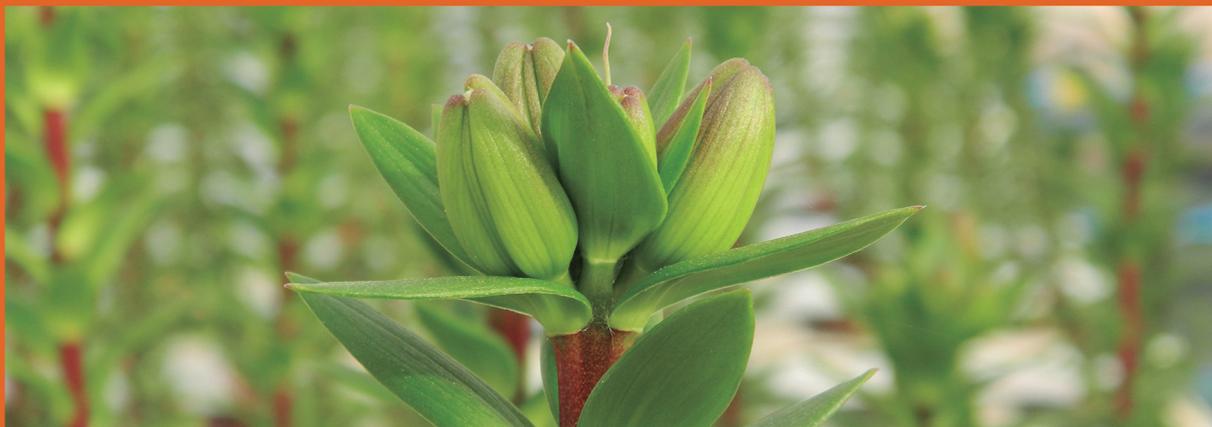


PRODUCCIÓN DE LILIUM BAJO INVERNADERO EN UN SISTEMA AEROPÓNICO RECIRCULANTE CON AGUA RESIDUAL URBANA TRATADA EN EL DESIERTO DE ATACAMA



PROVINCIA DEL TAMARUGAL, REGIÓN DE TARAPACÁ

Apoiado por:



Jorge Olave - Betzabe Torres - Wladimir Chávez - Oscar González

2016





PRODUCCIÓN DE LILIUM BAJO INVERNADERO EN UN SISTEMA AEROPÓNICO RECIRCULANTE CON AGUA RESIDUAL URBANA TRATADA EN EL DESIERTO DE ATACAMA

Provincia de Tamarugal, Región de Tarapacá

Jorge Olave - Betzabe Torres - Wladimir Chávez - Oscar González

2016



Todos los derechos reservados

© UNAP – Universidad Arturo Prat - 2016

Esta publicación no puede ser reproducida, almacenada o transmitida de forma total o parcial, a través de ningún medio, ya sea del tipo escrito o electrónico, mecánico, por fotocopia, registro u otro medio sin el permiso previo escrito por CIDERH.

Diseño y diagramación:

Impresión: EMELNOR impresoras S.A.

I.S.B.N

Registro de Propiedad Intelectual N° 978-956-302-095-3

La siguiente publicación reúne y sistematiza un conjunto de información técnica generada por el Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos – CIDERH- en materia de Reuso de Agua Residual Urbana Tratada a partir de los resultados obtenidos a través de la ejecución del proyecto. “Reuso de Agua Servida para la Producción de Flores de Corte en un Sistema Aeropónico Recirculante” código PYT 2015-0171, Co-financiado por la Fundación para la Innovación Agraria FIA.

CIDERH

Calle Vivar 493, 3er piso

Edificio Don Alfredo

Iquique, Chile

Fono: (56)(57) 2 530800

Email: contacto@ciderh.cl

www.ciderh.cl



INDICE GENERAL

I.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE FLORES DE CORTE CON AGUAS RESIDUALES URBANAS TRATADAS	1
II.	PRODUCCIÓN DE AGUA PARA RIEGO	5
2.	Fases Producción Agua de Riego	8
2.1.	Sistema de desbaste y decantación	8
2.2.	Abatimiento de Boro y Sales	9
2.2.1.	Abatimiento de Boro	9
2.2.2.	Abatimiento de sales	13
2.3.	Ajuste del agua de riego	14
III.	SISTEMA PRODUCTIVO	17
3.	Diseño Sistema Operativo	18
3.1.	Diseño sistema de riego	18
3.2.	Implementación Unidades Aeropónicas	20
3.3.	Sistemas de Control del Agua de Riego	22
3.4.	Sistema de Energización	23
IV.	MANEJO DEL CLIMA	27
4.	Impacto de las variables climáticas en la producción de Lilium	27
4.1.	Temperatura	27
4.2.	Humedad Ambiental	31
4.3.	Luminosidad	34
V.	PRODUCCIÓN DE FLORES DE CORTE	41
5.1.	FASE 1: Repique o siembra de bulbos de Lilium	42
5.2.	FASE 2: Crecimiento Vegetativo	43
5.3.	FASE 3: Floración	44
5.4.	FASE 4: Cosecha	46
5.5.	FASE 5: Post Cosecha	47
5.6.	FASE 6: Comercialización	49
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51



INDICE FIGURAS

Figura 1.- Plano de planta del proyecto de producción de flores de corte en un sistema aeropónico recirculante con agua residual urbana tratada.	1
Figura 2. Variación interanual del pH. Planta Pozo Almonte	5
Figura 3. Concentración de sales del Agua Residual Urbana Tratada de la Planta Pozo Almonte	6
Figura 4. Variación interanual de Boro. Planta	7
Figura 5. Diseño de sistema de pre-tratamiento del agua residual urbana tratada.	8
Figura 6. Decantador en sistema T.	8
Figura 7. Estanque receptor del agua residual urbana tratada proveniente de la planta de tratamiento que ha pasado por el sistema de desbaste y decantación implementado por el proyecto. Pozo Almonte	9
Figura 8. Esquema de los sistemas de filtración implementados para la remoción de boro del agua residual urbana tratada. Laboratorio CIDERH	10
Figura 9. Resultados de las determinaciones analíticas para establecer la concentración de boro en agua, realizados durante 50 días de operación, para el influente (ARUT), y para el efluente proveniente de las columnas de filtración C1, C2, C3.	11
Figura 10. Filtro mixto para remoción de Boro.	11
Figura 11. Representación gráfica del secador solar. Pozo Almonte	12
Figura 12. Destilador solar pasivo de 2 m ² . Pozo Almonte	13
Figura 13. Agua residual urbana tratada (ARUT) y agua destilada	13
Figura 14. Concentración de iones, boro y dureza obtenida en el agua destilada.	13
Figura 15. Diagrama Proceso Productivo Liliium en Sistema Aeropónico con Aguas Residuales Urbanas Tratadas.	17
Figura 16. Invernadero operativo con paneles de control automático de riego, sistemas de nebulización para controlar la temperatura y humedad ambiente y unidades aeropónicas de cultivo operativas.	17
Figura 17. Diseño del sistema de riego. Pozo Almonte	18
Figura 18. Vista interior de la unidad aeropónica con sistema	19
Figura 19. Vista exterior estructura de una unidad aeropónica construida en madera. Alto Hospicio	20
Figura 20. Unidad aeropónica proyecto construida en metal con estructura de sombreamiento. Pozo Almonte	20
Figura 21. Sección de una unidad aeropónica con	21
Figura 22. Panel de Minicontroladores	22



Figura 23. Medidor de caudal en línea del volumen de agua.	23
Figura 24. Sistema de generación de energía para el riego de las unidades aeropónicas y del sistema de nebulización del invernadero. Pozo Almonte.	23
Figura 25. Evolución de la temperatura promedio durante ciclo diario. Estación climática externa a invernadero. Pozo Almonte.	28
Figura 26. Cubierta de las camas aeropónicas con manta térmica para el control de bajas temperaturas en el ciclo otoño-invierno.	29
Figura 27. Variación promedio de la temperatura diaria dentro y fuera del invernadero durante Julio de 2016. Pozo Almonte	30
Figura 28. Variación mensual del temperatura interior y exterior del invernadero durante Julio 2016. Pozo Almonte	31
Figura 29. Evolución de la humedad ambiental promedio durante ciclo diario. Estación climática externa a invernadero. Pozo Almonte.	32
Figura 30. Nebulización para el control de temperaturas altas en el invernadero destinado a la producción de Lilium. Pozo Almonte.	32
Figura 31. Variación mensual de la humedad ambiental interior y exterior del invernadero durante Julio 2016. Pozo Almonte.	33
Figura 32. Producción de Lilium bajo sombreado en módulo aeropónico en la...	34
Figura 33. Manejo de la intensidad lumínica de las unidades aeropónicas mediante malla raschell. Pozo Almonte	35
Figura 34. Intensidad de luminosidad en ambientes internos y externos del invernadero	36
Figura 35. Evolución diaria de la luminosidad al interior del invernadero con producción	37
Figura 36. Fases sistema productivo flores	41
Figura 37. Proceso de repique o siembra de los bulbos de Lilium en un sistema aeropónico.	42
Figura 38. Ocurrencia fases crecimiento vegetativo Lilium en sector Costero y Pampa del Tamarugal – Región de Tarapacá.	43
Figura 39. Ocurrencia fases floración Lilium en sector Costero y Pampa del Tamarugal – Región de Tarapacá.	44
Figura 40. Escala para la evaluación de estado de desarrollo de botones florales durante el periodo de postcosecha. 1: Botón verde; 2: Botón 25% color; 3: Botón 50% color 4: Botón 100% color; 6: Inicio apertura; 6: Flor semi-abierta; 7: Flor completamente abierta; 8: Inicio senescencia; 9: Flor senescente; 10: Abscisión de pétalos.	47
Figura 41. Evaluación vida en florero variedades de Lilium provenientes	47



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ajuste del agua de riego del sistema aeropónico para la producción de flores de corte.	14
Tabla 2. Programa de fertirriego y relaciones iónicas para Liliium utilizando	14
Tabla 3. Requerimientos de temperatura y humedad del cultivo de Liliium.	27
Tabla 4. Caracterización de los botones florales de las variedades de Liliium cultivados en invernadero pasivo en la pampa del Tamarugal, comuna de Pozo Almonte.	45
Tabla 5. Respuesta de los cultivares de Liliium a la luminosidad regulada en invernadero pasivo en la pampa del Tamarugal, comuna de Pozo Almonte.	46
Tabla 6. Vida de post cosecha de las variedades de Liliium cultivadas en invernadero pasivo en la pampa del Tamarugal, comuna de Pozo Almonte.	48



AGRADECIMIENTOS

A todo el equipo de investigadores y profesionales que han participado y contribuido en este proyecto: Leonardo Vera, Betzabe Torres, Gabriela Verdugo, Christian Santander, Wladimir Chávez, Oscar González, María Paz Fernández, Gonzalo Ostria, Camila Di Doménico, Salvador Milicay, Sebastián Cabello, Marcela Mamani y personal CIDERH.

A la Asociación Indígena Aymara Nayra Inti, representada por Yerka Mamani y Elsa Mamani; y a la empresa Aguas del Altiplano representada por su Gerente Sergio Fuentes.

A la Seremía de Agricultura de Tarapacá, representada por su Seremi Mario Venegas; y al Instituto de Desarrollo Agropecuario, representado por su Director Ricardo Huerta.

A la Universidad Arturo Prat, a través de la Vicerrectoría de Investigación, Innovación y Postgrado representada por la Vicerrectora Margarita Briceño y a todo el personal.

A la Gobernación de la Provincia del Tamarugal, por su disposición en facilitar las dependencias para la realización de los talleres del proyecto.

A la Fundación para la Innovación Agraria, representada por su ejecutivo Sr. Fernando Arancibia.

A todas las instituciones y personas que han sido participes en el proceso de difusión del proyecto; así como también a los agricultores de Pozo Almonte, Huara y Pica que han participado activamente en los talleres de producción de flores.

A los profesionales y técnicos que consideren que este documento sea de utilidad para nuevos emprendimientos con la tecnología propuesta para la producción de flores de corte.





PRÓLOGO

La información contenida en este manual proviene de los resultados obtenidos a partir de la ejecución del proyecto “Reuso de Agua Servida para la Producción de Flores de Corte en un Sistema Aeropónico Recirculante” (código: PYT 2015-0171) co- financiado por la Fundación para la Innovación Agraria – FIA.

El proyecto conjuga una serie de soluciones tecnológicas de uno los uno de los objetivos centrales de la Línea de Investigación de Tecnologías en Sistemas Acuosos del Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH), como es el reuso del agua servida; la sustentabilidad ambiental, el uso eficiente del agua a través de la recirculación en un sistema de cultivo aeropónico y la valorización del cultivo de flores de corte para la región de Tarapacá.

También posiciona y valoriza la acción conjunta entre Ciencia – Empresa y Comunidad, pilares centrales en un proceso de “Innovación Social”, asociado al impacto que puede generar este proyecto en el desarrollo de la agricultura para zonas áridas y semiáridas.

La información que se presenta constituye el inicio de un camino a recorrer en la innovación del proceso de producción agrícola, el paso siguiente, la consolidación de este proceso, a través de la innovación comercial y encadenamiento productivo, fases necesarias para el cambio de paradigma de la agricultura de la región de Tarapacá.

Dr. Jorge Olave Vera
Director CIDERH



DEFINICIONES

Lilium = Es una flor de corte bulbosa que presenta dos grandes grupos: Híbridos Orientales y Híbridos Asiáticos. También se presentan híbridos entre Longiflorum y Asiáticos conocidos como “LA”.

Invernadero = Estructura metálica con cubierta de plástico y/o malla con manejo del clima pasivo o controlado.

Aeroponía = Sistema de cultivo sin suelo, donde las plantas se ubican en unos canastillos suspendidos en una estructura base, donde el riego se realiza a través de pulverización hacia las raíces de forma intermitente, constituyéndose en el de mayor eficiencia en el uso del agua.

Agua Residual Urbana = Aguas provenientes de usos industriales y urbanos que reciben tratamientos primarios y secundarios en plantas de tratamiento y que son descargadas posteriormente en sitios dispuestos por la autoridad sanitaria.

Recirculante = El agua de riego tiene más de un uso en un sistema de cultivo, cuyo uso está determinado por parámetros de control – pH y Conductividad Eléctrica – según tolerancia del cultivo.

pH = Es una medida que determina la alcalinidad y acidez del agua de riego en una escala de 1 a 14. En la mayoría de los cultivos el rango adecuado se sitúa entre 6 y 7, donde los macro y micronutrientes se encuentran disponibles para ser absorbidos por las raíces.

Conductividad Eléctrica = Es una medida del contenido de sales que contiene el agua de riego, donde cada cultivo presenta un rango de tolerancia. El valor de este parámetro no discrimina entre sales beneficiosas o nocivas para el cultivo.







I. COMPONENTES DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE FLORES DE CORTE CON AGUAS RESIDUALES URBANAS TRATADAS

El proyecto fue emplazado en la comuna de Pozo Almonte, en terrenos agrícolas destinados a la producción de alfalfa y maíz, que son regados con agua residual urbana tratada proveniente de la planta de tratamiento de la empresa sanitaria.

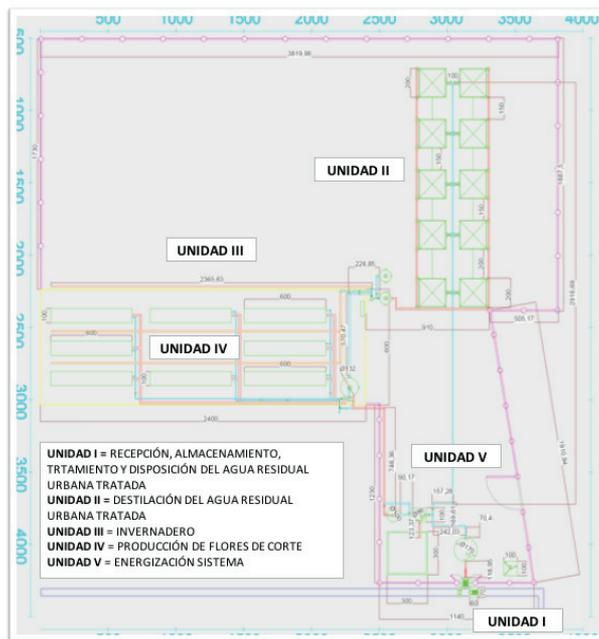


Figura 1.- Plano de planta del proyecto de producción de flores de corte en un sistema aeropónico recirculante con agua residual urbana tratada.

Ubicación georeferenciada: UTM WGS 84 N 7.760.647 y E 419.689

Coordenada geográficas: Latitud 20°15'0.64"S y Longitud 69°46'8.25" W.







II. PRODUCCIÓN DE AGUA PARA RIEGO

El agua residual urbana tratada proviene de la Planta Pozo Almonte fue ajustada para la producción de flores de corte, generalmente sensibles a las sales y boro.

Para el ajuste del agua para riego se consideró la información proporcionada por la empresa sanitaria durante el período 2012 y 2015, en aquellos parámetros de mayor impacto para la producción de flores de corte, entre ellos.

pH

El valor es muy estable, alrededor de 7 (neutro), levemente superior al requerimiento de los cultivos florícolas que es de 6,5 aproximadamente.

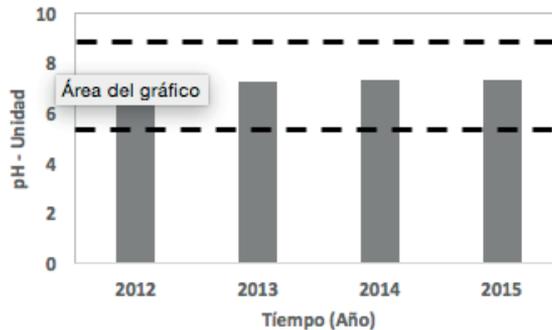


Figura 2. Variación interanual del pH. Planta Pozo Almonte

Sales

Las sales presentes y de impacto en la respuesta de los cultivos florícolas son Sodio, Cloro y Sulfatos, con valores que superan los valores máximos establecidos en la NCh1333. Of 78

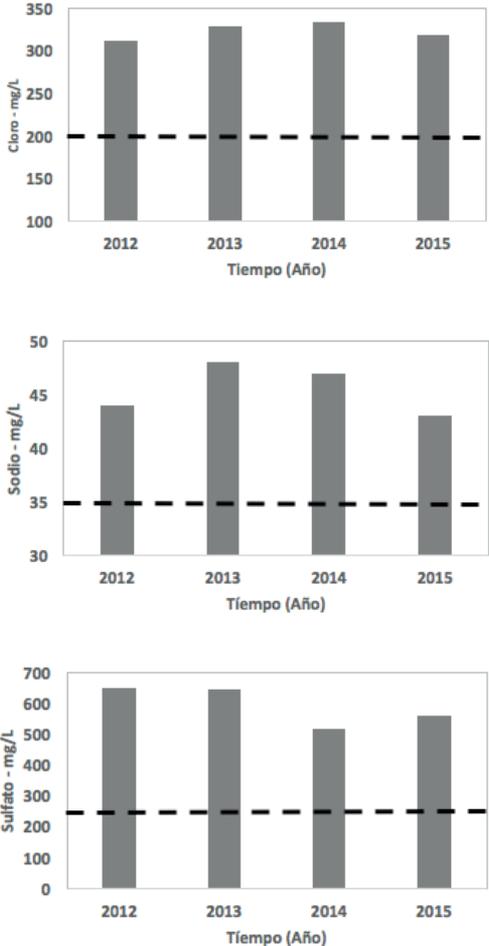


Figura 3. Concentración de sales del Agua Residual Urbana Tratada de la Planta Pozo Almonte

Boro

Este metaloide supera ampliamente el límite de tolerancia de la NCh 1333 Of. 78, donde las especies florícolas presentan alta sensibilidad.

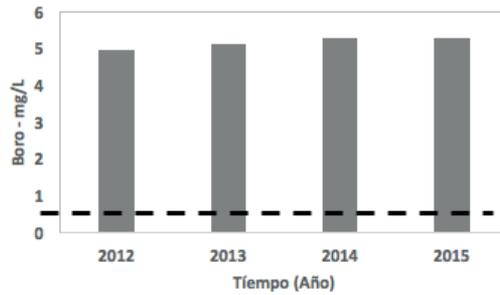


Figura 4. Variación interanual de Boro. Planta Pozo Almonte



2. Fases Producción Agua de Riego

Las fases son las siguientes:

2.1. Sistema de desbaste y decantación

Se implementó un sistema de rejillas como pre-tratamiento del agua residual urbana tratada que viene de la planta para evitar el ingreso de partículas y sólidos gruesos incorporados en el trayecto desde la planta hasta el sistema de producción de agua para el proyecto. Para ello se se construyó una T de concreto, con rejillas superpuestas para el filtrado de sólidos, con un sistema adicional de decantación por cada área de filtración, la primera rejilla de desbaste tiene un diámetro de paso de 1 cm y la segunda de 0,6 cm.

Además cada compartimiento con rejillas tiene un sistema dedecantación de concreto para los sólidos suspendidos.

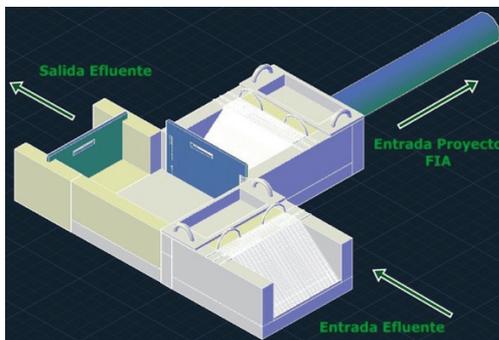


Figura 5. Diseño de sistema de pre-tratamiento del agua residual urbana tratada.

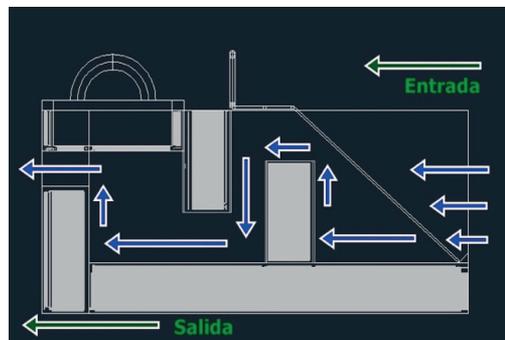


Figura 6. Decantador en sistema T.

Posterior a la filtración el efluente es acumulado en un estanque de 2.400 litros el cual se encuentra enterrado. Una bomba de aguas residuales se encarga de distribuir el agua residual urbana tratada hacia el filtro de abatimiento de boro con una capacidad de 630 litros y hacia los destiladores solares pasivos.





Figura 7. Estanque receptor del agua residual urbana tratada proveniente de la planta de tratamiento que ha pasado por el sistema de desbaste y decantación implementado por el proyecto. Pozo Almonte

2.2. Abatimiento de Boro y Sales

La metodología aplicada para el abatimiento de boro y sales se describe en los siguientes puntos:

2.2.1. Abatimiento de Boro

Se utilizó el “carbón activado” (medio filtrante) para la remoción de Boro, el cual ha demostrado ser eficiente alcanzando hasta un 99% de eliminación para regímenes de carga continuos (Azhar Abdul Halim, 2013), utilizando aguas residuales sintéticas enriquecidas en boro y un 85% en aguas residuales urbanas tratadas reales (Vera et al. 2015).

Se evaluaron a escala piloto utilizando tres columnas de filtración cuyas características son las siguientes



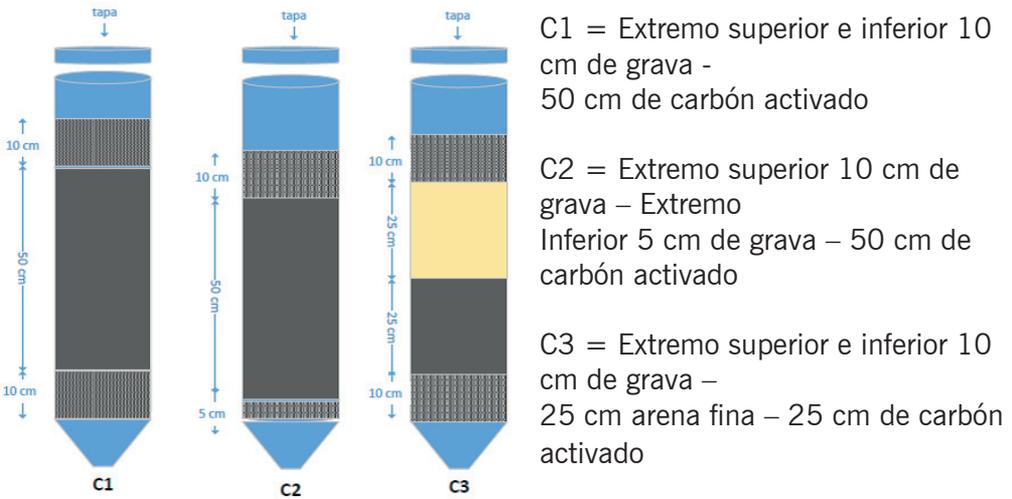


Figura 8. Esquema de los sistemas de filtración implementados para la remoción de boro del agua residual urbana tratada. Laboratorio CIDERH

La operación para establecer la eficiencia en la remoción de Boro se realizó durante 50 días, donde cada columna recibió una carga hidráulica diaria de 500 L/m² – día. (según USEPA, 2013), y la determinación de la concentración de boro, se realizó según la metodología de la Azometina H (Sadzawka, 2006)

Los análisis muestran que el influente (ARUT) tiene una concentración promedio cercano a 7 mg/L de Boro. Por otro lado, los resultados obtenidos para las columnas de filtración, indican que hasta el día 46 de operación se pueden alcanzar remociones del orden de un 95% para C1 y C2, y de un 63 % para C3.



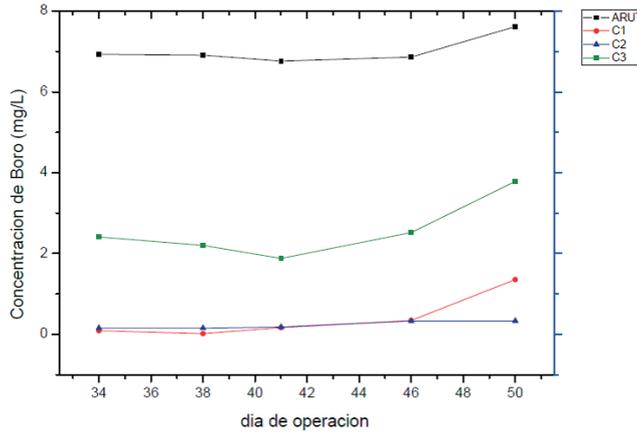


Figura 9. Resultados de las determinaciones analíticas para establecer la concentración de boro en agua, realizados durante 50 días de operación, para el influente (ARUT), y para el efluente proveniente de las columnas de filtración C1, C2, C3.

La columna C1, remueve el mayor porcentaje de boro durante los 50 días de operación de los filtros; sin embargo, a escala de producción se implementó la columna C3, de menor costo de operación y con una mayor retención de micropartículas suspendidas mejorando la eficiencia del filtro de anillas en el sistema de riego.

Por lo tanto, a escala operativa se implementó un filtro de boro mixto (Figura 10), el cual en la base contiene 15 cm de grava, luego 35 cm de carbón activado, 15 cm de arena y luego 10 cm de grava.



Figura 10. Filtro mixto para remoción de Boro. Pozo Almonte



Posterior al filtro mixto el agua residual urbana tratada pasa a un estanque de acumulación secundario de 1.200 litros, el cual está en la superficie del suelo para luego seguir por gravedad hacia el estanque de homogenización de 2.400 litros ubicado al interior del invernadero, el cual se encuentra enterrado y con el cual se realiza el riego de las plantas de Lilioms.

A un costado del filtro mixto se encuentra la “Piscina de secado o evaporador solar pasivo” de 9 m² y un volumen de 1,8 m³, que tiene el objetivo de evaporar toda el agua contenida en la solución de descarte del retrolavado del filtro mixto (con una mantención aproximada cada 6 meses). Una vez evaporada la solución líquida, los sólidos restantes se acumulan y dispuestos en el relleno sanitario controlado de Alto Hospicio.



Figura 11. Representación gráfica del secador solar. Pozo Almonte



2.2.2. Abatimiento de sales

Se realizó a través de cuatro destiladores solares pasivos de 2 m² de superficie con una cúpula de evaporación tipo capilla. Los cuales fueron dispuestos según el recorrido del arco solar, para incrementar la eficiencia evaporativa.

La producción de agua destilada promedio es de 8 L/m² – día, con un abatimiento de sales que supera el 90%. Esta agua es conducida a un estanque enterrado de 500 litros, la cual es impulsada a través de una bomba al estanque de homogenización que se encuentra al interior del invernadero, que mezcla el agua destilada y la proveniente del filtro de Boro, y que es utilizada para el riego del cultivo de flores de corte.



Figura 12. Destilador solar pasivo de 2 m². Pozo Almonte



Figura 13. Agua residual urbana tratada (ARUT) y agua destilada

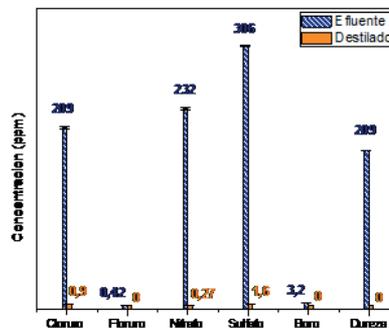


Figura 14. Concentración de iones, boro y dureza obtenida en el agua destilada.



2.3. Ajuste del agua de riego

El el estanque de riego se realiza la mezcla de agua proveniente del filtro de boro y de los destiladores en una proporción de 60 y 40% respectivamente, la cual requiere de un ajuste final para establecer los equilibrios iónicos que permitan una mejor absorción de los iones por las raíces de las plantas. (Tabla 1)

PARÁMETRO	VALOR	AJUSTE
pH	6,73	-,-
Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹)	2,3	-,-
RAS	3,7	-,-
Relación K/Ca + Mg	0,06	0,4-0,6
Relación Ca/Na	1,41	-,-
Relación NO ₃ ⁻ /Cl ⁻	0,006	1,2-1,5
Bicarbonato (meq l ⁻¹)	2,2	0,5
Nitrógeno (meq l ⁻¹)	0,42 N-NH ₄ ⁺ + 0,07 N-NO ₃ ⁻	70:30 a 80:20 N-NO ₃ ⁻ :N-NH ₄ ⁺

Tabla 1. Ajuste del agua de riego del sistema aeropónico para la producción de flores de corte.

Posterior a este ajuste iónico se estableció el programa de fertirrigación para Lilium.

Fertilizante	Concentración – g l ⁻¹
Ácido Fosfórico	0,13
Ácido Nítrico	0,07
Nitrato de Potasio	0,07
Nitrato de Magnesio	0,15
Nitrato de Amonio	0,10
Relaciones Iónicas	
Relación K/Ca + Mg	0,46
Relación Ca/Na	1,41
Relación NO ₃ ⁻ /Cl ⁻	1,12

Tabla 2. Programa de fertirriego y relaciones iónicas para Lilium utilizando agua residual urbana tratada y ajustada.



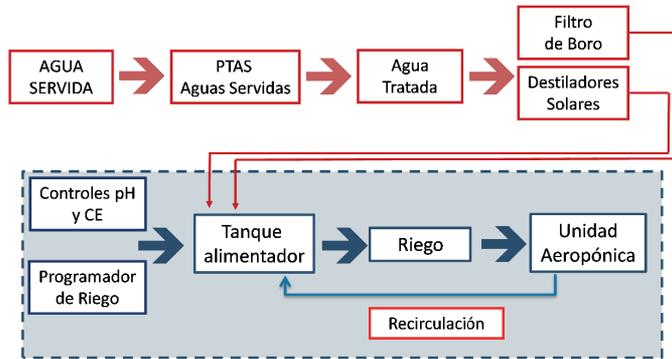




III. SISTEMA PRODUCTIVO

El esquema general del sistema de productivo aeropónico de flores de corte es el siguiente:

DIAGRAMA PROCESO PRODUCTIVO LILIUM



Fuente: CIDERH

Figura 15. Diagrama Proceso Productivo Lilium en Sistema Aeropónico con Aguas Residuales Urbanas Tratadas.

La unidad de producción de flores de corte implementado.



Figura 16. Invernadero operativo con paneles de control automático de riego, sistemas de nebulización para controlar la temperatura y humedad ambiente y unidades aeropónicas de cultivo operativas.



3. Diseño Sistema Operativo

Las etapas de la implementación del sistema operativo para la producción de flores es el siguiente:

3.1. Diseño sistema de riego

En el esquema se muestra la distribución del sistema de riego, a partir del estanque de homogenización, donde se realiza la mezcla del agua residual filtrada y agua destilada. Desde este punto se distribuyen distribuyéndose a las nueve camas aeropónicas por intermedio de tuberías de PVC de presión, y el drenaje del agua es conducida en PVC sanitario recirculando al estanque de homogenización de forma pasiva.

La unidad de riego está compuesta por tres camas aeropónicas en las cuales se presenta una red interior de distribución del agua con emisores tipo microyjet de 180 y 360°, sistema que se encuentra regulado por una válvula solenoide accionada por un programador que contiene el programa de riego consistente en número de riegos al día y tiempo de riego.

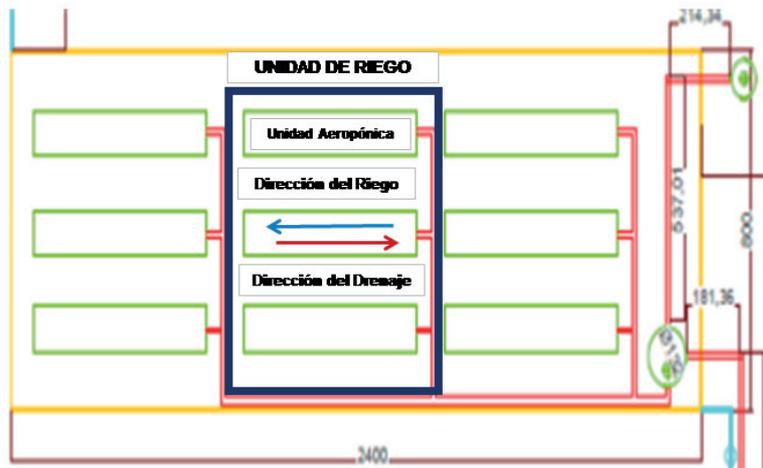


Figura 17. Diseño del sistema de riego. Pozo Almonte



Además para la contabilidad del agua utilizada en cada riego se instaló una válvula volumétrica en la unidad de riego central.



Figura 18. Vista interior de la unidad aeropónica con sistema de irrigación con microyets instalados y operativos

La impulsión del agua de riego hacia las unidades aeropónicas se realizó desde el estanque de homogenización con una bomba periférica de 0,75 HP, pasando previamente por un filtro de anillas de 200 mesh, cuyo funcionamiento es controlado por dos manómetros, al ingreso y salida del agua del filtro.

La operación del sistema de riego se realiza mediante un programador de riego con 4 canales, el cual controla automáticamente la apertura y cierre de las válvulas eléctrica (solenoides) de forma automática accionado a través de la energización del sistema obtenida de un tablero eléctrico.

La operación del riego de las unidades de riego se realizó a través de ciclos de riego de 15 minutos cada media hora por unidad de cultivo.

El aporte de agua por planta en el ciclo primavera – verano fue de 0,56 litros por planta por cada siete días, que fue el promedio de días de recirculación del agua de riego utilizado en el sistema durante el ciclo primavera- verano (2015-2016).



3.2. Implementación Unidades Aeropónicas

Las unidades aeropónicas tienen una superficie de 6 m² (6 x 1 m) y un volumen de 3 m³. La estructura base es metálica y se revistieron con poliestireno de 10 kg m⁻³ para regular la amplitud térmica (base y laterales). En la cubierta se utilizó poliestireno de 20 kg m⁻³ como soporte de las plantas. **3.1.**



Figura 19. Vista exterior estructura de una unidad aeropónica construida en madera. Alto Hospicio



Figura 20. Unidad aeropónica proyecto construida en metal con estructura de sombreado. Pozo Almonte



La pared interna de las unidades aeropónicas se cubrieron con geomembrana de PVC color negro de 0,47 mm de espesor para evitar la entrada de luz, filtraciones de agua y pérdidas por evaporación. Las paredes externas de las unidades aeropónicas se cubrieron con polietileno blanco para reflejar la radiación solar y regulador térmico para las raíces de las plantas.

En la parte superior de la unidad aeropónica se instaló una estructura metálica de 1,8 m de altura con una malla raschell 75% en el ciclo primavera-verano y 50% para el ciclo otoño-invierno permanente para regular luminosidad y una manta térmica (ciclo invernal) para controlar las bajas temperaturas.



Figura 21. Sección de una unidad aeropónica con plancha de poliestireno de 50 mm de espesor y con canastillos hidropónicos incorporados.



3.3. Sistemas de Control del Agua de Riego

El control de los parámetros de pH y conductividad eléctrica (CE) del agua de riego se realiza a través de minicontroladores de registro continuo. Para pH y CE se utilizan los modelos Hanna BL 931700 y BL 983317 respectivamente.

El minicontrolador de pH, está conectado a un dosificador de ácido que permite la regulación del pH a un valor de 6,5 del agua de riego de las unidades aeropónicas.



Figura 22. Panel de Minicontroladores de pH y CE.

En el proceso de recirculación, la renovación del agua de riego se realiza cuando la CE supera los 3 dS m⁻¹. El agua de riego descartada se dispone en los cultivos de maíz o alfalfa situados a un costado del invernadero, con lo cual se genera un segundo uso del agua.

La determinación de la eficiencia en el uso del agua se realiza a través de la contabilidad del agua de riego utilizando medidores de caudal en la tubería de ingreso del agua a las unidades aeropónicas.





Figura 23. Medidor de caudal en línea del volumen de agua.

3.4. Sistema de Energización

El tablero eléctrico, programador y equipos de bombeo son provistos de energía eléctrica mediante un grupo electrógeno conformado por dos generadores, que funcionan de forma alternada durante 10 horas diarias.



Figura 24. Sistema de generación de energía para el riego de las unidades aeropónicas y del sistema de nebulización del invernadero. Pozo Almonte.









IV. MANEJO DEL CLIMA

El manejo del clima en los ciclos de primavera –verano y otoño - invierno para la producción de flores de corte bajo invernadero con manejo pasivo de las variables climáticas es fundamental en una zona hiperárida, donde el clima externo tiene incidencia en el clima interno de la unidad de producción.

Los requerimientos de temperatura, humedad y luminosidad del cultivo de Liliium son los siguientes.

Variables	Chahin 2006	Shiappacasse 1999	Milano 1998	International Flower Bulb Centre				Chahin et al, 2007	Zuñiga et al, 2003
				Asiáticos -2°C	Híbridos L/A -2°C	Orientales 1,5°C	Híbridos Longiflorum 1,5°C		
Temperatura Crítica	menos -2°C	menos -2°C	*	sobre los 40°C				*	hasta 40°C y no menor a 3°C
Temperatura Diurna	15°C a 20°C	18 °C a 21 °C	15°C a 17°C durante las 24 hrs	entre 15°C a 20°C		16°C durante las 24 hrs		23 a 25°C	25°C
Temperaturas Nocturnas	13°C a 15°C	10°C a 12°C		entre 8°C a 10°C				8 a 10 °C	
Humedad relativa	*	*	*	La HR entre 60% y 85% y evitar grandes oscilaciones.				*	*
* No presentan comentarios sobre la variable									

Tabla 3. Requerimientos de temperatura y humedad del cultivo de Liliium.

Los parámetros de mayor incidencia en la producción de flores son temperatura, humedad relativa y luminosidad.

4. Impacto de las variables climáticas en la producción de Liliium

4.1. Temperatura

Hay un manejo diferencial de la temperatura del invernadero en los dos ciclos de cultivo.

El ciclo Otoño – Invierno (2016) se caracteriza por presentar: temperaturas mínimas promedio de 1,1 °C y mínima absoluta de (-) 1,43 °C; temperaturas máximas promedio de 29,9 °C y máxima absoluta de 34,15 °C; una amplitud promedio diaria de 28,72 °C y temperatura media de 15,5 °C, considerando como referencia Junio de 2015.



El ciclo Primavera – Verano (2015-2016) se caracteriza por presentar: temperaturas mínimas promedio de 7,55 °C y mínima absoluta de 4,58 °C; temperaturas máximas promedio de 31,86 °C y máxima absoluta de 35,66 °C; amplitud térmica de 24,31 °C y temperatura media de 19,71 °C.

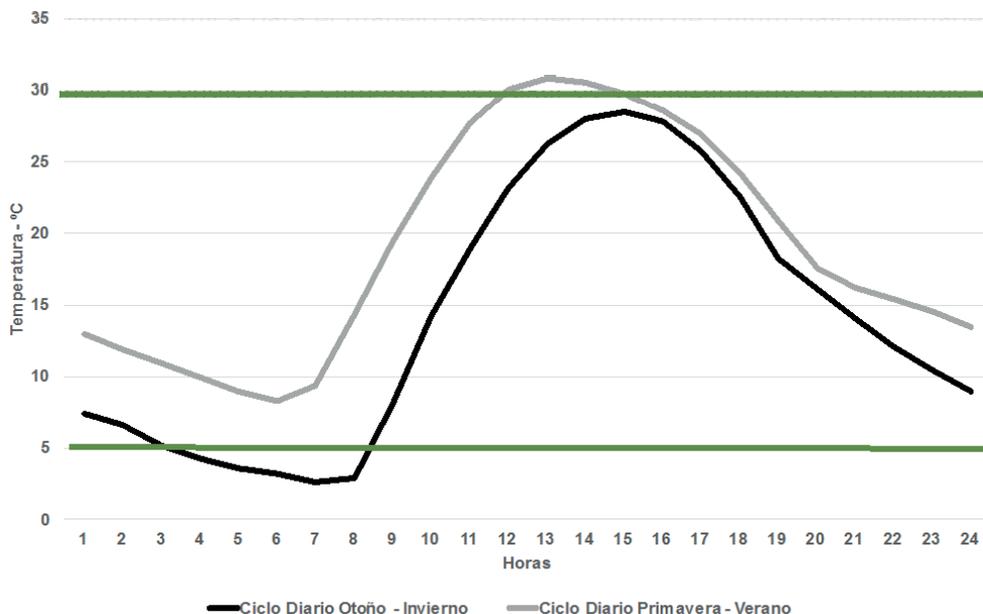


Figura 25. Evolución de la temperatura promedio durante ciclo diario. Estación climática externa a invernadero. Pozo Almonte.

La amplitud térmica para el manejo pasivo del cultivo de Lilium bajo invernadero se estableció en 25 °C, con temperatura mínima de 5°C y máxima de 30°C, considerando las condiciones climáticas del lugar de emplazamiento de la unidad de producción en Pozo Almonte.

En el ciclo diario otoño -invierno se presentan 4 horas bajo 5°C, entre las 4:00 y 8:00 AM y no se superan los 30 °C.



Para la prevención de las bajas temperaturas al interior del invernadero se establecieron los siguientes manejos pasivos:

- a) Ventanas laterales cerradas desde las 17:00 PM a las 10:00 AM
- b) Cubierta plástica a todo el invernadero desde las 17:00 PM a las 10:00 AM
- c) Cubierta con manta térmica sobre la estructura metálica instalada sobre las unidades aeropónicas



Figura 26. Cubierta de las camas aeropónicas con manta térmica para el control de bajas temperaturas en el ciclo otoño-invierno.



Para la prevención de las temperaturas altas al interior del invernadero se establecieron los siguientes manejos pasivos:

- a) Ventanas laterales abiertas desde las 10:00 AM hasta las 17:00 horas PM
- b) Sin cubierta plástica del invernadero desde las 10:00 AM hasta las 18:00 PM
- c) Sin cubierta plástica las unidades aeropónicas durante las 10:00 horas AM hasta las 17:00 PM
- d) Nebulización en ciclos entre las 13:00 PM hasta las 15:00 PM
- e) Encalado de la cubierta usando cal a una dosis de 50 kg/100 litros de agua

La variación de temperaturas al interior y exterior del invernadero en el invierno muestra el efecto de la regulación de las temperaturas mínimas a través del manejo pasivo – Cubierta del Invernadero y de las Unidades Aeropónicas. Sin embargo, no hay una regulación efectiva de las temperaturas máximas que sobrepasan el umbral del cultivo, la cual debe regularse a través de la apertura cenital principalmente. (Figuras 27 y 28)

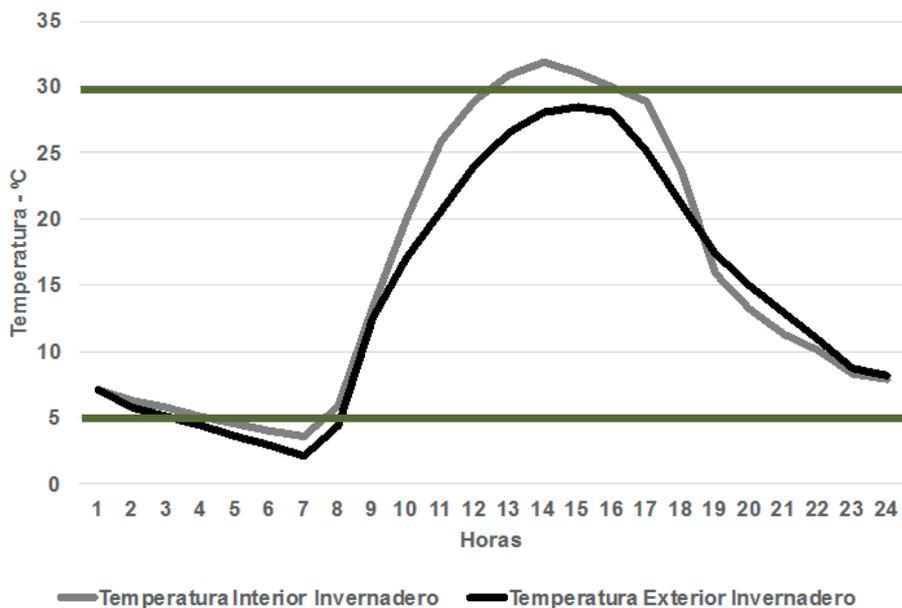


Figura 27. Variación promedio de la temperatura diaria dentro y fuera del invernadero durante Julio de 2016. Pozo Almonte



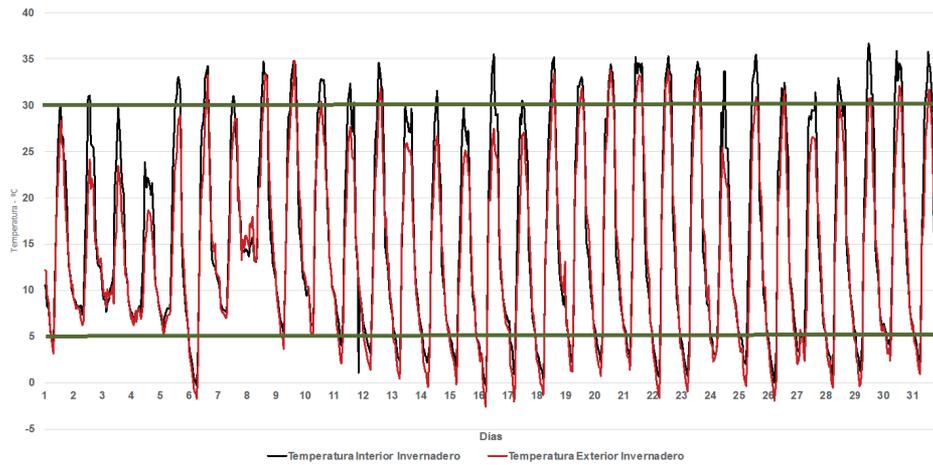


Figura 28. Variación mensual del temperatura interior y exterior del invernadero durante Julio 2016. Pozo Almonte

4.2. Humedad Ambiental

Hay un manejo diferencial de la humedad del invernadero en los dos ciclos de cultivo.

El ciclo Otoño – Invierno (2016), se caracteriza por presentar: humedad mínima promedio de 17,5%, humedad mínima absoluta de 5,7%; humedad ambiental máxima promedio de 80,2 % y humedad ambiental máxima de 98,7%.

El ciclo Primavera – Verano (2015-2016), se caracteriza por presentar: humedad mínima promedio de 20,73%, humedad mínima absoluta de 6,8%; humedad máxima promedio de 80,37% y humedad máxima absoluta de 94,4%.

La evolución promedio de la humedad en un ciclo diario para los dos ciclos muestra un desplazamiento de la hora de inicio y término del período con una humedad ambiental menor a un 30%, equivalente a cinco horas, coincidente con el período de mayor temperatura.



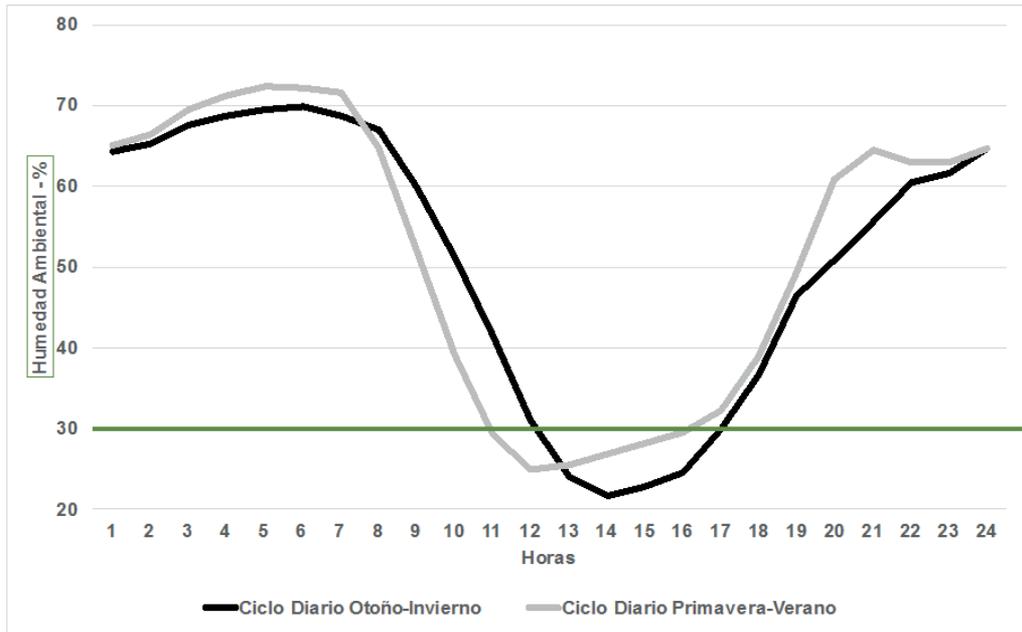


Figura 29. Evolución de la humedad ambiental promedio durante ciclo diario. Estación climática externa a invernadero. Pozo Almonte.

Para la humedad ambiental menor al 30% al interior del invernadero se efectuaron ciclos de nebulización entre las 11:00 AM y 15:00 PM



Figura 30. Nebulización para el control de temperaturas altas en el invernadero destinado a la producción de Lilium. Pozo Almonte.



La variación de la humedad ambiental al interior y exterior del invernadero presentan un comportamiento muy similar. La aplicación de la nebulización en las horas críticas (11:00 a 15:00 horas), no fue suficiente para incrementarla por sobre 30%, lo cual está asociado a las temperaturas por sobre los 30 °C. (Figura 31).

La apertura cenital determinará un flujo de aire que facilitará la aplicación de cortinas húmedas frías en la pared del invernadero instaladas en la dirección del viento.

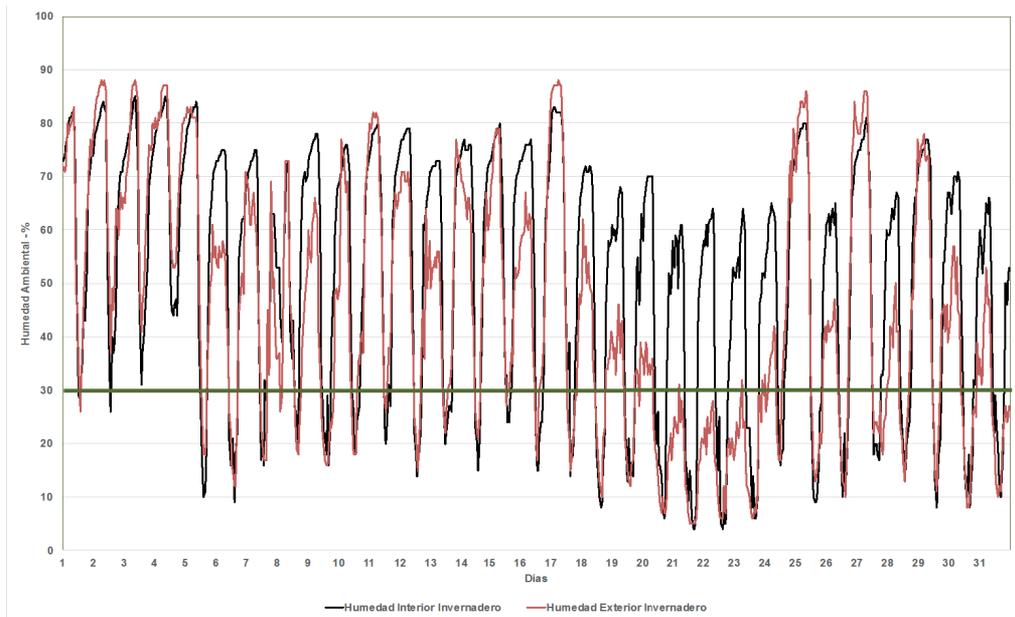


Figura 31. Variación mensual de la humedad ambiental interior y exterior del invernadero durante Julio 2016. Pozo Almonte.

4.3. Luminosidad

La luminosidad es un factor determinante en la calidad comercial de las flores de corte, de particular importancia en el desierto costero y de interior en la región de Tarapacá, que superan los requerimientos disminuyendo la longitud de la vara floral y también en el aborto de flores.

La intensidad lumínica fue registrada durante todo el período de cultivo de forma continua con un luxómetro digital, que expresa los resultados en unidades Klux. Se midió la luminosidad dentro y fuera del invernadero, así como también, en cada una de las unidades de cultivo aeropónicas.

En el desierto costero de Iquique, los resultados obtenidos por CIDERH (por publicar) muestran la diferencia en la longitud de la vara obtenida en *Lilium* con mayor y menor luminosidad. A los 72 días, se obtuvo longitud de vara promedio de 69,17 cm con 8,86 klux (malla antiáfido 16*10 + Malla Raschell 50%) y 39,87 cm con 37,68 klux (Malla Raschell 50%) en el cultivar Brunello.



Figura 32. Producción de *Lilium* bajo sombreado en módulo aeropónico en la Comuna de Alto Hospicio.



Con estos antecedentes, las mediciones de intensidad lumínica en Pozo Almonte determinaron el uso de malla raschell 75% para el ciclo primavera – verano y 50% para el ciclo otoño invierno, condiciones adecuadas para el crecimiento vegetativo y floración de Lilium.

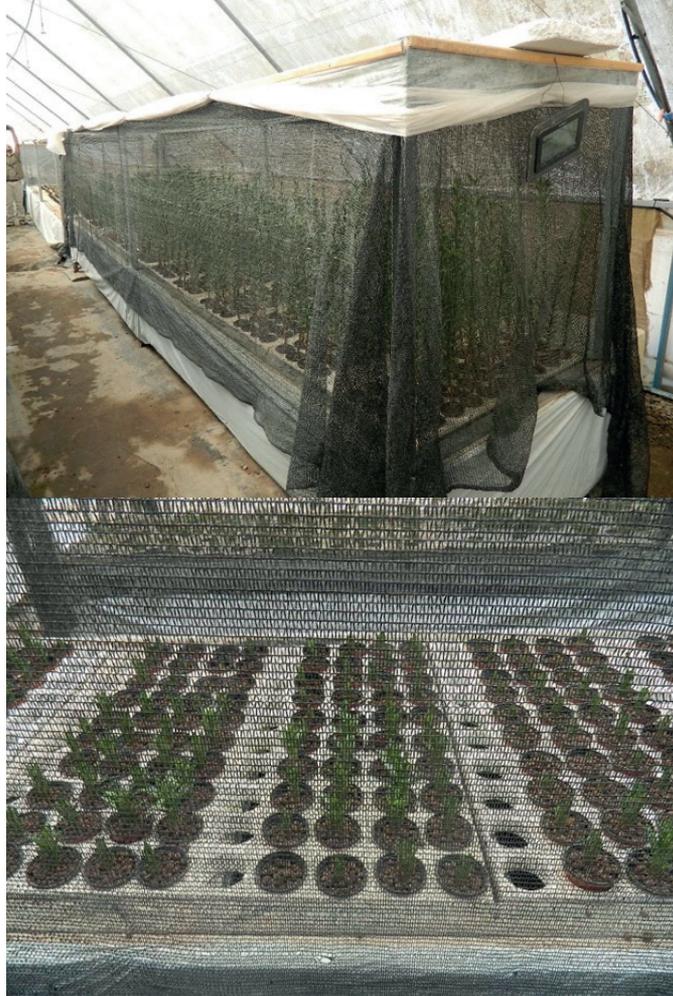


Figura 33. Manejo de la intensidad lumínica de las unidades aeropónicas mediante malla raschell. Pozo Almonte

Mediciones efectuadas con Luxómetro Extech modelo HD450.



Un manejo complementario para reducir la intensidad lumínica fue el encalado de la cubierta del invernadero.

La diferencial de la intensidad lumínica al interior y exterior del invernadero fue en promedio de 137 Klux. En el exterior, el mayor valor registrado fue el 21 de diciembre de 2015 con una intensidad lumínica de 204.3 Klux, mientras que el de menor valor fue de 66,6 Klux el 16 de diciembre de 2015; y el horario de mayor intensidad fue a las 14:00 horas.

Los registros de intensidad lumínica al interior del invernadero presentan una diferencial entre 15 y 70 Klux asociado a las diferencias diarias, horarias y a la uniformidad del encalado.

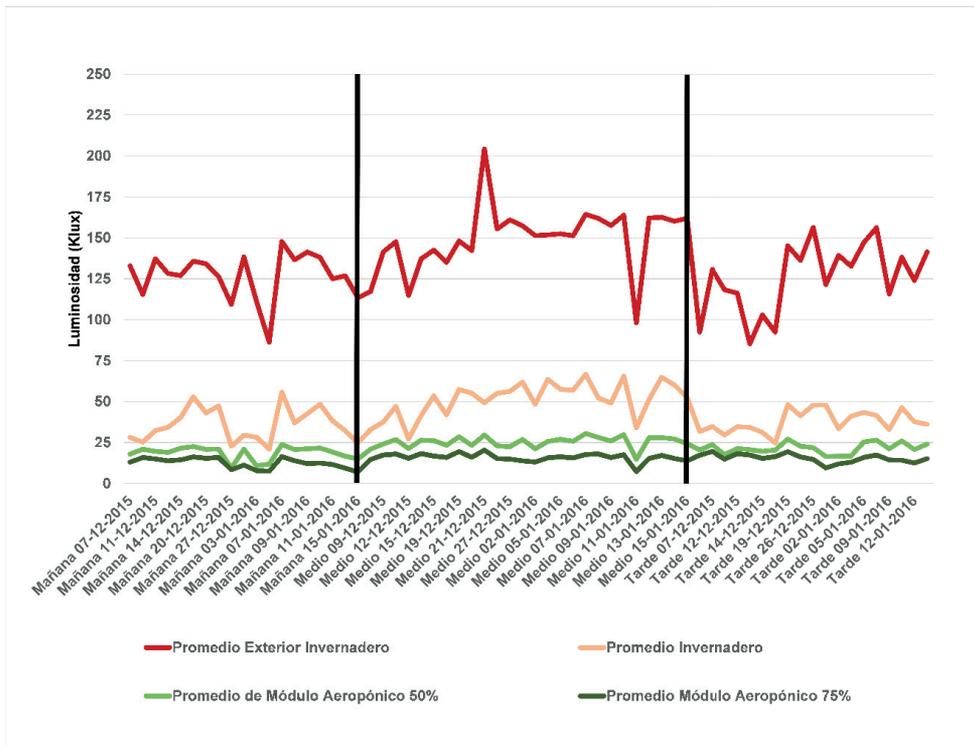


Figura 34. Intensidad de luminosidad en ambientes internos y externos del invernadero en la mañana, mediodía y tarde. Pozo Almonte



La evolución diaria de la luminosidad al interior del invernadero presenta 13 horas de luminosidad con valor máximo a las 15 horas durante septiembre de 2016.

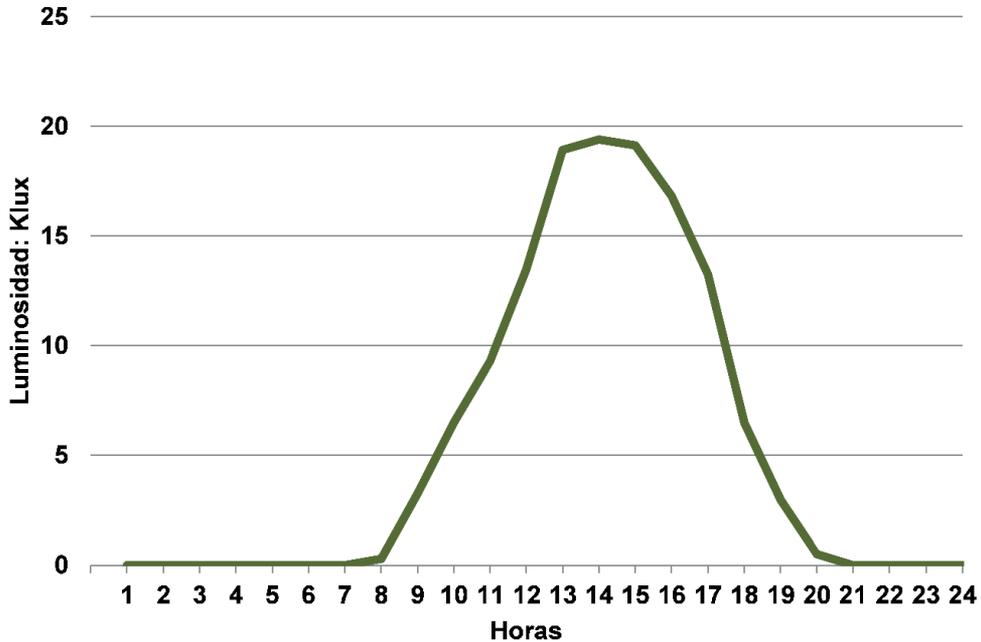


Figura 35. Evolución diaria de la luminosidad al interior del invernadero con producción de Liliium en una unidad aeropónica. Pozo Almonte

El manejo del clima de forma pasiva bajo invernadero en un clima hiperárido plantea desafíos tecnológicos para la regulación de la temperatura, humedad y luminosidad para la producción de flores de corte.

Se ha efectuado avance en el control de estas variables climáticas que han permitido la producción de Liliium en los dos ciclos productivos del año, manejo pasivo que debe continuar con el desarrollo de investigaciones que permitan un microclima de mayor confort para el desarrollo y floración de las plantas para acceder comercialmente a mercados específicos resaltando la condición de desierto del sistema de producción.









V. PRODUCCIÓN DE FLORES DE CORTE

La producción de flores de corte en un sistema aeropónico se detalla en las siguientes fases, tomando como ejemplo Liliium.



Figura 36. Fases sistema productivo floresde corte – Cultivo de Liliium



5.1. FASE 1: Repique o siembra de bulbos de Lilium

Las etapas que considera esta fase se describen la Figura 34.

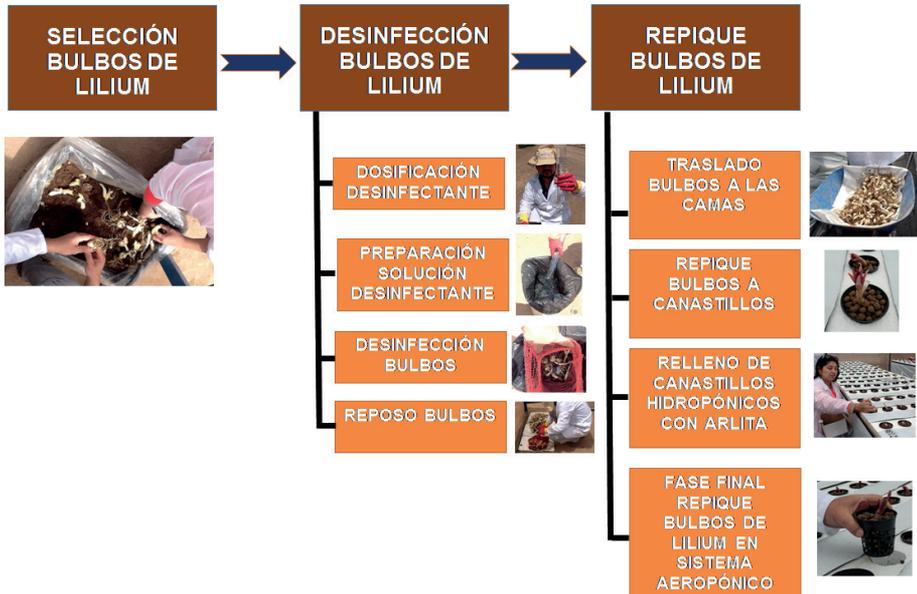


Figura 37. Proceso de repique o siembra de los bulbos de Lilium en un sistema aeropónico.



5.2. FASE 2: Crecimiento Vegetativo

La fase vegetativa en promedio es de 30 días que concluye con la aparición de los botones florales

En la figura 35, se detalla el proceso evolutivo del crecimiento vegetativo en Liliium

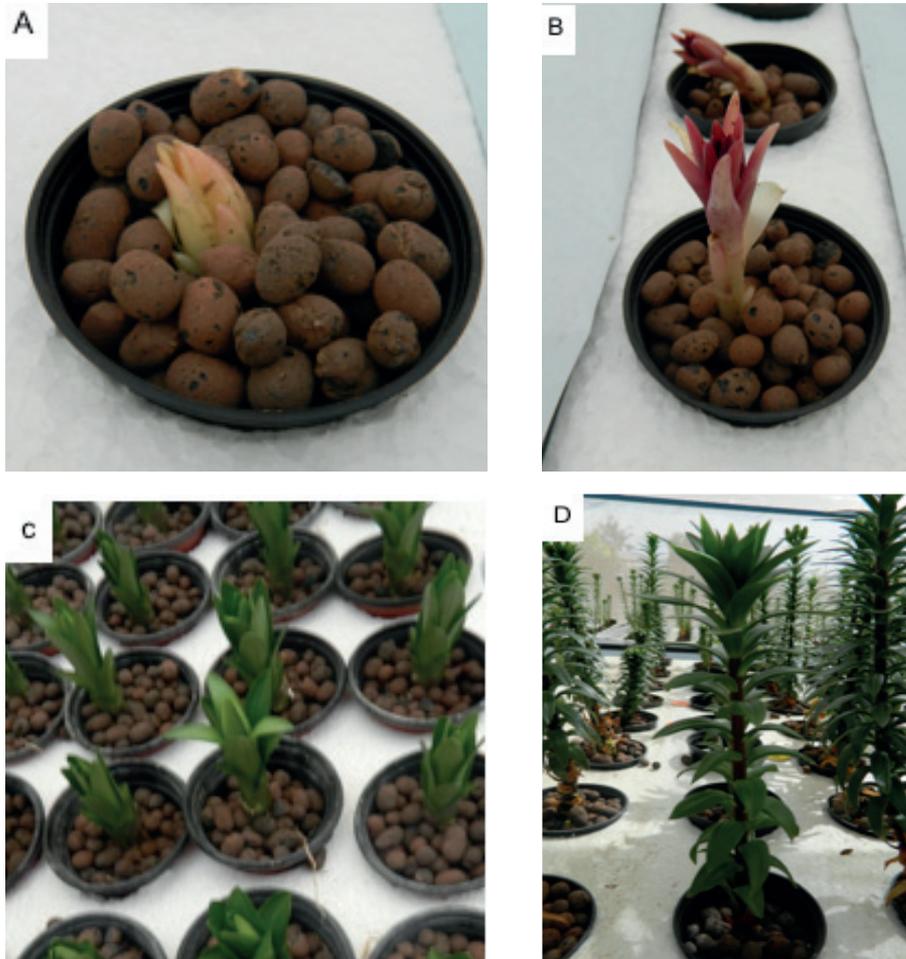


Figura 38. Ocurrencia fases crecimiento vegetativo Liliium en sector Costero y Pampa del Tamarugal – Región de Tarapacá.
A: Emergencia tallo a los 7 días; B: Crecimiento tallo y apertura hojas moradas a los 12 días; C: Crecimiento tallo y hojas verdes a los 18 días; D: Crecimiento tallo y hojas a los 30 días.



5.3. FASE 3: Floración

La fase floración se inicia en promedio a los 30 días post siembra, la cosecha de la vara floral se presenta a los 65 y la antesis a los 72 días.



Figura 39. Ocurrencia fases floración Lilium en sector Costero y Pampa del Tamarugal – Región de Tarapacá. A: Botón Floral a los 30 días; B: Inflorescencia para Cosecha a los 65 días; C: Antesis Floral a los 72 días.



La diferenciación de botones florales y la longitud de estos en las variedades de Liliium se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Caracterización de los botones florales de las variedades de Liliium cultivados en invernadero pasivo en la pampa del Tamarugal, comuna de Pozo Almonte.

Variedad	Promedio de botones florales por vara	Longitud Botones Florales (cm)			
		Botón 1	Botón 2	Botón 3	Botón 4
Original Love	3,3	7,6	6,7	5,4	4,6
Golden Tycoon	3,3	8,9	8,5	7,1	7,1
Ravello	2,2	8,0	7,7	6,4	
Litouwen	3,2	7,1	6,2	6,3	5,9
Advantage	2,3	9,4	6,6	-	-
Montebello	2,8	6,7	5,2	3,9	2,7

Valores promedio de 30 varas florales por variedad



5.4. FASE 4: Cosecha

Durante el ciclo Primavera – Verano las plantas de seis cultivares de *Lilium* cultivados bajo invernadero de manejo pasivo y con condiciones de luminosidad de 26 Klux, presentan respuestas diferenciales en sus parámetros de crecimiento y floración.

Tabla 5. Respuesta de los cultivares de *Lilium* a la luminosidad regulada en invernadero pasivo en la pampa del Tamarugal, comuna de Pozo Almonte.

Variedad	Longitud promedio (cm)	
	Planta ^{1,2}	Inflorescencia ¹
Original Love	80,8	13,2
Golden Tycoon	70,5	13,0
Ravello	67,9	12,2
Litouwen	79,4	12,3
Advantage	77,4	14,0
Montebello	74,3	10,6

1Promedio de 30 plantas de *Lilium* por variedad
2Incluye Inflorescencia



5.5. FASE 5: Post Cosecha

Las fases de la floración de Liliium en la etapa de postcosecha están definidas en la escala que presenta la Figura 37.



Figura 40. Escala para la evaluación de estado de desarrollo de botones florales durante el periodo de postcosecha. 1: Botón verde; 2: Botón 25% color; 3: Botón 50% color 4: Botón 100% color; 6: Inicio apertura; 6: Flor semi-abierta; 7: Flor completamente abierta; 8: Inicio senescencia; 9: Flor senescente; 10: Abscisión de pétalos.

La evaluación de vida en florero se basó en la metodología descrita por Chahín et al (2002).



Figura 41. Evaluación vida en florero variedades de Liliium provenientes de producción aeropónica con aguas servidas tratadas. Pozo Almonte.



Los resultados obtenidos de vida en florero cultivados en un sistema aeropónico recirculante con agua servida tratada bajo invernadero con manejo pasivo es diferencial para los cultivares de Liliium.

Variedad	Inicio Apertura Botón Floral (días)	Vida Útil (días)
Original Love	3,0	6,0
Golden Tycoon	2,3	5,0
Montebello	3,5	6,8
Litouwen	2,5	5,8
Advantage	2,5	7,8

Tabla 6. Vida de post cosecha de las variedades de Liliium cultivadas en invernadero pasivo en la pampa del Tamarugal, comuna de Pozo Almonte.



5.6. FASE 6: Comercialización

La comercialización de Liliium en la región de Tarapacá se realiza en Iquique en locales especializados ubicados en el Terminal Agropecuario y Mercado Municipal.

El precio de venta promedio por vara floral a público es de \$800 pesos y solo ocasionalmente el valor es de \$1000 pesos en los días previos a fiestas religiosas, producto de una mayor demanda por parte del público.

Para establecer la estrategia comercial para la comercialización de los Liliiums producidos en el proyecto, la encuesta de percepción de la calidad de las varas florales de esta especie determinada por los comercializadores de flores son las siguientes:

- * Obtener una mayor duración de la vara floral en postcosecha
- * Obtener más de 3 botones florales por vara
- * Longitud de la vara floral es aceptable, solo incrementar el diámetro
- * Presentan las varas florales un buen color del tallo y hojas









VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chahín M., Montesinos A., Márquez F., Ferrada S. y Ibañez M. 2007. Manual Producción de Flores Cortadas IX Región. Fundación para la Innovación Agraria – Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 104 p

Chahín M. 2006. Cultivo del Lilium. Informativo INIA Carillanca N°15.

Chahin, M., Montesinos, A. y Verdugo, G. 2002. Manejo de postcosecha de flores. Boletín INIA N° 82. Temuco, Chile

Halim A., Roslan N., Yaacub N., Latif T. 2013. Boron Removal from Aqueous Solution Using Curcumin-impregnated Active Carbon. Sains Malaysiana 42(9)(2013): 1293–1300

Milano, J. 1998. Efecto de la época de plantación en distintas variedades de Lilium en la Localidad de Santo Domingo. Tesis Lic. Agr. Facultad de Agronomía. Universidad Católica de Valparaíso. Quillota. 51 p.

INN 1978. Norma Chilena de Agua para Riego – Nch1333. Of 78

Sadzawka, A. 2006. Métodos de Análisis para Aguas de Riego. Serie de Actas INIA N° 37. 331p

Schiappacasse, F. 1999. Cultivo del Lilium. In: Seemann, P. y Andrade, N. (eds). Cultivo y manejo de plantas bulbosas ornamentales. Universidad Austral de Chile. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal. Valdivia. pp:31-43.

United States Environmental Protection Agency. 2013. National Water Programa. Best Practices and End of Year. Performance Report. Office of Water. 69 p

Vera L., Olave J. Chávez W. 2015. INFORME DE CALIDAD DEL AGUA I. Proyecto PYT 2015-0171. “Reúso de aguas servida para la producción de flores de corte en un sistema aeropónico. 32 p



Zuñiga M., López R., y Covarrubias J. 2003. Floricultura: Una alternativa de producción para el sureste de Coahuila y Centro de Nuevo León. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- SAGARPA INIFIPAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Saltillo/México. Folleto para Productores N°10. 16 p.







ISBN: 978-956-302-095-3



9 789563 020953



Lilium: "Una flor llena de significados y de las más antiguas que conocemos por lo que no es de extrañar que para muchos jardineros forme parte de la "aristocracia" de las flores por su belleza y por sus intensos y llamativos colores



Participan:



por ti,
por nuestra
ciudad