

SIMIENTE

VOLUMEN 86 (1-2) ENERO-JUNIO 2016



SOCIEDAD AGRONÓMICA DE CHILE

SIMIENTE

Fundada el 1 de Octubre de 1942

Órgano Oficial de Difusión de la Sociedad Agronómica de Chile

SIMIENTE se publica trimestralmente por la Sociedad Agronómica de Chile (SACH).

Los trabajos a presentar deben enviarse a:

Editor:

Mac Iver 120, Oficina 36, Santiago-Chile

Casilla 4109, Santiago-Chile

Fono: (56-2) 2638 48 81

Correo electrónico: sociedad.agronomica.chile@gmail.com

La preparación de los artículos debe ceñirse a las "Normas de publicación" que aparecen en las páginas II y III.

Referencia bibliográfica SIMIENTE

Se autoriza la reproducción total o parcial de los trabajos publicados en SIMIENTE, siempre que se cite debidamente la fuente y los autores correspondientes.

La SACH no se responsabiliza por las declaraciones y opiniones publicadas en SIMIENTE; ellas representan los puntos de vista de los autores de los artículos y no necesariamente los de la Sociedad Agronómica de Chile. La mención de productos o marcas comerciales no implica su recomendación por la SACH.

Sociedad Agronómica de Chile

Fundada el 28 de agosto de 1910

Mac Iver 124), Oficina 36, Santiago-Chile

Casilla 4109, Santiago-Chile

Fono: (56-2) 2638 48 81

Correo electrónico: sociedad.agronomica.chile@gmail.com

Diseño y Diagramación:

Denisse Espinoza Aravena.

Consejo Directivo 2016

Presidente: Horst Berger S., Ing. Agrónomo

Vicepresidenta: Paz Schachtebeck M., Ing. Agrónomo

Tesorero: Ximena López. Ing. Agrónomo

Secretaria: Christel Oberpaur, Ing. Agr. M.Sc.

Consejeros:

Edmundo Acevedo H., Ing. Agr., Ph.D., M.S.

Jaime Montealegre a. Ing. Agr.

María Luisa Tapia F., Ing. Agr. M. Sc.

Patricio Almarza, Ing. Agr.

Peter Seemann, Ing. Agr., Dr.

Patricia Rojas, Ing. Agr.

Rina Acuña R., Ing. Agr.

Pedro Calandra B., Bibliotecario.

ISSN: 0037-5403

SIMIENTE

Representante Legal

Horst Berger S.

Ingeniero Agrónomo

Presidente SACH

Editora

María Luisa Tapia F.

Ingeniero Agrónomo, M. Sc.

Editores asociados

Postcosecha y Agroindustria

Ljubica Galletti G., Ing. Agr.

Horst Berger S., Ing. Agr.

María Luisa Tapia F., Ing. Agr. M Sc.

Ana Cecilia Silveira, Ing. Agr. Dr.

Victor Hugo Escalona, Ing. Agr. Dr.

Cultivos y Hortalizas

Ximena López, Ing. Agr.

Christel Oberpaur, Ing. Agr. M.Sc.

María Luisa Tapia F., Ing. Agr. M Sc.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

SIMIENTE es el órgano oficial de difusión científica de la Sociedad Agronómica de Chile en el que se da a conocer los resultados de investigaciones científicas en el ámbito agropecuario, con el objeto de proporcionar información sobre el desarrollo científico-tecnológico del sector.

Los artículos para publicar en **SIMIENTE** deben ser originales, es decir no pueden haber sido publicados previa o simultáneamente en otra revista científica o técnica.

Los trabajos propuestos para publicación deben enviarse en forma electrónica vía correo electrónico o en CD y con cuatro copias, escritas a espacio y medio, letra Arial 12, en papel tamaño carta al Editor de la revista **SIMIENTE**, Mac-Iver 120, oficina 36. Santiago. Chile.

Una vez aceptado el trabajo, el (los) autor (es) deberán incorporar las sugerencias de los revisores y remitir CD o correo electrónico, escrito con los procesadores de texto Word, a 1½; espacio, sin sangría. Las tablas y gráficos deben enviarse en archivos separados, señalándose en el texto su ubicación. Las fotos en blanco y negro, deben enviarse por separado, adecuadamente identificadas, en papel brillante y en aplicación de 12 x 18 cm.

Se recibirán trabajos para publicar en las siguientes secciones:

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, los cuales deben incluir los siguientes capítulos:

- I. **Resumen**, que debe contener una condensación de los objetivos, métodos, resultados y conclusiones principales.
- II. **Abstract**, traducción del Resumen al idioma inglés.
- III. **Palabras clave**, cinco como máximo, no usadas en el Título, que sirven como índices identificatorios. Puede incluirse nombres comunes y científicos de especies, sustancias, tecnologías, etc.
- IV. **Introducción**, revisión bibliográfica concisa, donde se indicará el objetivo e hipótesis de la investigación y su relación con otros trabajos relevantes (propios o de otros autores)
- V. **Materiales y Métodos**, descripción concisa de los materiales y Métodos usados en la investigación; si las técnicas o procedimientos han sido publicados anteriormente, mencionar sólo sus fuentes bibliográficas e incluir detalles que representan modificaciones sustanciales del procedimiento original.
- VI. **Resultados**. Se presentarán, en lo posible, en Tablas y/o Figuras, que deberán ser reemplazadas, cuando corresponda, por análisis estadístico, evitando la repetición y seleccionando la forma que en cada caso resulte adecuada para la mejor interpretación de los resultados.
- VII. **Discusión**. Debe ser breve y restringirse a los aspectos significativos del trabajo. En caso que, a juicio de los autores, la naturaleza del trabajo lo permita, los Resultados y la Discusión pueden presentarse en conjunto, bajo el título general de Resultados y Discusión.
- VIII. **Literatura citada**. Listado alfabético de las referencias bibliográficas utilizadas, (ver ejemplos en Normas de Estilo).

NOTAS TÉCNICAS. La estructura no está sujeta a lo establecido para los trabajos de investigación, por tratarse de notas cortas sobre avances de investigaciones, determinación de especies, descripción de métodos de investigación, etc. Sin embargo, debe incluir un Resumen, un Abstract y la Literatura Citada.

REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS. Trabajos de investigación Bibliográfica en la especialidad del autor y estructura libre. Debe incluir Resumen y Literatura Citada.

PUNTOS DE VISTA. Comprende artículos cortos de material de actualidad, revisiones de libros de reciente publicación, asistencia a Congresos, reuniones científicas e índices de Revistas. Deben incluir Literatura Citada.

Además, **SIMIENTE** publicará los trabajos que se presenten en los Simposios o como trabajos libres de los Congresos de la SACH, u otras agrupaciones asociadas a la misma. Los Simposios y los trabajos de estructura libre, deben contener Resumen, Abstract y Literatura Citada, y los Resúmenes deben contener una condensación informativa de los métodos, resultados y conclusiones principales, señalando cuando corresponda, la fuente de financiamiento.

NORMAS DE ESTILO

Título (español e inglés). Descripción concisa y única del contenido del artículo. El Título contendrá el superíndice (1) de llamada de pie de página para indicar agradecimiento y/o fuente de financiamiento.

Autor (es). Se indicará nombre y apellido paterno completos e inicial del apellido materno. Con pie de página se debe indicar la o las instituciones a las cuales pertenecen, incluyendo las direcciones postal y electrónica completas.

Encabezamientos de las secciones. Los encabezamientos de primera, segundo, tercer o cuarto orden deben ser fácilmente distinguibles y no numerados.

Tablas. Deben escribirse a un espacio. El título de cada Cuadro y Figura, en español e inglés, debe indicar su contenido de tal forma, que no se requiera explicaciones adicionales en el texto. Los encabezamientos de filas y columnas, como el pie de página, deben ser auto explicativos. Use superíndices numéricos para identificar los pies de página de las tablas. Use letras minúsculas para indicar diferencias significativas o separaciones de medias. Indique asimismo el nivel de probabilidad.

Figuras. Indique correlativamente todas las figuras (gráficos, figuras y fotografías). Las leyendas deben ser claras y concisas. El título de cada figura, en español e inglés, debe indicar su contenido de tal forma, que no se requiera explicaciones adicionales en el texto. Por razones de espacio, el Comité Editor se reserva el derecho de incluir o no las fotografías. Los dibujos gráficos deben ser originales, hechos sobre papel blanco. Además de las figuras en papel se solicita enviar figuras en versión electrónica, formato TIFF o JPG de las siguientes resoluciones: figuras en blanco y negro mínimo 600 dpi, las líneas no deben ser más finas que 0.25 pts, los rellenos deben tener una densidad de por lo menos 10 % y las fotografías electrónicas deben tener resoluciones mínimas de 300 dpi. Resoluciones menores afectan la calidad de la impresión. Las fotografías no electrónicas deben ser claras, brillantes y montadas sobre una cartulina.

Figuras o fotografías en colores se podrán publicar con cargo al autor. En blanco y negro se publicarán sin costo.

Evite duplicidad de información en el texto, tablas y figuras.

Nombres científicos y palabras latinas. Deben escribirse utilizando el estilo cursivo de la fuente empleada.

Nombres comerciales y marcas. Estos nombres, de corta permanencia, deben ser evitados en el texto o referidos entre paréntesis o como llamada de pie de página. Use siempre el nombre técnico del ingrediente activo, fórmula química, pureza y / solvente. Los nombres registrados deben ser seguidos por R la primera vez que se cita en el Resumen y texto.

Abreviaturas y Sistema Métrico. Se debe usar el Sistema Internacional de Medidas y sus abreviaturas aceptadas. En caso de utilizarse siglas poco comunes, deberán indicarse completas la primera vez que se citan, seguidas de la sigla entre paréntesis. Todas las abreviaturas y siglas se usan sin punto.

Apéndices. Material informativo suplementario debe ser agregado como Apéndice y colocado antes de la Literatura Citada.

Literatura Citada.

Las referencias a libros, artículos, informes técnicos o trabajos de congresos o talleres deben ser listados en orden alfabético, al final del trabajo. Artículos no publicados, opiniones expertas no se incluyen en listado alfabético pero se pueden mencionar en el texto como comunicaciones personales indicando el nombre de autor. Es responsabilidad del autor obtener los permisos necesarios para citar trabajos no publicados

Ejemplos de citas:

Referencias. En el texto, las referencias deberán citarse entre paréntesis (Triviño y Riveros, 1985) o Astorga (1977), según sea el caso. Si son más de dos autores, citar el primer autor y et al., seguido del año, por ejemplo (Carrillo et al., 1994) Las referencias no publicadas o comunicaciones personales deben insertarse en el texto, indicando dicha condición en llamada de pie de página.

Las referencias deben colocarse en orden alfabético en la sección Literatura Citada, de acuerdo a los siguientes ejemplos:

Artículo en Revista: WITHERS, L.A. 1993. *In vitro* storage and plant genetic conservation (Germplasm). Span. Píto-; 26(2): 72-74.

Libro: ALLARD, R.W. 1975. Principios de la mejora genética de plantas. 2ª Ed. Omega. Barcelona, España. 325 p.

Capítulo de Libro: WARSON, LA. 1970. The utilization of wild species in the breeding of cultivated crops resistant to plant pathogens. Págs., 441-457. In Frankel, O.H (ed.). Genetic resource in plants. Blackwell Scientific Publ. California. 360 p.

Tesis: Martínez M.F. 1978. Adaptación, rendimiento y estudio de caracteres en dos géneros de maíz, Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Fac.de Cs. Agrarias y Forestales. 100 p.

Boletines: LÓPEZ, G. 1976. El garbanzo, un cultivo importante en México. Folleto de Divulgación INIA 56.

Abstract: SALINAS, J. 1995. Biología de *Heliothis zea*. Simiente 66(4): 3 (Abstr.).

Pruebas

Al autor principal se le enviarán las pruebas de imprenta por correo electrónico. Se espera respuesta con o sin correcciones dentro de las siguientes 96 horas. Sólo se podrán hacer correcciones menores y enviarlas en un correo electrónico adjunto. No modificar archivo enviado. Si fuera necesario correcciones más extensas enviarlas claramente identificadas en el archivo.

TABLA DE CONTENIDOS

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

Descomposición de Residuos de Trigo y su Capacidad Alelopática	1
<i>Paola Silva C. y Edmundo Acevedo H.</i>	
Uso de Antimicrobianos Naturales como una Alternativa para Mantener la Inocuidad de Vegetales Mínimamente Procesados	17
<i>Héctor Gómez-Gómez; Carlos Inestroza-Lizardo y Sindy Hernández-Vindel</i>	
Tratamientos Químicos para la Sanitización de Hortalizas IV Gama	31
<i>Víctor Hugo Escalona; Alejandra Machuca y Carlos Inestroza</i>	

DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE TRIGO Y SU CAPACIDAD ALELOPÁTICA

Wheat residues decomposition and allelopathic capacity

Silva, P. y Acevedo, E.

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.
Casilla 1004. Santiago. Chile. E-mail: psilva@uchile.cl

RESUMEN

El residuo de trigo tiene efecto alelopático sobre lupino, el cual puede ser modificado por las condiciones ambientales que modifican la descomposición de los residuos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad alelopática del residuo de trigo sometido a diferente grado de descomposición. Para ello se dejó 0, 5 y 10 Mg ha⁻¹ de rastrojo sobre la superficie de un suelo que había tenido un cultivo de trigo la temporada anterior. Estos niveles de rastrojo se sometieron a diferente grado de descomposición aplicando tres niveles de riego mediante una línea de aspersión. La capacidad alelopática del rastrojo se evaluó mediante el establecimiento de lupino sembrado 120 días después de iniciado el ensayo y en laboratorio a través de la germinación y crecimiento inicial de semillas de lupino embebidas con extractos de rastrojo de diferente grado de descomposición. La descomposición de rastrojo, medida como cantidad de rastrojo, respondió a los eventos de precipitación, pero no a la cantidad de precipitación. Mientras que el establecimiento de lupino respondió a la cantidad de agua aplicada independiente de la cantidad de rastrojo. El residuo de las raíces de trigo, redujo en forma importante el establecimiento de lupino, problema que disminuyó con la precipitación. La cantidad de rastrojo tuvo un efecto secundario y sólo cantidades altas (10 Mg ha⁻¹) redujeron el establecimiento de lupino en forma estadísticamente significativa. Los extractos acuosos de rastrojo de trigo afectaron la germinación

de lupino, sin embargo no hubo diferencia entre los extractos atribuible al grado de descomposición del rastrojo.

Palabras claves: rastrojo, *Lupinus angustifolius*, temperatura, precipitación.

SUMMARY

The wheat residue has allelopathic effect on lupine, which can be modified by environmental conditions that modify the residue decomposition. The aim of this study was to evaluate the ability of allelopathic wheat residue subjected to varying degrees of decomposition. For this 0, 5 and 10 Mg ha⁻¹ of stubble were left on the surface of a soil that had a wheat crop the previous season. These levels of stubble underwent varying degrees of decomposition using three levels of irrigation by a line source. Stubble allelopathic ability was evaluated in the field by the establishment of lupine seeds 120 days after initiation of the trial, as well as in the laboratory through germination and early growth of lupine seeds in wheat straw extracts having various levels of straw decomposition. The stubble decomposition, measured as the amount of stover left in the soil, responded to rainfall events, but not the amount of rainfall. While the lupine establishment responded to applied water, independent of the amount of stover. The residue of the roots of wheat, significantly reduced the establishment of lupine, problem that decreased with decreasing precipitation. The amount of stover had a

secondary effect and only high amounts (10 Mg ha⁻¹) significantly reduced lupine establishment statistically significant. The aqueous extracts of wheat stubble affected the germination of lupine, however there was no difference between extracts attributable to the degree of decomposition of stubble.

Keywords: stubble, *Lupinus angustifolius*, temperature, precipitation.

INTRODUCCIÓN

La rotación trigo-lupino se realiza en Chile en la zona con clima mediterráneo, entre los paralelos 38 y 40° Sur (Silva *et al.*, 2005). En esta zona se ha descrito un efecto inhibitorio de los residuos de trigo sobre el establecimiento y rendimiento de lupino sembrado en otoño en cero labranza con rastrojos sobre el suelo (Vidal y Troncoso, 2003). Este fenómeno se conoce como alelopatía, es decir, como el proceso por el cual una planta desprende al medio ambiente uno o varios compuestos químicos que inhiben el crecimiento de otra planta que vive en el mismo hábitat (Molisch, 1937).

La información sobre el efecto alelopático del rastrojo de trigo sobre lupino es escasa y aparentemente inexistente, probablemente debido a que en los países donde se realiza esta rotación, Australia y Rusia, el rendimiento de trigo es bajo dejando rastrojo en el campo del orden de 2 a 3 Mg ha⁻¹, que no alcanzaría a tener efectos alelopáticos. La cantidad de rastrojo y las condiciones de humedad y temperatura pueden explicar diferencias en la fitotoxicidad del rastrojo (An *et al.*, 2002). En Chile, el promedio nacional de rendimiento medio de trigo es de 6,7 Mg ha⁻¹ (ODEPA, 2016) lo que deja alrededor de 10 Mg ha⁻¹ de rastrojos. Se ha informado que el nivel de compuestos alelopáticos está estrechamente relacionado con la cantidad de biomasa (Sène *et al.*, 2000), por lo que es posible que esta sea una de las razones por la que el

problema se agudiza en el caso chileno. Por otra parte, el clima Mediterráneo con veranos secos y lluvias concentradas en invierno, hace que el rastrojo comience a descomponerse una vez que se inicia la lluvia en otoño, con menor temperatura, lo que provoca una liberación y degradación lenta de los aleloquímicos, persistiendo por un mayor tiempo en el suelo (An *et al.*, 2002), período que coincide con la siembra de cultivos de invierno como lupino.

La hipótesis de este trabajo es que la fitotoxicidad de residuos es menor en medio ambientes con lluvia de verano que en medio ambientes con lluvia de invierno y verano seco, que dominan en clima Mediterráneo. Para poner a prueba esta hipótesis el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad alelopática del residuo de trigo sometido a diferente grado de descomposición como resultado de lluvias durante distinta época del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento de campo el año 2005 con residuo de trigo candeal (*Triticum turgidum* ssp. *durum* L.) var. Llaretta en la Estación Experimental Antumapu de la Universidad de Chile (33°40'S y 70°38' O, 604 m.s.n.m.). El suelo es franco arcillo arenoso de origen aluvial (Coarse loamy over sandy, skeletal, mixed, thermic Entic Haploxerolls; Serie Santiago (CIREN, 1996)). Las propiedades del suelo se muestran en el Cuadro 1. El clima del área es Mediterráneo, con veranos secos y cálidos (temperatura máxima promedio de 28,7 °C) e inviernos fríos (temperatura mínima promedio de 3,4 °C). La lluvia se concentra en invierno con un promedio anual de 330 mm y un periodo de ocho meses secos (Santibáñez y Uribe, 1990).

Experimento

Se sembró trigo en junio de 2004 y fue cosechado en enero de 2005. El residuo se picó con chopper dejando trozos de entre 10 y 15 cm de largo,

luego se retiró del campo. El 30 de enero de 2005 se estableció un experimento que consistió en una línea de aspersión con parcelas perpendiculares a ella de 20 x 5 m. En cada parcela el tratamiento principal consistió en dosis de residuo de 0, 5 y 10 Mg ha⁻¹. La línea de aspersión comenzó a regar a partir del 1 de febrero, de modo que el residuo de las parcelas recibió un gradiente de precipitación de acuerdo a su distancia de la línea de aspersión (Hanks *et al.*, 1976). Se distinguieron 3 tratamientos hídricos a 2, 11 y 19 m de la línea de aspersión, que recibieron de mayor a menor carga de agua. El tratamiento a 2 m recibió 3 mm día⁻¹ (+R), a 11 m recibió 0,6 mm día⁻¹ (R) y a 19 m recibió 0 mm (Control). El criterio con que se dio el tratamiento hídrico de mayor altura de agua correspondió a la capacidad de almacenamiento de agua que posee el rastrojo (3 kg agua kg⁻¹ MS) señalado por Bristow *et al.*, (1986). Con este criterio se calculó, para 10 Mg ha⁻¹ de rastrojo de trigo, una capacidad de almacenaje de 3 mm de agua, monto de precipitación que fue aplicado diariamente.

La descomposición del rastrojo se midió incorporando bolsas de malla (2 mm de apertura) con una cantidad de rastrojo picado equivalente a la dosis de cada parcela (Wiegert y Evans, 1964; Douglas *et al.*, 1980). Se ubicaron 6 bolsas de malla de polietileno de 30 x 22 cm en cada punto establecido desde la línea de aspersión. Las bolsas se mezclaron con el rastrojo de la parcela y se extrajeron a los 30, 50 y 90 días después de iniciado el experimento. El material de cada bolsa fue secado en estufa a 70 °C por 48 horas y pesado.

La temperatura máxima, mínima y precipitación, se obtuvo de la estación meteorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación La Platina, ubicada a 700 m del ensayo.

Para fines de análisis, el diseño experimental se asimiló a bloques completos al azar con arreglo factorial 3 x 3 (cantidad de residuo x nivel hídrico) y 4 repeticiones.

Capacidad alelopática del rastrojo de trigo

En el experimento de campo la capacidad alelopática del rastrojo de trigo fue medida a través del establecimiento de lupino en las parcelas de rastrojo de trigo. Además se realizaron bioensayos haciendo germinar y crecer semillas de lupino en placas Petri tratadas con extractos de rastrojo de trigo con diferente grado descomposición.

Establecimiento de Lupino. Se sembró en cero labranza *L. angustifolius* var. Gungurru el 3 junio de 2005, 120 días después de iniciado el ensayo de descomposición de rastrojo. La siembra se realizó con una máquina Semeato SHM 11/13 (Brasil) a una profundidad de 3 cm con dosis de 180 Kg semilla ha⁻¹. La semilla se desinfectó con Hymexazol (700g 100 Kg⁻¹ semilla), Achephato (750g 100 Kg⁻¹ semilla), Carboxina (200g 100 Kg⁻¹ semilla) y Thiram (200g 100 Kg⁻¹ semilla). Se fertilizó a la siembra con 60 Kg N ha⁻¹ en forma de urea (el lupino no nodula en Antumapu por el alto pH del suelo, 8,0) y 60 Kg P₂O₅ ha⁻¹ en forma de superfosfato triple. Las malezas se controlaron con Metribuzina (720 g ha⁻¹) aplicado previo a la siembra. La capacidad alelopática de los rastrojos de trigo se evaluó 50 días después de la siembra a través de un conteo de establecimiento de plantas de lupino.

Bioensayo. Se colectó rastrojo de trigo de los dos tratamientos hídricos más contrastantes (+R y Control) a los 0, 10, 20, 30, 50 y 90 días después de iniciado el experimento en campo. El rastrojo fue cortado en trozos de 3 cm de largo y se preparó una suspensión de 35 g de rastrojo en 1 L⁻¹ de agua destilada y esterilizada. El rastrojo se agitó por 2 horas a temperatura ambiente (18 a 20 °C) y luego el lixiviado fue decantado y centrifugado para remover material particulado y pasado a través de filtro (Miliporo 0,45 µm)

para remover microorganismos. Finalmente se almacenó a 4 °C hasta su uso (Bruce *et al.*, 2005).

Se esterilizaron semillas de lupino sumergiéndolas por 3 minutos en etanol 95%, enjuagándolas con agua destilada y esterilizada, sumergiéndolas por 5 minutos en agua oxigenada al 10% y enjuagándolas 3 veces en agua destilada y esterilizada. Se puso a germinar 25 semillas de *L. angustifolius* var. Gungurru en placas Petri sobre papel filtro Whatman N°1 usando una cámara de flujo laminar para evitar posibles contaminaciones. Las semillas se embebieron con los extractos de rastrojo de trigo. El control se realizó en papel filtro embebido en agua destilada y esterilizada. Las placas se dejaron 7 días en una cámara de crecimiento en oscuridad a 20 °C. Las semillas se consideraron germinadas cuando la radícula alcanzó 2 mm de largo. Las semillas germinadas se contaron cada 24 horas y se calculó la capacidad germinativa (CG): porcentaje de germinación obtenido al final del ensayo (10 días). Se calculó el valor máximo de germinación (VM) como el valor máximo del cociente entre el porcentaje de germinación acumulado y el número de días desde el inicio del ensayo. Después de 10 días de iniciado el experimento, se cortó la radícula y el hipocotilo y se midió el largo de radícula (LR), largo de hipocotilo (LH) y se determinó la relación LR/LH.

El diseño experimental del bioensayo fue de bloques en arreglo factorial con 4 repeticiones. La unidad experimental para el bioensayo fue una placa Petri.

Análisis estadístico

La descomposición de rastrojo se midió como la media de peso seco de rastrojo sobre el suelo. En campo el efecto alelopático de rastrojo con diferente grado de descomposición se midió como la media de establecimiento de lupino. En los bioensayos el efecto alelopático del rastrojo de trigo se midió como la media de VM, CG, LR, LH y LR/LH. Se realizó un ANDEVA para las

variables peso seco de rastrojo y establecimiento de lupino. Cuando se detectó diferencias estadísticamente significativas entre las medias se usó la DMS como test de comparación múltiple. Los datos del bioensayo no tuvieron varianzas homogéneas ni se distribuyeron normalmente por lo que fueron analizados con un análisis de varianza no paramétrico (Kruskal y Wallis, 1952). Los análisis se realizaron con el programa InfoGen versión 2011 (Balzarini y Di Rienzo, 2011).

RESULTADOS

Condiciones ambientales

Los residuos cercanos a la línea de aspersión recibieron 219 mm de agua por riego desde el inicio del ensayo hasta la siembra de lupino, más 102 mm de agua de lluvia totalizando 321 mm, mientras que el segundo recibió 49 mm de agua de riego más 102 mm de lluvia totalizando 151 mm. Los residuos más alejados recibieron 102 mm de agua de lluvia. La primera precipitación ocurrió a los 39 días de iniciado el ensayo y su monto fue de 17 mm (Figura 1).

Los tratamientos que fueron regados acumularon 1928 días-grado ($T_b = 0$ °C) desde el inicio del ensayo hasta la siembra de lupino. El tratamiento sin riego acumuló 1182 días-grado desde la primera precipitación hasta la siembra de lupino. La temperatura media previa a la primera lluvia fue de 19,6 °C, y la media del periodo desde inicio del ensayo hasta la siembra de lupino fue de 15,7 °C. Mientras que la temperatura media entre la primera lluvia y la siembra de lupino fue de 13,4 °C.

Descomposición de rastrojo

En el Cuadro 2 se observa la cantidad de rastrojo de trigo después de someter 5 y 10 Mg ha⁻¹ de este a distintos niveles de riego durante 90 días. Cuando se regó, independiente de la cantidad de rastrojo y del agua aplicada hubo una disminución estadísticamente significativa

($P \leq 0,05$) del rastrojo dejado sobre el suelo en comparación con el rastrojo que no fue regado, situación que se repitió en cada una de las fechas de medición.

Si se comparan los porcentajes de pérdida de rastrojo se observa que independiente de la cantidad de rastrojo inicial los porcentajes de pérdida de rastrojo son iguales (Cuadro 3). Independiente de la cantidad inicial de rastrojo, a los 90 días de iniciado el experimento, el rastrojo que recibió riego (R y +R) tuvo una pérdida promedio de 27%, mientras que el no regado (Control) tuvo una pérdida de 14%. No se observó interacción ente la cantidad de rastrojo y la cantidad de riego, por lo que se promedió el porcentaje de pérdida de rastrojo de 5 y 10 Mg ha⁻¹. En la Figura 2 se observa que independiente de la cantidad de agua aplicada el porcentaje de pérdida de rastrojo es el mismo y el comportamiento de esta pérdida en los primeros 30 días responde a la siguiente ecuación $y = 0,50x$ ($R^2 = 0,99$), mientras que entre los 30 y 90 días a $y = 0,1875x + 9,875$ ($R^2 = 0,94$). En cambio la pérdida de rastrojo no regado respondió a la ecuación $y = 0,1591x$ ($R^2 = 0,98$).

Durante los primeros 30 días de observó una tasa de pérdida porcentual en el rastrojo regado 3 veces superior al no regado. Posteriormente las tasas de pérdida porcentual de rastrojo fueron similares 0,17 % día⁻¹, independiente de la situación de riego.

Capacidad alelopática: Establecimiento de lupino

No hubo interacción entre la cantidad de rastrojo y el nivel de riego para el establecimiento de lupino, lo cual se aprecia gráficamente en la Figura 3. El nivel de riego fue el factor que explicó un mayor porcentaje de la variación en el establecimiento de lupino (92,9% de la suma de cuadrados), mientras que la cantidad de rastrojo explicó 5,3% de la variación observada. El establecimiento fue mayor a medida que aumentó el agua aplicada tanto en las parcelas

que tenían rastrojo de trigo como en aquellas que no. La cantidad de rastrojo también tuvo efecto sobre el establecimiento de lupino observándose un menor establecimiento estadísticamente significativa ($P \leq 0,05$) en los 10 Mg ha⁻¹ de rastrojo de trigo, no se observaron diferencias entre las 0 y 5 Mg ha⁻¹.

Dado que no se encontró interacción entre nivel de riego y la cantidad de rastrojo, se presentan valores medios de pérdida porcentual de rastrojo de trigo y establecimiento de lupino para los distintos niveles de riego (Figura 4). A 49 mm de riego se observó un aumento en la pérdida porcentual de rastrojo y un aumento en el establecimiento de plantas de lupino. A los 210 mm de riego se observó una estabilización en la pérdida de materia seca del residuo y un nuevo aumento en el número de plantas de lupino. Esta mayor precipitación no aumentó la descomposición del rastrojo, pero permitió un aumento en el número de plantas establecidas.

Capacidad alelopática del rastrojo en descomposición: Bioensayo

El efecto de los extractos de rastrojo sometidos a distintos tratamientos de riego sobre la germinación y crecimiento inicial de *L. angustifolius* var. Gungurru se presenta en el Cuadro 4. En la condición inicial, sin descomposición, el extracto de rastrojo provocó disminución en la VM y CG de lupino. A los 90 días de descomposición las variables CG, LR, LH y LR/LH tuvieron valores similares al control, en cambio en VM el control siguió teniendo valores superiores a los *L. angustifolius* embebidos en extracto de rastrojo provenientes de los distintos tratamientos regados (R y R+). Durante el período de descomposición del rastrojo, los extractos provenientes de los distintos tratamientos regados (R y +R) y por lo tanto con distinto grado de descomposición, no tuvieron diferencias entre sí en ninguna de las variables evaluados.

DISCUSION

El riego provocó una mayor descomposición del rastrojo (27% de pérdida después de 90 días de iniciada la descomposición), lo que se debió probablemente a que se dieron condiciones de humedad cercanas al óptimo (máximo contenido de agua en el rastrojo) y aunque la temperatura no alcanzó a la óptima de 30 °C (Bristow *et al.*, 1986) esta fue relativamente alta, cercana a 20 °C, hasta la primera lluvia. La mayor descomposición de rastrojo en los tratamientos regados (R y +R) no fue proporcional a la cantidad de agua aplicada respondiendo aparentemente más a eventos de lluvia que a la cantidad de agua aplicada, en concordancia con observaciones previas de descomposición de residuos hecha por García de Cortázar *et al.* (2003).

El establecimiento de lupino aumentó al aumentar el agua aplicada, tanto en las parcelas que tenían rastrojo de trigo superficial como en aquellas que no lo tenían. Los tratamientos de riego fueron de 49 y 219 mm, ambos permitieron pasar de 27% de plantas de lupino establecidas sin riego (con respecto al mayor establecimiento de lupino logrado sin rastrojo y 210 mm de riego) a 63 y 89% de plantas establecidas, respectivamente. El agua se aplicó durante un periodo de alta temperatura, acumulando entre inicio del riego y la siembra de lupino 1928 días-grados, mientras que el tratamiento que no recibió riego acumuló entre la primera lluvia y la siembra de lupino, 1165 días-grados. La primera precipitación, que ocurrió a fines de marzo, no provocó reducción de la capacidad alelopática de los residuos. Una situación similar fue observada por Silva (2007), donde la capacidad alelopática del residuo no fue afectada cuando la temperatura acumulada entre la primera precipitación y el establecimiento de lupino fue de 746 días grado y fue reducida cuando la temperatura acumulada en dicho periodo fue de 2068 días-grado. La temperatura afecta la fitotoxicidad de los residuos debido a su efecto

en el crecimiento y actividad de los microorganismos, que aceleran la descomposición de los rastrojos, mientras que los aleloquímicos se liberan y degradan en forma acelerada, observándose una menor persistencia de estos al aumentar la temperatura (An *et al.*, 2002). Los resultados permiten mantener la hipótesis que la fitotoxicidad de residuos es menor en ambientes con lluvia de verano que en ambientes con lluvia de invierno y verano seco, que dominan en clima Mediterráneo.

El mayor establecimiento de lupino se obtuvo en las parcelas que no tenían rastrojo y que recibieron mayor riego (+R), aumentando de 25 a 80 plantas m⁻², esta respuesta observada en el suelo sin rastrojo puede deberse a que las raíces de trigo del cultivo anterior estuvieron sometidas a condiciones de humedad y temperatura más constantes que permiten una liberación y degradación permanente en el tiempo de los aleloquímicos, mientras que el rastrojo aplicado sobre el suelo está sujeto a las fluctuaciones de humedad y temperatura, que hacen este proceso más lento y menos persistente en el tiempo (An *et al.*, 2002).

La cantidad de 10 Mg ha⁻¹ de rastrojo provocó una disminución en el establecimiento de plantas de lupino con respecto a 0 y 5 Mg ha⁻¹ de rastrojo, evidenciando un efecto alelopático adicional del residuo de trigo dejado en superficie sobre el establecimiento de lupino. Está documentado que alta cantidad de rastrojo aumenta la fitotoxicidad de éste (Sène *et al.*, 2000; Purvis y Jones, 1990). Sin embargo, en este trabajo no se observó una disminución del establecimiento de lupino proporcional a la cantidad de rastrojo.

La descomposición de rastrojo, medida como cantidad de rastrojo, respondió a los eventos de precipitación, pero no a la cantidad, mientras que el establecimiento de lupino respondió a la cantidad de agua aplicada independiente de la cantidad de rastrojo que haya sobre el suelo. En

el tratamiento sin rastrojo, se evidencia un efecto importante del residuo de las raíces de trigo, sobre el establecimiento de lupino, situación que también fue observada por Silva (2007) en un ensayo del efecto alelopático de genotipos de trigo. El efecto del residuo de raíces sobre el establecimiento de lupino se redujo con la mayor precipitación. La cantidad de rastrojo tuvo un efecto secundario sobre el establecimiento y sólo en cantidades altas (10 Mg ha⁻¹).

En el bioensayo realizado, los extractos acuosos de rastrojo de trigo sin descomponer afectaron la germinación de lupino con respecto al testigo con semillas germinadas en agua destilada, esta diferencia se mantuvo en VM durante el tiempo, mientras que las diferencias observadas en CG desaparecieron con los extractos a los 15 días de iniciada la descomposición del rastrojo (Figura 5), similar a lo encontrado por Silva (2007), pero no hubo diferencia entre los extractos atribuible al riego aplicado al rastrojo en ninguna de las evaluaciones hechas durante los 90 días de descomposición de rastrojo (Figura 5 y 6). Esta situación no concordó con lo observado en campo, probablemente debido a las propiedades fisicoquímicas del suelo y la microflora que influye en la capacidad alelopática del suelo (Kobayashi, 2004; Xuan *et al.*, 2005; Hiradate *et al.*, 2010; Norouzi *et al.*, 2015). Los microorganismos del suelo influyen fuertemente en la bioactividad y disponibilidad de aleloquímicos en el suelo (Inderjit, 2005).

CONCLUSIONES

El establecimiento de lupino fue principalmente afectado por la cantidad de agua de riego aplicada más que por la cantidad de rastrojo. El bioensayo con extractos de rastrojo sometido a distintos niveles de riego no identificó la diferencia alelopática entre los residuos observadas en condiciones de campo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al proyecto DID 2002 I-02/5-2 que otorgó el financiamiento para esta investigación y al Sr. Marcelo Becerra por su ayuda en las determinaciones de extractos de lupino.

LITERATURA CITADA

- An, M., Johnson, I.R. y Lovett, J.V. 2002. Mathematical modeling of residue allelopathy: the effects of intrinsic and extrinsic factors. *Plant and Soil* 246:11-22.
- Balzarini, M. y Di Rienzo, J. 2011. InfoGen versión. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. URL: <http://www.info-gen.com.ar>
- Bristow, R.L., Campbell, G.S., Papendick, R.I. y Elliot, L.F. 1986. Simulation of heat and moisture transfe through a surface residue-soil system. *Agriculture and Forest Meteorology* 36:193-214.
- Bruce, S., Kirkegaard, J.A. Pratley, J.; y Howe, G. 2005. Impacts of retained wheat stubble on canola in southern NSW. *Australian Journal Agriculture Research* 45: 1-12.
- CIREN, 1996. Descripción de suelos, materiales y símbolos. Estudio de suelos de secano regiones Quinta y Metropolitana. Centro de Información de Recursos Naturales, Santiago, Chile.
- Douglas, C.L., Allmaras, R.R., Rasmunssen, P.E., Raming, R.E. y Roager, N.C. 1980. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. *Soil Science Society of America Journal* 44:833-837.

- García De Cortázar, V., Silva, P. y Acevedo, E. 2003. Evaluación de un modelo predictivo sobre el efecto de la temperatura y humedad en la descomposición del rastrojo de trigo. *Agricultura Técnica. (Chile)* 63(1):69-80.
- Hanks, R.J., Keller, J., Rasmussen, V.P. y Wilson G.D. 1976. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. *Soil Science Society of America Journal* 40:426-429.
- Hiradate, S.; Ohse, K.; Furubayashi. y Fujii, Y. 2010. Quantitative evaluation of allelopathic potentials in soils: Total activity approach. *Weed Science* 58:258-264.
- INDERJIT, 2005. Soil microorganisms: An important determinant of allelopathic activity. *Plant and Soil* 274:227-236.
- Kobayashi, K. 2004. Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed Biology and Management* 4:1-7.
- Kruskal, W.H. y Wallis, A.W. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47(260):583-621.
- Molisch, H. 1937. *Der Einfluss einer Pflanze auf die andere-Allelopathie*. Fischer, Jena, Germany.
- Norouzi, Y.; Mohammadi, G.R. y Nosratti, I. 2015. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species. *American-Eurasian Journal Agricultura & Environmental Science* 15(11):2252-2257.
- ODEPA, 2016. Cifras de la agricultura. Sitio de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Disponible el 11 de octubre 2016 en: <http://www.odepa.cl>.
- Purvis, C.E. y Jones, G.P.D. 1990. Differential response of wheat to retained crop stubbles. II. Other factors influencing allelopathic potential; intraspecific variation, soil type and stubble quantity. *Australian Journal Agricultural Research* 41:243-251.
- Santibañez, F. y Uribe, J. 1990. Atlas agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Sène, M., Doré, T. y Gallet, C. 2000. Relationships between biomass and phenolic production in grain sorghum grown under different conditions. *Agronomy Journal* 93:49-54.
- Silva, P. 2007. Cero labranza: Alelopatía del rastrojo de trigo sobre lupino. Tesis de Doctorado Tesis para optar al grado académico de Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias. Campus Sur, Universidad de Chile. 101 p.
- Silva, P., Acevedo, E. y Rouanet, J.L. 2005. Zonas agroecológicas de producción agrícola. 5-10. In: *Rotaciones de Cultivos y sus Beneficios para la Agricultura del Sur*. Rouanet, J.L. (Ed.). Fundación Chile. Santiago, Chile.
- Vidal, I. y Troncoso, H. 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. 57-82. In: *Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos*. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8.
- Wiegert, R.G. y Evans, F.C. 1964. Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field in southeastern Michigan. *Ecology* 45:49-63.

ANEXOS

Cuadro 1. Propiedades del suelo de la Estación Experimental Antumapu (0-15 cm de profundidad).
Table 1. Soil properties at the Antumapu Experiment Station (0-15 cm of depth).

Propiedades del suelo	
Disponibilidad ^a N (mg Kg ⁻¹)	7,9
Disponibilidad ^b P (mg Kg ⁻¹)	11,1
Disponibilidad ^c K (mg Kg ⁻¹)	162,5
pH H ₂ O (1:2,5)	7,7
Carbono orgánico (% base peso) ^d	1,06
Contenido de humedad (g g ⁻¹)	
Capacidad de Campo	0,20
Marchitez Permanente	0,08
Densidad Aparente (g cm ⁻³)	1,45
Distribución del tamaño de partícula (% por peso) ^e	
Arena (50-2000µm)	43,0
Limo (2-50 µm)	3,9
Arcilla (<2 µm)	53,1

^a Brenner y Keeney

^b Olsen: Extracción con NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ a pH 8,5

^c Ammonium acetate 1 N pH 7

^d Combustión en húmedo y calorimetría

^e Densitometry (Bouyoucos)

Cuadro 2. Cantidad de rastrojo (kg ha⁻¹) después de someter 5 y 10 Mg ha⁻¹ a distintos niveles de riego (Control, R y +R) durante 30, 50 y 90 días de descomposición.

Table 2. Quantity of crop residue left on top of the soil after various irrigation treatments (Control, +R and R) of 5 and 10 Mg ha⁻¹ residue after 30, 60 and 90 days of decomposition.

Tiempo de descomposición (días)	Cantidad de rastrojo (Mg ha ⁻¹)			Cantidad de rastrojo (Mg ha ⁻¹)		
	Control	R	+R	Control	R	+R
0	-----	5,000	-----	-----	10,000	-----
30	4,834 c	4,398 d	4,288 d	9,609 a	8,436 b	8,196 c
50	4,648 c	3,979 d	4,061 d	8,954 a	7,984 b	7,849 b
90	4,324 c	3,825 d	3,777 d	8,621 a	7,347 b	6,769 b

Letras distintas representan la diferencia mínima significativa (DMS) entre las medias en cada tiempo de descomposición con una probabilidad de error de $p \leq 0,05$.

Cuadro 3. Perdida porcentual de rastrojo después de someter 5 y 10 Mg ha⁻¹ a distintos niveles de riego (Control, R y +R) durante 30, 50 y 90 días de descomposición.

Table 3. Percentage residue loss left on top of the soil after various irrigation treatments (Control, +R and R) of 5 and 10 Mgha⁻¹ residue after 30, 60 and 90 days of decomposition.

Tiempo de descomposición (días)	Perdida de rastrojo (%)					
	5 Mg ha ⁻¹ inicial de rastrojo			10 Mg ha ⁻¹ inicial de rastrojo		
	Control	R	+R	Control	R	+R
30	3 b	14 a	12 a	4 b	16 a	18 a
50	7 b	19 a	20 a	10 b	22 a	20 a
90	14 b	24 a	25 a	14 b	27 a	32 a

Letras distintas representan la diferencia mínima significativa (DMS) entre las medias en cada tiempo de descomposición con una probabilidad de error de $p \leq 0,05$.

Cuadro 4. Germinación y crecimiento inicial de *L. angustifolius* var. Gungurru tratado en extracto de rastrojos con distinto grado de descomposición.

Table 4. Germination and initial growth of *L. angustifolius* var. Gungurru in residue extracts with various decomposition levels.

Tiempo de descomposición (días)	Tipo de extracto	VM (% día ⁻¹)	CG (%)	LR (cm)	LH (cm)	LR/LH
1	Control	47	97	4,5	4,5	1,00
10	Control	47	100	3,6	3,1	1,18
20	Control	46	98	4,4	3,3	1,32
30	Control	44	96	4,4	3,9	1,14
50	Control	46	96	4,5	3,0	1,54
90	Control	46	99	4,1	3,3	1,25
1	R	29	80	4,9	4,1	1,19
10	R	29	98	5,7	3,1	1,87
20	R	26	96	4,8	2,8	1,71
30	R	26	90	7,2	4,2	1,71
50	R	35	95	6,2	3,2	1,98
90	R	31	95	3,2	3,1	1,08
1	+R	29	80	4,9	4,1	1,19
10	+R	29	95	6,1	3,0	2,01
20	+R	24	95	6,5	3,0	2,16
30	+R	26	93	6,4	4,0	1,60
50	+R	31	93	7,3	3,3	2,23
90	+R	31	98	5,1	3,5	1,47
Media		35	94	5,2	3,5	1,54
DS		8,6	5,6	1,2	0,5	0,39

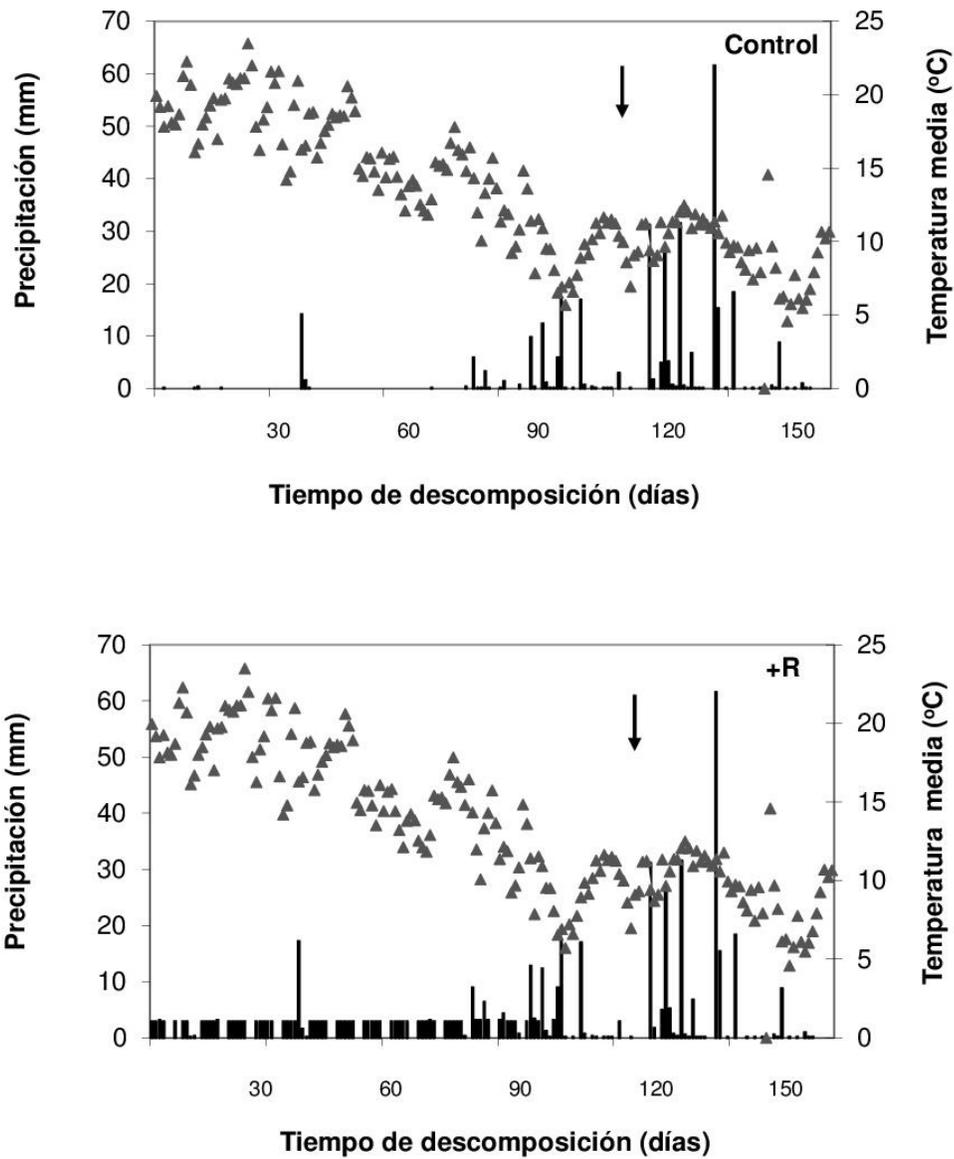


Figura 1. Precipitación y temperatura acumulada desde el inicio del ensayo hasta el establecimiento de lupino sobre rastrojo no regado (Control) y regado (+R). La flecha señala la fecha de siembra de lupino. Eventos de precipitación (|) y temperatura media (▲).

Figure 1. Mean temperature and rainfall from the beginning of the trial through the start of the lupin establishment over non irrigated (Control) and irrigated (+R) residue. The arrow indicates the lupin sowing date. Rainfall events are denoted by (|) and mean temperatura by (▲).

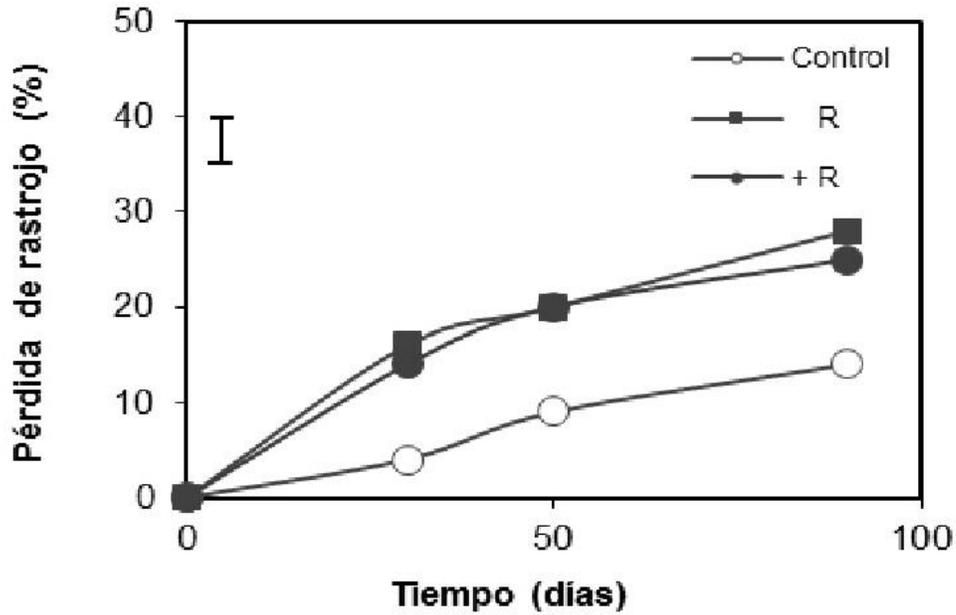


Figura 2. Pérdida porcentual de rastrojo regado (R y +R) y no regado (Control) en el tiempo. La barra indica una DMS = 4 ($P \leq 0,05$).

Figure 2. Percent loss of irrigated (R and +R) and non irrigated (Control) in time. The bar is the LSD = 4 ($P \leq 0.05$).

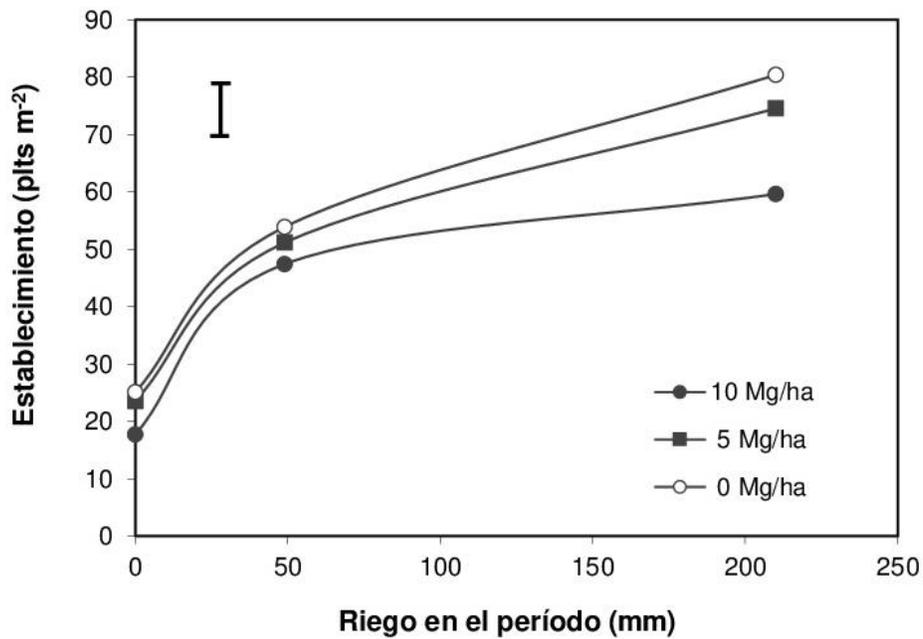


Figura 3. Establecimiento de plantas de lupino en condiciones de campo bajo distintos niveles de riego. La barra indica una DMS = 11 ($P \leq 0,05$).

Figure 3. Establishment of lupin plants in the field under various irrigation regimes. The bar indicates a LSD = 11 ($P \leq 0.05$).

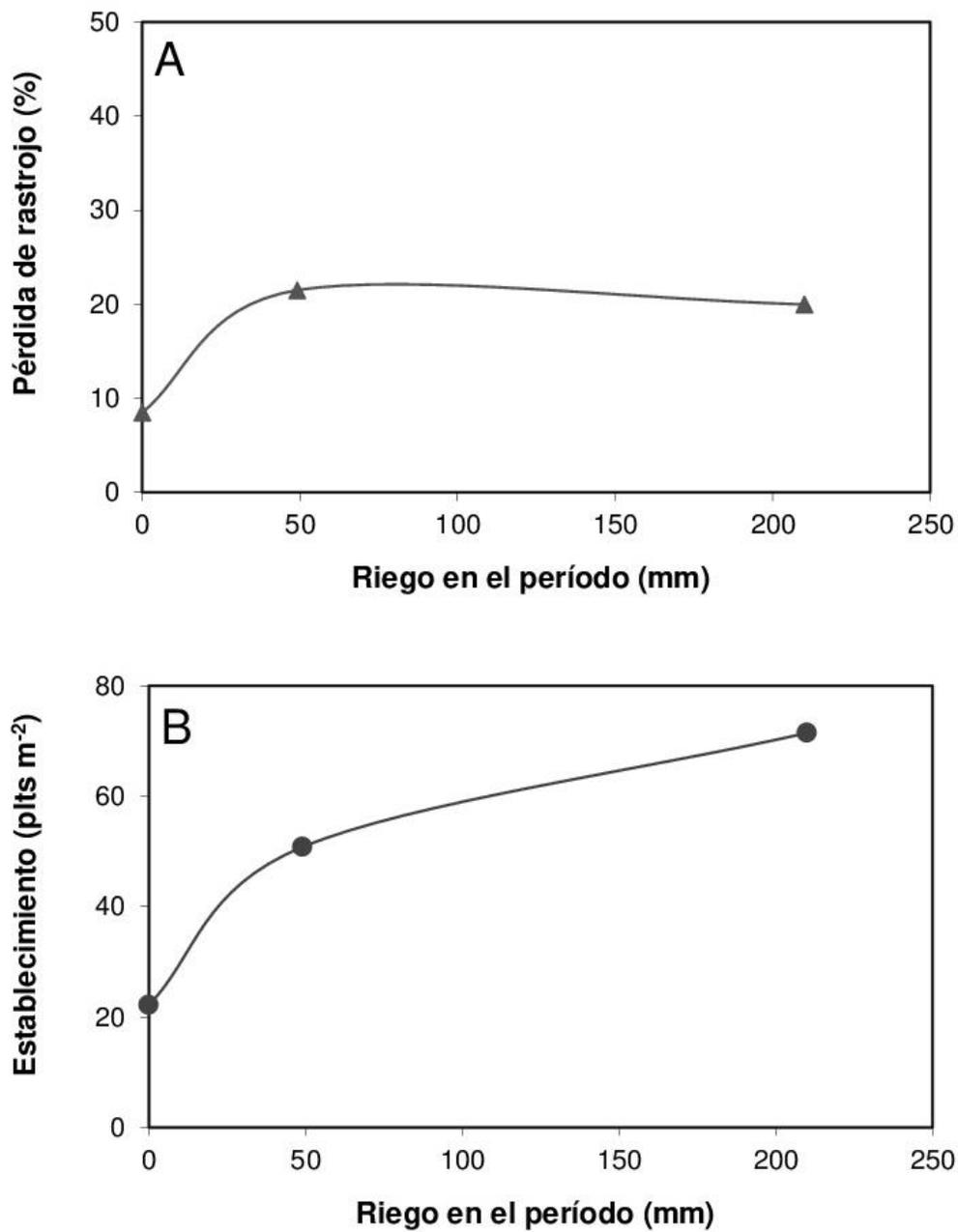


Figura 4. Pérdida de materia seca de rastrojo (A) y establecimiento de lupino (B) en distintos niveles de riego.
Figure 4. Residue dry matter loss (A) and lupin establishment (B) at various irrigation levels.

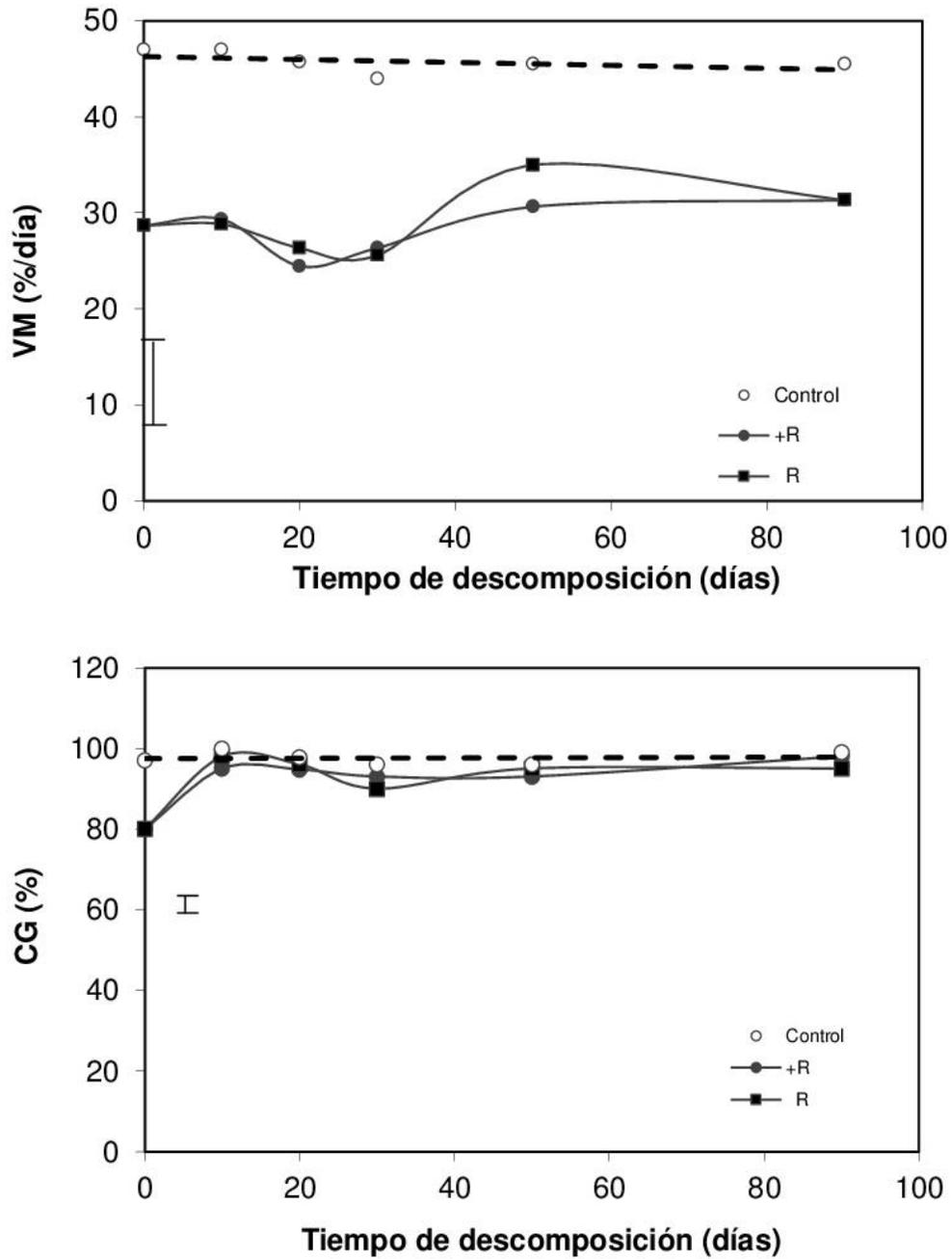


Figura 5. Valor máximo de germinación (VM) y capacidad germinativa (CG) de semillas de *L. angustifolius* var. Gungurru embebidas con extractos de rastrojo que recibieron distintos niveles de riego. La barra indica una desviación estándar.

Figure 5. Maximum germination value (VM) and germination capacity (CG) of *L.angustifolius* seeds var. Gungurru embedded in crop residue extracts that received various irrigation levels. The bar indicates one standard deviation

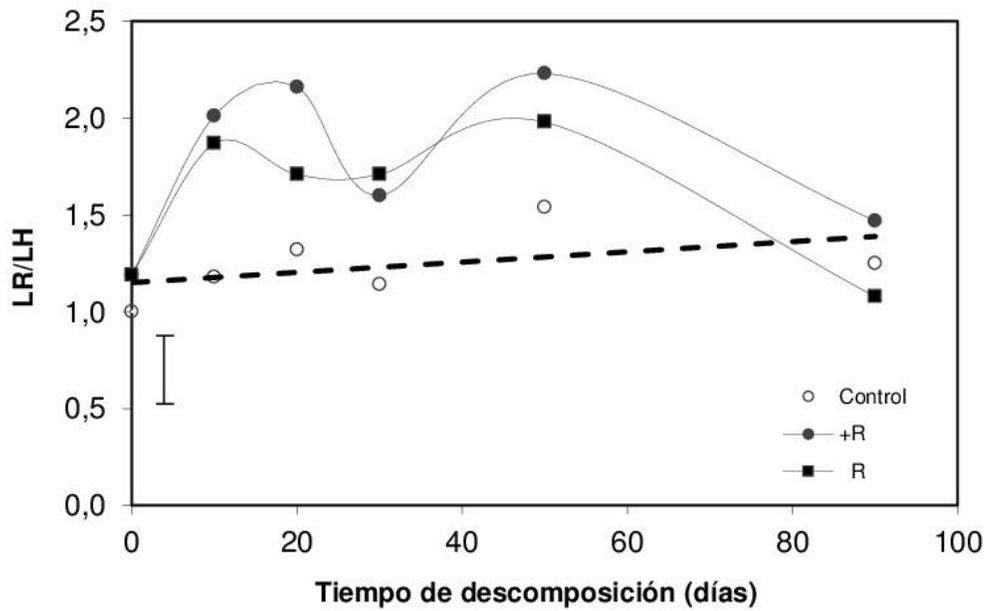
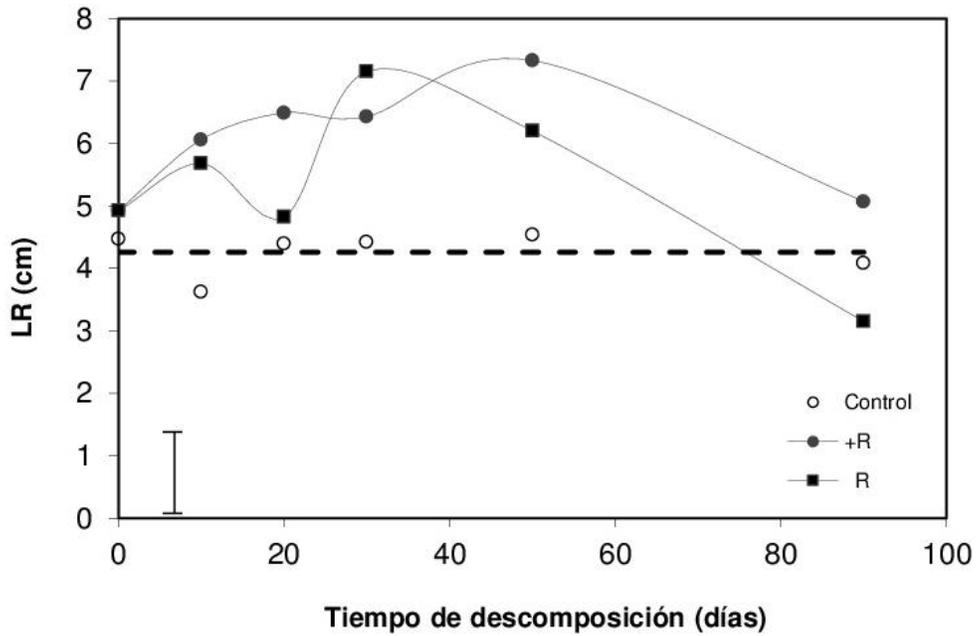


Figura 6. Largo de radícula (LR) y relación LR/LH de semillas de *L. angustifolius* var. Gungurru embebidas con extractos de rastrojo que recibieron distintos niveles de riego. La barra indica una desviación estándar.

Figure 6. Radicle length (LR) and LR/LH ratio (LH is the hypocotyl length) of *L. angustifolius* seeds embedded with residue extracts that received various irrigation levels. The bar shows one standard deviation.

USO DE ANTIMICROBIANOS NATURALES COMO UNA ALTERNATIVA PARA MANTENER LA INOCUIDAD DE VEGETALES MÍNIMAMENTE PROCESADOS

Use of natural antimicrobial as an alternative to maintain the safety of the minimally processed vegetables

Héctor Gómez-Gómez¹; Carlos Inestroza-Lizardo¹, Sindy Hernández-Vindel¹

¹Universidad Nacional de Agricultura. Departamento de Producción Vegetal. PO Box 09, Barrio el Espino, Catacamas, Honduras. Sitio web: www.unag.edu.hn; www.hortyfresco.cl
E-mail: ghectoralonzo@ug.uchile.cl;

RESUMEN

En los vegetales mínimamente procesados por tratarse de productos frescos, elaborados mediante métodos físicos simples y carecer de tratamientos letales durante su procesamiento, la seguridad microbiológica continúa siendo uno de los principales problemas durante su producción. Sumado a lo anterior, la industria alimentaria ha sido constantemente presionada para eliminar los conservantes químicos y adoptar alternativas naturales que permitan conservar los alimentos. Entre estas alternativas se destacan los Antimicrobianos Naturales, derivados de plantas, animales, bacterias, algas y hongos. Se ha encontrado que éstos poseen componentes potenciales contra diferentes patógenos y/o agentes de deterioro de los alimentos. Estos antimicrobianos a la vez poseen propiedades antioxidantes, medicinales y nutricionales que benefician a la salud del consumidor, ganando de esta forma, mayor atención. El objetivo de esta revisión es ofrecer una visión de las últimas investigaciones relacionadas con el uso de antimicrobianos naturales derivados de plantas, animales, bacterias, algas y hongos, usados en vegetales mínimamente procesados, sus principales componentes, características, aplicaciones y su mecanismo de acción antimicrobiana.

Palabras claves: Compuesto natural, método alternativo, seguridad microbiológica, crecimiento microbiano.

ABSTRACT

The minimally processed vegetables because they are fresh products, elaborated with physical simple methods and the lack of lethal treatment during the process, the microbiological security continues being one of the main problems during the production. Adding all this alimentary industry has been constantly pressured to eliminate all the chemical conservatives and adopt a natural way that allows keeping the foods. In these alternatives, we can find the natural antimicrobial derived from plants, animals, bacteria, algae and fungi. It's been proved that this possess potential components against different pathogens that deteriorates the foods. These antimicrobials at the same time possess antioxidant, medicinal and nutritional factors that benefit the consumer's health by getting more attention. The objective of this revision is to offer a vision to the last investigations related to the use of natural antimicrobials derived from plants, animals, bacteria, algae and fungi used in minimally processed vegetables, their principal components, characteristics and their mechanism of action antimicrobial.

Keywords: natural compounds, alternative methods, microbiological safety, microbial growth.

VEGETALES MÍNIMAMENTE PROCESADOS

Los vegetales mínimamente procesados (VMP) llamados también vegetales precortados, vegetales listos para consumir o vegetales de IV gama, son productos frescos que se obtienen de frutas y hortalizas, mediante operaciones simples; como selección, lavado, pelado, corte, desinfección, enjuague, escurrido y envasado; conservando las características sensoriales y propiedades nutricionales de los vegetales frescos de los cuales provienen (Escalona y Luchsinger, 2008). Estos productos son considerados un componente importante para una dieta equilibrada y saludable; motivo por el cual en los últimos años han adquirido un crecimiento significativo en cuanto a producción y consumo (Francis *et al.* 1999; Berger *et al.* 2010; Siroli *et al.* 2015). Sin embargo, el daño que sufren los tejidos durante las actividades de preparación, unido a la ausencia de tratamientos letales, y a su alto contenido de agua y nutrientes, los vuelve susceptibles al ataque de microorganismos, por lo que se recomienda usar algunos tratamientos y/o agentes antimicrobianos durante su producción con el objetivo de garantizar la seguridad microbiológica (Gil *et al.* 2009).

MICROORGANISMOS ASOCIADOS A VEGETALES MÍNIMAMENTE PROCESADOS

Los microorganismos pueden entrar en contacto con el producto durante las diferentes etapas involucradas en su producción (producción de la materia prima, cosecha, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización y manipulación en casa), acelerando el deterioro y afectando negativamente su calidad (Berger *et al.* 2010; Silva *et al.* 2012). Por otro lado, varios de estos microorganismos son agentes patógenos que están asociados a brotes de enfermedades en los consumidores; su efecto va desde pequeñas

morbilidades hasta la muerte. Existe una amplia variedad de microorganismos relacionados con VMP contaminados, entre ellos pueden mencionarse cepas de bacterias gram positivo, *Listeria sp*, *Staphylococcus sp*, cepas de bacterias gram negativas, *Salmonella sp.*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, hongos como *Cladosporium Penicillium*, *Alternaria*, *Geotrichum*, *Trityracium*, *Aspergillus*, *Rhysopus*, e inclusive algunos virus (Gleeson y O'beirne, 2005; Abadias *et al.* 2008; Prado *et al.* 2008; Bukar *et al.* 2010; Jeddi *et al.* 2014; Siroli *et al.* 2015).

Para evitar la contaminación y el deterioro de los productos por agentes microbianos, tradicionalmente se han usado antimicrobianos sintetizados químicamente. El hipoclorito de sodio (NaClO) en dosis de 50 a 200 mg L⁻¹ ha sido aplicado durante décadas y aún es el antimicrobiano mayormente empleado en la industria de vegetales enteros y mínimamente procesados (Tomás-Callejas *et al.* 2012; Goodburn y Wallace, 2013). Sin embargo, existe una preocupación creciente debido a que su máxima eficacia está limitada a cierto rango de pH (6,5 a 7,0) y a la ausencia de materia orgánica (Devlieghere *et al.* 2009). Además puede ocasionar la formación de productos tóxicos como trihalometanos (THM) y cloraminas (Richardson *et al.* 2000; Ölmez y Kretzschmar, 2009), así como provocar corrosión en los equipos de procesamiento (Artés *et al.* 2011). En este sentido existe la necesidad de encontrar antimicrobianos naturales que sean eficientes y seguros, esto debido a que el consumo de alimentos tratados con agentes químicos es con frecuencia asociado al deterioro de la salud humana.

ANTIMICROBIANOS NATURALES

En los últimos años se han realizado diversas investigaciones, con el objetivo de encontrar nuevos agentes antimicrobianos de origen natural, como sustitutos a los tradicionalmente

usados. Estas investigaciones muestran varias fuentes naturales (plantas, animales, bacterias, algas y hongos) que poseen compuestos con potencial para ser utilizados como antimicrobianos (Devlieghere *et al.* 2004; Seydim y Sarikus, 2006; Guedes *et al.* 2011; Bala *et al.* 2012; Siroli *et al.* 2015; Narsaiah *et al.* 2015). En las siguientes secciones de esta revisión se realizará una descripción de estos antimicrobianos, enfatizando en su mecanismo de acción antimicrobiana y presentando los últimos resultados encontrados de su uso en la sanitización de vegetales mínimamente procesados.

1.1 Antimicrobianos de origen vegetal

Algunos extractos derivados de plantas, hierbas aromáticas y/o especiarías además de poseer una comprobada actividad antioxidante, también son poseedores de actividad antimicrobiana. Esta actividad antimicrobiana es generada por los compuestos fenólicos, quinonas, saponinas, taninos, cumarinas, alcaloides y aceites esenciales (AE) presentes en los extractos. Estos fitoquímicos se encuentran depositados naturalmente en muchas plantas, en partes específicas como las hojas, corteza, tallos, raíces,

flores y frutos, o en toda la planta (Stojkovic *et al.* 2013; Burt, 2004; Ciocan y Băra, 2007).

Los AE son los antimicrobianos de origen vegetal más estudiados. Estas sustancias no son estrictamente aceites, pero a menudo son de naturaleza poco soluble, normalmente tienen un olor agradable y a veces un sabor distintivo, características dadas por la presencia de monoterpenos, sesquiterpenos, fenilpropanoide y otros compuestos hidrófobos, que ofrecen propiedades particulares que facilitan su actividad antimicrobiana (Helander *et al.* 1998; Dorman y Deans, 2000; Cakir *et al.* 2004; Diao *et al.* 2014; Radaelli *et al.* 2016; Burt, 2004).

Los AE están presentes en diferentes especies de uso popular. Su efecto como antimicrobiano natural ha sido estudiado contra diversos microorganismos, sin embargo, en la actualidad sus mecanismos de acción no son completamente comprendidos. Esto se debe a que existen muchos microorganismos y con diferencias en su estructura, así como un gran número de compuestos químicos contenidos en estas sustancias, Cuadro 1 (Helander *et al.* 1998; Rassoli *et al.* 2006; Diao *et al.* 2014; Burt, 2004).

Cuadro 1. Algunas fuentes de aceites esenciales estudiadas contra microorganismo relacionados a VMP.

Nombre científico de la especie vegetal	Nombre común	Componentes principales	Microrganismo relacionados a VMP	Referencia
<i>Citrus aurantium</i>	Naranja amarga	Limoneno	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	Soković <i>et al.</i> 2010
<i>Citrus limon</i>	Limón	Limoneno	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	Soković <i>et al.</i> 2010
<i>Lavandula angustifolia</i>	Lavándula	Linalol y Acetato de linalilo	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	Soković <i>et al.</i> 2010
<i>Matricaria chamomilla</i>	Manzanilla	trans- β - farneseno	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	Soković <i>et al.</i> 2010
<i>Mentha piperita</i>	Menta	Mentona y Acetato de metilo	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	Soković <i>et al.</i> 2010

<i>Mentha spicata</i>	Hierbabuena	Mentona y Carvona	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	Soković <i>et al.</i> 2010
<i>Ocimum basilicum</i>	Albahaca	Linalol	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	Soković <i>et al.</i> 2010
<i>Salvia officinalis</i>	Salvia	Alcanfor y α -tuyona	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	Soković <i>et al.</i> 2010
<i>Daucus carota</i> L.	Zanahoria	Carotol Sabineno β -cariofileno α -pineno	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Escherichia coli</i> <i>Aspergillus niger</i>	Ma <i>et al.</i> 2015
<i>Origanum vulgare</i>	Orégano	Carvacrol, timol, <i>p</i> -cimeno, α -pineno, γ -terpineno cariofileno	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Salmonella spp.</i>	Siroli <i>et al.</i> 2015
<i>Thymus vulgaris</i>	Tomillo	Carvacrol, timol, <i>p</i> -cimeno, α -pineno, γ -terpineno cariofileno	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Salmonella spp.</i>	Siroli <i>et al.</i> 2015
<i>Coriandrum sativum</i>	Cilantro	Careno y γ -terpineno	<i>Escherichia coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Shewanella putrefaciens</i>	Texeira <i>et al.</i> 2013
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	Monoterpenos oxigenados	<i>Escherichia coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Shewanella putrefaciens</i>	Texeira <i>et al.</i> 2013
<i>Cuminum cyminum</i>	Comino	Cuminaldehído, Hidrocarbonetos monoterpenos γ - terpineno, β - pineno	<i>Salmonella spp.</i> , <i>Salmonella typhi</i> , <i>Salmonella paratyphi</i>	Naveed <i>et al.</i> 2013
<i>Cinnamomum verum</i>	Canela	<i>t</i> -Cinamaldehído	<i>Salmonella spp.</i> , <i>Bacillus licheniformis</i>	Naveed <i>et al.</i> 2013
<i>Syzygium aromaticum</i>	Clavo de olor	<i>p</i> -eugenol, aceteugenol y trans-cariofileno	<i>Listeria innocua</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Escherichia coli</i> , <i>Shewanella putrefaciens</i>	Texeira <i>et al.</i> 2013

Una de las explicaciones más aceptadas, relata que la acción antimicrobiana de los AE puede atribuirse principalmente a la desestabilización de la membrana celular. Los grupos hidroxilos

(-OH) de estos fitoquímicos juegan un papel importante en su acción antimicrobiana, estos pueden unirse a sitios activos de enzimas alterando el metabolismo celular; además de

provocar una disminución del potencial de pH, generando una deslocalización de electrones y disminuyendo la síntesis de ATP que provoca la muerte celular (Ultee *et al.* 2002; Guinoiseau *et al.* 2010; Stojkovic *et al.* 2013; Diao *et al.* 2014). A la vez, la naturaleza hidrófoba de los AE permite que éstos puedan penetrar a través de las membranas bacterianas e interactuar con la membrana lipídica de los microorganismos, lo que resulta en salida de los componentes internos de la célula, que finalmente llevan a la pérdida de sus funciones (Burt *et al.* 2004; Diao *et al.* 2014; Bajpai *et al.* 2012).

Investigaciones recientes muestran resultados satisfactorios del uso de AE en la disminución de las cargas microbianas de vegetales enteros y VMP. Siroli *et al.* (2015), evaluaron la eficacia de AE de orégano (250 mg L⁻¹), y tomillo (250 mg L⁻¹), en comparación con el cloro a 120 mg L⁻¹ para descontaminación de canónigo (*Valerianella locusta*) mínimamente procesado. Al realizar las evaluaciones, no encontraron diferencias significativas en los recuentos de bacterias aerobias mesófilas; levaduras, ni bacterias lácticas; además las cargas microbianas se mantuvieron inferiores a 3,0 log UFC g⁻¹ durante 8 días a 6 °C, y entre 2 y 3 log UFC g⁻¹ después de 14 días de almacenamiento, independiente de la solución de lavado utilizada. A la vez, ningún tratamiento afectó negativamente la calidad y propiedades sensoriales del producto.

Por su parte Oliveira *et al.* (2015), evaluaron el efecto de la aplicación combinada de carvacrol y 1,8-cineol (compuestos presentes en AE de orégano y romero) contra las bacterias *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila* y *Pseudomonas fluorescens*, en hortalizas frescas. La aplicación de estos compuestos solos o en combinación provocaron una reducción en los recuentos de células viables de todas las cepas inoculadas experimentalmente, mostrando un conteo de células viables después de 24 horas de aplicación desde 4,1 hasta 5,3 log UFC g⁻¹, mientras que para el control (agua destilada

estéril) fue entre 6,1 y 6,8 log UFC g⁻¹. Además, la exposición a estos compuestos alteró la permeabilidad de la membrana y causó cambios estructurales en las superficies de las células bacterianas, demostrando así su potencial antimicrobiano.

Sagdic *et al.* (2013), evaluaron el efecto del lavado por inmersión usando 100 ml de hidrosoles de tres especies vegetales de la familia *Lamiaceae* en tomate y pepino mínimamente procesado, previamente inoculado con 10⁴ UFC mL⁻¹ de *Escherichia coli*, encontrando después de 24 horas inhibición completa en ambos vegetales. Estos tratamientos fueron más eficientes que el control (lavado con agua), método que resultó ineficiente contra esta bacteria. Por su parte Ma *et al.* (2015), en un ensayo *in vitro*, encontraron que aceites esenciales de jugo de zanahoria ricos en carotol, sabineno y β-cariofileno, poseen actividad antibacteriana contra bacterias gram positivas, bacterias gram negativas, hongos y levaduras. Demostrando que el aceite esencial de jugo de zanahoria ejerce efecto inhibitorio después de 24 horas de incubación a 37 °C para las bacterias, después de 5 días de incubación a 28 °C para *A. niger* y después de 24 horas de incubación a 25 °C para las levaduras, encontrando un gran potencial para ser aplicado como un agente antimicrobiano natural en VMP.

1.2 Antimicrobianos de origen animal

Los antimicrobianos de origen animal, se han estudiado en menor proporción que los de origen vegetal, sin embargo existen algunos resultados promisorios de agentes antimicrobianos contra microorganismo presentes en VMP, que se discuten en esta revisión. Compuestos proteicos como lactoferina, lisozima, caseína y quitosano son algunos con mayor potencial (Mine *et al.* 2004; Devlieghere *et al.* 2004; Durango *et al.* 2006; Simões *et al.* 2009; Ripolles *et al.* 2015).

Quitosano

De los compuestos antes mencionados, el quitosano es el que ha ganado mayor interés en la industria alimentaria y farmacéutica. La molécula de quitosano (poli β -(1-4) N-acetil-D-glucosamina), es un biopolímero policatiónico naturalmente presente en el exosqueleto de crustáceos y artrópodos y se puede obtener por procesos microbiológicos y químicos o puede ser producida por algunos hongos (*Aspergillus niger*, *Mucor rouxii*, y *Penicillium notatum*) (Devlieghere *et al.* 2004; Durango *et al.* 2006; Cé *et al.* 2012; Arancibia *et al.* 2015). El método de obtención provoca diferencias en el grado de desacetilación, la distribución de los grupos acetilo, la longitud de la cadena polimérica y la estructura; ejerciendo una influencia sobre la solubilidad, la actividad antimicrobiana y las propiedades funcionales. Por lo tanto, de las características de su estructura se deriva el principal problema de la aplicación de quitosano como conservante en alimentos, su limitada solubilidad a pH neutro y superior; por lo que ha sido necesario recurrir a nuevas alternativas para aumentar la solubilidad en pH ácidos (Chung *et al.* 2011; Tsai *et al.* 2012).

El mecanismo de acción antimicrobiana del quitosano se atribuye a la interacción entre las moléculas con carga positiva del quitosano y las membranas celulares microbianas cargadas negativamente, lo que provoca una fuga de los componentes intracelulares; además, la unión de quitosano al ADN activa la inhibición de la síntesis de RNAm a través de la penetración a los núcleos microbianos por quitosano e interfiere en la síntesis de ARNm y proteínas. Como antimicrobiano se han obtenido resultados prometedores en el control de *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae* y *Salmonella Typhimurium*, microorganismos presentes en VMP (Simões *et al.* 2009; Chung *et al.* 2011; Tsai *et al.* 2012).

Devlieghere *et al.* (2004), evaluaron el efecto de aplicaciones de recubrimiento por inmersión de quitosano al 2% (v/v), en solución de ácido láctico/lactato de sodio, sobre la descomposición de frutillas y lechugas mínimamente procesadas bajo atmósferas modificadas. En frutillas el recuento total de psicrótrofos aeróbicos y levaduras después de 12 días de tratamiento fue de 3,48 UFC mL⁻¹ y 3,01 UFC mL⁻¹, respectivamente. Mientras que las muestras no tratadas presentaron cargas de 5,35 UFC mL⁻¹ y 5,11 UFC mL⁻¹ respectivamente. Además el tratamiento no afectó las características sensoriales de las frutillas. Sin embargo, en las lechugas desarrolló un sabor amargo.

Lactoferrina

La lactoferrina es una proteína de la leche que además de su valor nutritivo presenta funciones biológicas importantes como la actividad antimicrobiana contra bacterias y virus. Es una glicoproteína de fijación del hierro que contiene péptidos antimicrobianos en su estructura, que son liberados cuando es hidrolizada por proteasas. Es producida por las células epiteliales de la glándula mamaria y secretada en la leche. La actividad antimicrobiana se debe a la inhibición de la unión de los microorganismos con el hierro, evitando la disponibilidad para el desarrollo microbiano (Masson *et al.* 1996; Seydim y Sarikus, 2006; García-Montoya *et al.* 2012; Ripolles *et al.* 2015).

La lactoferrina ha sido utilizada en diversos alimentos, principalmente como película comestible. Seydim y Sarikus, (2006), encontraron que AE de orégano, romero y ajo (*Allium sativum*) en una película comestible con lactoferrina, tienen actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes* y *Lactobacillus plantarum*; presentando resultados satisfactorios cuando son usados en conjunto.

Lisozima y caseína

La lisozima y la caseína son péptidos bioactivos que poseen función antimicrobiana contra diferentes microorganismos patógenos tales como bacterias, levaduras y hongos filamentosos. La lisozima es una enzima que está presente de forma natural en huevos de aves y la leche; al igual que la caseína en leche de mamíferos, éstas generalmente son reconocidas como seguras para adición directa a los alimentos. La lisozima blanca de huevos de gallina es una enzima bacteriolítica, usada contra microorganismos presentes en frutas y verduras (Mine *et al.* 2004; Cegielska-Radziejewska *et al.* 2009; Fadaei, 2012).

1.3 Antimicrobianos de origen bacteriano

Los microorganismos, principalmente bacterias ácido lácticas producen una serie de derivados químicos con actividad antimicrobiana. Estos derivados son compuestos proteínicos llamados bacteriocinas, tales como la nisina producida por *Lactococcus lactis*, que inhibe el crecimiento y desarrollo de otras especies microbianas. De forma similar *Lactobacillus reuteri* produce a partir del glicerol reuterina, otro agente antimicrobiano de amplio espectro ampliamente utilizado, eficaz contra muchos microorganismos patógenos y de deterioro en VMP (Periago *et al.* 2001; Cé *et al.* 2012; Siroli *et al.* 2014; O'connor *et al.* 2015; Siroli *et al.* 2015).

Nisina

La nisina, es la única bacteriocina aprobada para su uso como agente antimicrobiano y se utiliza en más de 50 países del mundo. Es activa contra bacterias gram positivas, como *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus* y *Bacillus cereus*. El efecto antimicrobiano de la nisina se debe al permeado de la membrana citoplasmática, causando fugas de metabolitos intracelulares y la disipación del potencial de la membrana (Calderon-Miranda *et al.* 1999; Galvez *et al.* 2007). En el caso de las bacterias gram negativas, la resistencia se explica por la presencia de una membrana protectora exterior que forma la capa

más externa de la membrana celular. Sin embargo, ha sido demostrado que la actividad de las bacteriosinas frente a bacterias gram negativas se puede mejorar cuando se utilizan en conjunto con compuestos hidrófobos naturales tales como los presentes en AE, que poseen propiedades para romper la membrana celular (Helander *et al.* 1998; Dorman y Deans, 2000; Ghrairi y Hani, 2015).

Reuterina

En el caso de la reuterina (b-hidroxipropionaldehído) es una molécula que posee alta solubilidad en agua, resistencia al calor, enzimas proteolíticas y lipolíticas; y estabilidad en diferente pH, estas propiedades hacen esta bacteriocina ideal para la conservación de alimentos. La actividad antimicrobiana de la reuterina en combinación con la nisina y otras bacteriocinas producidas por *Lactococcus lactis* presentan un efecto sinérgico contra microorganismos patógenos en alimentos. Se ha demostrado que la reuterina tiene actividad antimicrobiana mayor en bacterias gram negativa que sobre las bacterias patógenas gram positivas; probablemente debido a que la forma aldehído de la reuterina es el agente bioactivo que provoca una respuesta de estrés oxidativo mediante la modificación de los grupos tiol en proteínas y pequeñas moléculas (Ghrairi y Hani, 2015; Langa *et al.* 2013; Arqués *et al.* 2011; Narsaiah *et al.* 2015).

Narsaiah *et al.* (2015), evaluaron durante 21 días diferentes concentraciones de alginato incorporado con bacteriocina, como material de recubrimiento en papaya (*Carica papaya* L.) mínimamente procesada. Al final del periodo de almacenamiento, fue encontrado un recuento microbiano total de 10^3 UFC g^{-1} en las muestras revestidas con solución de alginato (2 % w/v) adicionada de bacteriocina (60.000 UI/mL) a razón de 20% (v/v), mientras que el control (cloro al 0,005%) presentó un recuento de 10^7 UFC g^{-1} partiendo ambos tratamientos de $1,6 \times 10^3$ UFC g^{-1} .

1.4 Antimicrobianos derivados de algas y hongos

No existen en la actualidad datos disponibles de la aplicación de antimicrobianos naturales originados de algas y hongos en VMP, sin embargo existen investigaciones que señalan a las algas y hongos como fuente natural de compuestos bioactivos con actividad biológica, antimicrobiana, antiviral y antimicótica (Oh et al. 2008; Galal et al. 2011; Bhagavathy et al. 2011; Heleno et al. 2014; Heleno et al. 2015).

Algas

Estudios han demostrado que extractos de algas marinas (*Phaeophyceae* sp., *Chlorophyceae* sp. y *Rhodophyceae* sp.) y micro algas (*Scenedesmus obliquus*) poseen actividad antimicrobiana contra bacterias gram negativas y gram positivas, encontrando mayor susceptibilidad en las últimas, la resistencia de las bacterias gram negativas se debe a la presencia de dos membranas lipídicas en la estructura de los microorganismo (Guedes et al. 2011; Galal et al. 2011). Su actividad antimicrobiana se debe a la presencia de diferentes compuestos como terpenoides, florotaninos, ácido acrílico, esteroides, cetonas halogenadas y alcanos, polisulfuros cíclicos y ácidos grasos, con diversos mecanismos de acción. Por ejemplo, la presencia de ácidos grasos como el palmítico, palmitoleico y oleico, puede actuar de una manera similar a la mayoría de los extractos vegetales, mediante la promoción de daño de la membrana celular que eventualmente permite fugas de la célula. Además, su efecto se puede explicar por la presencia de compuestos fenólicos y su impacto en la germinación de esporas, igualmente extractos de algas inhiben la actividad de las enzimas fúngicas (Plaza et al. 2010; Guedes et al. 2011; Galal et al. 2011).

Hongos

Estudios muestran que los hongos y algunas setas comestibles poseen propiedades con potencial antimicrobiano debido a la presencia de varios compuestos bioactivos. Hongos como

Volvopluteus gloiocephalus, *Clitocybe subconnexa*, *Basidiomycetous*, *Agaricus* spp, *Lactarius deliciosus*, *Sarcodon imbricatus*, *Tricholoma portentosum*, *Armillaria mellea*; *Meripilus giganteus*, *Morchella costata*, *Morchella elata*, *Morchella hortensis*, han mostrado un efecto inhibitorio en el crecimiento de bacterias gram positivas y gram negativas presentes frecuentemente en alimentos, lo que sugiere una fuente potencial de agentes antimicrobianos para ser usados en VMP (Barros et al. 2007; Kalyoncu et al. 2010; Ozturk et al. 2011; Bala et al. 2012).

Sin embargo, es importante destacar que la actividad antimicrobiana de hongos comestibles, es mayor en bacterias gram positivas debido a que éstas poseen poros hidrófilos y paredes celulares con mayor permeabilidad. Además, la actividad antimicrobiana de setas se puede atribuir a la presencia de varios metabolitos bioactivos secundarios, compuestos volátiles, algunos fenoles, ácido gálico, ácidos grasos libres y sus derivados (Ramesh y Pattar, 2010; Bala et al. 2012).

2. Consideraciones finales

El desarrollo de antimicrobianos de origen natural es un campo de investigación que genera interés en los investigadores y la industria debido al elevado potencial antimicrobiano que éstos poseen. Sin embargo, estas fuentes y otras inexploradas para ser usadas como sanitizantes en la industria de vegetales enteros y mínimamente procesados, serán requeridas mayores investigaciones que solucionen algunas limitantes que actualmente existen. Una de las de mayor atención actualmente, es el limitado efecto a bajas concentraciones, las dosis que actualmente son utilizadas para poder tener un efecto antimicrobiano significativo son elevadas y acaban afectando las características sensoriales, principalmente aroma y sabor; además de algunas características nutricionales del producto y por consiguiente un rechazo por parte de los consumidores. En este sentido es necesario investigaciones para definir niveles

óptimos de uso, efecto sinérgico o antagónico con las diferentes matrices vegetales y efectos tóxicos para el consumidor. Además, será necesario un fuerte impulso en la investigación, para conocer el impacto real de estos antimicrobianos desde el punto de vista de la viabilidad comercial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Red Hortyfresco (www.hortyfresco.cl) financiada por Cyted-Conicyt por el apoyo técnico brindado a esta publicación.

LITERATURA CITADA

Abadias, M.; Usall, J., Anguera, M.; Solsona, C. & Viñas, I. 2008. Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments. *International Journal of Food Microbiology*, 123: 121-129.

Arancibia, M.; Lopez-Caballero, M.; Gómez-Guillen, M.; Fernandez-García, M.; Fernández-Martín, F. & Montero, P. 2015. Antimicrobial and rheological properties of chitosan as affected by extracting conditions and humidity exposure. *Food Science and Technology*, 60: 802-810.

Arqués, A.; Rodríguez, E.; Nuñez, M. & Medina, M. 2011. Combined effect of reuterin and lactic acid bacteria bacteriocins on the inactivation of food-borne pathogens in milk. *Food Control*, 22: 457-461.

Artés F.; Gómez, P.; Artés-Hernández, F. y Aguayo, E. 2011. Innovaciones en el mantenimiento de la calidad y seguridad alimentaria de los productos hortícolas mínimamente procesados. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12: 8-18.

Bajpai, V.; Baek, K. & Kang, S. 2012. Control of *Salmonella* in foods by using essential oils: A review. *Food Research International*, 45: 722-734.

Balan, N.; Aitken, E.; Cusack, A. & Steadman, K. 2012. Short communication Antimicrobial Potential of Australian Macrofungi Extracts Against Foodborne and Other Pathogens. *Phytotherapy Research*, 26: 465-469.

Barros, L.; Calhelha, R.; Vaz, J., Ferreira, I.; Baptista, P. & Estevinho, L. 2007. Antimicrobial activity and bioactive compounds of Portuguese wild edible mushrooms methanolic extracts. *European Food Research and Technology*, 225: 151-156.

Berger, C.; Sodha, S.; Shaw, R.; Griffin, P.; Pink, D.; Hand, P. & Frankel, G. 2010. Fresh fruit and vegetables as vehicles for the transmission of human pathogens Minireview. *Environmental Microbiology*, 12: (9) 2385-2397.

Bhagavathy, S., Sumathi, P. & Bell, J. 2011. Green algae *Chlorococcum humicola*-a new source of bioactive compounds with antimicrobial activity, Document heading. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, p. 1-7.

Bukar, A.; Uba, A. & Oyeyi, T. 2010. Occurrence of some enteropathogenic bacteria in some minimally and fully processed ready - to - eat foods in Kano metropolis, Nigeria. *African Journal of Food Science*, 4: (2) 032-036.

Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods- a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94: 223-253.

Cakir, A.; Kordali, S.; Zengin, H.; Izumi, S. & Hirata, T. 2004. Composition and antifungal activity of essential oils isolated from *Hypericum hyssopifolium* and *Hypericum heterophyllum*. *Flavour and Fragrance Journal*, 19: 62-68.

- Calderoón-Miranda, M.; Barbosa-Cánovas, G. & Swanson, B. 1999. Inactivation of *Listeria innocua* in liquid whole egg by pulsed electric fields and nisin. *International Journal of Food Microbiology*, 51: 7-17.
- Cé, N.; Noreña, C. & Brandelli, A. 2012. Antimicrobial activity of chitosan films containing nisin, peptide P34, and natamycin. *CyTA. Journal of Food*, 10: (1) 21-26.
- Cegielska-Radziejewska, R.; Lesniewski, G. & Kijowski, J. 2009. Antibacterial activity of hen egg white lysozyme modified by thermochemical technique. *European Food Research and Technology*, 228: 841-845.
- Chung, Y.; Yeh, J. & Tsai, C. 2011. Antibacterial Characteristics and Activity of Water-Soluble Chitosan Derivatives Prepared by the Maillard Reaction. *Molecules*, 16: 504-514.
- Ciocan, I. & Băra, I. 2007. Plant products as antimicrobial agents. *Analele Științifice ale Universității "Alexandru Ioan Cuza", Secțiunea Genetică și Biologie Moleculară, Tom VIII*.
- Devlieghere, F.; Vermeulen, A. & Debevere, J. 2004. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology*, 21: 703-714.
- Devlieghere, F.; Vandekinderen, I.; De Meulenaer, B.; Ragaert, P. & Van Camp, J. 2009. Decontamination strategies for fresh-cut produce. *Stewart Postharvest Review*, 4: (5) 1-8.
- Diao, W.; Hu, Q.; Zhang, H. & Xu, J. 2014. Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Food Control*, 35: 109-116.
- Dorman, H. & Deans, S. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88: 308-316.
- Durango, A.; Soares, N. & Andrade, N. 2006. Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control*, 17: 336-341.
- Escalona, V.H. y Luchsinger, L. 2008. Una revisión sobre frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco. *Aconex*, 99: 23-28.
- Fadaei, V. 2012. Milk Proteins-derived antibacterial peptides as novel functional food ingredients. *Annals of Biological Research*, 3: (3) 2520-2526.
- Francis, A.; Thomas, C. & O'Beirne, D. 1999. The microbiological safety of minimally processed vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*, 34: 1-22.
- Galal, H.; Salem, W. & El-Deen, F. 2011. Biological control of some pathogenic fungi using marine algae extracts. *Research Journal of Microbiology*, 6: (8) 645-647.
- Gálvez, A.; Abriouel, H.; López, R. & Omar, N. 2007. Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. *International Journal of Food Microbiology*, 120: 51-70.
- García-Montoya, I.; Cendón, T.; Arévalo-Gallegos, S & Rascón-Cruz, Q. 2012. Lactoferrin a multiple bioactive protein: An overview. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1820: 226-236.
- Ghraiiri, T. & Hani, K. 2015. Enhanced bactericidal effect of enterocin a in combination with thyme essential oils against *L. monocytogenes* and *E. coli* O157:H7. *Journal of Food Science and Technology*, 52: (4) 2148-2156.

- Gil, M.; Selma, M.; López-Gálvez, F. & Allende, A. 2009. Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: Problems and solutions. *International Journal of Food Microbiology*, 134: 37-45.
- Gleeson, E. & O'Beirne, D. 2005. Effects of process severity on survival and growth of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* on minimally processed vegetables. *Food Control*, 16: 677-685.
- Goodburn, C. & Wallace, C. 2013. The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review. *Food Control*, 32: 418-427.
- Guedes, A.; Barbosa, C.; Amaro, H.; Pereira, C. & Malcata, F. 2011. Microalgal and cyanobacterial cell extracts for use as natural antibacterial additives against food pathogens. *International Journal of Food Science and Technology*, 46: (4) 862-870.
- Guinoiseau, E.; Luciani, A.; Rossi, P.; Quilichini, Y.; Ternengo, S.; Bradesi, P. & Berti, L. 2010. Cellular effects induced by *Inula graveolens* and *Santolina corsica* essential oils on *Staphylococcus aureus*. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 29: 873-879.
- Helander, I.; Alakomi, H.; Latva-Kala, K.; Mattila-Sandholm, T.; Pol, I.; Smid, E.; Gorris, L. & Wright, A. 1998. Characterization of the Action of Selected Essential Oil Components on Gram-Negative Bacteria. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 46: 3590-3595.
- Heleno, S.; Ferreira, I.; Ćirić, A.; Glamočlija, J.; Martins, A.; Queiroz, M. & Soković, M. 2014. Coprinopsis atramentaria extract, its organic acids, and synthesized glucuronated and methylated derivatives as antibacterial and antifungal agents. *Food & Function*, 10(5): 2521-2528.
- Heleno, S.; Barros, L.; Martins, A.; Morales, P.; Fernández-Ruiz, V.; Glamočlija, J.; Sokovic, M. & Ferreira, I. 2015. Nutritional value, bioactive compounds, antimicrobial activity and bioaccessibility studies with wild edible mushrooms. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2): 799-806.
- Jeddi, M.; Yunesian, M.; Gorji, M.; Noori, N.; Pourmand, M. & Khaniki, G. 2014. Microbial Evaluation of Fresh, Minimally-processed Vegetables and Bagged Sprouts from Chain Supermarkets. *Journal of health population and nutrition* 32(3): 391-399.
- Kalyoncu, F.; Oskay, O.; Saglam, H.; Erdogan, T. & Tamer, A. 2010. Antimicrobial and antioxidant activities of mycelia of 10 wild mushroom species. *Journal of medicinal food*, 13 (2): 415-419.
- Langa, S.; Landete, J.; Martín-Cabrejas, I.; Rodríguez, E.; Arqués, J. & Medina, M. 2013. In situ reuterin production by *Lactobacillus reuteri* in dairy products. *Food Control*, 33: 200-206.
- Ma, T.; Luo, J.; Tian, C.; Sun, X.; Quan, M.; Zheng, C.; Kang, L. & Zhan, J. 2015. Influence of technical processing units on chemical composition and antimicrobial activity of carrot (*Daucus carrot* L.) juice essential oil. *Food Chemistry*, 170: 394-400.
- Masso, P.; Heremans, J.; Prignot, J. & Wauters, G. 1966. Immunohistochemical localization and bacteriostatic properties of an iron-binding protein from bronchial mucus. *Thorax*, 21: 538.
- Mine, Y.; Ma, F. & Lauriau, S. 2004. Antimicrobial Peptides Released by Enzymatic Hydrolysis of Hen Egg White Lysozyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 1088-1094.

- Narsaiah, K.; Wilson, R.; Gokul, K.; Mandge, H.; Jha, S.; Bhadwal, S.; Anurag, R.; Malik, R. & Vij, S. 2015. Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf-life of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 100: 212-218.
- Naveed, R.; Hussain, I.; Tawab, A.; Tariq, M.; Rahman, M.; Hameed, S.; Mahmood, M.; Siddique, A. & Iqbal, M. 2013. Antimicrobial activity of the bioactive componentes of essential oils from Pakistani spices against Salmonella and other multi-drug resistant bacteria. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 265: 1-10.
- O'Connor, P.; Ross, P.; Hill, C. & Cotter, P. 2015. Antimicrobial antagonists against food pathogens: a bacteriocin perspective. *Current Opinion in Food Science*, 5: 51-57.
- Oh, K.; Lee, J.; Chung, S.; Shin, J.; Shin, H.; Kim, H. & Lee, H. 2008. Antimicrobial activities of the bromophenols from the red alga *Odonthalia corymbifera* and some synthetic derivatives. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 18: 104-108.
- OLIVEIRA, K., SOUSA, J., MEDEIROS, J., FIGUEIREDO, R., MAGNANI, M., JÚNIOR, J., SOUZA, E. 2015. Synergistic inhibition of bacteria associated with minimally processed Short communication. *Food Control*, 47: 334-339.
- ÖLMEZ, H., KRETZSCHMAR, U. 2009. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *Food Science and Technology*, 42: 686-693.
- ÖZTÜRK, M., DURU, M., KIVRAK, S., MERCAN-DOGAN, N., TÜRKÖGLÜ, A., ÖZLER, M. 2011. In vitro antioxidant, anticholinesterase and antimicrobial activity studies on three *Agaricus* species with fatty acid compositions and iron contents: a comparative study on the three most edible mushrooms. *Food and Chemical Toxicology*, 49: 1353-1360.
- PERIAGO, P., PALOP, A., FERNÁNDEZ, P. 2001. Combined effect of nisin, carvacrol and thymol on the viability of *Bacillus cereus* heat-treated vegetative cells. *Food Science and Technology International*, 7(6): 487-492.
- PLAZA, M., SANTOYO, S., JAIME, L., REINA, G., HERRERO, M., SEÑORÁNS, F., IBÁÑEZ, E. 2010. Screening for bioactive compounds from algae. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 51: 450-455.
- PRADO, S., RIBEIRO, E., CAPUANO, D., AQUINO, A., ROCHA, G., BERGAMINI, A. 2008. Avaliação microbiológica, parasitológica e da rotulagem de hortaliças minimamente processadas comercializadas no município de Ribeirão Preto, SP/Brasil. *Inst Adolfo Lutz*, 67 (3): 221-227.
- RADAELLIA, M., DA SILVA, B., WEIDLICHA, L., HOEHNEB, L., FLACHC, A., DA COSTA, L., ETHUR, E. 2016. Antimicrobial activities of six essential oils commonly used as condiments in Brazil against *Clostridium perfringens*. *Brazilian Journal of Microbiology*, en prensa.
- RAMESH, C., PATTAR, M. 2010. Antimicrobial properties, antioxidant activity and bioactive compounds from six wild edible mushrooms of western ghats of Karnataka, India. *Pharmacognosy Research*, 2 (2): 107-112.
- RASOOLI, I., REZAEI, M., ALLAMEH, A. 2006. Ultrastructural studies on antimicrobial efficacy of thyme essential oils on *Listeria monocytogenes*. *International Journal of Infectious Diseases*, 10: 236-241.
- RICHARDSON, S., THRUSTON, A., CAUGHRAN, T., CHEN, P., COLLETTE, T., SCHENCK, K., LYKINS, B., RAV-ACHA, C., GLEZER V. 2000. Identification of new drinking

water disinfection byproducts from ozone, chlorine dioxide, chloramine, and chlorine. *Water, Air and Soil Pollution*, 123: 95-102.

Ripolles, D.; Harouna, S.; Parrón, J.; Calvo, M.; Pérez, M.; Carramiñana, J. y Sanchez, L. 2015. Antibacterial activity of bovine milk lactoferrin and its hydrolysates prepared with pepsin, chymosin and microbial rennet against foodborne pathogen *Listeria monocytogenes*. *International Dairy Journal*, 45: 15-22.

Sagdic, O.; Ozturk, I. & Tornuk, F. 2013. Inactivation of non-toxigenic and toxigenic *Escherichia coli* O157:H7 inoculated on minimally processed tomatoes and cucumbers: Utilization of hydrosols of Lamiaceae spices as natural food sanitizers. *Food Control*, 30: 7-14.

Seydim, A. & Sarikus, G. 2006. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Research International*, 39: 639-644.

Silva, E.; Bastos, M.; Wurlitzer, N.; Barros, Z. & Mangan, F. 2012. Minimal processing. In: *Advances in Fruit Processing Technologies*. Rodrigues, S., Fernandes, F. (eds.), p. 217-234.

Simões, A.; Tudela, J.; Allende, A.; Puschmanna, R. & Gil, M. 2009. Edible coatings containing chitosan and moderate modified atmospheres maintain quality and enhance phytochemicals of carrot sticks. *Postharvest Biology and Technology*, 51: 364-370.

Siroli, L.; Patrignani, F.; Serrazanetti, D.; Tabanelli, G.; Montanari, C.; Tappi, S.; Rocculi, P.; Gardini, F. y Lanciotti, R. 2014. Efficacy of natural antimicrobials to prolong the shelf-life of minimally processed apples packaged in modified atmosphere. *Food Control*, 46: 403-411.

Siroli, L.; Patrignani, F.; Serrazanetti, D.; Tappi, S.; Rocculi, P.; Gardini, F. & Lanciotti, R. 2015. Natural antimicrobials to prolong the shelf-life of minimally processed lamb's lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 103: 35-44.

Soković, M.; Glamočlija, J.; Marin, P.; Brkić, D. & Griensven, L. 2010. Antibacterial Effects of the Essential Oils of Commonly Consumed Medicinal Herbs Using an In Vitro Model. *Molecules*, 15: 7532-7546.

Stojkovic, D.; Petrovic, J.; Sokovic, M.; Glamoclija, J.; Kukic-Markovic, J. & Petrovic, S. 2013. In situ antioxidant and antimicrobial activities of naturally occurring caffeic acid, *p*-coumaric acid and rutin, using food systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93: 3205-3208.

Teixeira, B.; Marques, A.; Ramos, C.; Neng, N.; Nogueira, J.; Saraiva, J. & Nunes, M. 2013. Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils. *Industrial Crops and Products*, 43: 587-595.

Tomás-Callejas, A.; López-Gálvez, F.; Sbodio, A.; Artés, F.; Artés-Hernández, F. & Suslow, T. 2012. Chlorine dioxide and chlorine effectiveness to prevent *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* cross-contamination on fresh-cut Red Chard. *Food Control*, 23: 325-332.

Tsai, G.; Su, W.; Chen, H. & Pan, C. 2012. Antimicrobial activity of shrimp chitin and chitosan from different treatments and applications of fish preservation. *Fisheries Science*, 68: 170-177.

Ultee, A.; Bennik, M. & Moezelaar, R. 2002. The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(4):1561-1568.

TRATAMIENTOS QUÍMICOS PARA LA SANITIZACIÓN DE HORTALIZAS IV GAMA

Víctor Hugo Escalona¹, Alejandra Machuca¹, Carlos Inestroza²

¹ Centro de Estudios Postcosecha, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Avenida Santa Rosa 11315, casilla 1004, La Pintana, Santiago, Chile. Correo electrónico: vescalona@uchile.cl

²Departamento Académico de Producción Vegetal. Universidad Nacional de Agricultura. PO Box 09, Barrio Espino, Catacamas, Honduras.

RESUMEN

A nivel mundial existe un gran interés por las propiedades benéficas asociadas al consumo de hortalizas sobre la salud de los consumidores. Además, estos mismos consumidores por su estilo de vida, poseen limitaciones de tiempo y demandan comidas saludables y fáciles de preparar, siendo la IV gama una alternativa a sus necesidades. Estos productos sufren una serie de daños durante su procesamiento que reducen su vida útil durante el transporte y comercialización. Garantizar la inocuidad del producto tras el procesamiento y durante la cadena de comercialización es una tarea que debe tratarse para mantener la calidad de estos alimentos. Por tanto, se deben estudiar métodos de lavado entre los que destacan los sanitizantes químicos siendo el hipoclorito el más utilizado por la industria. Sin embargo, la efectividad del hipoclorito en la reducción de bacterias patógenas y los riesgos a generar compuestos cancerígenos por su uso ha favorecido la búsqueda de otros sanitizantes químicos alternativos. Entre los sanitizantes que se investigan y comienzan a ser utilizados por la industria se encuentran el dióxido de cloro, ácido peroxiacético, clorito sódico acidificado, ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno y ozono entre otros. Sin embargo, a pesar de estas alternativas químicas, en la mayoría de los casos reportados los recuentos se reducen entre 0,5 y 2 unidades tras la etapa de lavado.

Título corto: sanitización química de hortalizas

Palabras claves: inocuidad, mínimo proceso, crecimiento microbiano, enfermedades transmitidas por alimentos.

SUMMARY

Chemical treatments used as sanitizers in fresh-cut vegetables

Actually there is an increased interest in the beneficial properties associated with the consumption of vegetables on consumer health. In addition, the consumers have a limited time to cook its own meal and fresh cut vegetables look like a novel alternative for them. These products suffer tissue wounding during processing that reduce its shelf life. After processing and during the commercialization, food safety must guarantee for these fresh-cut vegetables in order to avoid waste losses. Therefore, washing methods are hardly studied looking for new chemical alternatives to hypochlorite widely used by the industry.

However, the effectiveness of hypochlorite to reduce the growth of pathogenic bacteria and its risks to generate carcinogenic compounds are being disputed. Some of the alternative studied and recently used sanitizers by the industry are: chlorine dioxide, peroxyacetic acid, acidified sodium chlorite, organic acid, hydrogen peroxide, ozone, etc. Despite the chemical

alternatives to hypochlorite, in most cases the sanitizers only reduced 0.5 to 2 log units after the washing step in the processing line.

Keywords: food safety, minimally processed, microbial growth, foodborne diseases.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años los hábitos alimenticios de la población han cambiado notoriamente principalmente por una consolidación de la clase media en los países Latinoamericanos. Es así como el consumidor espera obtener un alimento atractivo sensorialmente, nutritivo e inocuo que le permita mantener o mejorar su salud. En una sociedad donde la mujer se ha incorporado definitivamente a la fuerza laboral, los tiempos disponibles para la preparación de una comida son mínimos. Así surge la necesidad por alimentos semi procesados y/o listos para su consumo donde las hortalizas frescas procesadas como IV gama tienen una oportunidad para su desarrollo. Se entiende como IV gama a un procesamiento suave donde las hortalizas son cortadas, picadas o rayadas, sanitizadas empleando diferentes métodos y finalmente envasadas en bolsas o potes (Escalona *et al.*, 2014). Es importante mantener los productos, en todo momento desde su procesamiento hasta la comercialización, bajo refrigeración idealmente entre 0 y 5°C.

Un aspecto a considerar es la susceptibilidad que presentan las hortalizas de hojas y otras a la proliferación microbiana, en especial a bacterias patógenas como *Escherichia coli* o *Salmonella* ya que poseen en sus tejidos un pH cercano a la neutralidad. Este riesgo al crecimiento bacteriano afecta la seguridad alimentaria y las características sensoriales de las hortalizas (Escalona y Luchsinger, 2008).

Durante el procesamiento IV gama de una hortaliza la única etapa donde se puede aplicar un sanitizante es en la etapa de lavado. Dependiendo de la carga microbiológica inicial de la materia prima, este lavado puede realizarse antes de iniciar el procesamiento (antes del cortado) y luego tras el corte. El lavado es un punto crítico relacionado con la inocuidad y la vida útil del producto final. El principal objetivo del lavado es eliminar los restos de suciedad y reducir la carga microbiana presente en la superficie del tejido vegetal. En general las hortalizas recién cosechadas desde el suelo suelen tener una carga de 3 a 6 log UFC g⁻¹ y según Gil *et al.* (2009) estos recuentos representan un riesgo y una pérdida de calidad del producto procesado. De acuerdo a Nguyen-the y Carlin, (1994), los productos IV gama suelen presentar una flora microbiológica formada por bacterias psicrófilas, ácido lácticas, coliformes, coliformes fecales, levaduras, mohos y flora pectinolítica. Usualmente son bacterias tipo gram-negativas las que se aíslan de hortalizas IV gama, tales como, *Pseudomonas* spp., *Xanthomonas* spp., *Enterobacter* spp., *Janthinobacterium* spp, levaduras, bacterias ácido lácticas y menos frecuentemente *Aeromonas hydrophila* y ocasionalmente *Listeria monocytogenes* (Carlin *et al.*, 1990). En Chile, el Centro de Estudios Postcosecha ha realizado estudios en hortalizas de hoja cosechadas desde sistemas productivos comerciales en suelo o en hidroponía y se ha encontrado recuentos entre 7 y 10 log UFC g⁻¹ (Hinojosa *et al.*, 2014, Silveira *et al.*, 2014, Escalona *et al.*, 2014). De acuerdo a la normativa chilena, el límite máximo es de 7,7, 5,7, 2 log UFC g⁻¹ para recuento de aerobios mesófilos, enterobacterias y *Escherichia coli*, respectivamente (MINSAL, 2013).

Así la etapa de lavado debe optimizarse al máximo ya que es donde se pueden reducir los recuentos microbianos provenientes de campo y evitar una contaminación cruzada al interior de la planta de procesamiento. Un lavado óptimo

debe constar de tres etapas: un primer lavado con agua potable para eliminar insectos y suciedad; un segundo lavado con un agente sanitizante, y un tercer lavado con agua potable para aclarar y eliminar los residuos del sanitizante. El éxito del lavado depende de diferentes factores tales como: tipos de microorganismos, características de la superficie del producto, formación de biofilms por los microorganismos, tipo de lavado, tiempo de exposición, dosis, pH, temperatura, etc. (Ragaert

et al., 2007; Allende *et al.*, 2008). La eficacia de los métodos de desinfección se refleja en la reducción microbiológica inicial, y aún más importante, en el mantenimiento de esta baja carga durante el almacenamiento (Ragaert *et al.*, 2007).

En la Figura 1 se muestra un esquema de una línea de procesamiento IV gama de berros donde se estudiaron el uso de hipoclorito de sodio en comparación con otros sanitizantes.

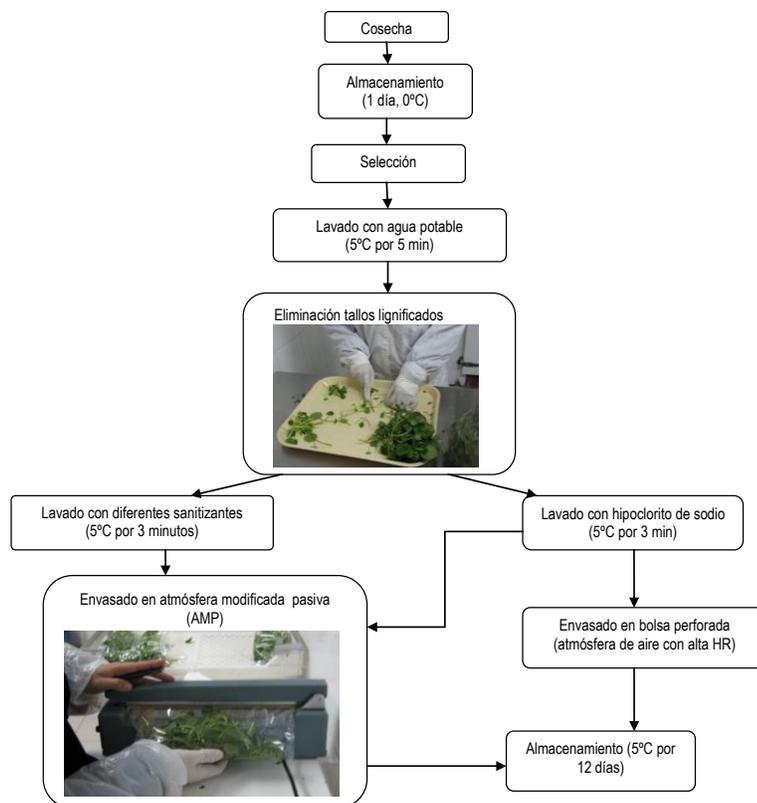


Figura 1. Procesamiento y aplicación de diferentes sanitizantes en berro de IV gama (Villena *et al.*, 2010).

El lavado cumple otras funciones junto con sanitizar, si se emplea agua fría a 0 a 5°C enfría el producto antes de su envasado; y también elimina los exudados celulares que se liberan tras el corte del tejido vegetal y que favorecen la pérdida de calidad sensorial y la proliferación de microorganismos (Allende *et al.*, 2009; Gil *et al.*, 2009).

Las poblaciones microbianas asociadas a las hortalizas de IV gama pueden causar brotes de enfermedades y ponen en riesgo la vida de los consumidores. En el Cuadro 1 se presentan algunos casos de enfermedades transmitidas por el consumo de frutas y hortalizas frescas a causa de bacterias patógenas.

Por tanto, existe la necesidad de buscar alternativas tecnológicas para la etapa de lavado mediante el uso de sanitizantes que reduzcan el riesgo de transmitir una enfermedad causada por bacterias patógenas tras la ingesta de hortalizas IV gama (Brackett, 1987, Escalona *et*

al., 2014). Es por este motivo, que hoy en día la mayoría de las investigaciones se centran en la búsqueda de alternativas de sanitización que mantengan la calidad, seguridad del producto y sean convenientes para la industria (Gil *et al.*, 2009, Escalona *et al.*, 2014).

Cuadro 1. Brotes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) asociados al consumo de frutas y hortalizas.

Año	Patógeno	Producto	Lugar	Casos (muertos)
2005	Salmonella	Geminado de poroto Mungo	Canadá	592
2005	Salmonella	Tomate	Estados Unidos	459
2006	E. coli O157:H7	Tomate	Estados Unidos	183
2006	Samonella	Cantaloupe	Australia	115
2007	Samonella	Espinaca baby	Europa	354
2007	Shigella sonnei	Zanahorias baby	Australia, Europa	230
2008	Salmonella	Pimientos	Estados Unidos, Canadá	1442 (2)
2008	Salmonella	Albahaca	Reino Unido	32
2010	Listeria monocytogenes	Apio IV gama	Estados Unidos	10 (5)
2010	E. coli O145	Lechuga	Estados Unidos	26
2011	E. coli O104:H4	Germinados	Europa	3911 (47)
2011	E. coli O157:H7	Frutillas	Estados Unidos	15 (1)

Adaptado de Olaimat y Holley (2012).

Sanitización

Tomando en cuenta la naturaleza química de las hortalizas, ricas en agua y nutrientes y con un pH cercano a 7, unido al hecho que desde el campo vienen con una carga microbiana inicial

deben ser lavadas para reducir la proliferación de microorganismos durante el transporte y comercialización de estos productos.

A continuación se hace una descripción de los sanitizantes químicos más utilizados por la industria:

Hipoclorito de sodio o calcio: Durante décadas el sanitizante más empleado en la industria de IV gama ha sido hipoclorito de sodio o de calcio en dosis de 50 a 200 mg L⁻¹. Este sanitizante es de fácil aplicación y manipulación, su uso es masivo y tradicional, tanto a nivel doméstico como industrial y tiene un costo bajo (Artés *et al.*, 2009; López-Gálvez *et al.*, 2010). El hipoclorito de sodio es un oxidante potente cuya eficacia depende del pH, temperatura, concentración de materia orgánica presente en el agua de lavado, el tipo y tiempo de lavado (inmersión, aspersión, etc.), características de la hortaliza, exposición al aire, la luz y a metales y carga microbiana inicial de la materia prima (Gil *et al.*, 2009). Sin embargo, su eficacia ha sido cuestionada por considerar su uso poco amistoso con el medio ambiente y una posible fuente de generación de compuestos halogenados, como cloraminas y trihalometanos nocivos para la salud humana (Ölmez y Kretschmar, 2009).

Dióxido de cloro (ClO₂): Es eficaz contra una amplia gama de microorganismos porque actúa como un biocida oxidante y no como una toxina metálica. Su mecanismo de acción consiste en atacar la membrana celular de los microorganismos patógenos. El ClO₂ reacciona directamente con los aminoácidos y el ARN en la célula, sin embargo aún no está claro el mecanismo de acción (Artés *et al.*, 2009). Aparentemente el dióxido de cloro destruye a los microorganismos por la interrupción del transporte de nutrientes a través de su membrana celular y no por la interrupción de los procesos metabólicos. De los biocidas oxidantes, el dióxido de cloro es el más selectivo y reacciona con compuestos de sulfuro reducidos, y aminas secundarias y terciarias, y otros reactivos orgánicos reducidos. Esto permite emplear dosis menores de dióxido de cloro en

comparación al hipoclorito y/o reducir los tiempos de lavado por lo que no afecta las características organolépticas del producto al no dejar un sabor residual a cloro. Por otra parte, se ha establecido que ni el pH de la solución, ni la materia orgánica del producto, afectan su capacidad bactericida, como sí sucede con otros sanitizantes. Paralelamente algunos autores sostienen que las sustancias tóxicas que produce este sanitizante (trihalometanos) son mínimas en comparación al NaOCl (Gómez-López *et al.*, 2009).

El dióxido de cloro en una concentración de 10 mg L⁻¹ fue efectivo para reducir las poblaciones microbianas entre 0,7 a 1,9 unidades logarítmicas en berros recién lavados alcanzando valores similares al uso de NaOCl en 100 mg L⁻¹, aunque afectó la calidad sensorial de este producto (Lagos, 2010). En un estudio realizado por Ospina (2012) en berros cortados y lavados con ClO₂ en dosis de 3 y 5 mg L⁻¹ se obtuvieron reducciones de 0,5 a 1 log y presentaron tasas de respiración a 5°C de 50 a 75 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ mayores que aquellos lavados con NaOCl 100 mg L⁻¹ con 10 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. En otro estudio en germinados de alfalfa lavados con ClO₂ (10 mg L⁻¹) y almacenados a 5°C se obtuvo una tasa respiración entre 30 y 40 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Crisostomo, 2012) similar a la obtenida con otros tratamientos sanitizantes. En este mismo trabajo el dióxido de cloro obtuvo resultados similares en recuentos de enterobacterias, mesófilos y psicrófilos a NaOCl (100 mg L⁻¹), clorito sódico acidificado (500 mg L⁻¹) y ácido peroxiacético (90 mg L⁻¹).

Ácido peroxiacético. Es también un agente oxidante que daña el ADN o a los lípidos presentes en las células microbianas. Este ácido produce la desnaturalización de proteínas y enzimas, y el aumento en la permeabilidad de la pared celular mediante la oxidación de sulfhidrilos y disulfuros. Se ha descrito como tolerante a distintos factores como bajas

temperatura, actúa en un amplio rango de pH (desde 1 a 8), dureza de las aguas y contaminantes del suelo (Artés *et al.*, 2009). Además ha demostrado ser muy efectivo contra *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes* (Beuchat *et al.*, 2004).

El ácido peroxiacético es soluble en agua en todas proporciones y en solventes orgánicos polares, y no produce productos tóxicos o mutagénicos, al reaccionar con materia orgánica. Las concentraciones utilizadas varían de los 25 a 300 mg L⁻¹ con un tiempo de 10 a 1 minuto, respectivamente (Kitis, 2004).

Villena *et al.* (2010) estudió la reducción de bacterias mesófilas inmediatamente después de un lavado con diferentes soluciones sanitizantes y encontró que el ácido peroxiacético en dosis de 90 mg L⁻¹ redujo en 0,8 log comparado con dióxido de cloro (10 mg L⁻¹) que disminuyó en 1,8 log, clorito sódico acidificado (500 mg L⁻¹) en 1,5 log y NaOCl (100 mg L⁻¹) en 1,3 log.

Clorito de sodio acidificado (CSA): Es otro sanitizante que posee poder antimicrobiano contra los microorganismos patógenos responsables de la pérdida de calidad sensorial (González *et al.*, 2004). Es un poderoso antimicrobiano que se produce por un descenso del pH (2,5 a 3,2) de una solución de clorito de sodio con cualquier ácido. Se comercializa con el nombre comercial de Sanova, y se recomiendan concentraciones para lavado de hortalizas de 250 a 500 mg L⁻¹ a un pH entre 2 y 3 por un tiempo de inmersión de 1 a 5 min (Artés *et al.*, 2009).

Kim *et al.* (2007), encontraron que al lavar hojas de rúcula con 100 mg L⁻¹ de clorito de sodio en solución acidificada se reducen significativamente los recuentos iniciales de bacterias aerobias y coliformes en especial de *E. coli*.

En un estudio realizado por Lagos (2010) en hojas de berros se comparó la efectividad del hipoclorito sódico (100 mg L⁻¹) con CSA (250 y 500 mg L⁻¹). Empleando ambos sanitizantes se obtuvieron recuentos de aerobios mesófilos ligeramente superiores con CSA siendo de 2,6 y 6 log UFC g⁻¹, el primer y décimo días de conservación a 5°C. En otro estudio, el CSA en 500 mg L⁻¹ favoreció una reducción de la tasa respiratoria de berros y redujo los recuento de mesófilos, enterobacterias y psicrófilos entre 1 a 1,6 unidades logarítmicas comparado con otros sanitizantes químicos incluido el hipoclorito (Villena *et al.*, 2010).

En germinados de soya se comparó el efecto de un lavado por inmersión en hipoclorito de sodio con 100 mg L⁻¹, dióxido de cloro (5 y 10 mg L⁻¹) y clorito de sodio acidificado (250 y 500 mg L⁻¹). Los germinados se almacenaron inicialmente bajo atmósferas ricas en O₂ (90%). Al cabo del almacenamiento a 5°C por 11 días, el clorito sódico en 500 mg L⁻¹ presentó la mayor reducción microbiana inicial (entre 0,8 y 1,1 log UFC·g⁻¹). Sensorialmente, el panel evaluador no encontró diferencias entre los diferentes tratamientos (Maureira, 2013).

En germinados de alfalfa lavados con clorito sódico acidificado en 250 y 500 mg L⁻¹ y envasados en atmósfera modificada se presentaron las mayores reducción alcanzando recuentos entre 4,6 y 5,7 log UFC g⁻¹ para aerobios mesófilos, enterobacterias y psicrófilos (Maureira, 2012).

Ácidos orgánicos: Su acción se debe a la reducción del pH en el medio, lo que varía según el tipo de ácido orgánico. Los más usados son el ácido láctico, cítrico y acético (Karapinar y Gonul, 1992).

Con respecto a la actividad metabólica de las hortalizas tras ser tratados con estos ácidos, Ospina (2012) registró la respiración de berros

recién cortados y lavados con ácido cítrico en concentraciones de 5 y 10 g L⁻¹. Esta autora encontró que los berros registraron tasas de respiración de 50 a 75 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Mientras que berros tratados con ácido láctico en dosis de 10 y 20 mg L⁻¹ registraron una respiración de 2 a 15 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ en comparación a los tratados con NaOCl (100 mg L⁻¹) que obtuvieron de 2 a 10 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Respecto al crecimiento de microorganismos, estos ácidos producen un descenso significativo en determinadas poblaciones de bacterias (*Yersinia enterocolitica*, *Shigella sonnei*, *Escherichia coli*, coliformes, bacterias aeróbicas, mesófilas), aunque es importante señalar que su actividad antimicrobiana cambia dependiendo de la dosis y el tipo de aplicación. Los ácidos láctico y cítrico han mostrado ser eficaces contra psicrófilos y mesófilos en productos de IV gama (Martínez-Sánchez *et al.*, 2006).

Francis y O'Beirne (2002), hallaron que una inmersión por 5 min en una solución de ácido cítrico al 10 g L⁻¹ redujo la población de mesófilos en lechuga en 1,5 log UFC g⁻¹. Por su parte, Akbas y Ölmez (2007a) encontraron que en lechuga Iceberg picada y sumergida en 5 g L⁻¹ de ácido cítrico o 5 g L⁻¹ de ácido láctico, por 2 minutos, se redujo la población microbiana natural en igual medida que 100 mg L⁻¹ de NaOCl.

Según Gómez y Artés (2004), la inmersión de apio picado en 90 g L⁻¹ de ácido ascórbico y 20 g L⁻¹ de ácido cítrico, fue tan efectiva como 100 mg L⁻¹ de NaOCl, reduciendo los conteos microbiológicos y mejorando la aceptabilidad del producto.

Como desventajas de los ácidos orgánicos, puede mencionarse que el tiempo de exposición requerido para una reducción microbiana significativa varía entre 5 y 15 min; estos tiempos podrían ser bastante prolongados y

poco rentables para la industria. Por otra parte, debido al sabor característico de algunos ácidos, pueden tener un efecto negativo sobre la calidad sensorial del producto final. A su vez, el uso de ácidos orgánicos como sanitizantes podría afectar negativamente el medio ambiente, generando aguas residuales, con altos valores de demanda química y biológica de oxígeno (Ölmez y Kretzschmar, 2009).

Respecto a las características sensoriales del producto, Soto (2011) demostró en germinados de alfalfa que el empleo de ácido cítrico en concentraciones de 5 y 10 g L⁻¹ en comparación con NaOCl (100 mg L⁻¹), no alteró su color ni sabor característicos tras un periodo de conservación de 10 días a 5°C.

Peróxido de hidrógeno (H₂O₂): Es un oxidante con efecto bactericida de gran alcance, incluyendo la destrucción de esporas; en comparación con NaOCl puede tener un costo mayor, pero su eficiencia justifica el costo (Khadre y Yousef, 2001).

La gran ventaja de la utilización de H₂O₂ como agente desinfectante es que no produce residuos, ya que se descompone en agua y oxígeno por la acción de la enzima catalasa que se encuentra presente de forma natural en los productos vegetales. Sin embargo, para reducir la carga microbiana requiere tiempos de contacto largos con el producto y posteriormente debe ser removido mediante lavados (Ölmez y Kretzschmar, 2009). Los tratamientos al 2,5 y 5,0% con un tiempo de exposición de 5 min redujeron los recuentos de *Salmonella spp.* en 3 unidades log en melones enteros almacenados a 5 °C (Ukuku *et al.*, 2004). Los lavados con H₂O₂ prolongaron la vida útil y redujeron la carga de microorganismos nativos y la poblaciones de patógenos, como *E. coli* en pepino, zapallo italiano, pimientos y melones de IV gama (Artés *et al.*, 2009). Beuchat y Ryu (1997), reportaron una reducción en la población de *Salmonella* de 2

log UFC g⁻¹ en germinados de alfalfa, luego de ser tratados con 2 g L⁻¹ de H₂O₂ por inmersión durante 2 min.

El H₂O₂ ha sido empleado también en ensayos con pimientos verdes, lechuga, brócoli IV gama y tomates enteros, mostrando reducciones de aproximadamente 5 log UFC g⁻¹, en poblaciones de *Shigella* y *E. coli*, mediante tratamientos de inmersión.

Según Opina (2012) en berros IV gama lavados con H₂O₂ en concentraciones de 83,5 y 167 mg L⁻¹ se obtuvieron valores de respiración de 2 a 15 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Respecto del efecto de este sanitizante sobre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, Soto (2011) encontró una reducción leve de estos valores al emplear H₂O₂ en concentraciones de 50 mg L⁻¹, ácido láctico en 17 mg L⁻¹ y ácido cítrico en 5 y 10 g L⁻¹.

Ozono: Este gas es altamente inestable al ser una molécula triple atómica de oxígeno (O₃) que se forma por la unión de un átomo de oxígeno (O) y una molécula de oxígeno diatómica (O₂) (Artés *et al.*, 2009). Este gas puede ser generado comercialmente haciendo pasar O₂ a través de una descarga eléctrica. El O₃ actúa como un fuerte agente oxidante siendo muy efectivo para destruir microorganismos (Guzel-Seydim *et al.*, 2004). El uso de este gas está aprobado por la FDA como sanitizante durante el procesamiento de alimentos (Ölmez y Kretzschmar, 2009). Se utiliza en la higienización de superficies, saneamiento de equipos y tratamiento de aguas residuales para su reutilización (Guzel-Seydim *et al.*, 2004). Una ventaja significativa del ozono sobre el hipoclorito de sodio es que no causa la formación de trihalometanos cancerígenos (Fawell, 2000), no altera considerablemente las propiedades sensoriales del producto (Akbas y Ölmez, 2007b) y no deja residuos químicos. Por tanto, este gas posee un bajo impacto ambiental después del tratamiento y la eliminación de los

desechos de lavado (Ölmez y Kretzschmar, 2009). Sin embargo, las personas deben tener cuidado con el contacto al O₃ porque afecta las vías respiratorias, provoca mareos; e irritación de los ojos y vías respiratorias (Aguayo, 2003).

El O₃ se suele emplear como gas en almacenaje mediante ciclos exposición continua o través del lavado con agua ozonizada (Aguayo *et al.*, 2006). El efecto de un flujo aire enriquecido con 4 ± 0,5 mg L⁻¹ de O₃ aplicado cíclicamente por 30 min cada 3 h sobre tomates enteros y cortados en rodajas redujo las pérdidas en fructosa, glucosa, ácidos ascórbico y fumárico. Este tratamiento redujo en 1,1 a 1,2 log UFC g⁻¹ los recuentos de bacterias y en 0,5 log UFC g⁻¹ el de hongos (Aguayo *et al.*, 2006).

El uso de agua ozonizada resulta una interesante alternativa debido a que es eficaz a bajas concentraciones y por cortos periodos de exposición y al no ser considerado como un agente tóxico para su uso en alimentos (Graham, 1997). Se debe destacar que la eficacia del agua ozonizada tiene estrecha relación con la solubilidad del O₃, la cual aumenta cuando la temperatura del agua disminuye. El flujo de O₃ y tiempo de contacto afectan la transferencia del gas en el agua junto con una mezcla y turbulencia correctas que aumenten el contacto de las burbujas con la solución y por tanto su solubilidad. La pureza del agua y su pH afectan la solubilidad del O₃ debido a que en presencia de materia orgánica se consume O₃ y en pH altos se desestabiliza la molécula disminuyendo su solubilidad (Kim *et al.*, 1999). En solución acuosa se descompone generando radicales peróxido de hidrógeno, superóxido e hidróxilo que pueden tomar parte en las reacciones secundarias de sanitización.

El efecto bactericida del O₃ ha sido demostrado ampliamente en bacterias Gram+ y Gram-, en esporas y células vegetativas (Foegeding y Busta, 1991), debido a la progresiva oxidación de los componentes vitales de la célula, reduciendo

el crecimiento de microorganismos y extendiendo la vida útil de frutas y hortalizas. Selma *et al.* (2008) encontró que en cebolla, lechuga Iceberg, zanahoria y espinaca tratadas agua de lavado por 20 min, el recuento de bacterias aerobias mesófilas fue menor a 1 log UFC mL⁻¹ para todas las muestras excepto en la cebolla que obtuvo 7,57 log UFC mL⁻¹. De acuerdo a estudios de la eficacia antimicrobiana en lechugas, con la aplicación de concentraciones de 1,5 a 3,0 mg L⁻¹ de agua ozonizada se obtuvieron reducciones de 1,5 y 2,5 log en la flora microbiológica similares a las de hipoclorito de sodio en 100 mg L⁻¹ (Ölmez y Kretschmar, 2009). Además, se ha mencionado que la eficacia del tratamiento con ozono no aumenta por encima de 3 mgL⁻¹ (Koseki y Isobe, 2006).

En un estudio realizado por Santibañez (2015) en acelgas baby se empleó un lavado con 1,25 mg O₃ L⁻¹ lo que provocó un incremento en la tasa respiratoria respecto a un tratamiento de NaOCl (100 mg L⁻¹) pero fue más efectivo en reducir los recuentos microbiológicos, manteniendo las propiedades sensoriales y nutritivas de las acelgas durante 12 días de almacenaje a 5°C. Sin embargo, en este mismo estudio con un lavado con 2,52 mg L⁻¹ de agua ozonizada se redujo la vida útil de las acelgas al aumentar aún más la tasa respiratoria y ocasionar alteraciones en la apariencia y turgencia de las hojas.

En la industria de IV gama se emplean bajas concentraciones de ozono disuelto en el agua ya que concentraciones moderadas de 1 a 3 mg L⁻¹ permiten mantener niveles de ozono bajos en el entorno de trabajo, lo que resulta fundamental para la seguridad de los manipuladores. Además, alcanzar concentraciones de ozono disueltas altas en el agua es costoso y complejo. Por otra parte, el potencial corrosivo de este gas sobre el acero inoxidable aumenta por encima de 1 mg L⁻¹ (Pascual *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

Si bien existe un amplio abanico de sanitizantes químicos alternativos al hipoclorito, en la mayoría de los casos los recuentos son similares y rara vez consiguen una reducción superior a las 2 unidades logarítmicas. El uso de sanitizantes en la etapa de lavado en un procesamiento de IV gama debe buscar eliminar aquellas bacterias patógenas y evitar la contaminación cruzada al interior de la industria. Sin embargo, no se puede esperar que esta etapa reduzca los recuentos a valores seguros sí durante el cultivo no se realizaron buenas prácticas agrícolas y no se cuidó la inocuidad del cultivo. Esta recomendación cobra mayor importancia en las hortalizas que las frutas porque en general se cultivan a ras de suelo y presentan características químicas y nutritivas que favorecen el desarrollo de bacterias incluidas las patógenas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CONICYT (Chile) por la Beca Doctoral (N°21120299) a la Sra. Alejandra Machuca y a la Red Hortifresco (www.hortifresco.cl) por el apoyo técnico brindado a esta publicación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo E; Escalona V.H. y Artés F. 2006. Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical, sensorial and microbial quality of whole and sliced tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 39: 169-177.
- Aguayo E. 2003. Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en fresco [Tesis doctoral]. Cartagena España: Universidad Politécnica de Cartagena. 399p.

- Akbas M.Y. & Ölmez H. 2007a. Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on iceberg lettuce by dip wash treatments with organic acids. *Applied Microbiology*, 44: 619-624.
- Akbas M.Y. y Ölmez H. 2007b. Effectiveness of organic acids, ozonated water and chlorine dippings on microbial reduction and storage quality of fresh-cut iceberg lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87: 2609-2616.
- Allende A.J; Evoy Mc.; Tao Y. y Luo Y. 2009. Antimicrobial effect of acidified sodium chlorite, sodium chlorite, sodium hypochlorite, and citric acid on *Escherichia coli* O157:H7 and natural microflora of fresh-cut cilantro. *Food Control*, 20: 230-234.
- Allende A.; Selma M.V.; López-Gálvez F.; Villaescusa R. y Gil M.I. 2008. Role of comercial sanitizers and washing systems on epiphytic microorganisms and sensory quality of fresh-cut escarole and lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 49: 155-163.
- Artés F.; Gómez P.; Aguayo E.; Escalona V.H. & Artés- Hernández F. 2009. Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology*, 51: 287-296.
- Beuchat L.R. & Ryu J.H. 1997. Produce handling and processing practices. *Emerging Infectious Diseases*, 3(4): 459-465.
- Beuchat L.R.; Adler B.B. & Lang M.M. 2004. Efficacy of chlorine and a peroxyacetic acid sanitizer in killing *Listeria monocytogenes* on Iceberg and Romaine lettuce using simulated commercial processing conditions. *Journal of Food Protection*, 67: 1238-1242.
- Brackett R.E. 1987. Microbiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*, 10: 195-206.
- Carlin F.; Nguyen-the P.; Chambroy Y. y Reich M. 1990. Effect of controlled atmosphere on microbial spoilage, electrolyte leakage and sugar contents of fresh ready to use grated carrots. *International Journal of Food Science and Technology*, 25: 110-119.
- Crisostomo M.J. 2012. Características funcionales y microbiológicas en brotes de alfalfa (*Medicago sativa* L.) tratados con diferentes sanitizantes [Memoria de título]. Santiago: Universidad de Chile. 57 p.
- Escalona V.H.; Hinojosa A.; Char C.; Bustamante A- y Sáenz C. 2014. Use of alternative sanitizers on minimally processed watercress harvested in two different seasons. *Journal of Food Processing and Preservation* ISSN: 1745-4549.
- Escalona V.H. y Luchsinger L. 2008. Una revisión sobre frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco. *Aconex*, 99: 23-28.
- Fawell J. 2000. Risk assessment case study chloroform and related substances. *Food and Chemical Toxicology*, 38: S91-S95.
- Foegeding P.M. & Busta F.F. 1991. Chemical food preservatives. En: Block, S.S. (Ed.). *Disinfection, Sterilization and Preservation*. Lea and Febiger. Philadelphia, 802-832.
- Francis G.A. & O'Beirne D. 2002. Effects of vegetable type and antimicrobial dipping on survival and growth of *Listeria innocua* and *E. coli*. *International Journal of Food Science and Technology*, 37: 711-718.
- Gil M.I.; Selma M.V.; López-Gálvez F. & Allende A. 2009. Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: Problems and solutions. *International Journal of Food Microbiology*, 134: 37-45.

- Gómez P. & Artés F. 2004. Ascorbic and citric acids to preserve quality of minimally processed green celery. En: Proceedings of IV Postharvest Iberian Symposium, Oeiras, Portugal. Pp. 369–373.
- Gómez-López V.M.; Rajakovic A.; Ragaert P.; Smigic N. & Devlieghere F. 2009. Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20:17-26.
- González R.J.; Luo Y.; Ruiz-Cruz S. & McEvoy J.M. 2004. The efficacy of sanitizers on pathogen reduction from fresh-cut produce under simulated commercial processing conditions. *Journal of Food Protection*, 67: 2375-2380.
- Graham D.M. 1997. Use of ozone for food processing. *Food Technology*, 51: 72-75.
- Guzel-Seydim Z.B.; Greene A.K. & Seydim A.C. 2004. Use of ozone in the food industry. *LWT-Food Science and Technology*, 37: 453-460.
- Hinojosa A, Gatica I.; Bustamante A.; Cárdenas D. & Escalona V.H. 2014. Effect of the combined treatment of UV-C light and modified atmosphere packaging on the inactivation of *Escherichia coli* inoculated watercress., *Journal of Food Processing and Preservation*, ISSN: 1745-4549.
- Karapinar M. & Gonul S.A. 1992. Effects of sodium bicarbonate, vinegar, acetic and citric acids on growth and survival of *Yersinia enterocolitica*. *International Journal of Food Microbiology*, 16: 343–347.
- Khadre M.A. & Yousef A.E. 2001. Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: a comparative study. *International Journal of Food Microbiology*, 71: 131–138.
- Kim J.; Luo Y. & Tao Y. 2007. Effect of the sequential treatment of 1-methylcyclopropene and acidified sodium chlorite on microbial growth and quality of fresh cut cilantro. *Postharvest Biology and Technology*, 46: 144–149.
- Kim J.G.; Yousef A.E. & Chism G.W. 1999. Use of ozone to inactivate microorganism on lettuce. *Journal of Food Safety*, 19: 17-34.
- Kitis M. 2004. Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review. *Environment International*, 30: 47-55.
- Koseki S, Isobe S. 2006 Effect of ozonated water treatment on microbial control and on browning of iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Protection*, 69(1): 154-60.
- Lagos M.C. 2010. Aplicación de sanitizantes en hojas de rúcula (*Eruca sativa*) conservadas en atmósfera modificada [Memoria de título]. Santiago: Universidad de Chile. 54p.
- López-Gálvez F.; Allende A.; Truchado P.; Martínez-Sánchez A.; Tudela J.A.; Selma M.V. & Gil M.I. 2010. Suitability of aqueous chlorine dioxide versus sodium hypochlorite as an effective sanitizer for preserving quality of fresh-cut lettuce while avoiding by-product formation. *Postharvest Biology and Technology*, 55: 53 – 60.
- Martínez-Sánchez A.; Allende A.; Bennett R.; Ferreres F. & Gil M.I. 2006. Microbial, nutritional and sensory quality of rocket leaves as affected by different sanitizers. *Postharvest Biology and Technology*, 42: 86–97.
- Maureira Y. 2012. Aplicación de sanitizantes en brotes de alfalfa (*Medicago sativa* L.) conservados bajo atmósfera modificada [Memoria de título]. Santiago: Universidad de Chile. 62p.

- Maureira E. 2013. Efecto del uso de sanitizantes en la calidad de germinados de soya (*Glycine max*) conservados bajo atmósfera modificada y refrigeración [Memoria de título]. Santiago: Universidad de Chile. 79p.
- MINSAL. 2013. Propuesta para la modificación de los parámetros microbiológicos de vegetales pre-elaborados. Art 173 RSA. Disponible en http://www.minsal.gob.cl/portal/url/page/minsal/cl/g_proteccion/g_alimentos/consultasalimentos/g_consultas_publicadas/vegetales.html Leído el 11 junio 2015.
- Nguyen-the C. & Carlin F. 1994. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34: 371-401.
- Olaimat A.N. & Holley RA. 2012. Factors influencing the microbial safety of fresh produce: A review. *Food Microbiology*, 32: 1-19.
- Ölmez H. & Kretzschmar U. 2009. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *LWT-Food Science and Technology* 42: 686-693.
- Ospina M. 2012. Efecto de sanitizantes sobre la calidad microbiológica y calidad funcional de berros (*Nasturtium officinale*) mínimamente procesados [Tesis de magister]. Santiago: Universidad de Chile. 145p.
- Ragaert P.; Devlieghere F. & Debevere J. 2007. Role of microbiological and physiological mechanism during storage of minimally processed vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 44: 185-194.
- Pascual A.; Llorca I. & Canut A. 2007. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends in Food Science and Technology* 18: 29-35.
- Santibáñez O. 2015. Aplicación de ozono en el lavado de acelgas "baby" (*Beta vulgaris* L. var. Cicla) listas para su consumo. [Memoria de título]. Santiago: Universidad de Chile. 54p.
- Selma M.V.; Allende A.; López-Gálvez F.; Conesa M.A. & Gil M.I. 2008. Disinfection potential of ozone, ultraviolet-C and their combination in wash water for the fresh-cut vegetable industry. *Food Microbiology* 25(6): 809-814.
- Silveira A.C.; Araneda C.; Hinojosa A. & Escalona V.H. 2014. Effect of non-conventional modified atmosphere packaging on fresh cut watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.) quality. *Postharvest Biology and Technology* 92: 114-120.
- Soto D. 2011. Efecto de distintos sanitizantes en las características funcionales y microbiológicas en brotes de alfalfa bajo condiciones de atmósfera modificada. [Memoria de título]. Santiago: Universidad de Chile. 68p.
- Ukuku D.O.; Pilizota V. & Sapers G.M. 2004. Effect of hot water and hydrogen peroxide treatment on survival of Salmonella and microbial quality of whole and fresh-cut "cantaloupe". *Journal of Food Protection* 67: 432-437.
- Villena P.; Luchsinger L.; Obando J., Hinojosa A. & Escalona V.H. 2010. Efecto de diferentes sanitizantes en la calidad microbiológica de berros (*Nasturtium officinale* R. Br.) envasados en atmósfera modificada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11 (2): 214 – 220.