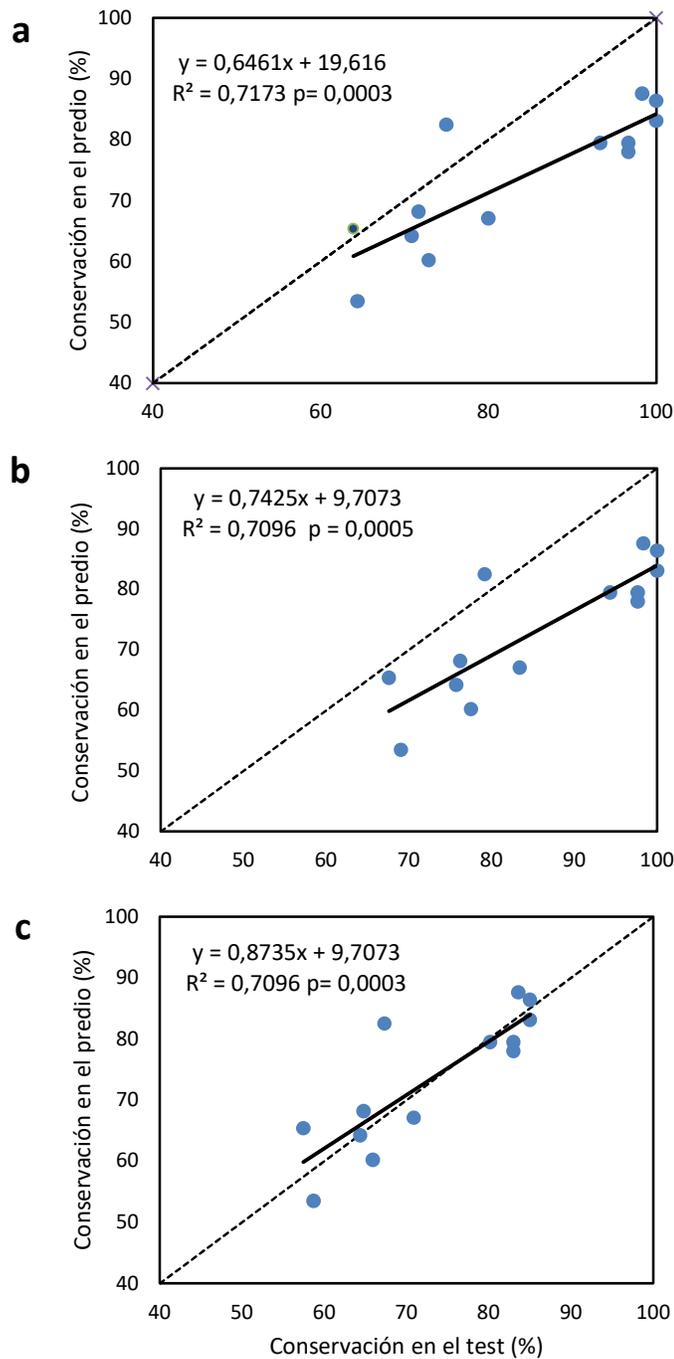


Figura 4. Relación entre la conservación poscosecha de cebolla en los predios comerciales y la estimación en el test de incubación acelerada (zafras 2016 y 2017), dada por (a) la incidencia de bacteriosis con niveles 2 y 3 en porcentaje, (b) el índice B* que corrige la subestimación de pérdidas en los lotes de cebolla más sanos, y (c) por el índice B** que agrega una estimación de las pérdidas por deshidratación.

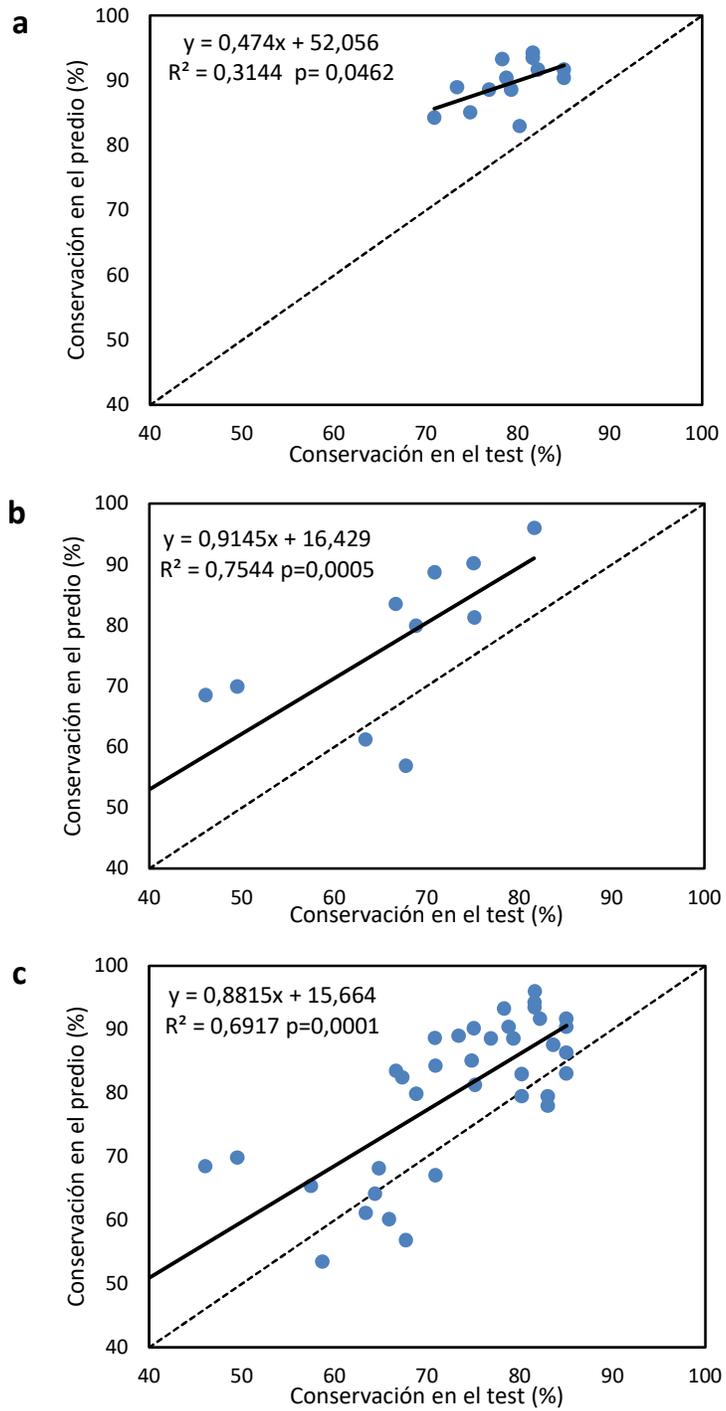


Figura 5. Predicción realizada por el índice B** (a) para los casos evaluados en 2018, (b) en 2019 y (c) para el conjunto de datos de todos los años (2016, 2017, 2018, 2019).

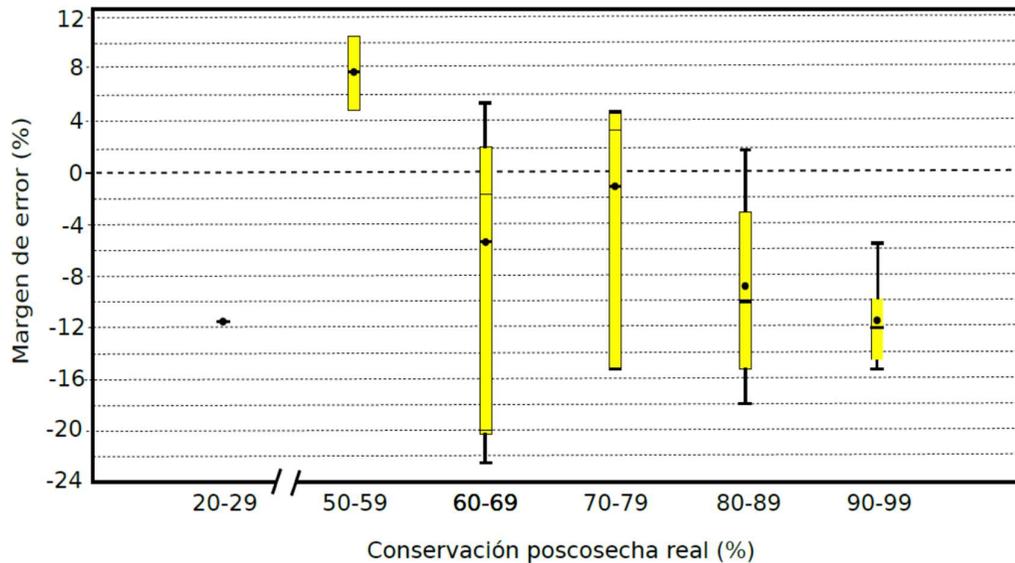


Figura 6. Diferencia entre la conservación real y la predicción realizada (B**) con el test de incubación acelerada y la conservación poscosecha observada en los predios (%) por rangos de conservación.

La etapa de validación del test de incubación, con la predicción de la conservación poscosecha realizada por el índice B** de los rangos de conservación para todos los años estudiados se presenta en la Figura 5. En las zafras 2018 y 2019 la predicción del test subestimó la conservación real obtenida por los productores para la mayoría de los lotes analizados (Figura 5a y 5b). En el año 2018, con el mejor promedio de conservación obtenida en los predios comerciales (89,5 %), el índice B** tuvo una sobreestimación de pérdidas, una menor predicción de la conservación en comparación con el valor real de conservación (Figura 5a). En el conjunto de los años (Figura 5c) el indicador índice de predicción (B**) predice la conservación con una correlación de 69,2 % (Figura 5c).

El margen de error entre la predicción obtenida con el test de incubación forzada (B**) y los datos reales de almacenamiento en los predios comerciales de todos los años estudiados estuvo entre -22,5 % a 10,5 % de cebollas conservadas, con

un promedio de $-7,2\%$ (Desvío Estándar = $8,2\%$) (Figura 6). Los valores más altos del error de estimación de la conservación se dieron en los casos que estuvieron en el rango de $60-69\%$ de conservación en el predio, mientras que para valores más altos o bajos de conservación el test mostró una mejor predicción.

Además, los valores predominantemente negativos en el margen de error evidencian una tendencia general a la sobreestimación de las pérdidas en poscosecha en los predios, con valores crecientes de error en los rangos de mayor conservación poscosecha (Figura 6). No obstante, la mayor parte de los valores de mejor conservación poscosecha se corresponden con el año 2018, zafra de muy buena conservación poscosecha en la que, como ya se presentó, el test de incubación acelerada predijo mayores pérdidas.

3.6. DISCUSIÓN

Las condiciones que afectan el crecimiento del cultivo de cebolla, así como las condiciones ambientales durante la cosecha y el curado, condicionan la capacidad de conservación poscosecha de un lote comercial. En Uruguay se registran importantes variaciones entre años y entre productores en el éxito de la conservación poscosecha. En nuestro trabajo, el nivel de infección bacteriana en el interior de las cebollas evaluado en el test de incubación acelerada fue la variable que mejor explicó la cantidad conservada durante los primeros tres meses en los almacenamientos realizados en los sistemas de producción familiar en el sur de Uruguay.

Los niveles más avanzados de la severidad de la bacteriosis (b2 y b3) fueron los que mejor explicaron el resultado de la conservación en ese período. Las infecciones muy incipientes (b1) detectadas en el test podrían tener una evolución limitada o errática en el período de conservación evaluado, sin llegar a comprometer la calidad comercial de los bulbos.

En las condiciones de producción de Uruguay, las bacteriosis pueden desarrollarse tanto durante la etapa de cultivo, identificándose como agentes causales a los géneros *Pantoea* y *Burkholderia*^(19,31), así como durante el periodo de cosecha y curado. Las condiciones de precipitaciones acompañadas con viento y/o granizo, que provocan heridas favorecen el desarrollo de bacteriosis a nivel foliar y la entrada al

bulbo^(17,32). En evaluaciones poscosecha, las bacteriosis han sido la principal causa de descartes en los primeros meses del almacenamiento en Uruguay, seguidas posteriormente por la brotación^(6,7,8,9).

Las condiciones ambientales no controladas durante el almacenamiento de las cebollas permiten el desarrollo de las bacteriosis (óptimo 25 a 35 °C, HR > 90 %) durante los primeros meses del almacenamiento^(10, 13, 16, 18). La presencia de infecciones causadas por bacterias y hongos en los bulbos provocan un levantamiento anticipado de la dormición y, en consecuencia, una brotación adelantada⁽³³⁾.

La predicción de la conservación en peso realizada en el test de incubación acelerada se basó en datos empíricos, obtenidos en las zafras 2016 y 2017. El factor principal que explicó la conservación poscosecha a los 150 ddc fue la incidencia de bacteriosis. Se construyó el índice B^{**} para la predicción de la conservación en peso de lotes comerciales de cebolla, basado en la incidencia de los niveles b2 y b3 (infecciones moderadas y severas al final del test de incubación). Además, B^{**} comprendió un factor de corrección por la subestimación de pérdidas observada en los lotes más sanos, así como un factor de corrección por la deshidratación que ocurre durante el almacenamiento.

El índice B^{**} estimó las pérdidas con un error promedio de $-7,2$ %, y un máximo de $-22,5$ %, algo más alto que lo obtenido por Wang y Li (2015). Usando imágenes espectrales 3D y rayos X, estos autores lograron estimar la conservación poscosecha con con 81 a 90% de exactitud. En tanto, Sinha et al.^(26, 27, 28) lograron a través del sistema FAIMS la detección de compuestos con una exactitud de entre 44 a 100% dentro de los 3 y 16 días posteriores a la inoculación. La predicción en nuestro estudio fue muy buena en los casos más extremos de conservación: cuando la situación del lote era muy buena (85 a 99 % del lote con calidad comercial), o para predecir cuándo la condición del lote es muy mala y no se puede conservar. Los mayores errores en la predicción aparecieron sobre todo en los casos de conservación poscosecha intermedia (60 a 69 %). Este mayor margen de error en los casos intermedios es desafortunado, ya que son justamente las situaciones en las cuales los productores requerirían contar con elementos de decisión adicionales. Por el contrario, las situaciones en la que un lote comercial tenga muy buena capacidad de conservación

poscosecha, o que tenga muy mala condición desde el inicio del almacenaje, son los casos más fáciles de identificar por el propio productor.

Existen otros factores que no se identificaron en nuestro estudio y que inciden en la pérdida de cebollas. Estos factores requerirán futuros trabajos para ser identificados e incluidos en el modelo de predicción. En primer lugar, el efecto año es muy significativo, con grandes diferencias entre zafras. Estas diferencias entre zafras condicionan la capacidad de predicción del modelo empírico desarrollado, al punto de que sobreestimó las pérdidas en 2018, un año de muy buena conservación poscosecha para los productores. Sería deseable incorporar en el índice de predicción un factor de caracterización del año, si se trata de una muy buena zafra o una zafra problemática, ya que esta corrección disminuiría el margen de error. En segundo lugar, esas variaciones entre zafras en la incidencia de bacteriosis y en la capacidad de conservación poscosecha son determinadas por factores ambientales durante el cultivo, la cosecha y el curado. La introducción de variables ambientales como las precipitaciones acumuladas en la última fase del cultivo y las temperaturas podrían mejorar el índice de predicción de pérdidas, y que el modelo de predicción pase de ser completamente empírico, basada en los resultados de zafras anteriores, a contar con elementos explicativos como la influencia de factores ambientales sobre la conservación poscosecha de los bulbos (por ejemplo, número de días con lluvia en el período final del cultivo). Estos elementos ambientales serían claves para la caracterización *ex ante* de la zafra planteada como elemento de corrección.

La existencia de correlación positiva entre la conservación poscosecha y el peso del bulbo es contraria a lo reportado en otros trabajos experimentales (^{19, 20, 21}). En nuestro estudio, el rango de tamaño de bulbo fue de 81 a 233 g con un peso promedio de 163 g, mientras en el tamaño de bulbo promedio utilizado por otros autores tuvo un promedio de 236,1 g (²⁰). Un mayor tamaño del bulbo puede asociarse a plantas con más hojas, mayor engrosamiento de las catáfilas reservantes y mayor contenido de agua en el bulbo. El mayor desarrollo foliar lleva a que el cuello del bulbo sea más ancho, y que ocurra mal cerrado del cuello, lo que constituye una vía de ingreso para bacterias.

En segundo lugar, la correlación observada se debe a la mayor especialización de un sector de productores que logra buen rendimiento y buena conservación poscosecha de la cebolla. Por el contrario, productores con problemas de manejo del cultivo que determinan un bajo rendimiento, son aquellos que obtienen lotes de cebolla que tienen mala conservación poscosecha. Un inadecuado manejo durante el cultivo determina disminución del follaje por enfermedades foliares debido a escasos controles fitosanitarios ⁽³⁴⁾, no rotación de cultivo, pérdida en las propiedades físico-químicas de los suelos que determinan deficiencias hídricas y nutricionales ⁽³⁵⁾ así como la presencia de malezas durante la bulbificación ⁽³⁶⁾. Estos problemas en el manejo son factores reductores del tamaño de la cebolla, predisponen a la planta a infecciones de bacterias y pueden reducir la translocación de hormonas de dormición incrementando además el riesgo de brotación en el almacenamiento ⁽³⁷⁾.

3.7. CONCLUSIONES

Un método simple y de bajo costo que permite estimar el potencial de conservación de cebollas en estructuras comerciales de productores familiares fue desarrollado y validado. El método de incubación de bulbos consiste en acelerar el crecimiento de bacterias y hongos que provocan la pudrición de cebollas durante los primeros meses de almacenaje. La predicción de conservación de las cebollas como porcentaje en peso a los 150 días de la cosecha tiene un margen de error de $-7,2\%$ en promedio, una precisión adecuada para la toma de decisiones. El rango en el margen de error es de $+10$ a -15% para la mayoría de las situaciones. Se debe seguir ajustando la ecuación para predecir con mayor ajuste el potencial de almacenamiento de las cebollas.

La posibilidad de predecir el potencial de conservación de las cebollas para tomar decisiones a tiempo sobre el destino de la producción al inicio del almacenaje, determinando su venta inmediata o su conservación a largo plazo, permitirá ser más eficiente en la gestión de recursos para la producción y comercialización mejorando el abastecimiento del mercado.

3.8. AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Nacional de Investigación e Innovación por su apoyo en la Beca de Maestría y al fondo María Viñas que permitió llevar adelante el proyecto (FMV_1_2014_1_104703).

3.9. BIBLIOGRAFÍA

1. FAO 2018 Consultado 18 agosto 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
2. Observatorio Granjero, CAMM, DIGEGRA-MGAP. 2019. Anuario estadístico 2019. Uruguay. 75 p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=bbe0999d-7fd5-474b-9bcb-29201e3a5873&groupId=42766.
3. CAMM (Comisión Administradora Mercado Modelo) 2013. Informe sobre cebolla, abril 2013. Uruguay. 19 p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=b25a75eb-9951-428a-b0d2-0cb70f18185d&groupId=42766.
4. Observatorio Granjero. 2015. Cebolla: situación y perspectivas, junio 2015. Uruguay. 6p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=82a992ab-ae3c-47bf-a3a1-b316a22caf94&groupId=42766.
5. Zaccari F, Franco J, Bianchi J. 1995. Evaluación de pérdidas en poscosecha de cebolla dulce (*Allium cepa* L.) cultivar Granex 33 cosechados en el sur de Uruguay con destino de exportación a Estados Unidos de América (1993-1994). pp 141-420. En: Proceeding of the International Conference of Harvest and Postharvest Technology for Vegetables. Guanajuato, México. ASAE Eds. Lal Kushwaha, Ryszard Serwatowski, R C Brook. ISBN-10: 0929355598.
6. Frachia G, Koster C, Ruiz G. 1996. Conservación de bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) variedad Valcatorce, en tres sistemas de almacenamiento tradicionales. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. 110 p.

7. Alonso A, Riva G. 1999. Comparación de la susceptibilidad de poblaciones locales y variedades de cebolla a podredumbres de bulbos en poscosecha. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. 120 p.
8. Mola C, Marquisa, S. 1999. Conservación de dos cultivares de cebollas con tres fechas de siembra provenientes de cuatro localidades. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. 120 p.
9. Peluffo S, Curbelo N. 2012. Ensayos de evaluación de la conservación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur (2010-11). En: Presentación de los últimos avances en el cultivo de cebollas. Series Actividades de Difusión N° 676. INIA. Las Brujas. Canelones, Uruguay. 59-65.
10. Schwartz HF, Mohan KS. 2008. Compendium of onion and garlic diseases and pests. 2nd ed. St Paul, MN, USA: American Phytopathological Society. 127 p.
11. Palacio-Bielsa A, Cambra MA, López MM. 2006. First report of bacterial soft rot on onion caused by *Dickeya* sp. (ex *Pectobacterium chrysanthemi*) in Spain. New Disease Reports. 14, 3.
12. Vahling-Armstrong C., Dunge J S, Humann JL, Schroeder BK. 2016. Effects of postharvest onion curing parameters on bulb rot caused by *Pantoea agglomerans*, *Pantoea ananatis* and *Pantoea allii* in storage. Plant Pathology, 65: 536–544.
13. Ara MAM, Khatun ML, Ashrafuzzama M. 2008. Fungi causing rots in onions at storage and market. Journal of the Bangladesh Agricultural University, 6(2): 245–251.
14. Snowdon AI. 2010. Post-harvest diseases and disorders of fruit and vegetables: vol 2. Boca Raton.FL.USA: CRC Press;260 p.
15. Nega G, Mohammed A, Menamo T. 2015. Effect of curing and top removal time on quality and shelf life of onions (*Allium cepa* L.). Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary, 15 (8):27-36.
16. Kumar V, Neeraj SS, Sagar NA. 2015. Post-harvest management of fungal diseases in onion—a review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 4(6):737–752.

17. Schwartz HF, Otto KL, Gent DH. 2003. Relation of temperature and rainfall to development of *Xanthomonas* and *Pantoea* leaf blights of onion in Colorado. *Plant Diseases*, 87:11-14.
18. Wright PJ, Hale CN. 1992. A field and storage rot of onion caused by *Pseudomonas marginalis*. *New Zealand journal of crop and horticultural science* 20: 435-438.
19. Patil RS, Kale PN. 1985. Correlation studies on bulb characteristics and storage losses in onion. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities* 10: 38-39.
20. Porta B, Rivas M, Gutiérrez L, Galván GA. 2014. Variability, heritability, and correlations of agronomic traits in an onion landrace and its derived S1-lines. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 14:29-35.
21. Lee J, Injong Ha I, Kim H, Choi S, Sangdae Lee S, Kang J, Boyhan GE. 2016. Regional differences in onion bulb quality and nutrient content, and the correlation between bulb characteristics and storage loss. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 34 (6): 807-817.
22. Abdalla AG, Riad GS, Abd-Elmohsin M, El-Bassiony Zakaria F, Fawzy and Maged A, El-Nemr MA. 2017. Late nitrogen application and late season irrigation increased bulb yield but negatively affected quality and storability of onion. *Bioscience Research*, 14 (4): 756-767.
23. Nicolai BM, Beullens K, Bobelyn E, Peir A, Saeys W, Thero KI, Lammertyn J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 46: 99–118.
24. Mizrach A. 2008. Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. *Postharvest Biology and Technology*, 48: 315-330.
25. Sadjad A, Saeid M, Bahareh J, Davood F. 2018. Dispositivos no destructivos dedicados para la medición de la calidad de los alimentos: una revisión <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.009>
26. Wang W, Li Ch. 2015. A multimodal machine vision system for quality inspection of onions. *Journal of Food Engineering*, 166: 291-301.

27. Sinha R, Khot LR, Schroeder BK. 2017a. FAIMS based sensing of *Burkholderia cepacia* caused sour skin in onions under bulk storage condition. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11 (4):1578-1585.
28. Sinha R, Khot LR, Schroeder BK, Si Y. 2017b. Rapid and non-destructive detection of *Pectobacterium carotovorum* causing soft rot in stored potatoes through volatile biomarkers sensing. *Crop Protection*, 93: 122–131.
29. Sinha R, Khot LR, Schroeder BK, Sinha R, S. 2018. FAIMS based volatile fingerprinting for real-time postharvest storage infections detection in stored potatoes and onions. *Postharvest Biology and Technology* 135:83-92.
30. Islam MN, Wang A, Pedersen JS, Sørensen JN, Körner O, Edelenbos M. 2019. Online measurement of temperature and relative humidity as marker tools for quality changes in onion bulbs during storage. *PLOS ONE*, 14(1)e0210577.
31. MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias). 2020. Anuario 2020. Montevideo, Uruguay. 270 p.
32. De Armas, S, Galván GA, Vicente E, Pianzzola MJ, Siri MI. (2019) Bacteria causing bulb rots and leaf spots in Uruguay (summary). *International Allium Research Symposium*. Madison, Wisconsin, USA
33. Delhey R, Kiehr M, García U, Bellacomo C, Caracotche V, Frayssinet S, Zazzetta M, Sosa C, Kroneberger E. 2019. Podredumbres bacterianas de cebolla en Argentina. Situación Actual y Perspectivas a Mediano plazo. *Boletín de la Asociación Argentina de Fitopatólogos*. N°3
34. Grevsen K, Sorensen JN .2004. Brotación y rendimiento en cebollas de bulbo (*Allium cepa* L.) según la influencia del cultivar, métodos de establecimiento de la planta, madurez en las condiciones de cosecha y almacenamiento, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79: 6, 877 -884
35. Kawamoto O, Lorbeer JW.1974. Infection of onion leaves by *Pseudomonas cepacia*. *Phytopathology*, 64:1440-1445.
36. Kumar, S, Imtiyaz, M, Kumar, A. 2007. Effect of differential soil moisture and nutrient regimes on postharvest attributes of onion (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae*, 112, 121-129.

37. Gitaitis, R, Walcottb R, Culpepper S, Sandersa H, Zolobowska L, Langston D. 2002. Recovery of *Pantoea ananatis*, causal agent of center rot of onion, from weeds and crops in Georgia, USA. *Crop Protection* 21, 983–989.
38. Petropoulos SA, Ntatsi G, Ferreira ICFR. 2017. Long-Term storage of onion and the factors that affect its quality: a critical review. *Food Reviews International*, 33(1): 62-83.

4. DISCUSIÓN GENERAL

La conservación poscosecha de la cebolla en el Uruguay presenta variación a través de los años, llegando a ser del orden de 40-50 % del lote inicialmente almacenado en años problemáticos. Estas pérdidas poscosecha causan desabastecimiento del mercado, así como dificultades a nivel productivo por contar con menor oferta y por ende un menor ingreso familiar.

La principal fortaleza del este trabajo es que permitió relevar la realidad de los cultivos comerciales de la zona sur del Uruguay. Se confirmó que existe una gran variabilidad entre los productores analizados, donde algunos realizan un buen manejo durante el cultivo, curado y etapa de conservación obteniendo buena conservación en las zafras analizadas, mientras que otros presentan baja conservación independientemente del año en curso. Pudieron identificarse dentro de las variables evaluadas cuáles tuvieron más influencia en la conservación para las dos temporadas de estudio. Resultó que el número de catáfilas formadas al momento de la cosecha fue la variable que tuvo mayor significancia estadística en relación a la conservación poscosecha. Si al momento de la cosecha el número de catáfilas es alto ($\geq 3,4$), la hipótesis que nos planteamos es que esto representa un estado fisiológico más avanzado, con más catáfilas secas ya formadas. Esta asociación que nos planteamos debería analizarse a posteriori en otros estudios específicos para corroborarse.

Otro aspecto para considerar en el manejo del cultivo es la importancia de lograr llegar a la etapa de cosecha con una buena sanidad de las hojas, principalmente con una baja incidencia y severidad de peronóspora y bacteriosis. El mantenimiento de una buena sanidad disminuiría el riesgo de desarrollo de bacteriosis durante la etapa de cosecha y curado. Una debilidad de este estudio fue la necesidad de contar con alta dedicación en un corto periodo de tiempo para el relevamiento de los productores y las evaluaciones en cosecha y curado, con mediciones en 15 y 27 sitios de manera simultánea en cada zafra, ya que la cebolla tiene un periodo de cosecha y curado muy acotado.

El test de predicción de la poscosecha es una herramienta muy útil desde el punto de vista económico para los productores del Uruguay, ya que permite definir a

nivel predial cuáles lotes de cebolla ingresan al almacenamiento prolongado y cuáles van para la venta inmediata. El modelo predictivo de conservación del test se basó principalmente en el nivel de bacteriosis promedio debido a que fue la variable que mejor se correlacionó en los años de análisis, teniendo en cuenta que el alcance de la predicción es el mes de junio, tres meses después de la entrada en almacenamiento. En el modelo predictivo no se incluyó el nivel de brotación de las cebollas debido a que comienza a aparecer en mayor cantidad en los siguientes meses (julio-agosto) que no fueron evaluados en nuestro trabajo. Otras variables como cerrado del cuello, longitud del brote central o peso del bulbo tampoco fueron incluidas en el modelo predictivo porque no se encontraron asociadas con la conservación poscosecha. En la medida que se puedan seguir probando varios lotes de cebolla de diversas situaciones de cultivo, se podría perfeccionar la capacidad de predicción del test.

5. CONCLUSIONES GENERALES

El objetivo general de este estudio fue contribuir a determinar qué factores de manejo en el cultivo de cebolla a nivel de los predios comerciales de productores familiares tienen mayor incidencia en la duración de la conservación poscosecha de cebolla.

En dos zafras de producción (2015/16 y 2016/17) se determinó que el nivel de bacteriosis al final del curado e inicio del almacenamiento (50 días posteriores a la cosecha), y el número de catáfilas protectoras desarrolladas al momento de la cosecha (medidos al momento de cosecha) son las variables que tienen mayor correlación con la conservación poscosecha en los predios familiares en la zona de producción de Canelones.

Una buena conservación de cebollas ($\geq 80\%$) a los 150 ddc se asoció a cultivos que tuvieron en cosecha cebollas no más de 2,5 catáfilas protectoras y/o menos de 1% de bulbos descartados al final del curado (inicio del almacenamiento). La cantidad de catáfilas protectoras en las cebollas al momento de cosecha es un indicador del estado de madurez de los bulbos al momento de la cosecha, de modo que el retraso de la cosecha determinaría mayor número de catáfilas protectoras en el bulbo. Los cultivos que al momento de la cosecha tuvieron cebollas de $>3,48$ catáfilas secas fueron los de menor conservación a los 150 ddc.

El tipo varietal de cebolla (día intermedio o largo), la fecha de cosecha y el sistema de almacenamiento no fueron factores que explicaran la cantidad de cebollas conservadas a los 150 ddc en los casos estudiados.

Se construyó y validó un test de incubación basado en el nivel de bacteriosis de las cebollas al final del curado (50 ddc) que permite predecir la conservación de los bulbos a los tres meses en sistemas de almacenamiento en predios familiares, con un error promedio de -7,2 %, y un máximo de 22,5 %. Se debe profundizar y ajustar el modelo predictivo de la conservación de cebollas incluyendo otras variables indicadoras, en particular para el rango de 60 a 70% de cebollas conservadas en los sistemas prediales.

Los trabajos realizados en esta tesis contribuirán a definir prácticas de manejo a nivel productivo en el sur del Uruguay que reduzcan pérdidas de productos y recursos de producción y comercialización, y que aporten a estabilizar de la oferta de cebolla nacional.

6. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Abdalla AG, Riad GS, Abd-Elmohsin M, El-Bassiony Zakaria F, Fawzy and Maged A, El-Nemr MA. 2017. Late nitrogen application and late season irrigation increased bulb yield but negatively affected quality and storability of onion. *Bioscience Research*, 14 (4): 756-767.
- Alonso A, Riva G. 1999. Comparación de la susceptibilidad de poblaciones locales y variedades de cebolla a podredumbres de bulbos en poscosecha. Tesis de Grado Ing. Agrónomo., Montevideo. Facultad de Agronomía. 61p.
- Arbeletche P, Arboleya J, Campelo E, Galván G, González H. 1999. Caracterización del cultivo de cebolla en Uruguay En: 3ra. Reunión Científica de Cebolla del Mercosur. Memorias 30 y 31 de agosto de 1999. 65-86.
- Arboleya J, Maeso D, Campelo E, Paullier J, Giménez G. 2013. Producción integrada de cebolla. *Boletín de divulgación* 105. INIA. 44p.
- Arboleya J (ed.). 2005. Tecnología para la producción de cebolla. *Boletín de Divulgación* 88. INIA. Montevideo. Uruguay. 247p.
- Bishop, A.L., Davis, R.M. 1990. Internal decay of onions caused by *Enterobacter cloacae*. *Plant Disease* 74(9): 692-694.
- Brewster JL. 1990. Physiology of crop growth and bulbing. In: Rabinovitch y Brewster JL (eds) *Onions and allied crops. Vol. I. Botany, physiology and genetics*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, Inc.53-88.
- Brunetto I. 1997. Momento de cosecha y sistemas de curado de cebolla tipo Granex para exportación. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía 82 p.
- CAMM (Comisión Administradora Mercado Modelo) 2013. Informe sobre cebolla, abril 2013. Uruguay.19 p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=b25a75eb-9951-428a-b0d2-0cb70f18185d&groupId=42766.
- Campelo E, Arboleya J, Franchi S, Falero M. 2013. Uso de la Hidrazida maleica en la prolongación de la conservación de la cebolla. Montevideo. Uruguay. INIA. *Actividades de difusión* 707. 51-70.

- Carballo S. 2005. Poscosecha de cebolla en Uruguay. Montevideo Uruguay INIA Boletín de Divulgación. No89. 64p.
- De Albuquerque M, Araujo E. 2013. Factores que determinan el desarrollo de la “raíz rosada” de la cebolla causada por *Pyrenochaeta terrestres*. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, vols. 5 e 6. 264-298.
- Delhey R, Kiehr M, García U, Bellacomo C, Caracotche V, Frayssinet S, Zazzetta M, Sosa C, Kroneberger E. 2019. Podredumbres bacterianas de cebolla en Argentina. Situación Actual y Perspectivas a Mediano plazo. Boletín de la Asociación Argentina de Fitopatología. N°3. 10 p.
- Dutta B, Barman A K, Srinivasan R, Avci U, Ullman DE, Langston D B, and Gitaitis RD. 2014. Transmission of *Pantoea ananatis* and *P. agglomerans*, causal agents of center rot of onion (*Allium cepa*), by onion thrips (*Thrips tabaci*) through feces. Phytopathology 104:812-819.
- Eshel D, Tepper-Bamnolker P, Vinokur Y, Saad I, Zutahy Y. 2014. Fast curing: a method to improve postharvest quality of onions in hot climates. Postharvest Biology and Technology, 88.34-39.
- Galván GA, Zaccari F, Costa N, Perdomo E, González P, Peluffo S. 2011 a. Obtención de cebolla de alta calidad mediante la mejora del manejo a la cosecha y poscosecha. INIA. Montevideo. Uruguay. Serie Actividades de Difusión 640. 8-16.
- García C, Arboleja J, Carballo, S, Suárez, C. 1998. Efectos de diferentes momentos de riego durante el ciclo del cultivo sobre la conservación de cebolla Granex 33. INIA. Montevideo. Uruguay. Serie Actividades de Difusión 160. 32-36.
- García F, Moltini C, Cardellino G, Zamalvide J. 1985. Agua, población y nitrógeno en el cultivo de cebolla. En: Agua en la agricultura 1, DUMA-MGAP. Montevideo. Uruguay. 13-22.
- Gavini, F., Mmergaert, J., Bej., A., Mielcarek, C., Izard, D., Kersters, K., and De Ley, J. 1989. Transfer of *Enterobacter agglomerans* (Beijerinck 1888) Ewing and Fife 1972 to *Pantoea* gen. nov. as *Pantoea agglomerans* comb. nov. and description of *Pantoea dispersa* sp. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 39: 337-345.

- Gubb I, Mac Tavish. 2002. Onion Pre and Postharvest Considerations, *Allium crop science: recent advances*, 2002. Wallingford, UKCABI Publishing .233-265.
- Hardenburg RE, Watada AE, Wang CYI. 1988. Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencia de floristerías y viveros. IICA, Costa Rica. 150 p.
- Maude RB. 1990. Storage diseases of onions. In: Rabinovitch y Brewster (eds) *Onions and allied crops*, Vol. II. CRC Press : Boca Raton. p. 273-296. Vol.I. CRC Press: Boca raton. 28-99.
- Maw, BW, Smittle, DA, Mullinix, BG. 1997. La influencia de la madurez de la cosecha, el curado y las condiciones de almacenamiento sobre la capacidad de almacenamiento de las cebollas dulces. *Appl. Ing. Agricola*. 13. 511 – 515
- Mac Callum J, Baldwin S, Thomson S, Pither-Joyce, M, Kenel F, Lee R, Khosa JS. and Macknight R. (2016). Molecular genetics analysis of onion (*Allium cepa* L.) adaptive physiology of bulb. *Acta Hortic*. 1110, 71-76
DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1110.11
- Melo PC, Ribeiro A. 1990. Produção de sementes de cebola: cultivares de polinização aberta e híbridos. In: Castelane PD, Nicolosi WM, Hasegawa M. (Ed.). *Produção de sementes de Hortaliças*. Jaboticabal: FCAV/FUNEP. 15-59.
- MGAP-DIEA/DIGEGRA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias / Dirección General de la Granja). 2017. Encuestas Hortícolas 2015 y 2016. Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas N° 344. Uruguay. MGAP-DIEA. 15p. Consultado 9 julio 2019. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/encuestas-horticolas-2015-2016-zonas-sur-litoral-norte-344>.
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca- Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias). Censo General Agropecuario. 2011. Dirección de Censos y Encuestas. Montevideo. MGAP-DIEA. 142 p.
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca- Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias) Censo General Agropecuario. 2000. Dirección de Censos y Encuestas. Montevideo. Uruguay. MGAP-DIEA.

- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias). 2020. Anuario 2020. Montevideo, Uruguay. MGAP-DIEA. 268 p.
- Nabi G, Rab A, Sajid M, Farhatullah, Abbas SJ, Ali I. 2013. Influence of curing methods and storage conditions on the post-harvest quality of onion bulbs. *Pakistan Journal of Botany* 45. 455-460
- Observatorio Granjero, CAMM, DIGEGRA MGAP .2019 .Anuario estadístico 2019. Uruguay.75p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en:
http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=bbe0999d-7fd5-474b-9bcb-29201e3a5873&groupId=42766.
- Observatorio Granjero. 2018. Informe sobre cebolla, setiembre 2018.Uruguay.6 p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en: http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=e82829ee-b16e-4785-94b9-645ae9138e42&groupId=10157.
- Observatorio Granjero. 2014. Informe sobre cebolla, Julio 2014.Uruguay.3p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en:
http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=e82829ee-b16e-4785-94b9-645ae9138e42&groupId=10157 .
- Observatorio Granjero. 2013. Informe sobre cebolla, Mayo 2013.Uruguay.26p. Consultado 9 febrero 2020. Disponible en:
http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=e88b7e48-d6f7-412a-96c8-a579fd082961&groupId=111098.
- Patil RS, Kale PN .1985. Correlation studies on bulb characteristics and storage losses in onion. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities* 10:38-39.
- Peluffo S, Curbelo N, Costa N, González H, Galván G. 2010. Ensayos de evaluación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur. INIA . Uruguay. Actividades de difusión 640.1-7.
- Petropoulos SA, Ntatsi G, Ferreira ICFR. 2017. Long-Term storage of onion and the factors that affect its quality: A critical review. *Food Reviews International*, Vol 33(1): 62-83.

- Rattin J E, Assuero S G, Sasso G O, Tognetti J A. 2011. Accelerated storage losses in onion subjected to water deficit during bulb filling. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.026>.
- Ruiz Ramos ET. 2016. Estudio del efecto del tratamiento poscosecha por irradiación gamma sobre la vida útil de la cebolla perla ecuatoriana de exportación (*Allium cepa* L.) Quito: EPN. 101 p.
- Sánchez A, Barrera V, Reybet G, Sosa M. 2015. Biocontrol con *Trichoderma* spp. de *Fusarium oxysporum* causal del “mal de almácigos” en pre y post emergencia en cebolla. *Revista Facultad Agronomía*. Vol 114 (1): 61-70
- Schoroeder BK, du Toit LJ, Schwartz HF. 2009. First Report of *Enterobacter cloacae* causing Onion Bulb Rot in the Columbia Basin of Washington State. *State. Plant Disease* 93(3) 323-323.
- Schwartz HF, Mohan KS. 2008. *Compendium of Onion and Garlic Diseases and Pests*. 2nd edn. St Paul, MN, USA: American Phytopathological Society. 127p.
- Snowdon AI. 2010. *Post-harvest diseases and disorders of fruit and vegetables: vol 2*. Boca Raton.FL.USA: CRC Press. 260 p.
- Thomas B. 1994. Internal and external controls on flowering. En: Jordan BR. (ed). *The molecular biology of flowering*. CAB. Wallingford. UK. 1-19.
- Wright P, Clark R, Hale C. 1993. A storage soft rot of New Zealand onions caused by *Pseudomonas gladioli* pv *alliicola*. *New Zealand of Crop and Horticultural Science* 21 (3) 225-227.
- Yabuuchi, E., Kosako, Y., Oyaizu, H., Yano, I., Hotta, H., Hashimoto, Y., Ezaki, T., Arakawa, M. 1992. Proposal of *Burkholderia* gen. nov. and transfer of seven species of the genus *Pseudomonas* homology group II to the new genus, with the type species *Burkholderia cepacia* Palleroni and Holmes 1981 comb. nov. *Microbiol. Immunol.* 36:1251-1275.

7. ANEXOS

Coeficiente de correlación lineal de Pearson entre variables de estado de madurez y sanitario de los bulbos, densidad, rendimiento, causas de descartes y conservación poscosecha a los 150 días desde la cosecha.

VARIABLE	NHJS	% HOJA VERDE	IB	PTOT	PHJ	PBULB	% CUB	NCAT	S.S.	% CONS 150 ddc	REND	DENS	% BACT 50 ddc	% BROTAD 150 ddc	% BACT 150 ddc
NHJS	1	0,91	0,56	0,24	0,95	0,05	0,74	0,58	0,55	0,15	0,2	0,34	0,81	0,2	0,01
% HOJA VERDE	-0,02	1	0,01	0	0	0,07	0	0,01	0,89	0,06	0,02	0,16	0,06	0	0,06
IB	0,1	0,45**	1	0,11	0	0,73	0	0,26	0,32	0,08	0,98	0,7	0,58	0,52	0,58
PTOT	0,21	0,54** *	-0,28	1	0	0	0,02	0,29	0,62	0,26	0	0,03	0,15	0,01	0,92
PHJ	0,01	0,77** *	-0,62***	0,68** *	1	0,07	0	0,11	0,99	0,44	0,04	0,14	0,18	0,06	0,24
PBULB	0,34*	0,31	0,06	0,85** *	0,32	1	0,86	0,53	0,3	0,29	0	0,1	0,18	0,04	0,56
% CUB	0,06	- 0,69** *	0,55***	-0,41*	- 0,81** *	-0,03	1	0,03	0,94	0,32	0,42	0,48	0,19	0,05	0,3
NCAT	-0,1	- 0,46**	-0,2	-0,19	-0,28	-0,11	0,37*	1	0,72	0	0,09	0,39	0	0	0,03
S.S.	-0,11	-0,03	-0,18	-0,09	0	-0,18	0,01	0,06	1	0,82	0,93	0,3	0,97	0,87	0,87
% CONS 150 ddc	-0,25	0,33	0,3	0,2	0,14	0,19	-0,17	- 0,57** *	- 0,04	1	0,25	0,77	0,01	0	0
REND	0,23	0,4*	0	0,69** *	0,35*	0,63** *	-0,14	-0,29	0,02	0,2	1	0	0,02	0,08	0,77
DENS	0,17	0,25	-0,07	0,36*	0,26	0,29	-0,12	-0,15	0,18	0,05	0,81** *	1	0,05	0,8	0,98
% BACT 50 ddc	0,04	-0,33	-0,1	-0,25	-0,23	-0,24	0,23	0,53** *	- 0,01	-0,46**	-0,41*	-0,34*	1	0,03	0,75
% BROTAD 150 ddc	0,22	- 0,5***	-0,11	- 0,41**	-0,33	-0,36*	0,33*	0,56** *	- 0,03	-0,66***	-0,3	-0,04	0,38*	1	0
% BACT 150 ddc	0,42* *	-0,33	-0,1	-0,02	-0,2	0,1	0,18	0,38**	0,03	-0,62***	-0,05	0,01	0,06	0,66***	1

Detalle de las abreviaturas utilizadas:

Variable	Descripción
NHJS	Número de hojas por planta evaluadas al momento de la cosecha
% HOJA VERDE	Porcentaje de hoja verde, evaluado al momento de la cosecha
IB	Índice de bulbificación, como el cociente entre el diámetro mayor del bulbo y el diámetro del cuello.
PTOT	Peso fresco total de la planta (g) al momento de la cosecha
PHJ	Peso fresco de las hojas (g) al momento de la cosecha
PBULB	Peso del bulbo (g) al momento de la cosecha
% CUB	Porcentaje del bulbo cubierto con catáfilas protectoras al momento de la cosecha
NCAT	Número de catáfilas protectoras formadas al momento de la cosecha
S.S.	Sólidos solubles (° Brix)
% CONS 150 ddc	Porcentaje de conservación poscosecha (bulbos con calidad comercial) en peso, aproximadamente a los 150 días desde la cosecha
REND	Rendimiento estimado del cultivo (kg/ha)
DENS	Densidad del cultivo (plantas/ha)
% BACT 50 ddc	Porcentaje de bacteriosis (incidencia) al final del curado o inicio de la conservación poscosecha, aproximadamente a los 50 días desde la cosecha.
% BROTAD 150 ddc	Porcentaje de brotación en almacenamiento (en peso), aproximadamente a los 150 días desde la cosecha.
% BACT 150 ddc	Porcentaje de bacteriosis en almacenamiento (en peso), aproximadamente a los 150 días desde la cosecha.