



Reúso de efluente de celulosa kraft en la producción aeropónica de *lilium asiático* como planta ornamental

Habilitación presentada para optar al título de
Ingeniero Ambiental

Guido Rolando Carrasco García

CONCEPCION (Chile), 2015



Reúso de efluente de celulosa kraft en la producción aeropónica de *lilium asiático* como planta ornamental

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniero Ambiental

Alumno: Guido Rolando Carrasco García

Profesora guía: Dra. Gladys Vidal Sáez

Co-guía: Ing. Constanza Hidd C.

CONCEPCION(Chile), 2015

NOMENCLATURA

CE	Conductividad Eléctrica	(mS/cm)
DQO	Demanda Química de Oxígeno	(mg/L)
DBO₅	Demanda Biológica de Oxígeno	(mg/L)
COT	Carbono Orgánico Total	(mg/L)
OD	Oxígeno Disuelto	(mgO ₂ /L)
SST	Sólidos Suspendidos Totales	(g/L)
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles	(g/L)
P_T	Fósforo Total	(mg/L)
N_T	Nitrógeno Total	(mg/L)
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactors	
ECF	Elementary Chlorine Free	
TFC	Total Chlorine Free	

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	11
RESUMEN	12
1. INTRODUCCION	14
1.1. Escasez del agua.....	14
1.2. Reúso del agua.....	15
1.3. Industria de celulosa Kraft en Chile.....	16
1.4. Producción de celulosa Kraft.....	19
1.5. Residuos líquidos de la industria de celulosa Kraft.....	20
1.6. Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa Kraft.....	21
1.7. Cultivo aeropónico.....	23
1.8. Parámetros de control del sistema aeropónico.....	26
1.9. Plantas ornamentales y de corte en cultivo aeropónico.....	28
1.10. Cultivo del <i>lilium</i>	30
1.10.1. Importancia comercial.....	30
1.10.2. Generalidades del cultivo del <i>lilium</i>	30
1.10.3. Propagación y cultivo.....	31
1.10.4. Factores ambientales:.....	32
1.10.5. Temperatura.....	32
1.10.6. Luz.....	32
1.10.7. Anormalidades de las plantas:.....	32
1.10.8. Quema de hojas.....	32
1.10.9. Caída y desecación de los botones.....	33

1.10.10.	La solución nutritiva.	33
1.10.11.	pH de la solución nutritiva.	34
2.	HIPOTESIS	37
3.	OBJETIVOS.....	37
3.1.	Objetivo general.	37
3.2.	Objetivos específicos.	37
4.	METODOLOGIA	38
4.1.	Efluente.....	38
4.2.	Material Vegetal.	38
4.3.	Medio de soporte.	39
4.4.	Soluciones de riego.....	39
4.5.	Sistema Aeropónico.	40
4.6.	Operación de los sistemas aeropónicos.....	41
4.7.	Monitoreo de los sistemas aeropónicos.	42
4.8.	Ensayos preliminares.	42
4.9.	Plantación.	42
4.10.	Evolución de las plantas.	43
4.11.	Parámetros físicoquímicos.....	44
4.12.	Ensayo capacidad de desorción de vermiculita empleada como medio de soporte en los sistemas aeropónicos.....	45
4.13.	Balace de materia en módulos aeropónicos.	46
5.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	48
5.1.	Caracterización físicoquímica de las soluciones de riego.	48
5.2.	Operación de los módulos aeropónicos.	54

5.2.1. Ensayos preliminares.	54
5.2.2. Monitoreo parámetros operacionales.	56
5.3. Evolución de las plantas.....	60
5.3.1. Crecimiento de las plantas en altura.....	60
5.3.2. Crecimiento de las plantas en número de hojas.	63
5.3.3. Crecimiento de las plantas en ancho de tallo basal.....	65
5.4. Ensayo de desorción de vermiculita.....	68
5.5. Balance de materia.	69
6. CONCLUSIONES	72
7. RECOMENDACIONES	73
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	74
9. ANEXOS	83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Plantas de celulosa Kraft operantes en Chile: Tipo de proceso, tratamiento y cuerpo receptor de efluentes.	18
Tabla 2. Características del efluente primario celulosa Kraft.	21
Tabla 3. Caracterización de efluente secundario celulosa Kraft.	22
Tabla 4. Soluciones nutritivas creadas por diferentes autores.	25
Tabla 5. Parámetros relevantes y su estrategia de manejo en cultivos sin suelo.	27
Tabla 6. Características de flores de corte cultivadas aeropónicamente.	29
Tabla 7. Caracterización fisicoquímica de la solución nutritiva comercial.	49
Tabla 8. Caracterización fisicoquímica del efluente secundario de celulosa kraft y de su dilución.	51
Tabla 9. Resultados análisis foliar bulbos y plantas de <i>lilium asiático</i>	70
Tabla 10. Balance de Nitrógeno en el sistema.	70
Tabla 11. Balance de Fósforo en el sistema.	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso productivo de la celulosa kraft. [*] RILES: Residuos Industriales Líquidos.....	20
Figura 2. Módulo aeropónico con sus diferentes componentes.....	23
Figura 3. Ciclo de crecimiento de <i>lilium</i> en forma natural.	31
Figura 4. Disponibilidad de elementos químicos en función del pH.....	36
Figura 5. Bulbos de <i>lilium asiático</i> previos a la plantación.....	38
Figura 6. Medio de soporte para las plantas, correspondiente a vermiculita.....	39
Figura 7. Soluciones de riego de efluente de celulosa Kraft y fertilizante específico para bulbos.	40
Figura 8. Módulos A y B, respectivamente.	40
Figura 9. Plantación de bulbos a sus respectivos canastillos, Módulo A (a), Módulo B (b).	43
Figura 10. Ensayo desorción vermiculita.	45
Figura 11. Representación Balance de Materia para los módulos aeropónicos. ..	47
Figura 12. pH en agua potable (□), agua potable+ fertilizantes (O), agua potable+ fertilizantes +sustrato vermiculita (△).	55
Figura 13. Conductividad en agua potable (□), agua potable + fertilizantes (O), agua potable + fertilizantes + sustrato vermiculita (△).....	56
Figura 14. Evolución de la temperatura en el tiempo en módulos A y B.	57

Figura 15. Evolución del pH en el tiempo, para módulo A (O); módulo B (Δ).....	58
Figura 16. Evolución de la conductividad eléctrica en el tiempo. para módulo A (O); módulo B (Δ).....	60
Figura 17. Evolución de las plantas en altura, para módulo A regado con solución nutritiva para: P1A (\square), P3A (O), P4A (Δ), P6A (∇), P7A (\triangleleft), P8A (\triangleright).	61
Figura 18. Plantas: a) P6A y b) P2B presentan anomalías fisiológicas en su crecimiento.....	62
Figura 19. Evolución de las plantas en altura para módulo B, para P1B (\square); P2B (O); P3B (Δ); P4B (∇); P5B (\triangleleft); P6B (\triangleright); P7B (\diamond) y P8B (+).....	63
Figura 20. Evolución de las plantas en número de hojas verdes (\blacksquare) y hojas secas (\blacksquare) para módulo A.	64
Figura 21. Evolución de las plantas en hojas verdes (\blacksquare) y hojas secas (\blacksquare) para módulo B.....	65
Figura 22. Evolución de las plantas en ancho de tallo (\square) y pérdida de ancho (\blacksquare) para módulo A.....	66
Figura 23. Evolución de las plantas en ancho de tallo (\square) y pérdida de ancho (\blacksquare) para módulo B.....	67
Figura 24. Cinética de desorción de Vermiculita para Nitrógeno total.....	68
Figura 25. Cinética de desorción de Vermiculita para Fósforo total.	69

“El Agua es la madre de la vida” (Juan)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme con la vida. Para encontrarle en la naturaleza y junto a ella quedarme. Ahora espero poder contribuir con un granito de arena en la protección de lo único que nos mantiene vivos. También agradezco a mi madre por ser la que me ha guiado y enseñado todo hasta el día de hoy.

A todos mis hermanos por estar siempre a mi lado y saber que siempre estarán ahí para extenderme una mano cuando la necesite.

A mi Polola por recorrer este camino y terminarlo juntos.

A mi profesora Gladys Vidal por permitir realizar este trabajo y por guiarme en este camino para ser ingeniero, y aportarme con toda su sabiduría.

Al grupo GIBA en general por ayudarme en todo porqué sin su apoyo no hubiese sido posible terminar este trabajo. Muchas gracias a todos.

A la comisión evaluadora constituida por la Dra. e integrante del Grupo GIBA Carolina Reyes quien en todo momento me brindo su apoyo, buenas vibras y tiempo para la realización de este trabajo y para el Dr. Gerardo Azocar, quien estuvo en toda esta etapa como profesor, y como jefe de carrera.

“Lo que convierte la vida en una bendición no es hacer lo que nos gusta, si no que nos guste lo que hacemos.”

RESUMEN

El suministro mundial de agua dulce es finito y está amenazado por la contaminación. El aumento de la demanda de agua para abastecer la agricultura, la industria y las ciudades, está dando lugar a la competencia por la asignación del recurso hídrico. Por ello para evitar una crisis hídrica, muchos países están realizando una gestión del suministro, la demanda y de la contaminación emitida por las descargas, reduciendo también el impacto ambiental del crecimiento de la población (Hinichsen *et al.*, 1999).

Debido a esta creciente escasez de agua dulce, se ha promovido internacionalmente la necesidad de proteger el medio ambiente y aprovechar económicamente las aguas residuales a través del reúso controlado de efluentes (Veliz *et al.*, 2009).

Debido a que las industrias en Chile realizan usos intensivos de agua dulce, generan cantidades importantes de efluentes, el presente trabajocentró la mirada en la industria de celulosa, la cual genera cantidades de Nitrógeno total; Fósforototal y Potasiode $3,10 \pm 0,10$ mg/L; $0,63 \pm 0,06$ mg/L; $11,86$ mg/Lrespectivamente en sus efluentes secundarios siendo posible su reúso como agua de riego para plantas ornamentales, dándole un valor agregado a este efluente.

En esta investigación el método para el reúso de estos efluentes de celulosaconsistió en recrear un ambiente propicio para que 16 bulbos de *lilium asiático*divididos en dos módulos A y B, crezcan regados por una solución nutritiva y por un Efluente, respectivamente, mediante la técnica de riego aeropónico.

La evaluación para el crecimiento de las plantas de *lilium asiático* se llevó a cabo por mediciones realizadas de altura de la planta, número de hojas y ancho de tallo basal. Rangos de altura de 19 – 77 cm para el módulo A (solución nutritiva) y 8,5 –

38 cm para el módulo B (efluente de celulosa); número de hojas de 62 ± 25 hojas (A) y 62 ± 17 hojas (B), y para finalizar el crecimiento se evaluó el ancho de tallo basal, con valores promedios de $0,81 \pm 0,07$ cm (A) y $0,79 \pm 0,11$ cm (B).

El balance de materia realizado para los nutrientes esenciales (Nitrógeno y Fósforo) en los módulos A y B muestra los siguientes resultados: Para el nitrógeno se registraron valores de 24 y 17 % respectivamente en la eliminación de este nutriente, 8 y 31% respectivamente en la asimilación de las plantas y retenciones dentro de los sistemas mayores al 50%. Para Fósforo total se registraron eliminaciones superiores al 70 % para ambos módulos. En este caso la asimilación de la plantas es de 2-4% respectivamente, valores menores respecto a Nitrógeno total.

1. INTRODUCCION

1.1. Escasez del agua.

La escasez de agua es una amenaza significativa y creciente para el ambiente, la salud humana, la seguridad energética y el abastecimiento mundial de alimentos (Pereira *etal.*, 2009), la proyección al año 2025 indica que dos tercios de la población mundial podrían estar afectadas por la escasez de este recurso, la demanda de agua para alimentación y producción intensiva seguirá en aumento y 20% más de agua actualmente disponible se va a necesitar para alimentar a la población (UNEP, 2008).

Nuestro país es privilegiado en abundancia de recursos hídricos, y cuenta con una de las mayores reservas mundiales de agua en la zona austral. A pesar de esto, el agua se distribuye de manera irregular en el territorio, debido a la diversidad de climas. El norte del país es sumamente árido, con menos de 500 m³/año por habitante; y en el sur el agua es muy abundante, superando los 160.000 m³/año por habitante. Esta diversidad genera diversos problemas de uso y acceso al agua en las diferentes regiones del país. En el norte del Chile, las empresas cupríferas contaminan el agua con sus desechos, perjudicando principalmente a las zonas de poblaciones indígenas. En el centro-sur del país, el uso de agua es principalmente para la agricultura y las industrias forestales las cuales provocan contaminación en las cuencas hídricas. En el sur de Chile, los problemas tienen que ver con la concentración de la propiedad del agua en grandes empresas generadoras de energía (particularmente, ENDESA España), para la instalación de mega centrales hidroeléctricas.

Existe una manera de aprovechar este recurso esencial para el ser humano, el cual es el reúso del agua.

1.2. Reúso del agua.

A lo largo de las últimas décadas, ha habido un creciente interés en el desarrollo de fuentes alternativas de agua, incluyendo el reúso de agua urbana utilizada y agua de mar (Bixio and Wintgens, 2006). El reúso de aguas residuales urbanas se enmarca en el manejo sustentable del recurso hídrico. En este contexto, el agua residual urbana que se ha tratado y adecuado a una calidad de uso se denomina agua regenerada y, por lo tanto, representa una fuente hídrica alternativa. Entre los beneficios asociados al uso de agua regenerada se encuentran (Asano, 2005):

- Conservación de los suministros de agua de alta calidad gracias a la sustitución por agua regenerada.
- Conservación del medioambiente por la reducción en la descarga de aguas con mayores niveles de compuestos (aguas residuales urbanas, aguas residuales industriales, etc.) respecto de los niveles de compuestos presentes en los sistemas acuáticos naturales.
- Beneficio económico gracias al ahorro de fuentes de agua de mayor calidad, lo que se refiere a un ahorro, por ejemplo en las cuentas del agua. Este ahorro es significativo especialmente en los entornos urbanos. Para los entornos rurales, el ahorro se asocia a la reducción del uso de fertilizantes gracias a los nutrientes contenidos en el agua regenerada.

Actualmente, Israel se constituye como el país que más agua residual urbana reusa con un aprovechamiento del 70% del total producido, seguido por Singapur con un 30%, Arabia Saudita con 16%, Estados Unidos y Australia con un 8% c/u (USEPA, 2012).

Las categorías de reúso del agua son las siguientes (Asano, 2005):

- Riego agrícola (riegos de cultivos, viveros comerciales).

- Riegos de áreas verdes (parques, jardines de escuelas, campos de golf, cementerios).
- Reciclaje industrial y reutilización (agua de enfriamiento, agua de caldera, agua de proceso, construcción).
- Recarga de acuíferos (recarga subterránea, control de cuñas salinas, control de la subsidencia).
- Usos recreacionales-ambientales (lagos y lagunas, mejora de humedales, reservas naturales, regulación de caudales, pesquería).
- Usos urbanos no potables (provisión contra incendios, climatización, agua de inodoro).
- Reúso potable (ablandamiento del agua, ablandamiento del agua del acuífero, directo al suministro del agua).

El agua residual susceptible de tratamiento y reúso puede ser utilizada como una fuente hídrica alternativa, disminuyendo el impacto ambiental de ésta. En la agricultura tiene perspectivas a futuro, también se puede utilizar para obtener incentivos económicos mediante cultivos, como por ejemplo: los cultivos ornamentales.

1.3. Industria de celulosa Kraft en Chile.

En las últimas dos décadas la industria de celulosa Kraft chilena ha alcanzado una notable competitividad en el ámbito internacional. Según datos de la Corporación Chilena de la Madera(CORMA), Chile ocupa el noveno lugar como exportador mundial con 5,2 millones de toneladas de pulpa producidas al año 2013. Esta producción se debe, principalmente, a las 13 industrias de celulosa, de las cuales 9 usan procesos Kraft, mientras que 4 de ellas realizan procesos mecánicos. (Xavier,2006).

El desarrollo de la industria de celulosa se concentra en la zona centro sur del país, debido a que las principales especies utilizadas como materia prima (*Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*) poseen gran adaptación a las condiciones climáticas y de suelo de esa región. Del total de superficie plantada, el 74% corresponden a *P. radiata* y el 26 % restante a *E. globulus* y otras especies (Xavier, 2006; CORMA, 2010). La Región del Biobío concentra el 38% de la superficie nacional plantada y al mismo tiempo, es la región que lidera en cada una de las especies señaladas(INFOR, 2014).

Las dos empresas que desarrollan producción de celulosa son la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC), y Celulosa Arauco, las cuales se distribuyen a lo largo del país, con 9 plantas operantes como lo muestra la Tabla 1. (Vidal *et al.*, 2007; Chiang *et al.*, 2010).

Tabla 1. Plantas de celulosa Kraft operantes en Chile: Tipo de proceso, tratamiento y cuerpo receptor de efluentes.

Planta	Región	Empresa	Tipo de Celulosa	Producción (miles ton/año)	Tratamientos de Efluentes	Cuerpo Receptor
Constitución	Maule	ARAUCO	UKP	350	TP:CL; TS: LA	Pacífico
Laja	Biobío	CMPC	BSKP-UKP	360	TP:CL;TS:MBBR+LO	Río Biobío
Arauco I	Biobío	ARAUCO	BSKP-UKP	260	TP:CL; TS: LA	Pacífico
Santa Fe	Biobío	CMPC	BEKP	1310	TP:CL;TS:MBBR+LO	Río Biobío
Pacífico	Araucanía	CMPC	BSKP	500	TP:CL; TS: LA	Río Biobío
Arauco II	Biobío	ARAUCO	BSKP-BEKP	495	TP:CL; TS: LA	Pacífico
Licancel	Maule	ARAUCO	BSKP	145	TP:CL; TS: LA	Río Mataquito
Valdivia	Los Ríos	ARAUCO	BSKP-BEKP	685	TP:CL;TS:LO;TT:DAF	Río Cruces
Nueva Aldea	Biobío	ARAUCO	BSKP-BEKP	856	TP:CL;TS:LO;TT:DAF	Río Itata

SB: Sin Blanqueo; ECF: Elementary Chlorine Free; TP: Tratamiento Primario; CL: Clarificador gravitacional; TS: Tratamiento Secundario; LO: Lodos Activados; LA: Lagunas Aireadas; MBBR: Móvil Bed Biofilm Reactor; TT: Tratamiento Terciario; DAF: Flotación por aire disuelto; UKP: Unbleached Kraft Pulp; BSKP: Bleached Softwood Kraft Pulp; BEKP: Bleached Eucalyptus Kraft Pulp.

Fuente: Vidal *et al.* (2007); Chiang *et al.* (2010).

1.4. Producción de celulosa Kraft.

El proceso productivo Kraft, es uno de los más utilizados a nivel mundial. Apunta a separar las fibras de celulosa de los demás componentes de la madera, principalmente de la lignina y hemicelulosas (Chamorro *et al.*, 2005).

La Figura 1, muestra el proceso general de producción de celulosa Kraft. En primer lugar, la madera es descortezada y astillada. Luego, las astillas ingresan a un digestor continuo dentro del cual son sometidas a cocción con licor blanco, compuesto por Hidróxido de Sodio (NaOH) y Sulfuro de Sodio (Na₂S), bajo condiciones controladas de temperatura (130-170°C) y presión. Después de la digestión, las fibras son separadas por procesos de filtración, al residuo se le denomina licor negro. Actualmente, éste es recuperado a través de evaporación y combustión. Sin embargo, existe una pequeña parte del licor negro que permanece entre las fibras (Hodson *et al.*, 1994) y le otorga a la pulpa de celulosa una coloración marrón. Por ello, las fibras son lavadas, filtradas y blanqueadas (Gutierrez *et al.*, 2006). En la etapa de blanqueo se utiliza Dióxido de Cloro (ClO₂), reforzado con uso de agentes oxidantes como el Peróxido y el Oxígeno, proceso libre de cloro elemental, denominado EFC por su sigla en inglés (elementary chlorine free) denominado Esta alternativa se planteó como intermedia al reemplazo total del cloro, en el proceso libre de cloro total por su sigla en inglés TCF (Total Chlorine Free)(Odendahl *et al.*, 1990; Videla, 2003). El proceso finaliza con drenado de agua, secado y embalado del producto para su traslado a los distintos puntos de destino final.

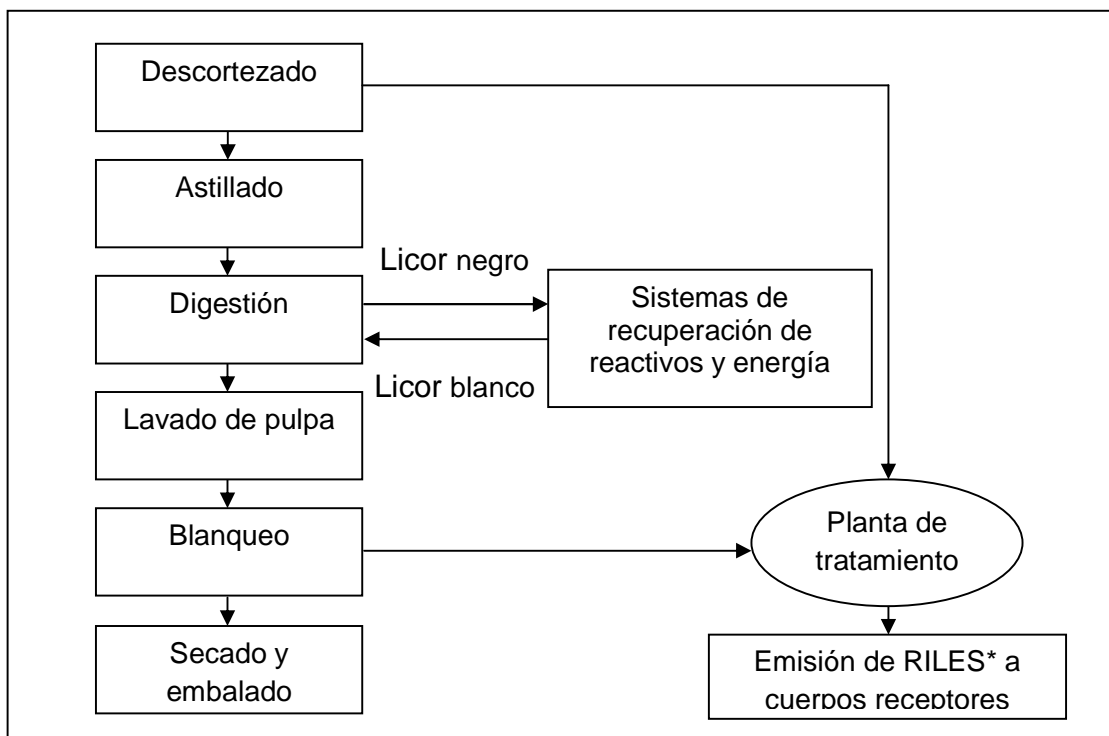


Figura 1.Proceso productivo de la celulosa kraft. [*] RILES: Residuos Industriales Líquidos.

Fuente: Adaptado a partir de Zaror.(2002).

1.5. Residuos líquidos de la industria de celulosa Kraft.

La industria de celulosa, debido a las características de su proceso productivo, hace un uso intensivo del agua, ocupando el tercer lugar en el mundo, después de la minería y la industria química, en cuanto a la extracción de agua dulce. (Bajpai, 2013). Lo anterior se evidencia en los elevados volúmenes de descarga de efluentes que posee, con caudales entre 30-90 m³ por tonelada de producto elaborado (Thompson *et al.*, 2001; Zaror, 2002).

Los residuos líquidos provienen, principalmente, de la secuencia de blanqueo, lavado de equipos y derrames de pulpa. En general estos efluentes se caracterizan

por su alto contenido de sólidos suspendidos, carga orgánica (DBO₅ y DQO), color por presencia de ligninas, derivados de ligninas, taninos y compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX), estos últimos para el caso de celulosa Kraft (Ali and Sreekrishnan, 2001; Carrasco, 2004).

La Tabla 2 presenta la caracterización del efluente del tratamiento primario de celulosa.

Tabla 2. Características del efluente primario celulosa Kraft.

Parámetro	Unidad	Rango
pH	-	6,62 - 6,67
DQO	mg/L	611,0 – 638,5
DBO ₅	mg/L	324,0 – 360,0
Color _r (VIS 440 nm)	Abs	0,097 – 0,101
Fenoles totales (UV 215 nm)	mg/L	159,7 – 161,4
N _T	mg/L	0,5 – 0,8
P _T	mg/L	2,7 – 2,7

DQO: Demanda Química de Oxígeno, DBO₅: Demanda Biológica de Oxígeno; N_T: Nitrógeno Total; P_T: Fósforo Total.

Fuente: HiddC.(2014).

1.6. Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa Kraft.

Las características del efluente de celulosa Kraft hacen necesario su tratamiento previa descarga al cuerpo de agua receptor. Para ello, la industria ha implementado un sistema que cuenta con tratamiento primario, secundario como lo indica la Tabla 3 y en algunos casos una tecnología terciaria.

Tabla 3. Caracterización de efluente secundario celulosa Kraft.

Parámetro	Unidad	Rango
pH	-	7,1 - 7,4
DQO	mg/L	202,9 - 213,7
DBO ₅	mg/L	16,0 - 4, 0
Color _(VIS 400 nm)	Abs	0,2 - 1,0
Fenoles totales _(UV 215nm)	mg/L	164,0 - 204,2
N _T	mg/L	1,7 - 1,9
P _T	mg/L	0,8 - 0,9
CE	mS/cm	3,4
K	mg/L	27,4

DBO₅: Demanda Biológica de Oxígeno; DQO: Demanda Química de Oxígeno; N_T: Nitrógeno Total; P_T: Fósforo Total; CE: Conductividad Eléctrica; K: Potasio.

Fuente: Chamorro *et al.*(2010); López *et al.* (2011).

El objetivo del tratamiento primario es eliminar los sólidos, alcanzando eficiencias entre 80 – 90 % (Thompson *et al.*, 2001). En el tratamiento secundario, el objetivo es la eliminación de la materia orgánica, para lo cual son empleados, sistemas biológicos aeróbicos en los que microorganismos degradan la materia orgánica (Rodríguez *et al.*, 2010). Estos microorganismos se pueden encontrar de manera libre, es decir, suspendidos en el líquido de mezcla del reactor, como en los sistemas de lodos activados o se pueden encontrar adheridos a una superficie, como en los reactores de lecho móvil o Moving Bed Biofilm Reactors (MBBR). Las dos tecnologías permiten reducir la carga orgánica biodegradable y los niveles de toxicidad en el efluente. Particularmente, la eliminación de materia orgánica a la forma de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) tiene eficiencias de eliminación

que oscilan entre un 65 - 99% y para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se alcanzan niveles de hasta el 24 - 60% de eliminación (Xavier *et al.*, 2005; Villamar *et al.*, 2009). Es posible observar que el efluente secundario posee características que permiten su reutilización como agua de riego para plantas ornamentales, debido a los nutrientes esenciales que posee (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) adicionando un valor agregado a estos efluentes.

1.7. Cultivo aeropónico.

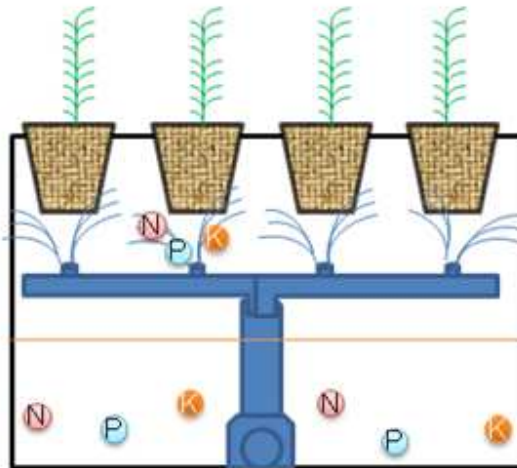


Figura 2. Módulo aeropónico con sus diferentes componentes.

Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas aeropónicos son sistemas de cultivo en el cual las raíces se encuentran suspendidas en una cámara de crecimiento a oscuras, donde son humedecidas mediante pulverización a intervalos regulares con solución nutritiva rica en oxígeno. La humedad dentro de esta cámara debe mantenerse al 100 % o cerca de este valor las 24 horas del día (Duran, 2000).

La planta crece hacia arriba, separadas las raíces del dosel, por una superficie de apoyo. El entorno de las raíces está limpio de enfermedades o plagas de tal modo que las plantas pueden crecer más saludables y rápidas que las plantas en tierra. Sin embargo, dado que la mayor parte de los entornos aeropónicos no están perfectamente sellados al exterior, plagas y enfermedades aún son una amenaza (Zepeda, 2012).

La aeroponía ha sido aplicada con éxito para la producción de diferentes especies hortícolas incluyendo lechuga (Cho *et al.*, 1996), tomate (Biddinger *et al.*, 1998), pepino (Park *et al.*, 1997) y plantas ornamentales tales como crisantemo (Molitor *et al.*, 1999) o flor de pascua (Scoggins and Mills, 1998).

El primer sistema aeropónico fue desarrollado por el Dr. Franco Massantini en la Universidad de Pía, lo que permitió crear las denominadas “columnas de cultivo” que consiste en un cilindro de PVC u otros materiales colocados en posición vertical, con perforaciones en las paredes laterales, por donde se introducen las plantas en el momento que se realiza el trasplante (José *et al.*, 2000).

Existen dos tipos de sistemas hidropónicos, los sistemas abiertos y cerrados, los abiertos son los que eliminan la solución de riego una vez pasada por las plantas, los sistemas cerrados son aquellos en la cual la solución se recicla, debiendo controlar su pH, CE, temperatura. Dentro de los sistemas cerrados encontramos los de riego por goteo, los de NFT (Nutrient Flow Technique), Aeroponía, etc. (Bezerra, 2012).

Cada tipo de cultivo necesita nutrientes para su desarrollo, en el caso del cultivo aeropónico, la Tabla 4 presenta la solución nutritiva de diferentes autores que se puede utilizar para una correcta alimentación para la planta.

Tabla 4. Soluciones nutritivas creadas por diferentes autores.

Elemento	Símbolo	Unidad	Steiner (1984)	Cooper (1979)	Hewitt (1966)	Hoagland and Arnon (1938)
Nitrógeno	N	mg/L	168	200-236	168	210
Fósforo	P	mg/L	31	60	41	31
Potasio	K	mg/L	273	300	156	234
Magnesio	Mg	mg/L	48	50	36	34
Azufre	S	mg/L	336	68	48	64
Calcio	Ca	mg/L	180	170-185	160	160
Hierro	Fe	mg/L	2-4	12	2,8	2,5
Boro	B	mg/L	0,44	0,3	0,54	0,5
Manganeso	Mn	mg/L	0,62	2,0	0,54	0,5
Zinc	Zn	mg/L	0,11	0,1	0,065	0,05
Molibdeno	Mo	mg/L	No considerado	0,2	0,04	0,01

Fuente: Adaptado de Cooper. (1978); Steiner. (1984).

Las principales ventajas que aporta la aeroponía es la excelente aireación que el sistema proporciona a las raíces, uno de los factores limitantes con los que cuenta la hidroponía (Zepeda, 2012). Basta con tan sólo considerar que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se mide en mg/L siendo de 5-10mg/L a 20°C, mientras que la cantidad de oxígeno disuelto en el aire se mide en porcentaje (21%), lo que indica que la concentración en el gas es unas 20.000 veces más elevada que la concentración del mismo gas en el agua.

La primordial ventaja de la aeroponía es la conservación de agua y energía, comparado con los cultivos hidropónicos, los aeropónicos ofrecen unos requerimientos de agua y energías menores por cada metro cuadrado de cultivo. (Zepeda, 2012).

1.8. Parámetros de control del sistema aeropónico.

La Tabla 5 presenta una compilación de parámetros de manejo más comunes utilizados en cultivos sin suelo, estos valores no son estables ya que varían dependiendo del tipo de cultivo que se realice, tipo de planta y requerimientos que necesite, pero ayuda a guiarse en los rangos en el cual la mayoría de los cultivos se distribuyen.

Tabla 5. Parámetros relevantes y su estrategia de manejo en cultivos sin suelo.

Parámetro	Unidad	Rango	Factores afectados	Acciones a tomar si aparecen valores no deseados
pH	-	5,5- 6,5	Disponibilidad de fósforo y de micronutrientes.	Agregar más ácido o base al agua de riego.
CE	mS/cm	0,5 –1,5	Salinidad y disponibilidad de agua	Enjuagar con agua (2-3 veces el volumen normal), enriquecido con una pequeña cantidad de nitrógeno (50 ppm), si la CE está un 20% por encima del óptimo.
Cl ⁻	ppm	< 50 ppm	Volumen de riego	La misma acción que la mencionada para CE, si el valor es 50 ppm o más alto.
NO ₃ ⁻	ppm	S.R.	Estado de la fertilización	Aumentar o reducir la concentración de fertilización de acuerdo al cambio producido.
NO ₂ ⁻	ppm	< 10 ppm	Intervalos de riego o proporción	Enjuagar el sustrato si se detecta un valor mayor a 10 ppm. Aumentar los intervalos entre riegos y aumentar la dosis de ácido.

CE: Conductividad eléctrica; Cl⁻: Ión cloruro; NO₃⁻: Ión nitrato; NO₂⁻: Ión nitrito; S.R.: sin restricción.

Fuente: Ronen.(2014); FIA. (2007).

1.9. Plantas ornamentales y de corte en cultivo aeropónico.

La floricultura es una rama de la horticultura general orientada al cultivo de flores y plantas ornamentales en forma industrializada con el objeto de su exportación comercial para uso decorativo. Se consideran ornamentales aquellas plantas que se utilizan para adornos en sitios donde transcurre la vida del ser humano, ya sea por su belleza de conjunto o por el uso de alguna de sus partes, que en su estado natural o preservadas pueden cubrir la función de satisfacer visualmente el gusto del consumidor y en algunos casos, presentar un atractivo (flores, frutos de tipo aromático) (SAGARPA, 2005a, SAGARPA, 2005b; SAGARPA, 2008; Morán, 2004).

El cultivo de flores cortadas y de bulbos se extiende ampliamente a lo largo del mundo, se estima un crecimiento de un 6 a 9% anual. Desde los años 80 a la actualidad se ha duplicado dicho consumo y está unido a los mercados con más ingresos per cápita, principalmente Japón, Estados Unidos y Europa. De acuerdo a datos ODEPA el cultivo de bulbos para flor creció en Chile un 126% entre el 2000 y 2004.

En nuestro país las principales flores de corte que se producen son: Clavel, Liliun, Leatris, Rosa, Gladiolo, Crisantemo, Aster, Alstroemeria, Fresia, Limonium, Tulipán, Peonía, Cala, Lisianthus, Nerine, Iris y Alelí.

Dentro de las plantas ornamentales cultivadas en un cultivo aeropónico se encuentran los claveles, crisantemos, crotones, filodendros, ficus, pelargonio, drecaena, gipsophila entre otras. (Nir, 1982).

La Tabla 6 muestra características necesarias para el cultivo en aeroponía, destacando que estas son la mayoría de plantas que se utilizan en este tipo de cultivo.

Tabla 6. Características de flores de corte cultivadas aeropónicamente.

Planta	Altura (m)	Temperatura (°C)	pH	Humedad (%)	C.E. (mS/cm)	Plagas	Enfermedades	Tiempo crecimiento (meses)
Lilium (<i>Lilium asiático</i>)	1	14 - 25	5,5 - 6,5	50 - 65	< 1,5	Criocerros, Pulgones, Trips	Rhizoctonia solani Phytophthora, parasítica	Ciclo anual
Tulipán (<i>Tulipa spp.</i>)	0,5 - 1	16 - 18	6,5 - 7,2	> 85	< 3	Babosas, Caracoles	Botrytis	3
Crisantemo (<i>Chrysanthemum spp</i>)	0,5-1	13 - 17	6,5 - 7,5	25 - 30	< 1,5	Mosca delcrisantemo , Nemátodos	Pudrición de la raíz, Pudrición del tallo, Oídio	3
Rosa (<i>Rosa spp</i>)	0,5 - 1	15 - 20	6 - 7	60 - 70	< 3	Araña roja, Pulgón verde, Nemátodos	Oídio, Botrytis	3
Clavel (<i>Dianthus caryophyllus L.</i>)	1,5	8 - 25	6,5 – 7	60 - 80	2 - 3	Pulgones, Trips, Minadores	Fusarium	4

Fuente: Adaptado de FIA.(2003).

1.10. Cultivo del *lilium*

1.10.1. Importancia comercial.

Las subastas de flores holandesas pueden ser usadas como un indicador de principales especies de flores cortadas vendidas en la unión europea.

Las 10 principales flores vendidas durante el año 1995, en las subastas holandesas muestran el siguiente orden: Rosa, Crisantemo, Tulipanes, Dianthus, Fresa, Gerbera, *Lilium*, Alstromelia, Iris y Narcisos. El *lilium* durante ese año registró 313.925.000 tallos, datos obtenidos por la federación de subastas holandesas. Este cultivo ha aumentado cada año, como lo muestran las estadísticas de las flores subastadas en mercados de Holanda. La Rosa representa el 41% y el *Lilium* el 9% del total de flores de corte vendidas durante el año 2005. (Coria,2012).

Chile actualmente se encuentra en el lugar treinta y tres con un total de US\$ 275 mil en exportaciones a los países bajos, de éstas los bulbos representan el 96,7 % del total de exportaciones realizadas, siendo un 82,16 % de *lilium* seguido con un 14,35 % para tulipán(Prochile, 2014).

1.10.2. Generalidades del cultivo del *lilium*.

El *lilium* es una planta bulbosa que consiste en escamas, es perenne o sea permanente, no muere en cada temporada, tiene raíces. Se define como una especie de ciclo anual de desarrollo tipofrío-calor-frío, donde la diferenciación de las hojas, flores y raíces se produce en primavera. La situación natural de un bulbo de *lilium* durante el cultivo se describe en la Figura 3, donde se observa la brotación, crecimiento, floración y senescencia o muerte natural. El bulbo entra en dormancia o se duerme desde la floración en adelante. Esto significa que el bulbo

en esas condiciones no brota, sólo emite raíces y el quiebre para esta situación se hace con exposición de los bulbos a temperaturas bajo 10 °C. Por ello el tratamiento de frio de los bulbos de *lilium* se realiza a 2 °C para acelerar el proceso (FIA, 2007).

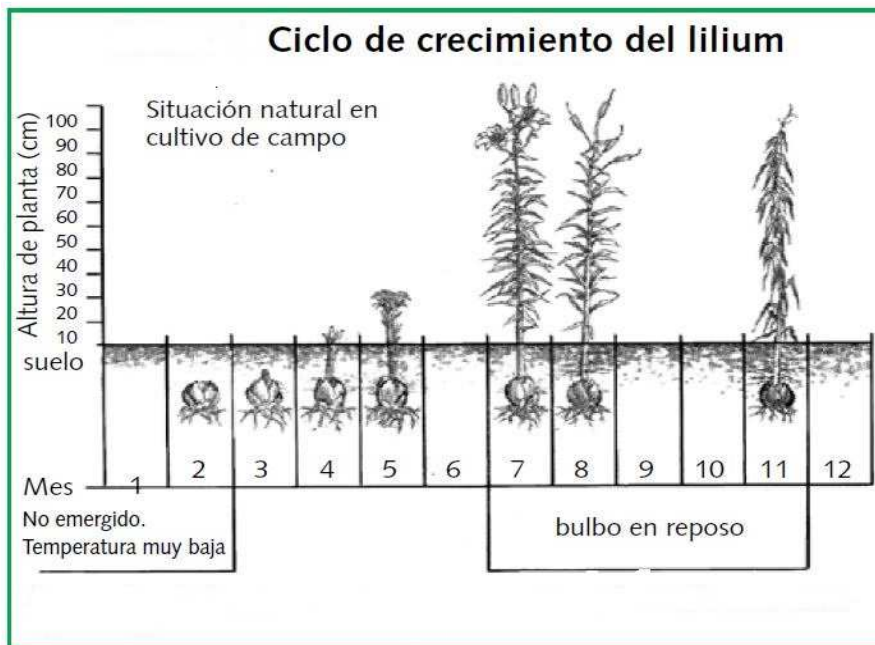


Figura 3.Ciclo de crecimiento de *lilium* en forma natural.

Fuente:FIA.(2007).

1.10.3. Propagación y cultivo.

Todos los bulbos que se usan para flores de corte se producen en Holanda o en el noroeste de Estados Unidos. Los investigadores del mejoramiento del *lilium* lo propagan por escamas, por pequeños bulbos o por semilla.

A los bulbos se les debe dar un remojo previo a la plantación de 10 o 20 minutos, en una solución fungicida para evitar la pudrición de raíz. Después del tratamiento

se plantan inmediatamente en el campo o invernadero. Si los bulbos deben ser almacenados, no se almacenan por más de 10 días de 0 - 4°C.

1.10.4. Factores ambientales:

1.10.5. Temperatura.

Las condiciones ambientales ideales para el cultivo del *lilium* para flor cortada se orientan a obtener temperaturas máximas de 9 – 14°C, durante la etapa de desarrollo de raíces, durante la etapa de cultivo de las variedades asiáticas se debe mantener una temperatura mínima de 8 – 10°C durante la noche y 23 a 25°C durante el día (Juárez, 2010).

1.10.6. Luz.

Los *lilium* necesitan intensidad de luz alta, alrededor de 3500 lux para una mejor floración, particularmente si son forzados en el invernadero durante los meses de invierno. La luz baja resulta en el aborto de la yema floral y la abscisión de la misma (Juárez, 2010).

1.10.7. Anormalidades de las plantas:

1.10.8. Quema de hojas.

Es una anomalía que ocurre generalmente cuando las plantas se encuentran al estado vegetativo o botón no visible. El efecto se observa primero en las hojas jóvenes las que se encuentran inmediatamente anterior al botón, estas hojas se manchan, y al día siguiente la zona afectada se observa como un círculo necrosado mirado desde arriba para posteriormente tornarse café y secarse. Si el

efecto es suave, la planta puede seguir produciendo, pero deben eliminarse las hojas afectadas. Esto es el resultado de una inadecuada relación entre la absorción de agua y la transpiración de la planta. Las células se destruyen o revientan y finalmente mueren. En un invernadero se produce cuando ocurre un cambio abrupto en la humedad relativa, en la temperatura ambiental, ayudado por un inadecuado sistema radicular, alta salinidad en el suelo y un crecimiento excesivamente rápido de la planta comparada con el tamaño del sistema radicular. También el tamaño o calibre de los bulbos influye ya que los calibres mayores provocan más frecuentemente este problema fisiológico (Centro Internacional de Bulbos de Flor. s.f.)

1.10.9. Caída y desecación de los botones.

Esto puede ocurrir desde el momento que los botones se hacen visibles adquiriendo un color amarillento, estrangulándose el pedúnculo por lo que el botón se cae. La desecación se muestra en forma parecida siendo a veces difícil diferenciar los dos efectos. Esto ocurre siempre cuando se cultiva *lilium* en condiciones de baja luminosidad. Bajo estas condiciones de luminosidad los estambres del botón producen etileno, que provoca el aborto floral. Se previene cultivando variedades con menor necesidad de intensidad de luz y otorgando todas las facilidades para que el desarrollo de raíces sea el ideal (FIA, 2007). Las flores ciegas y la abscisión de las flores son el resultado de altas temperaturas y la intensidad de luz baja respectivamente (De Hertog, 1989).

1.10.10. La solución nutritiva.

Numerosas soluciones nutritivas han sido formuladas para hacer crecer las plantas en cultivos sin suelo y su composición química varía ampliamente (Smith *et al.*, 1983)

Estas soluciones fueron realizadas empíricamente y la mayor parte sin consultar previamente información precisa, con respecto a concentraciones de nutrientes dichos autores enfatizan que las concentraciones de nutrientes requeridos para satisfacer las demandas internas de las plantas difieren de acuerdo con la especie. Por lo tanto, no puede haber una solución nutritiva única con las que se tendrían resultados satisfactorios para todas ellas.

Mientras que para Steiner (1961, 1984) la composición química de una solución nutritiva está determinada por las proporciones relativas de aniones y cationes, la concentración iónica total y el pH, para De Rijck and Schrevens (1997) una vez determinadas las relaciones y concentraciones iónicas, el pH es a su vez fijado. Esto significa que el pH es una propiedad inherente de la composición mineral de la solución nutritiva y que no puede ser variado independientemente.

Steiner (1961) indicó que cuando se aplica la solución nutritiva en forma continua, las plantas pueden absorberse a muy bajas concentraciones, sin embargo, es probable que a una concentración menor a la ya mencionada, la demanda mínima de determinados nutrientes no sea cubierta.

En el otro extremo de concentración, el consumo excesivo puede conducir a efectos tóxicos. El punto de discusión es la existencia de concentraciones óptimas de determinados nutrientes en solución para un cierto cultivo, bajo particulares condiciones ambientales o si sus proporciones relativas y no sus concentraciones absolutas son los factores determinantes. (Steiner, 1961).

1.10.11. pH de la solución nutritiva.

Steiner en 1968 menciona que en una verdadera solución nutritiva se tienen todos los iones en forma libre y activa y que el pH es importante para determinar la disponibilidad de algunos iones (ver figura 4); así por ejemplo, aun pH básico no

es posible tener un contenido alto de iones Ca^{2+} y PO_4^{3-} , debido a la posible co-precipitación de ambos en la forma de compuestos poco solubles de CaHPO_4 .

El pH es importante para favorecer la presencia de la forma química H_2PO_4^- , que es la forma de fósforo más fácilmente absorbida por las plantas. A pH 5,0 el 100% del P está en esta forma y al aumentar el pH, dicha forma pasa a HPO_4^{2-} ($\text{pK}_{a2}=7,3$) alcanzando el 100% a pH 10. El intervalo de pH en el que predomina el ion H_2PO_4^- sobre el HPO_4^{2-} es entre 5 y 6. Precisamente entre estos límites se tiene la mejor difusión de H_2PO_4^- en el espacio libre radical y aumenta su absorción por parte de las plantas desarrolladas en hidroponía. (Rijck and Schrevens, 1997).

En las soluciones nutritivas se puede presentar problemas por precipitación de P cuando el pH es mayor a 7,5. Cuando el producto de sus contenidos de Ca^{2+} y HPO_4^{2-} (en mM/L) presentes en la solución nutritiva es $>2,2$ (mM/L) ocurre precipitación de CaHPO_4 . (Steiner, 1984).

Steiner (1968) generalmente usa valores de pH de 6,0 - 6,5 y considera que en este intervalo de equilibrio de disociación de los fosfatos y de los carbonatos da la mayor capacidad amortiguadora con respecto al pH. Se puede concluir que el pH apropiado de una solución para el desarrollo de un cultivo en hidroponía varía entre 5 y 6. Sin embargo el pH de una solución nutritiva no es estático, sino que varía en función de la diferencia en la magnitud de absorción de nutrientes por las plantas, en términos de balance de aniones con respecto a los cationes, cuando los aniones son absorbidos en mayor magnitud, por ejemplo cuando la fuente de N_2 en la solución nutritiva es únicamente NO_3^- la planta excreta aniones OH^- o HCO_3^- para contrarrestar las cargas eléctricas en su interior (Marshner, 1995), lo que genera un pH alcalino. A este proceso se le llama alcalinidad fisiológica. La solución Steiner es de este tipo. Dicho de otra manera, en la medida que la planta absorbe una proporción mayor de aniones que de cationes, se incrementa el pH de la solución.

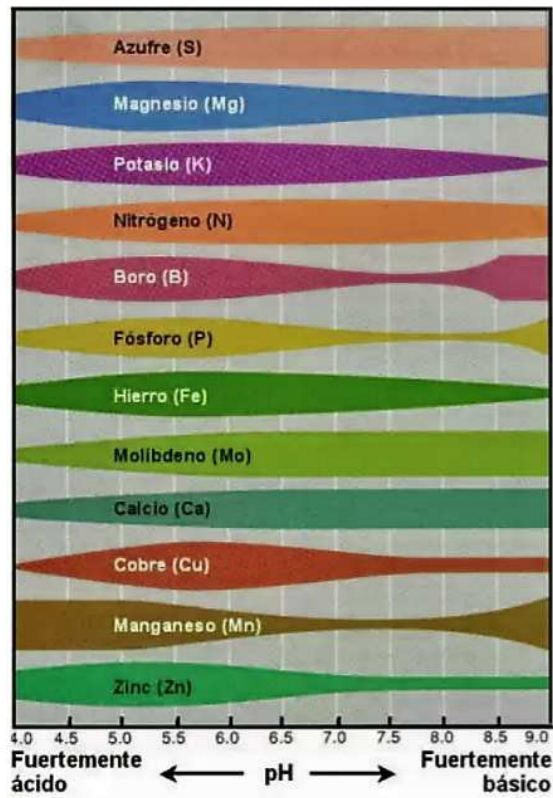


Figura 4. Disponibilidad de elementos químicos en función del pH.

Fuente: Trejo *et al.* (2012).

La solución nutritiva más utilizada por Steiner (1966) se le conoce como “solución universal”, contiene 9, 4 y 7 meq/L de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , respectivamente. Las concentraciones de aniones son 12, 1 y 7 meq/L de NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} , respectivamente. En el balance estequiométrico la suma de aniones y cationes es 20 meq/L en cada caso (Sandoval-Villa *et al.*, 2007).

2. HIPOTESIS

Los efluentes de celulosa Kraft poseen características físico-químicas para ser utilizados como fertilizante para la producción aeropónica de plantas ornamentales.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general.

Evaluar la utilización de efluentes de celulosa Kraft como fertilizante para la producción aeropónica de plantas ornamentales.

3.2. Objetivos específicos.

- Estudiar las características físico-químicas de un efluente de celulosa Kraft para ser utilizado como fertilizante en la producción aeropónica de plantas ornamentales.
- Evaluar la factibilidad de crecimiento y producción de plantas ornamentales en un sistema aeropónico regado con efluente de celulosa Kraft.
- Realizar el balance de materia del sistema aeropónico de *lilium asiático*, regado con efluente de celulosa Kraft.

4. METODOLOGIA

4.1. Efluente.

El efluente secundario utilizado provenía de un sistema de tratamiento de lodos activados operado a escala laboratorio en la Planta Piloto de Investigación del Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental, en la Facultad de Ciencias Ambientales y Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, de la Universidad de Concepción, el cual fue alimentado con influente crudo de una industria de celulosa Kraft de la región del Biobío que utiliza como materia prima *Eucalyptus globulus* cuenta con sistema EFC de blanqueo. Su almacenaje se realizó en bidones de 20 L y refrigerado a 4°C, en oscuridad.

4.2. Material Vegetal.

Para este experimento se utilizaron bulbos de *Lilium asiático* calibre 10-12, de la marca Paz y Flora, adquiridos en la empresa Sodimac Homecenter ubicada en Avenida Los Carrera, Concepción.



Figura 5. Bulbos de *Lilium asiático* previos a la plantación.

4.3. Medio de soporte.

El sustrato o medio de soporte utilizado en este experimento fue vermiculita, como se muestra en la Figura 6. Este es un material inerte con capacidad de retención de agua de 50 – 60% y densidad muy baja ($70 - 120\text{Kg/m}^3$), cualidades que ayudan a mejorar el drenaje y la circulación de aire para un mejor desarrollo radicular.



Figura 6. Medio de soporte para las plantas, correspondiente a vermiculita.

4.4. Soluciones de regadío.

Las soluciones de regadío utilizadas corresponden a: Efluente de celulosa Kraft (solución en estudio), a ésta se le aplicó un factor de dilución de 3 para mantener la conductividad dentro del (rango óptimo de CE) y fertilizante específico para bulbos NPK 18-15-12 de la marca Best Garden, 3 gramos por planta es la dosis indicada por los productores, ya que gracias a su fórmula entrega a la planta NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), también los microelementos necesarios como el Magnesio (Mg), Boro (B), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Azufre (S), etc., todos de acuerdo a su función biológica, aseguran un desarrollo integral y crecimiento sano de todo tipo de plantas.

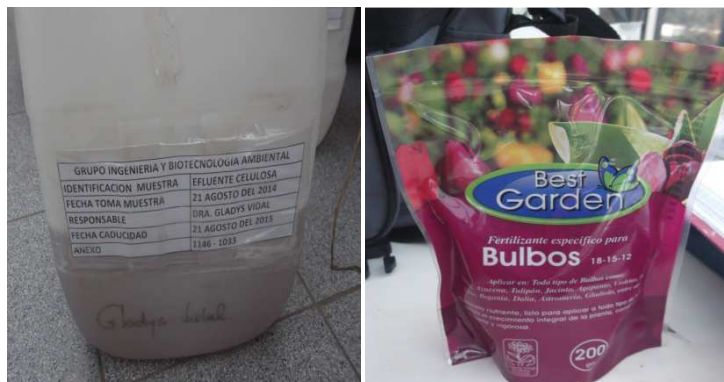


Figura 7. Soluciones de regadío de efluente de celulosa Kraft y fertilizante específico para bulbos.

4.5. Sistema Aeropónico.

El sistema a escala laboratorio consintió en 2 contenedores de polietileno de 40 L de capacidad cada uno. La Figura 8 muestra los módulos A y B cerrados con los canastillos ubicados en sus respectivos lugares. Éstos además se cubrieron con varias películas de polietileno negro para evitar que entre luz hacia el interior y así producir crecimiento de algas.

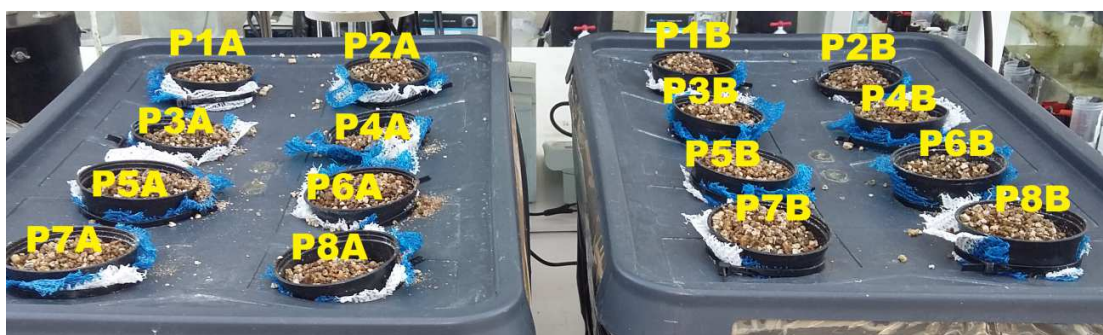


Figura 8. Módulos A y B, respectivamente.

El sistema consistió en dos módulos A y B, donde el módulo A corresponde a la solución nutritiva específica para bulbos (S.N.) utilizada como blanco control y el

módulo B corresponde al efluente utilizado como caso de estudio. A cada módulo se le hicieron 8 orificios distribuidos homogéneamente donde un canastillo en cada orificio mantuvo los bulbos.

Para el montaje de los módulos se utilizaron los siguientes materiales:

Bombas sumergibles

Estructura de riego PVC de 20 mm

Unión americana PVC 20 mm

Tee soldable PVC 20 mm

Tapa gorro PVC 20 mm

Terminal hilo externo PVC 20 mm

Micro-aspersores (Micro-jets) 360°

Temporizador

Contenedores de polietileno de 40 L de capacidad con tapa

Canastillos.

4.6. Operación de los sistemas aeropónicos.

Los sistemas fueron alimentados al día 1 del experimento con 18 L de solución por módulo, (etapa I), luego a los 35 días, (etapa II) y 70 días, (etapa III), respectivamente con el mismo volumen de una nueva solución de regadío para mantener la concentración de minerales óptima en el sistema de riego. La solución de recambio se dejó en reposo por 3 días previos para eliminar el cloro que contiene el agua potable y así evitar la clorosis en la planta, también para la estabilización de pH y conductividad. El estudio operacional tuvo una duración de 110 días.

4.7. Monitoreo de los sistemas aeropónicos.

El monitoreo *in situ* se realizó tres veces por semana, para los parámetros de pH, conductividad y temperatura de cada módulo durante todo el ciclo de vida de la planta, para mantener constante los parámetros y evitar una variación significativa. El medidor utilizado fue el multiparamétrico (OAKTON PC 650 - 480485). La caracterización de nutrientes se realizó una vez al mes en el efluente de entrada y efluente de salida, todas las muestras fueron filtradas por membranas Whatman de 0,45 μm de tamaño de poro y almacenadas a 6°C para su posterior análisis durante de la semana.

4.8. Ensayos preliminares.

Se realizaron ensayos preliminares de pH, conductividad y temperatura en agua potable y soluciones de riego, también se estudió el efecto del sustrato en la solución de riego, para conocer qué tipo de calidad es el agua a utilizar y si es necesario bajar o subir el pH con H_3PO_4 y KOH al 24% c/u respectivamente. Para la conductividad se evaluó si era necesario utilizar filtros por conductividades altas.

4.9. Plantación.

La plantación se realizó una vez obtenidos los bulbos. Si ello no es posible, se pueden conservar hasta 8 a 10 días en cámaras con temperaturas de 0 a 2 °C (FIA, 2003). Previo a la plantación (Figura 9), se desinfectaron los bulbos con el ingrediente activo del fungicida comercial Phyton 27 ($\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) al 24% p/v, ya que el *lilium* es muy susceptible a sufrir fuertes ataques de *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora* y *Phytophthora*.

El método realizado para la desinfección de los bulbos fue por inmersión durante 10 minutos. Inmediatamente terminado el proceso, se lavaron con agua potable y

se introdujeron al fondo de los canastillos de 300 mL de capacidad, con una profundidad de 8 cm aproximadamente, misma que se requiere para plantaciones invernales (FIA, 2003). La profundidad de plantación está muy relacionada con la facultad que poseen algunos híbridos de emitir raíces de tallo. Estas se generan en la parte enterrada del tallo, por lo que el bulbo debe ponerse a suficiente profundidad para facilitar el desarrollo de las mismas. Luego se rellenaron con el soporte o sustrato vermiculita.

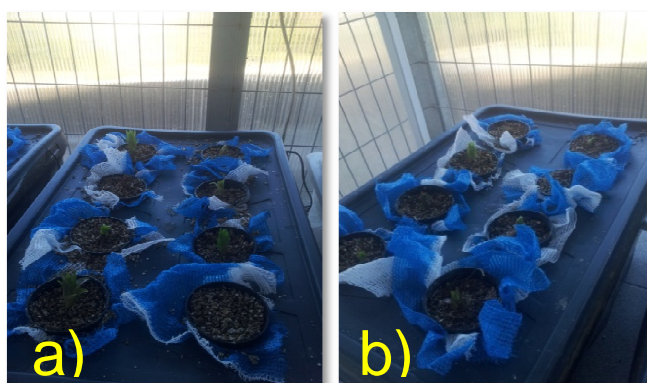


Figura 9. Plantación de bulbos a sus respectivos canastillos, Módulo A (a), Módulo B (b).

4.10. Evolución de las plantas.

Tres veces por semana se midieron las siguientes variables: altura de las plantas, número de hojas y ancho del tallo basal de cada una, para evaluar su crecimiento. Al final del proceso se realizó un análisis proximal (contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio) a la planta completa en el instituto de Investigación Agropecuaria (INIA) Quilamapu ubicado en la ciudad de Chillán. La toma de muestras y envío se realizaron siguiendo los protocolos indicados por el INIA.

4.10.1. Parámetros físicoquímicos.

La caracterización físicoquímica de ambas soluciones de riego se realizaron mediante las técnicas analíticas que se detallan a continuación; éstas se midieron mensualmente y específicamente para las soluciones de entrada, la caracterización para las entradas y salidas de cada etapa se realizó para N_T y P_T . Las muestras utilizadas en el análisis de, DQO, DBO_5 , color, compuestos y nutrientes, fueron previamente filtradas por membrana Wathman de $0,45\mu m$.

- pH y conductividad: Fueron medidas a través de un Multiparamétrico (OAKTON PC 650 - 480485).
- Temperatura y oxígeno disuelto: Fueron medidos a través de un electrodo de oxígeno WTW Oxycal 323B.
- DQO: Se determinó sobre muestras solubles, mediante el método colorimétrico de refluo cerrado 5220-D, del Standard Methods (APHA, 2005) a 600 nm, a través del equipo, Thermo Spectronic modelo Genesis 10 UV.
- DBO_5 : Fue determinada sobre muestras solubles, por la prueba de DBO del quinto día, 5210-B (APHA, 2005). Se empleó un volumen suficiente para que la concentración de oxígeno disuelto se reduzca a la mitad, durante 5 días de incubación a $20^\circ C$.
- Sólidos: Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) fueron determinados según el método 2540 D, y los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), por el método 2540 E (APHA, 2005).
- Color: Se determinó espectrofotométricamente a una longitud de onda de 440 nm, en cubeta de vidrio 1×1 cm, a través del equipo Thermo Spectronic modelo Genesys 10 UV. A la muestra utilizada se le ajustó el pH a 9, con ácido clorhídrico (HCl) o hidróxido de sodio (NaOH), según fuese necesario.
- Compuestos específicos: Se midieron, compuestos fenólicos totales (UV 215 nm), lignina (UV 272 nm y UV 280 nm), compuestos aromáticos (UV 254 nm) y ácidos lignosulfónicos (UV 346 nm), en cubeta de cuarzo 1×1 cm, según describe Çeçen (2003). Todas las mediciones espectrofotométricas se efectuaron con el equipo Thermo Spectronic modelo Genesys 10 UV.

- Nitrógeno total (NT) y Fósforo total (PT) se determinaron mediante kit específicos de Spectroquant NOVA-60 de Merck.

4.11. Ensayo capacidad de desorción de vermiculita empleada como medio de soporte en los sistemas aeropónicos.

Se pesaron 10 g de vermiculita y fue depositada en 1 matraz erlenmeyer (en triplicado) junto a 250 ml de solución nutritiva comercial, los cuales fueron agitados a 100 rpm y a 20°C por 18 días.(Andrés,2010), junto a dos matraces(en triplicado) con 10 g de vermiculita cada uno y 250 ml de agua destilada (blanco),y 250 ml de CaCl_2 .(Figura 10).



Figura 10.Ensayo desorción vermiculita.

Los procesos de adsorción y precipitación ocurren mediante interacciones iónicas entre el fósforo y el medio de soporte, donde la presencia de calcio (Ca), aluminio

(Al) y hierro (Fe) en este medio permiten interacciones iónicas con las formas de fósforo, precipitándolo o adhiriéndolo al medio (Vymazal, 2005).

Cada día se extrajeron muestras y fue medido el contenido de P_T y N_T mediante el kit específicos de Spectroquant NOVA-60 de Merck.

Una vez alcanzado el estado estacionario en los ensayos, es decir cuando la concentración de fósforo en la disolución permanece constante en el tiempo, se modelaron las isotermas de desorción, para posteriormente, obtener los parámetros de estas isotermas que describan el equilibrio de desorción.

Se realizó un balance de materia considerando las concentraciones inicial y final, o de equilibrio, (C_{eq} , mg/L) de P_T y N_T alcanzadas, para poder determinar la cantidad de P_T y N_T desorbida por el material (S , mg de P/g material). A continuación, se graficaron estos valores y se empleó el modelo de Langmuir para modelar las isotermas obtenidas.

A partir de la expresión de la isoterma de Langmuir linealizada (Ecuación 1), se graficó $1/S$ vs. $1/C_{eq}$, se obtuvo una línea recta, de la cual, a partir de la ordenada en el origen ($1/S_{max}$) y la pendiente ($1/(S_{max} \cdot K_L)$), se estableció el valor de los parámetros K_L y S_{max} , siendo este último la máxima concentración de P_T y N_T que se puede obtener por desorción.

$$S = S_{max} \cdot \left(\frac{K_L \cdot C_{eq}}{1 + K_L \cdot C_{eq}} \right) \text{ - Ecuación 1}$$

4.12. Balance de materia en módulos aeropónicos.

Los módulos construidos pueden ser considerados como una caja negra donde los balances de masa se realizan entre la entrada y salida de cada módulo. En estos sistemas, la entrada es netamente el efluente de entrada o solución de riego con

todos sus componentes y el bulbo inicial con los componentes que contenga, mientras que los factores de salida dependerán del tipo de balance que se esté realizando, es decir, si es balance hídrico, de materia orgánica, de nutrientes, entre otros (Kadlec and Knight, 1996). El balance realizado en los módulos aeropónicos es de nutrientes (P_T y N_T). De manera general, el balance de materia para un módulo aeropónico se puede representar en la Figura 11.

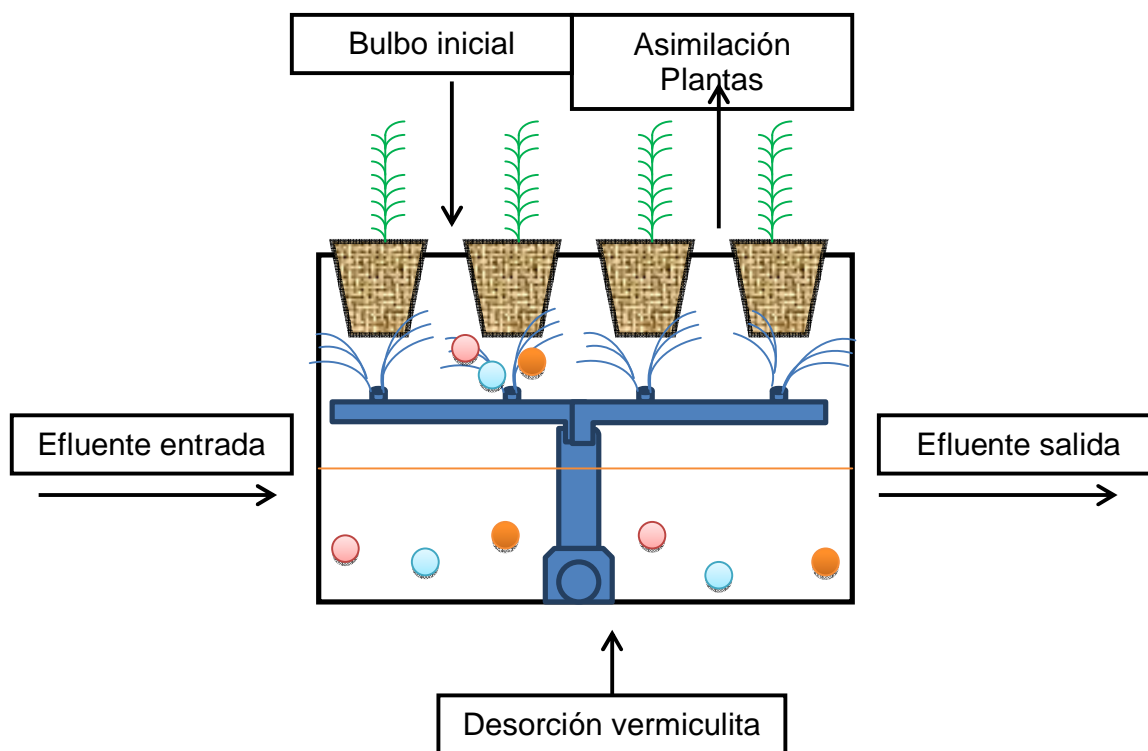


Figura 11. Representación Balance de Materia para los módulos aeropónicos.

Los balances de materia se realizaron para los nutrientes esenciales (Nitrógeno y Fósforo).

De manera general estos balances pueden ser explicados mediante la Ecuación 2, donde se observa la acción por la desorción del medio de soporte y las plantas en la eliminación de contaminantes.

$$C_i \times V_i + C_v + C_B + AF = C_0 \times V_0 + C_P$$

Ecuación 2

Donde:

C_i = concentración inicial (g/L)

V_i = volumen inicial de solución de regadío (L)

C_p = consumo por plantas (g)

C_0 = concentración de salida (g/L)

V_0 = volumen de salida de solución de regadío (L)

AF=Ácido Fosfórico expresado como P (g)

C_v = concentración vermiculita (g)

Los valores utilizados en la Ecuación 2 fueron obtenidos de la caracterización fisicoquímica inicial de los nutrientes, Nitrógeno total y Fósforo total en cada etapa, también se obtuvieron los valores de los volúmenes iniciales de cada etapa, del análisis foliar inicial al bulbo, del ensayo de desorción a la vermiculita, de la caracterización fisicoquímica de los nutrientes de salida para cada etapa, la solución de H_3PO_4 que se agrega para ajustar el pH (solo para balance de Fósforo) y de la asimilación a partir de un análisis foliar de las plantas, las cuales fueron enviadas al Laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA Quilamapu) en la ciudad de Chillán.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Caracterización fisicoquímica de las soluciones de regadío.

La Tabla 7 muestra la caracterización fisicoquímica realizada al blanco o solución nutritiva de referencia, Best Garden (18-15-12).

Tabla 7. Caracterización fisicoquímica de la solución nutritiva comercial.

Parámetro	Unidad	Rango		Promedio	
pH	-	7,81	- 8,01	7,91	± 0,14
CE	mS/cm	0,99	- 1,16	1,07	± 0,12
Potencial Redox	mV	140,0	- 163,0	151,5	± 16,3
SST	g/L	0,11	- 0,12	0,11	-
SSV	g/L	0,11	- 0,11	0,11	-
DQO	mg/L	39,1	- 45,7	42,4	± 4,7
DBO ₅	mg/L	4,4	- 11,1	7,8	± 4,7
Color <small>(VIS 440 nm)</small>	Abs	0,005	- 0,010	0,008	-
Fenoles totales <small>(UV 215 nm)</small>	mg/L	0,003	- 0,005	0,004	-
N _T	mg/L	180,0	- 181,0	180,5	± 0,7
P _T	mg/L	48,5	- 50,0	49,3	± 1,1
K	mg/L	89,10			
Oxígeno Disuelto	mgO ₂ /L	8,19	- 8,22	8,21	± 0,02
Compuestos aromáticos	Abs	0,004	- 0,006	0,005	-
Ácidos Lignosulfónicos	Abs	0,002	- 0,003	0,003	-
Lignina <small>(UV 272nm)</small>	Abs	0,004	- 0,006	0,005	-
Lignina <small>(UV 280nm)</small>	Abs	0,003	- 0,004	0,004	± 0,140

CE: Conductividad Eléctrica; DQO: Demanda Química de Oxígeno; DBO₅: Demanda Biológica de Oxígeno; SST: Sólidos Suspendidos Totales; SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles; P_T: Fósforo Total; N_T: Nitrógeno Total, K: Potasio.

Los parámetros de control del blanco dieron los siguientes resultados, pH obtuvo un promedio de $7,91 \pm 0,14$, superior al rango óptimo, razón por la cual se ajustó el pH del blanco al comienzo de cada etapa realizada, la CE $1,07 \pm 0,12$ mS/cm, promedio que está dentro del rango óptimo. (FIA, 2007), lo cual no fue necesario el ajuste al comienzo de la plantación.

La concentración de materia orgánica presentó valores promedios de $42,4 \pm 4,7$ mg/L para la DQO, y de $7,8 \pm 4,7$ mg/L para DBO₅, valores mayores en la DQO que en la DBO₅, deduciendo que la solución nutritiva usada como blanco es químicamente oxidable, pero no biológicamente oxidable.

Para los distintos compuestos específicos los resultados variaron entre los rangos, $0,002 - 0,003$ Abs para los ácidos lignosulfónicos, $0,004 - 0,006$ Abs para la lignina (UV 272mm), $0,003 - 0,004$ Abs para lignina (UV 280mm), $0,004 - 0,006$ Abs para los compuestos aromáticos y $0,003 - 0,005$ mg/L para los fenoles totales, valores que eran esperados ya que el blanco proviene de una solución creada con sales minerales específicas para nutrientes esenciales NPK y micronutrientes, su fórmula no contiene compuestos específicos como si se observa en el efluente de celulosa producidos principalmente por su materia prima que los contiene.

Para los nutrientes Nitrógeno Total (N_T), Fósforo Total (P_T) y Potasio (K) se obtienen los siguientes valores: $180,5 \pm 0,7$ mg/L; $49,3 \pm 1,7$ mg/L; y $89,1$ mg/L respectivamente para el blanco o solución nutritiva comercial. Valores que se acercan bastante a la solución nutritiva universal de Steiner, (1984) con 168 mg/L para Nitrógeno, 31 mg/L para Fósforo y 273 mg/L para Potasio.

La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica del efluente que proviene del tratamiento secundario de la industria de celulosa kraft, además la caracterización del efluente diluido para eliminar excesos de sales y mantener al óptimo la conductividad eléctrica.

Tabla 8. Caracterización fisicoquímica del efluente secundario de celulosa krafty de su dilución.

Parámetro	Unidad	Efluente	Efluente diluido	
pH	-	7,85	7,14	± 0,04
CE	mS/cm	3,241	0,96	± 0,19
Potencial Redox	mV	148,6	133,3	± 14,3
SST	g/L	0,054	0,02	± 0,003
SSV	g/L	0,041	0,01	-
DQO	mg/L	204,7	42,0	± 8,1
DBO ₅	mg/L	94,6	15,6	± 7,1
Color <small>(VIS 440 nm)</small>	Abs	0,1	0,038	± 0,010
Fenoles totales <small>(UV 215 nm)</small>	mg/L	215	98,1	-
N _T	mg/L	12,7	3,1	± 0,1
P _T	mg/L	2,4	0,6	± 0,1
K	mg/L	-	11,9	-
Oxígeno Disuelto	mgO ₂ /L	-	8,67	± 2,17
Compuestos aromáticos	Abs	-	0,06	± 0,01
Ácidos Lignosulfónicos	Abs	-	0,02	± 0,01
Lignina <small>(UV 272nm)</small>	Abs	-	0,216	± 0,300
Lignina <small>(UV 280nm)</small>	Abs	-	0,271	± 0,330

CE: Conductividad Eléctrica; DQO: Demanda Química de Oxígeno; DBO₅: Demanda Biológica de Oxígeno; SST: Sólidos Suspendidos Totales; SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles; P_T: Fósforo Total; N_T: Nitrógeno Total, K: Potasio

Se observa en el efluente un pH de 7,85. Valor por sobre de la neutralidad, en cambio el efluente diluido $7,14 \pm 0,04$, muy cercano a la neutralidad, pero aún superior al rango óptimo según FIA.(2007) el cual va de 5,5 a 6,5, razón por la cual fue necesario un ajuste del pH en la puesta en marcha y durante la operación del sistema por si el pH estuviese fuera de rango. Dentro del ámbito legal, Chile creó la NCh 1333 para requisitos de calidad de aguas para diferentes usos-agua de riego, donde en sus mandatos dice que el pH comprende los rangos 5,5 – 9,0, valores que cumple el efluente en estudio.

Con respecto a la conductividad eléctrica, para el efluente tiene un valor de 3,241 mS/cm, valor elevado y superior al rango óptimo, siendo necesario diluir el efluente para obtener una solución adecuada para un cultivo sin suelo y para los requisitos específicos del *lilium*. La CE para el efluente diluido se mantuvo constante con un promedio de $0,96 \pm 0,19$ mS/cm, valor que se encuentra en el rango de aguas que pueden tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles (NCh 1333), pero dentro de los límites para el correcto desarrollo del *lilium asiático*.

Al comparar las Tablas 7 y 8, se observa que el pH es mayor en el blanco, razón por la cual se adiciona ácido fosfórico al 24% (v/v) al comienzo del trabajo para mantener el óptimo (5,5 – 6,5). Para la conductividad eléctrica el blanco obtuvo un mayor valor, pero ambos dentro del rango óptimo, no siendo necesario ajustar este parámetro.

En cuanto a la concentración de materia orgánica, el efluente presentó valores promedio de 204,7 mg/L para la DQO y 94,6 mg/L para la DBO₅, donde la DBO₅ corresponde a compuestos fácilmente biodegradables, tales como hidratos de carbonos y ácidos orgánicos (Diez *et al.*, 2002). Para el efluente diluido presentó valores promedio de $42,0 \pm 8,11$ mg/L para la DQO y $15,6 \pm 7,14$ mg/L para la DBO₅. Mediante estos datos se observa que la DQO es mayor que la DBO₅ deduciendo que el material es químicamente oxidable pero no biológicamente oxidable. En general, estos resultados son prácticamente similares o valores muy

cercanos a obtenidos en otras investigaciones realizadas con efluente de tratamiento secundario de la industria de celulosa kraft, valores promedios de 375 mg/L y 68 mg/L, para la DQO y DBO₅, respectivamente. (Rezende *et al.*, 2010). En este caso, el color observado tuvo valores de 0,1 Abs, inferiores a los caracterizados por Chamorro *et al.* (2010); López *et al.* (2011), Con rangos de 0,2 – 1,0 Abs. El efluente diluido presentó valores promedio entre $0,038 \pm 0,010$ Abs.

Para los distintos compuestos específicos presentes, los resultados promedios fueron de, $0,02 \pm 0,01$ Abs para los ácidos lignosulfónicos, $0,216 \pm 0,3$ Abs para la lignina (UV 272mm), $0,271 \pm 0,33$ Abs para lignina (UV 280mm), $0,06 \pm 0,01$ Abs para los compuestos aromáticos y 98,1 mg/L para los fenoles totales. Valores que son inferiores claramente por estar diluidos (exceptuando a los fenoles totales) a los encontrados por López, D. (2008), con valores promedios de $1,103 \pm 0,019$ Abs para los ácidos lignosulfónicos, $3,1 \pm 0,41$ Abs para la lignina (UV 280mm), $4,12 \pm 2,9$ para los compuestos aromáticos y el rango 4,2 – 204,2 mg/L para los fenoles totales. Estas diferencias pueden atribuirse también a que ambas investigaciones hayan utilizado efluentes de distinta especie arbórea. Estudio comparativo con efluentes crudos de *Pinus radiata* y *Eucaliptus globulus*, ha reportado la presencia de mayores cantidades de lignina ($30\% \pm 5$) y extraíbles ($3\% \pm 2$) en la estructura química del *Pinus radiata* (Villamar, 2008).

La determinación de nutrientes, realizadas en las formas de Nitrógeno Total (N_T), Fósforo Total (P_T) y Potasio (K), presentaron concentraciones de $3,10 \pm 0,10$ mg/L; $0,63 \pm 0,06$ mg/L; 11,86 mg/L, respectivamente.

Para el blanco los nutrientes Nitrógeno Total (N_T), Fósforo Total (P_T) y Potasio (K) se obtienen los siguientes valores: $180,5 \pm 0,7$ mg/L; $49,3 \pm 1,7$ mg/L; y 89,1 mg/L respectivamente. La relación que se obtiene para el blanco es NPK 18:12:10, mientras que para el efluente es de NPK 1:0,3:1,4. Valores menores en el efluente visiblemente perceptibles, producidos por la naturaleza (sólido) de la solución nutritiva comparada con la del efluente (líquido). Pero como mencionó Steiner

(1968) para cultivos sin suelos se puede dar o establecer cualquier tipo de relación de iones y cualquier concentración total de sales, siempre que no supere los límites de precipitación para ciertas concentraciones de iones.

Actualmente Chile no posee legislación aplicable al reúso como otros países (Ej. España, Real decreto 1620/2007). Pero la NCh 1333 contiene requisitos de calidad de agua para diferentes usos – agua de riego. Razón por la cual la caracterización de este efluente se comparó con la NCh 1333, deduciendo que para pH y salinidad cumple con los requisitos, teniendo cuidado con los métodos de manejo del cultivo, para nutrientes no existe la legislación, por lo tanto es posible utilizar esta solución de regadío como solución nutritiva.

5.2. Operación de los módulos aeropónicos.

5.2.1. Ensayos preliminares.

La Figura 12 muestra el estudio que se realizó a la solución de regadío, midiendo pH en ambos módulos durante 5 días, se observa un aumento a medida que el tiempo pasa, estabilizándose al final del estudio en los tres casos (agua potable, agua potable + fertilizantes y agua potable + fertilizantes + sustrato vermiculita). La característica más importante que refleja es cómo las tres matrices superan el rango óptimo definido para el *lilium asiático* por FIA (2007), por lo tanto al iniciar la plantación hay que ajustar el pH.

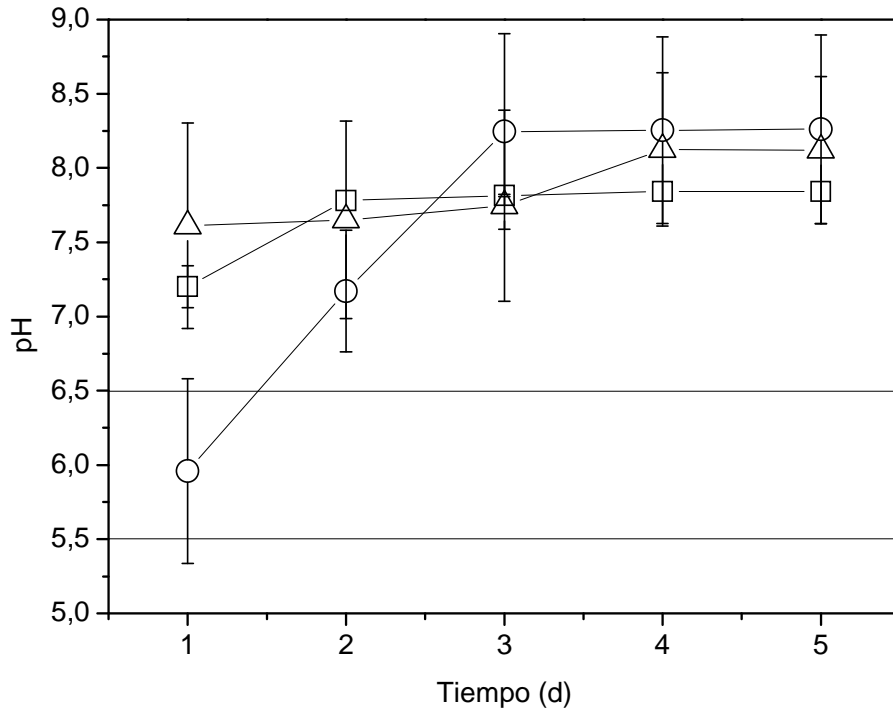


Figura 12. pH en agua potable (□), agua potable+ fertilizantes (○), agua potable+ fertilizantes +sustrato vermiculita (△).

En la Figura 13, se observa que la conductividad se estabiliza al primer día en agua potable, el estudio para agua potable + fertilizantes va en aumento para estabilizarse a medida que pasan los días, para agua potable + fertilizantes + sustrato vermiculita, la conductividad disminuye en el tiempo, esto se atribuye a la capacidad adsorbente que tiene la vermiculita para retener sales minerales. Destacando que en las tres matrices la conductividad estaba dentro del rango (0,5 - 1,5 mS/cm) donde el agua de riego puede tener efectos perjudiciales para cultivos sensibles según la NCh 1333.

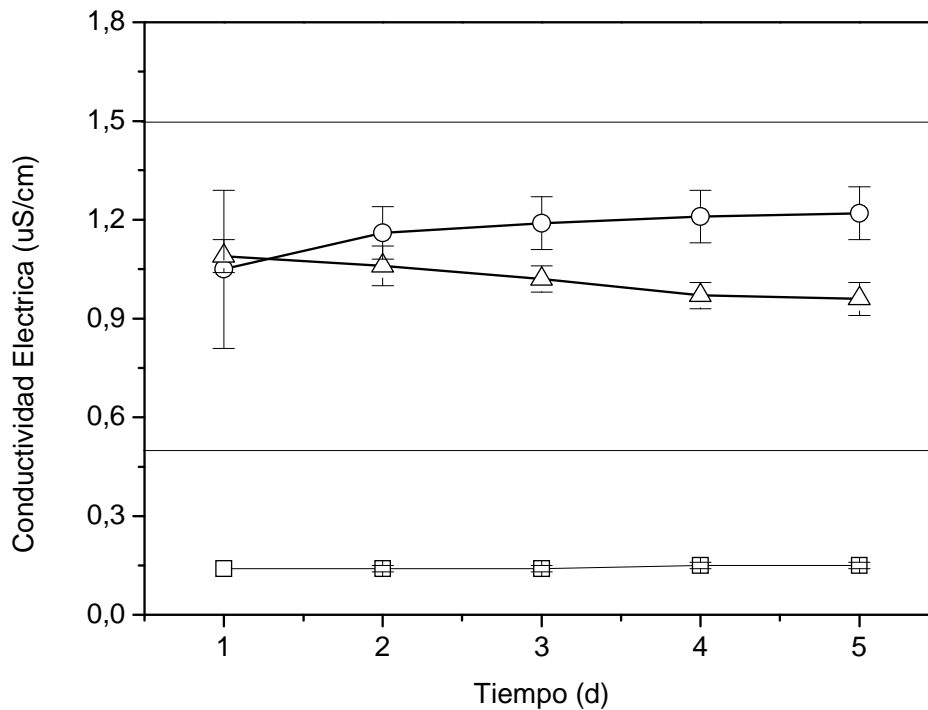


Figura 13. Conductividad en agua potable (□), agua potable + fertilizantes (O), agua potable + fertilizantes + sustrato vermiculita(△).

5.2.2. Monitoreo parámetros operacionales.

Las variaciones de temperatura en la solución de regadío a lo largo del estudio se pueden apreciar en la Figura 14, observando una tendencia a la disminución en la temperatura de las soluciones de regadío en las tres etapas, obteniendo valores de $18,40 \pm 1,80$ °C para la primera etapa, $15,40 \pm 2,78$ °C y $13,41 \pm 1,15$ °C, respectivamente para las siguientes etapas, esto se debe claramente a la estación de otoño donde se realizó el experimento, temperaturas que no son las más adecuadas para un cultivo en condiciones ideales donde se orienta a obtener

temperaturas máximas de 9 °C a 14°C durante el desarrollo de raíces, y para el cultivo en general se recomienda no bajar de los 12°C y no subir de los 25°C, ya que los *lilium asiático* también son sensibles a temperaturas elevadas del suelo, fundamentalmente en las primeras fases de cultivo, ya que el proceso de formación de la flor se inicia desde la plantación; si en ese momento existe una temperatura de suelo elevada (25 °C), el número de flores será menor. También se dificulta el desarrollo de las raicillas del tallo y las hace más propensas al ataque de enfermedades. (FIA, 2003). En este estudio las temperaturas en la solución de riego por ende en las raíces de las plantas se mantuvieron dentro cercanas al rango ideal, pero notándose un descenso importante durante todo el período de trabajo.

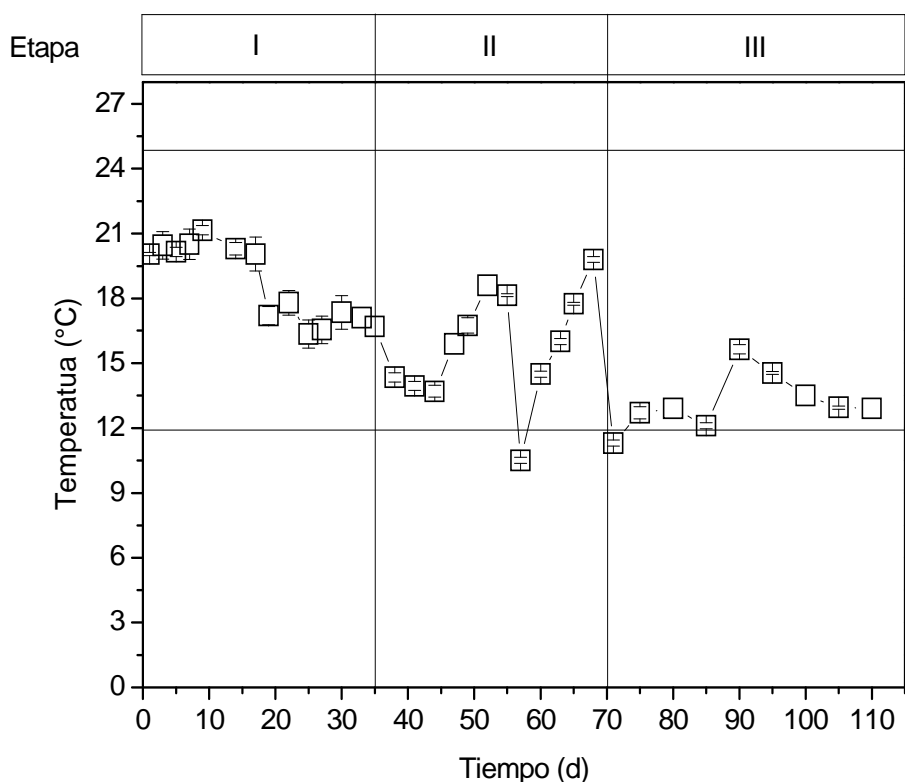


Figura 14. Evolución de la temperatura en el tiempo en módulos A y B.

Se observa en la Figura 15 que en la etapa I hubo un aumento paulatino del pH, siempre dentro del rango óptimo, con valores promedios de $6,19 \pm 0,20$ y $5,78 \pm 0,17$ para módulos A y B respectivamente, en la etapa II el pH fue de $6,01 \pm 0,07$ (A) y $6,02 \pm 0,06$ (B), para la etapa III se obtuvieron los valores de pH de $6,00 \pm 0,11$ (A) y $6,18 \pm 0,17$ (B). Es frecuente que los valores de pH tiendan a alcalinizarse a medida que pasan los días, siendo necesario corregir estos valores ajustando el pH con H_3PO_4 al 24% (v/v) cuando sea necesario.

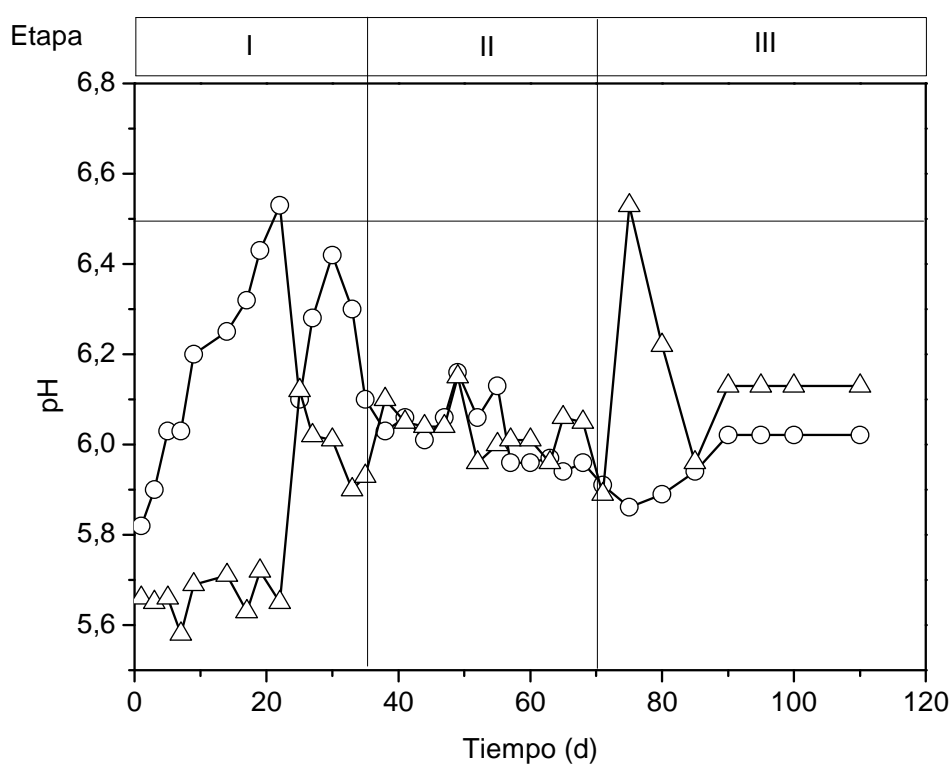


Figura 15. Evolución del pH en el tiempo, para módulo A (O); módulo B (Δ)

El estudio de conductividad durante el tiempo de operación para el promedio de los módulos muestra en la Figura 16 que existe un aumento de la conductividad eléctrica en las tres etapas, para el blanco se obtuvo concentraciones de CE $1,07 \pm 0,04$ mS/cm; $0,94 \pm 0,16$ mS/cm y $1,54 \pm 0,10$

mS/cm respectivamente y para el efluente de celulosa se obtuvieron las concentraciones: $1,04 \pm 0,05$ mS/cm; $1,27 \pm 0,07$ mS/cm y $1,22 \pm 0,10$ mS/cm respectivamente, no sobrepasando el máximo permitido para cultivos sin suelo (1,5 mS/cm), también se observa una disminución de la CE al efectuarse los cambios de etapa, debido a la renovación de la solución nutritiva. Un factor importante a tener en cuenta es que al comienzo del cultivo la conductividad debe iniciar con valores mínimos cercanos a los 0,5 mS/cm y a medida que pasan las semanas se aumenta el valor paulatinamente hasta finalizar el cultivo con valores lo más cercanos al límite máximo (1,5 mS/cm), para abarcar la disponibilidad de nutrientes de principio a fin, ya que en general la planta absorbe mayor cantidad de agua que de nutrientes, provocando una tendencia al aumento de la concentración de la solución de riego (Brun and Chazelle, 1996).

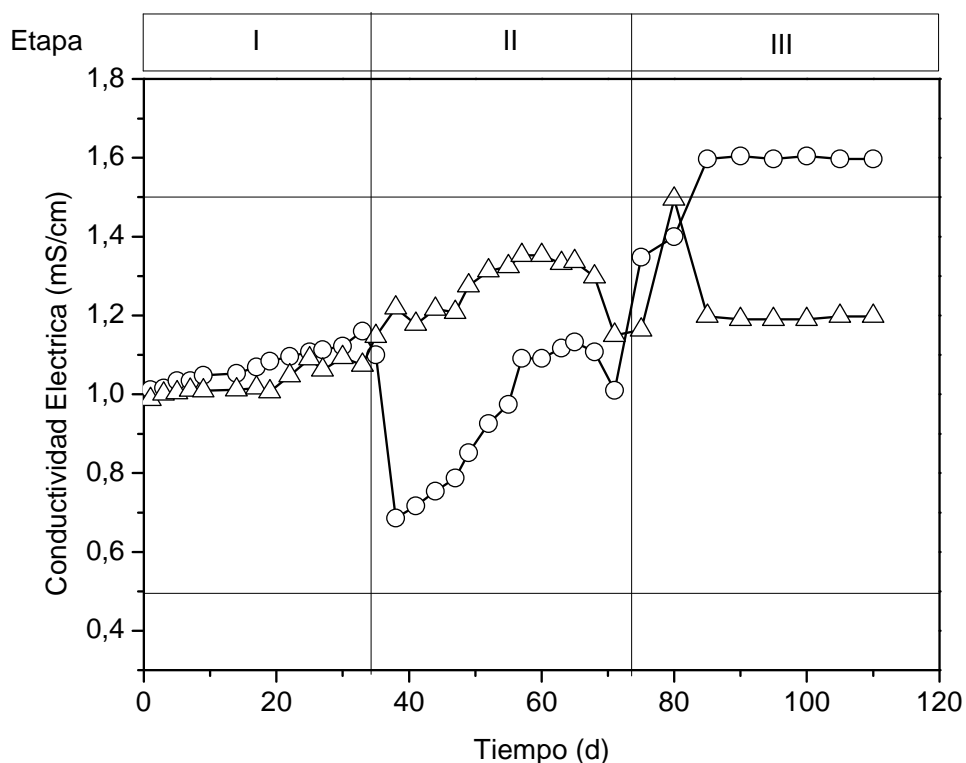


Figura 16. Evolución de la conductividad eléctrica en el tiempo para módulo A (O); módulo B (Δ)

5.3. Evolución de las plantas.

5.3.1. Crecimiento de las plantas en altura.

En la Figura 17 muestra la evolución de las plantas mediante la medición de la altura, observando un crecimiento aleatorio con alturas finales que van de 19 cm hasta 77 cm. El 50% de plantas alcanzó una altura mayor a la mínima exigida en el mercado, las plantas bajo ese nivel mostraron problemas de crecimiento debido principalmente al tamaño del bulbo original y su avanzado crecimiento del tallo al adquirirlos (Ver Figura 5). La planta de mayor tamaño (P3A) fue la única que llegó a la floración, razones atribuibles a que en la plantación esta venía con un tallo pequeño y recto, también se debe a que alrededor de esta estuvieron por un menos de un mes los bulbos que fueron desechados, teniendo menos competencia para absorber nutrientes, durante lo que faltaba de crecimiento y floración. Otro factor es su rápido crecimiento el cual debido a su altura obtuvo mayor luminosidad y así una floración correcta.

Para tener una buena calidad de la planta, la cantidad de luz debe incrementarse de igual forma que lo hace la temperatura ambiental, de esta manera a mayores temperaturas aceleran el desarrollo, no sobrepasando los 25°C, mientras altas intensidades lumínicas incrementan la fotosíntesis, lo que mantiene la calidad del producto cosechado (Juárez, 2010). Cabe destacar que en el módulo A, dos plantas tuvieron una pudrición en el tallo (P2A, P5A) antes de los primeros 30 días debiendo ser eliminadas, también se observaron desordenes fisiológicos como flores ciegas y abscisión de las flores al inicio de la plantación como se observa en la Figura 17 en las plantas que tuvieron menor tamaño (P6A, P2B).

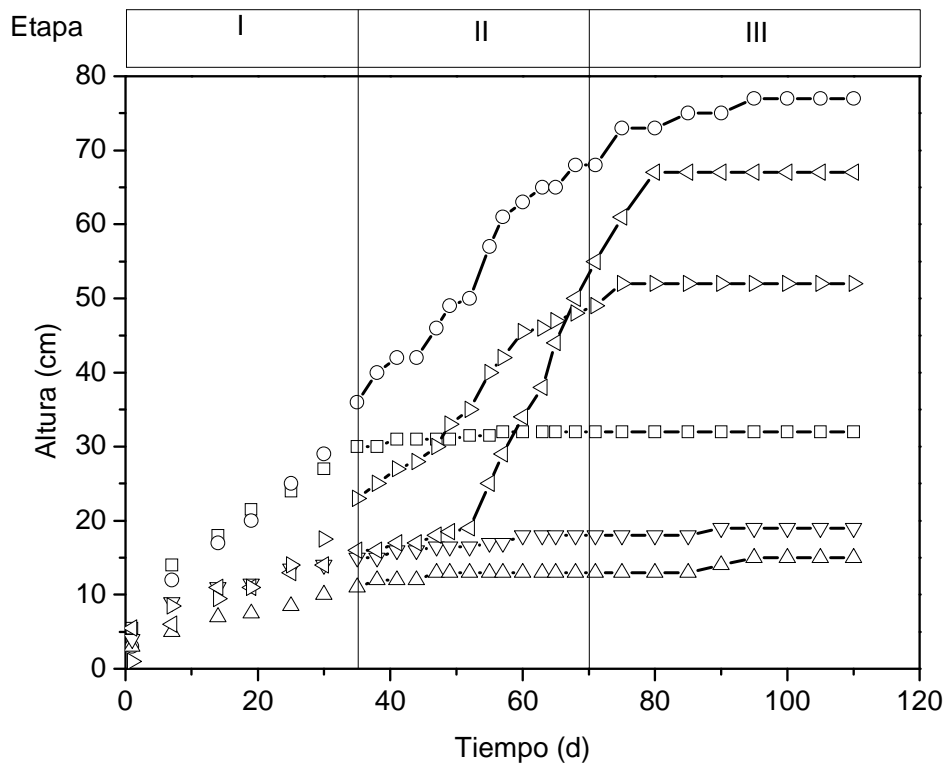


Figura 17. Evolución de las plantas en altura, para módulo A regado con solución nutritiva para: P1A(□), P3A(O), P4A(△), P6A(▽), P7A(◁), P8A(▷).

La Figura 18 muestra las plantas P6A y P2B, respectivamente con desordenes fisiológicos presentados en su crecimiento. El módulo A tuvo un total de 4 plantas que presentaron anomalías como flores ciegas y abscisión de la flor (incluyendo las eliminadas por pudrición en el tallo) y el módulo B un total de 3 plantas. Esto fue producido probablemente por lo avanzado en crecimiento que se encontraban los bulbos antes de ser plantados.

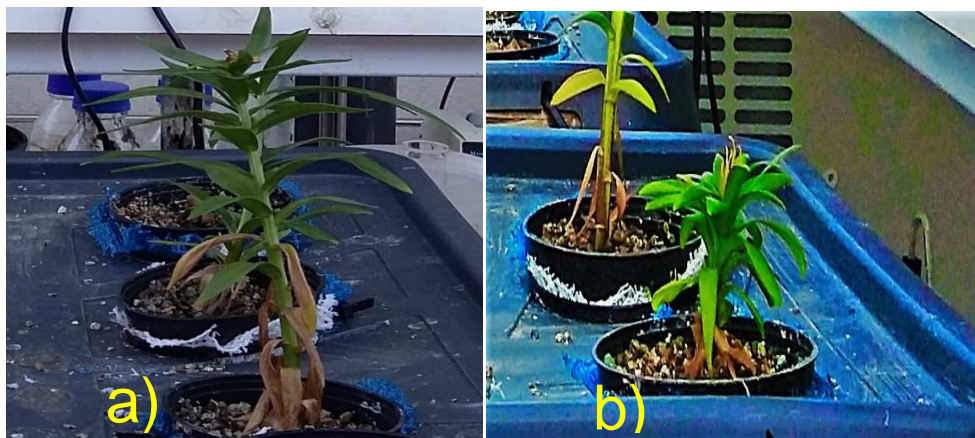


Figura 18. Plantas: a) P6A y b) P2B presentan anomalías fisiológicas en su crecimiento.

Los parámetros de calidad para una flor de corte que determinan la comercialización de las plantas de *lilium* son: longitud y firmeza del tallo, número de botones florales y longitud del botón floral. Bajo condiciones de foto-período día-corto (luz solar otoño-inverno), la altura final de la planta se reduce, cada vez más, además el cultivo se da menos robusto, con un color de hoja más claro y una disminución de la vida útil de la flor en post-cosecha. (Chahin, M. 2006). La longitud de tallo (cm) establecida por la Comunidad Económica Europea (C.E.E) es de 70 a 80 cm, para una calidad de segunda, valores mayores a 100 cm se considera calidad súper extra. La evolución de las plantas en altura para el módulo B indica una distribución aleatoria de crecimiento con valores desde 8,5 cm hasta 38 cm, valores menores a los reportados en el módulo A, destacando que en módulo B no se produjo pudrición de tallo, sin embargo se pudo observar malformaciones en las plantas al igual que en el módulo A en tres de sus plantas. Al comparar ambos módulos, se observa para los promedios de crecimiento, el módulo A contiene alturas mayores, un estudio reportado por FIA, entre el 1996 -1999 para el cultivo del *lilium* Solemio (*lilium asiático*) en suelo se

obtuvieron valores de longitud de vara máximos de 39 cm, ya que este cultivar también es sensible a la luminosidad.

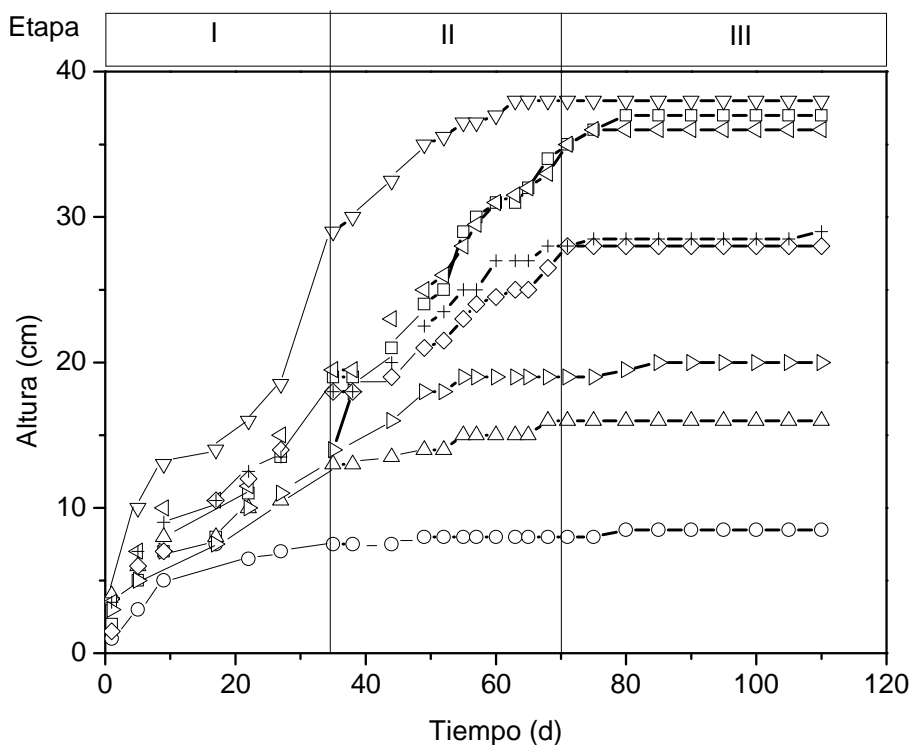


Figura 19. Evolución de las plantas en altura para módulo B, para P1B (□); P2B (○); P3B (△); P4B (▽); P5B (◁); P6B (▷); P7B (◇) y P8B (+).

5.3.2. Crecimiento de las plantas en número de hojas.

Otro parámetro que se midió para la evolución de las plantas fue el número de hojas, donde se obtuvo un promedio de 62 ± 25 hojas, desviación amplia debido a la diferencia de tamaños de los *lilium*. Se observa en la Figura 20 un incremento para en la etapa I, para la etapa II la planta dejó de producir hojas nuevas y comenzaron aparecer hojas secas basales ya que la planta no completó el ciclo de

floración debido al aborto del botón floral a su vez producido por la baja intensidad luminosa (Bañón *et al.*, 2003).

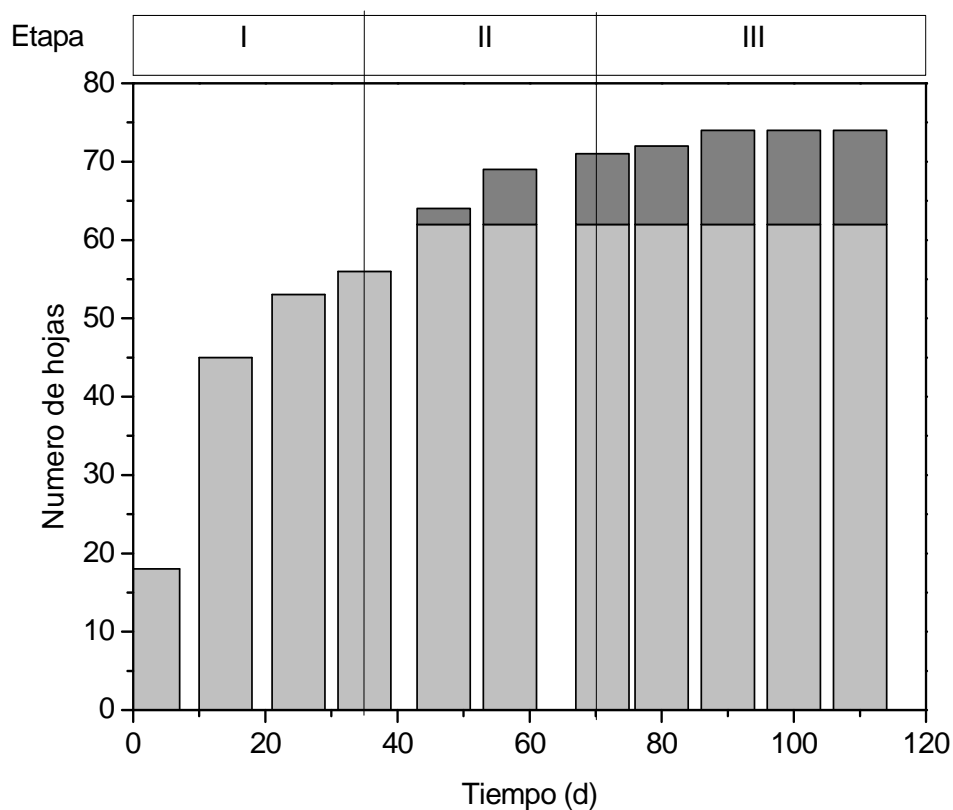


Figura 20. Evolución del crecimiento en hojas verdes (■) y hojas secas (■) para módulo A.

Resultados similares se obtuvieron para el módulo B, con un promedio de 62 ± 17 hojas, mayores valores que los obtenidos por García C. (2012) con 27,5 y 41,9 hojas por planta, para este módulo se observó un crecimiento más uniforme por la totalidad de las plantas, las mayores diferencias ocurren por las plantas deformes obtenidas. Como se muestra en la Figura 21, hubo un aumento normal del número de hojas en el tiempo, observando claramente crecimiento de las

plantas, culminando cuando el botón floral aborta, principalmente por la falta de iluminación entre la etapa de crecimiento y floración(cuando se hace visible el botón floral) ya que en este trabajo no se iluminó con luz artificial en momentos críticos. Experimento realizado en época otoñal.

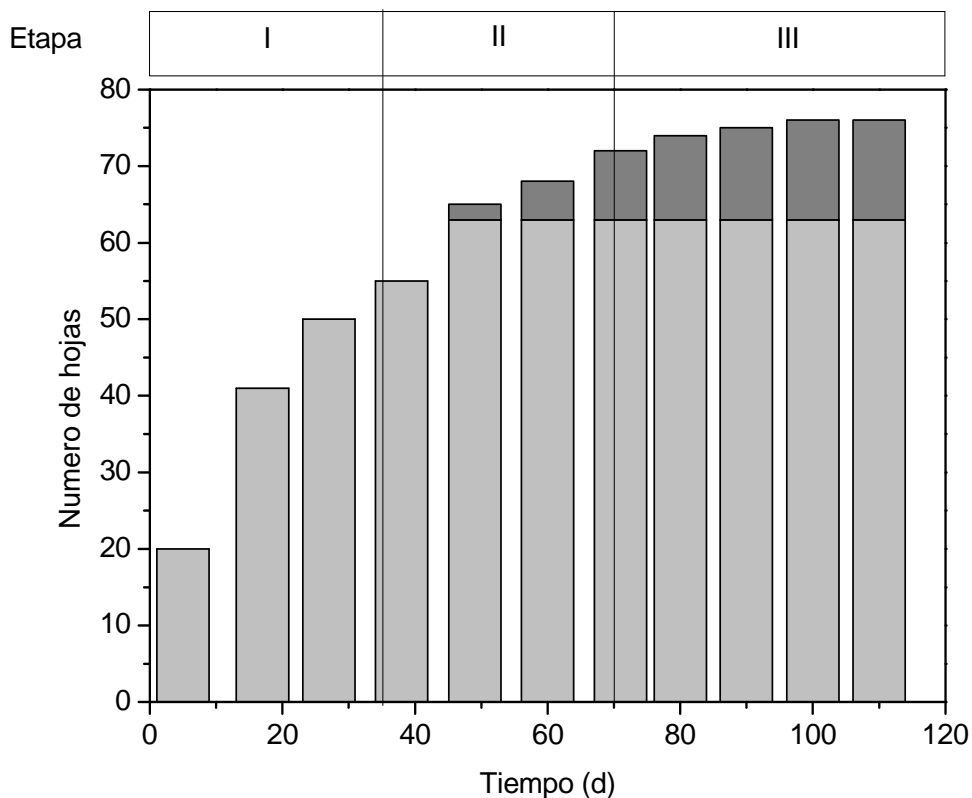


Figura 21. Evolución del crecimiento en hojas verdes (■) y hojas secas (■) para módulo B.

5.3.3. Crecimiento de las plantas en ancho de tallo basal.

La última medición que contempló este estudio para la evolución de las plantas del *lilium asiático* fue el ancho de tallo basal, con un promedio de $0,81 \pm 0,11$ cm,

promedios mayores a los reportados por García C. (2012) con valores promedios de 10 mm. Para el módulo A muestra un aumento en la primera etapa que corresponde al momento en el cual la planta genera raíces y comienza el crecimiento vegetativo, luego al pasar a la prefloración donde se hace visible el botón floral se aprecia que el ancho de tallo basal no crece, comienza a disminuir, debido a que existió un aborto en los botones florales y por ende la paralización del crecimiento de la planta (Bañón *et al.*, 2003).

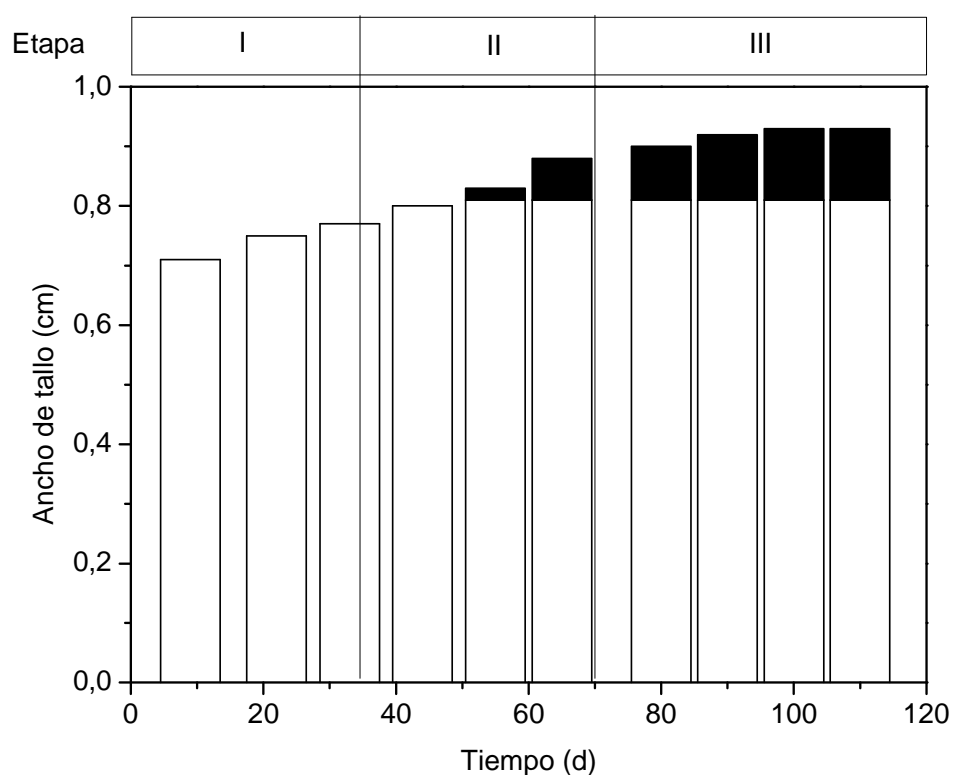


Figura 22. Evolución de las plantas en ancho de tallo (□) y pérdida de ancho (■) para módulo A.

En la Figura 23, el promedio mayor de anchos de tallos es de $0,79 \pm 0,09$ cm, valores ligeramente menores a los obtenidos en el modulo A (blanco), pero

mayores a los reportados por García C. (2012). Se observa para la primera etapa, correspondiente a la fase de enraizamiento y crecimiento de las plantas del módulo B, incrementan el ancho de tallo de manera progresiva, para la segunda etapa correspondiente a la prefloración éstas comienzan a perder ancho en la parte basal, por lo estudiado anteriormente, la planta al abortar el botón cesa su crecimiento, para guardar nutrientes en el bulbo para una próxima floración al siguiente año (FIA, 2007).

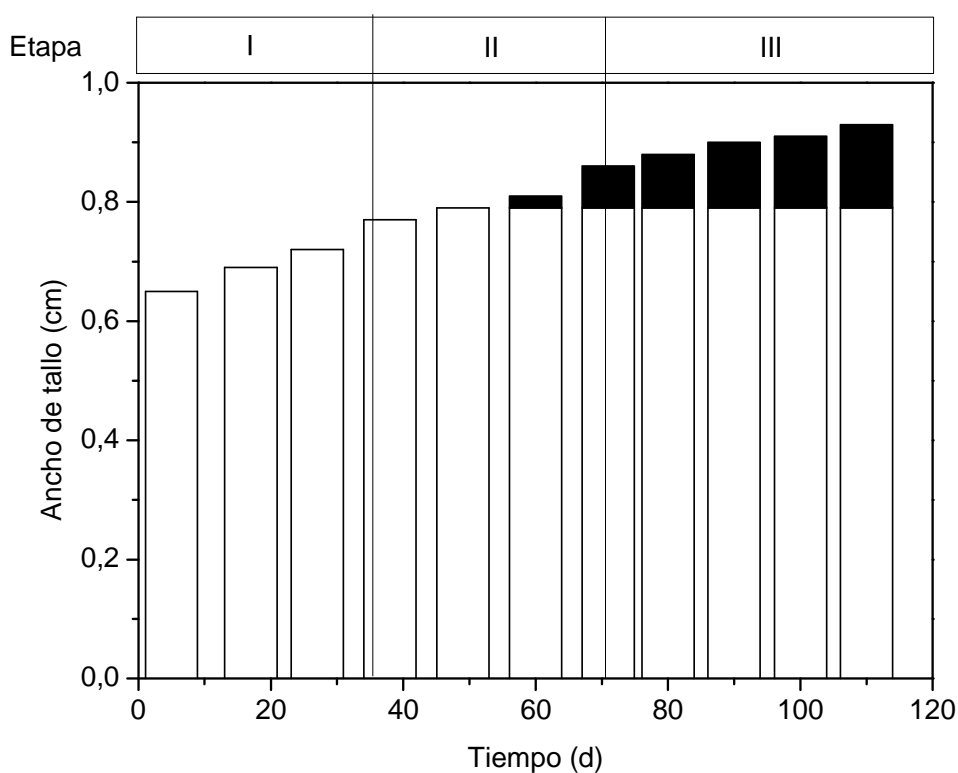


Figura 23. Evolución de las plantas en ancho de tallo (□) y pérdida de ancho (■) para módulo B.

5.4. Ensayo de desorción de vermiculita.

Los datos obtenidos de los ensayos batch, se reflejan en la Figura 24, haciendo balance de materia y graficando los datos según la Ecuación 1, se obtuvo el valor S_{max} , es decir, la máxima cantidad de nitrógeno que puede ser liberado por la vermiculita, correspondiente a 0,0753 mg N_T por gramo de vermiculita.

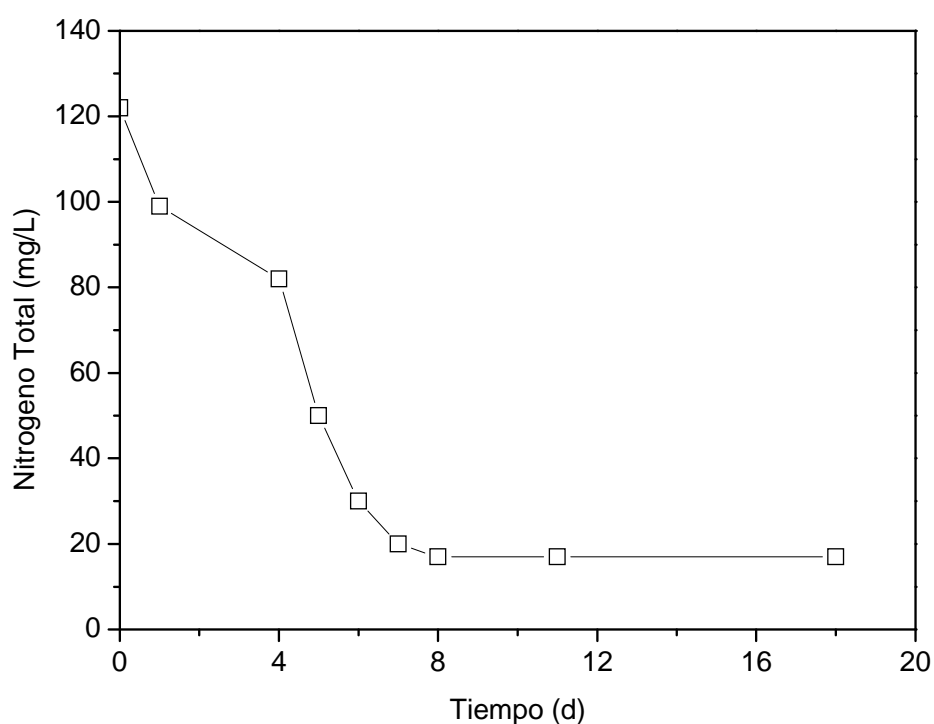


Figura 24. Cinética de desorción de Vermiculita para Nitrógeno total.

La Figura 25 muestra la cinética de desorción de la vermiculita para el Fósforo total, realizando el balance correspondiente, utilizando luego la Ecuación 1 linealizada para obtener S_{max} , correspondiente a la máxima cantidad de fósforo que puede ser liberado por la vermiculita, el cual resultó 0,3595 mg P_T por gramo de vermiculita, mayor adsorción de fósforo que de nitrógeno para este material.

La desorción para la vermiculita para Nitrógeno y Fósforo se realizó para obtener el balance de masas de los módulos A y B ya que esta aporta nutrientes a la solución de regadío, debido a la capacidad de adsorción que tiene este material y por ende desorción la cual aporta al sistema.

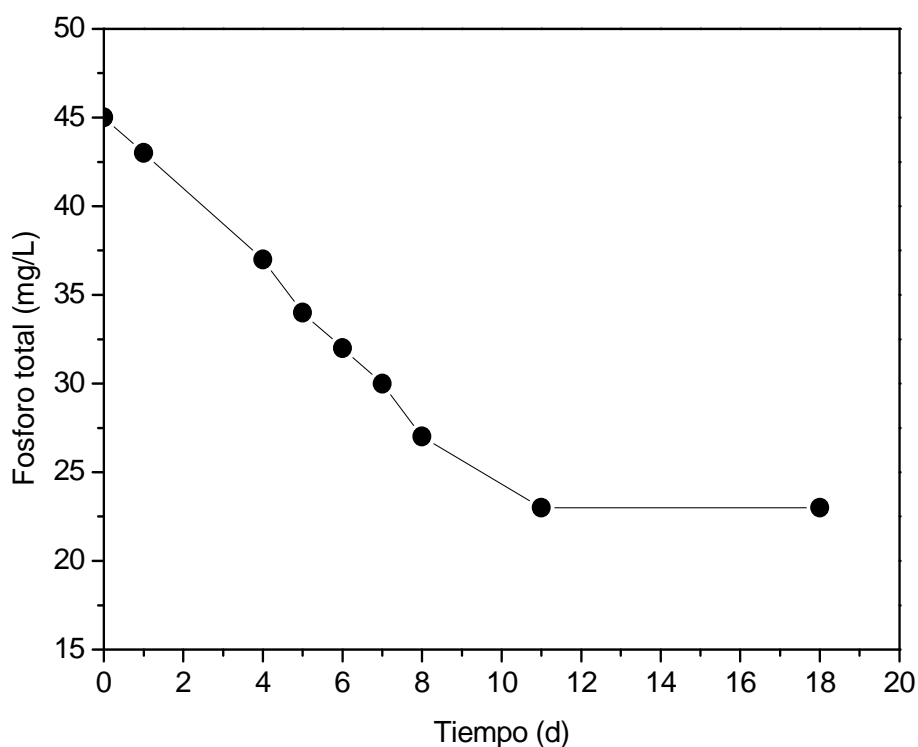


Figura 25. Cinética de desorción de Vermiculita para Fósforo total.

5.5. Balance de materia.

Con los datos obtenidos del análisis foliar para los bulbos de *lilium* presentados en la Tabla 9, caracterización de soluciones de regadío, desorción de vermiculita, y

cantidad de ácido agregado para regular pH (exclusivo para Fósforo) se procedió a realizar el balance de materia para Nitrógeno y Fósforo dentro del sistema.

Tabla 9. Resultados análisis foliar bulbos y plantas de *lilium asiático*.

Muestra	Nitrógeno total (%)	Fósforo total(%)
Bulbo inicial	1,23	0,27
Foliar Módulo A	1,71	0,22
Foliar Módulo B	1,65	0,22

En la Tabla 10 se observa el balance de materia realizado para Nitrógeno total, obteniendo para el módulo A una eliminación cercana al 72% donde las plantas se encargaron de asimilar el 8% del Nitrógeno ingresado a los módulos, es decir, alrededor de 1gN por módulo A. Mientras tanto para el módulo B, se obtuvo una eliminación mayor al 80%, donde la asimilación por las plantas es mayor a 30%, esto es 1gN por módulo B.

Tabla 10. Balance de Nitrógeno en el sistema.

	Módulo A	Módulo B
Entrada (g)	12,79	3,22
Foliar (g)	1,03	1,01
Medio de Soporte y transformación (g)	8,66	1,65
Salida (g)	3,10	0,56

En la Tabla 11 el balance de materia para Fósforo total establece que la eliminación para el módulo A corresponde al 30%, donde el 2% corresponde a la asimilación que ocurre por parte de las plantas, es decir 0,13gP por módulo A. Para el módulo B la situación es similar, obteniendo eliminaciones correspondientes al 20 % de lo ingresado al sistema, de este porcentaje el 3,5 % corresponde a la asimilación por parte de las plantas, obteniendo al igual que en el módulo anterior 0,14 g P por módulo.

Tabla 11. Balance de Fósforo en el sistema.

	Módulo A	Módulo B
Entrada (g)	6,42	3,82
Foliar (g)	0,13	0,14
Medio de Soporte y transformación (g)	1,80	0,65
Salida (g)	4,49	3,03

6. CONCLUSIONES

Se concluye por los resultados obtenidos en la caracterización físico-química, que el efluente de celulosa Kraft es apto para utilizarse como agua de regadío, ya que cumple con los niveles óptimos requeridos en la NCh 1333 para agua de riego.

Según las mediciones realizadas se concluye que existió un crecimiento de los bulbos de *lilium asiático* en el efluente de celulosa, observados en el aumento de la altura, número de hojas y ancho del tallo basal, pero no se llevó a cabo la floración por aborto del botón floral debido a la baja luminosidad y bajas temperaturas externas por la estación otoñal donde se realizaron los experimentos, también el estado inicial ya avanzado en crecimiento por parte de los bulbos, provoca que las reservas de nutrientes de este se agoten, dejando al bulbo expuesto a cualquier tipo de enfermedades y problema para su correcto desarrollo.

Para los ensayos preliminares se concluye que el agua potable proveniente de la Universidad de Concepción puede utilizarse como base para la formación de una solución nutritiva ya que los datos de CE y pH obtenidas no son significativas en el aporte de nutrientes a la solución de regadío. Para el ensayo con la vermiculita se concluye que ésta no aporta inicialmente nutrientes a la solución de regadío, lo hace cuando ocurre el proceso de desorción, datos a considerar al momento de realizar balance de masa.

Los parámetros de control: pH, conductividad eléctrica y temperatura se mantuvieron dentro de los rangos óptimos durante toda la operación de los módulos aeropónicos, concluyendo que estos parámetros no fueron un aporte para que las plantas hayan cesado su proceso de floración.

El balance de materia realizado en ambos módulos, permite observar mayores eliminaciones en el módulo B (Efluente de celulosa) para el Nitrógeno total, con

eliminaciones mayores al 80% en cambio para el Fósforo total las mayores eliminaciones ocurren en el módulo A.(blanco), con valores de eliminación del 30%.

7. RECOMENDACIONES

- Elegir cuidadosamente la planta o bulbo a utilizar.
- Minimizar errores de diferencias de tamaño de bulbos y estado de conservación de estos, ya sea contactando a proveedor para asegurar homogeneidad en ellos o realizarlo en el laboratorio mediante almacigueras, eligiendo las plantas más aptas para este tipo de proceso.
- Higiene y cuidado para la manipulación de módulos en todo el proceso.
- Las dos primeras semanas son cruciales para el crecimiento de raíces, en esta etapa mantener humedad lo más alta posible, regando continuamente con cantidades pequeñas, no llegando a encharcar el sustrato. Y para el momento de la floración ya que en esta etapa es donde consume más agua y nutrientes la planta.
- En caso de falta de luz, apoyar con luces artificiales en momentos críticos (momento cuando se hace visible el botón floral).
- Variar las concentraciones de NPK para encontrar el óptimo a utilizar ya que no todas las soluciones nutritivas son específicas para cada planta, ya que como vemos en este ensayo preliminar para Nitrógeno total al agregar más cantidad de Nitrógeno la asimilación de este es menor por las plantas

en referencia a lo que ingresa. También medir y estudiar la presión osmótica ya que varios autores la señalan de importancia para hidroponía.

- Debido a que el efluente de celulosa Kraft se diluyo, no se puede apreciar cual es el efecto de la conductividad en su nivel más concentrado sobre el cultivo de *lilium*. Estudio que puede llevarse a cabo variando las condiciones de este parámetro y evaluando si es necesaria la dilución de este.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ali, M. and Sreekrishnan, T. 2001. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review. *Advances in Environmental Research*, 5: 175 – 196.
- Andrés, E. (2010). Evaluación de la capacidad de retención de fósforo mediante procesos de adsorción empleando zeolita, y su aplicación en sistemas de humedales 68 construidos para la depuración de aguas residuales urbanas. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico, Universidad de Valladolid, España. 93 pp.
- Bañón, A. S.; G. A. González, H. J. Fernández y R.D Cifuentes. 1993. Gerbera, Lilium, Tulipán y Rosa. Ediciones Mundiprensa. Madrid España.
- Bajpai, P. (2013). Bleach Plant Effluents from the Pulp and Paper Industry. Springer, Punjab, India, 88 pp.
- Bezerra, E. (2012), As técnicas de Hidroponía, Anais da Academia Pernambucana de Ciencia Agronomica, Recife, vols. 8 e 9, pp-107-137.
- Biddinger, E.J., C.M. Liu, R.J. Joly and K.G. Raghothama, (1998). Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato plants to phosphorus deficiency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*.123: 330-333.

- Bixio, D., Wintgens, T., (2006). Water Reuse System Management Manual AQUAREC. Directorate-General for Research, European Commission Brussels, Belgium.
- Brun, R. and L. Chazelle. 1996. Water and nitrate absorption kinetics in the nycthemeral cycle of rose grown in the greenhouse using a recirculating solution. *J. Plant Nut.* 19:839- 866.
- Carrasco, L. 2004. Contaminantes ambientales derivados del pulpage y blanqueo de la pulpa de madera. *AMBIOS Cultura Ambiental*: 13.
- Chamorro, S., Xavier, C. and Vidal, G. (2005). Behavior of Aromatic Compounds Contained in Kraft Mill Effluents Treated by Aerated Lagoon. *Biotechnology Progress*. 21: 1567-1571.
- Chahín M. (2006), Cultivo del liliom, Informativo N°15 inia carillanca. Instituto de investigaciones agropecuarias, centro regional de de investigación carillanca, ministerio de agricultura. Chile.
- Chiang, G., Munkittrick, K., Orrego, R. and Barra, R. (2010). Monitoring of the environmental effects of pulp mill discharges in Chilean Rivers: Lessons learned and challenges. *Water Quality Research Journal Canadian*.45(2): TBD-TBD.
- Chiang, G., Munkittrick, K., Orrego, R. and Barra, R. (2010). Monitoring of the environmental effects of pulp mill discharges in Chilean Rivers: Lessons learned and challenges. *Water Quality Research Journal Canadian*. 45(2): TBD-TBD.
- Cho, Y.D., S.G. Kang, Y.D. Kim, G.H. Shin and K.T. Kim, (1996). Effects of culture systems on growth and yield of cherry tomatoes in hydroponics. *RDA Journal of Agricultural Science*. 38: 563-567.
- Cooper, A.J. (1978). Methods of establishing young plants in a nutrient film tomato crop. *Journal of Agricultural Science*. 53: 189-193.
- Coria, A, (2012). Modelo de competitividad para productores del sector floricultor. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias administrativas.

Instituto Politecnico Nacional, escuela superior de comercio y administración, unidad santo tomas, sección de estudios de postgrado e investigación. México.

- Corporación chilena de la Madera. CORMA. www.cormabiobio.cl
- De Rick, E.G Schrevens (1977). pH influenced by the elemental composition of nutrient solution. J. Plant nutrition. 20: 911-923.
- Diez, M. C., Castillo, G., Aguilar, L., Vidal, G. and Mora, M.L. 2002. Operational factors and nutrient effects on activated sludge treatment of *Pinus radiata* kraft mill wastewater. *Bioresource Technology*. 83:131-138.
- Duran, J. (2000). El proyecto Aeroponía, Aeroponic Research. El uso agrícola de aguas residuales urbanas no tratadas en países de bajos ingresos. Conferencia electrónica, 24 junio – 5 julio (2002).
FIA (2003). Especies Florícolas evaluadas en Chile. Resultados de proyectos impulsados por FIA. Fundación para la innovación agraria. Gobierno de Chile. Chile.
- FIA (2007). Especies Florícolas evaluadas en Chile. Resultados de proyectos impulsados por FIA. Fundación para la innovación agraria. Gobierno de Chile. Chile.
- García C. (2012) Nitrógeno, calcio y magnesio y su relación con el desarrollo, calidad y estado nutrimental en *lilium* híbrido oriental Casablanca. Tesis para optar a doctor en ciencias en horticultura.
- Gutierrez, A., Del Rio, J.C., Rencores, J., Ibarra, D. and Martínez, A. T. (2006). Main lipophilic extractives in different paper pulp types can be removed using the laccase– mediator system. *Applied Microbiology Biotechnology*. 72: 845–851.
- Hidd, C. (2014). Evaluación de la toxicidad de flujos accidentales generados por la industria de celulosa Kraft en consorcios bacterianos. Tesis ingeniería ambiental, Universidad de Concepción.

- Hinichsen, D., B Robey and Upadhyay. (February 1999). Solutions for a water-short world. Population Report, Series M, No.14. Population Information Program John Hopkins University School of Public Health.
- Hodson, P.V., Maj, M., Efler, S., Schnell, A. and Carey, J. (1994). Kraft black liquor as a source MOF inducers. In: The 2nd International Conference on Environmental Fate and Effects of Bleached Pulp Mill Effluents, November 6-10, (1994), Vancouver, B. C., Canada.
- INFOR 2014, ANUARIO FORESTAL. 1 pp: CIFRAS COMENTADAS. Boletín Estadístico N° 144. Santiago, Chile.
- Instituto nacional de normalización. 1978. Requisitos de calidad de agua para diferentes usos. NCh 1333: of. 78 modificada en 1987.Santiago.Chile.
- Jose, M, Cuaristo Martinez, Luis M. Navas, (2000).Los cultivos sin suelo de la hidroponía a la Aeroponía, departamento de producción vegetal. Fitotecnia, Universidad Politecnica de Madrid.
- Juárez,(2010). Relaciones de amonio-cationes, de fósforo aniones y presión osmótica de la solución nutritiva en *lilium hibrido asiático*, tesis presentada para obtener el grado de doctor en ciencias.montecillo, Texcoco. México.
- Kadlec, R.H. y Knight, R. (1996). Treatment wetlands. Ed. Lewis Publishers, Boca Raton, 893 pp.
- López 2008. Detección de actividad estrogénica en compuestos presentes en efluentes de celulosa kraft usando *Daphnia magnacomo* bioindicador.tesis biología marina, universidad de concepción.34 pp.
- Marschner, 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Ed. Academic press. San Diego, Ca. U.S.A. 889pp.
- Molitor, H.D., M. Fischer and A.P. Popadopoulos,(1999). Effect of several parameters on the growth of chrysanthemum stock plants in aeroponics. Volume I. Acta Horticulturae. 481: 179-186.

- Morales, G. (2014). Evaluación de la Estabilidad de un sistema de Lodos Activados mediante Indicadores Físicoquímicos y Biológicos. Tesis Ingeniería Ambiental, Universidad de Concepción. 91 pp.
- Morán, F. (2004). Producción de plantas ornamentales en invernadero. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Torreón, Coahuila. Octubre 2004.
- Nir, 1982 Growing plants in aeroponics growth system, Extension service, Floriculture division, ministry of agriculture, tel-aviv.Israel.
- Odendahl, S.M., Weishar, K.M., Reeve, D.W. (1990). Chlorinated organic matter in bleached chemical pulp production. Part II: A Review of measurement techniques for effluents on methanogenic consortia. Pulp and Paper Canadian. 91: 62-66.
- ODEPA 2014
- Park, H.S., M.H. Chiang and H.S. Park, (1997). Effects of form and concentration of nitrogen in aeroponic solution on growth, chlorophyll, nitrogen contents and enzyme activities in Cucumistivum L. plant. Journal of the Korean Society for Horticultural Science. 38: 642-646.
- Pozo, A. C. Villamar, M. Martinez and G. Vidal (2011) Polyhydroxyalkanoates (PHA) biosynthesis from kraft mill wastewaters: biomass origin and C:N relationship influence. *Water Science & Technology* 01/2011; 63(3):449-55.
- Pozo, G. (2010). Optimización de la operación de un reactor aeróbico de biopelícula bacteriana inmovilizada: incidencia de los nutrientes en la biosíntesis de polihidroxicanoato (PHA) como producto del tratamiento de efluentes de celulosa Kraft. Tesis Magister, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 84 pp.
- PROCHILE (2014). El Mercado de flores de corte y bulbos en los países bajos.[en línea]. http://www.prochile.gob.cl/wp-content/blogs.dir/1/files/mf/1413894630FMP_Holanda_Flores_2014.pdf

- Rodrigues, C., Mounteer, A., Stoppa, T. and Dalvi, L. (2010). Chemical components of bleached eucalypt kraft pulp effluent COD and treatment removal efficiency during normal mill operation and maintenance shutdowns. *Water Science and Technology*. 62: 1567-1573.
- Rezende A. A. P. de Matos, A. T. Silva, C. M. and Neves, J. C. (2010). *Irrigation of eucalyptus plantation using treated bleached kraft pultp mill effluent*. *Water science & technology – WST*. pp: 2150- 2156.
- Sandoval-Villa, M.; P. Sánchez-García; and G. Alcántar-González. (2007). *Principios de la hidroponía y del fertirriego*. 375-438.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2005a, Plan Rector Sistema Nacional de Ornamentales 2005-2012.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2005b, Plan Rector Sistema Nacional de Ornamentales 2005-2012.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2008, Plan Rector Sistema Nacional de Ornamentales 2008-2012.
- Scoggins, H.L. and H.A. Mills, (1998). Poinsettia growth, tissue nutrient concentration, and nutrient up take as influenced by nitrogen form and stage of growth. *Journal of Plant Nutrition*. 21: 191-198.
- Smith SG, Johnston CM, Cornfort IS (1983). Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture. *New phytol*. 74: 537- 548.
- Steiner, A. A (1961). A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15: 134-154.
- Steiner, A. A (1966). The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil*. 24: 434- 466.

- Steiner, A. A (1968). Spoiless cultura in proceedings of the 6th colloquium of the international potash institute Florence, Italy. Published by Potash Inst. Bern, Switzarland. 324- 341.
- Steiner, A. A (1969). The principal differences between culture with and without soil. ISOSC Preceding Int. Congr. Soiles cult. 81-90.
- Steiner, A. A, H. van Widen (1970). Recipe for ferric salt of ethylenediaminetetraacetic acid. Plant Physiol. 46: 862- 863.
- Steiner, A. A. (1973). The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. Proceedings on the 3rd international congress on soiles culture IWOSC. Sassari, Italy.
- Steiner, A. A. (1980). The Selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. ISOCS. Proceedings of the fifth international congress on soiless culture. Wageningen, Holland.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution ISOCS. Proceedding sixth international congress on soiless culture. 633- 649.
- Steiner, A.A. (1966). The influence of chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. Plant Soil. 24: 454-466.
- Steiner, A.A. (1984). The universal nutrient solution. pp. 633-650. In: Proceedings 6th international congress on soilles culture. Wageningen, The Netherlands.
- Thompson, G., Swain, J. and Forster, M. (2001). The treatment of pulp and paper mill effluent: a review. Bioresource Technology. 77: 275 – 286.
- Trejo, L. and Gómez, F. (2012). Hydroponics – A Standard Methodology for Plant Biological Research. Chapter one. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems, colegio de postgraduados, Montecillo, texcoco, State of México
- Veliz, L., Eliet, Llanes, Ocaña, Fernández A., Lidia, Bataller y Mayra. (2009) Reúso de aguas residuales domesticas para riego agrícola. Valoración crítica. Revista CENIC. Ciencias Biológicas [en línea]

<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181221574007>>ISSN 0253-5688.

[Consulta: 18 de diciembre de 2014].

- Vidal, G., Belmonte, M., Calderon, M. and Chamorro, S. (2007). Significativos avances ambientales registra en Chile la industria de celulosa kraft blanqueada. *Induambiente*. 15: 6 – 30.
- Vidal, G., Belmonte, M., Calderon, M. and Chamorro, S. (2007). Significativos avances ambientales registra en Chile la industria de celulosa kraft blanqueada. *Induambiente*. 15: 6 – 30.
- Videla, S., Navarrete, P. and Vidal, G. (2003). Environmental issue of the Chilean forest industry. In: *Conference Proceedings- 7th International Water Association Symposium on Forest Industry Wastewaters*, Seattle-Washington, PL 20.
- Villamar, C. A. (2008). Propuesta para la operación y optimización de un sistema biológico aerobio de biomasa adherida para tratar efluentes provenientes de la industria de celulosa Kraft en la región del Bio-bío, Chile. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental, Escuela De Posgrado En Ingeniería Y Ciencias, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 182 pp.
- Villamar, C. A., Jarpa, M., Decap, J. and Vidal, G. (2009). Aerobic moving bed bioreactor performance: comparative study of removal efficiencies of kraft mill effluents from *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* as raw material. *Water Science and Technology*. 59: 507-514.
- Vymazal, J. (2005). Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecol. Eng.* 25, 478-490. www.aeroponic.it/esp/progetto.htm.
- Xavier, C. 2006. Influencia de la tecnología de tratamiento en la eliminación de fitoesteroides contenidos en efluentes de celulosa kraft y en la toxicidad de estos compuestos en organismos acuáticos, y de genotoxicidad en organismos bacterianos. Tesis doctoral, Universidad de Concepcion, Centro-EULA. CHILE.

- Xavier, C., Chamorro, S. and Vidal, G. (2005). Chronic effects of kraft mill effluents and endocrine active chemicals on *Daphnia magna*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 75: 670-676.
- Zaror, C. (2002). *Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos*. Editorial Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 174 pp.
- Zepeda. I. (2012) *Efecto de la solución nutritiva en el rendimiento de lechuga (Lactuca sativa L.) en dos sistemas hidropónicos: camas flotantes y aeroponía*. Tesis para optar al grado de profesional asociado a ingeniería de invernaderos. Universidad Autónoma de Querétaro, México.

9. ANEXOS

Anexo 1. Caracterización completa efluente secundaria efluente de celulosa Kraft comparada con soluciones de regadío y de la literatura.

Parámetro	Unidad	Efluente	Efluente Diluido	S.N. Best Garden	S.N. Steiner (1984)
Color	mg/L	1,369	0,038	0,008	
pH		7,58	7,14	7,91	
Sólidos suspendidos Totales	mg/L	60	0,02	0,11	
DQO	mg/L	375	42,0	42,4	
DBO ₅	mg/L	68	15,6	7,8	
EC	mS/cm	3,4	0,96	1,07	
Sodio (Na)	mg/L	742			
Calcio (Ca)	mg/L	49			180
Magnesio (Mg)	mg/L	77			

Nitrógeno total (N _T)	mg/L	12,7	3,1	180,5	168
Fósforo total (P _T)	mg/L	2,4	0,6	49,3	31
Potasio (K)	mg/L	27,4	11,9	89,10	273
Azufre (S)	mg/L	116,65			336
Cobre (Cu)	mg/L	0,01	0,0555		
Hierro (Fe)	mg/L	0,57	0,163		2-4
Zinc (Zn)	mg/L	0,05	< 0,0002		0,11
Manganeso (Mn)	mg/L	0,31	0,060		0,62
Aluminio (Al)	mg/L	3,45			
Boro (B)	mg/L	0,17			0,44
Cadmio (Cd)	mg/L	0,001	< 0,0005	< 3,6 (mg/Kg)	
Cobalto (Co)	mg/L	0,005			
Cromo (Cr)	mg/L	0,136			
Mercurio (Hg)	mg/L	0,016		< 0,5 (mg/Kg)	

Molibdeno (Mo)	mg/L	0,029		
Níquel (Ni)	mg/L	0,016	< 0,001	
Plomo (Pb)	mg/L	0,027	< 0,001	< 1,5 (mg/Kg)
Silicio (Si)	mg/L	5,00		
Vanadio (Va)	mg/L	0,009		
Cloruro (Cl)	mg/L	493		
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	mg/L	ND		
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	mol/L	8,3		
AOX	mg/L	4,59		
Coliformes totales	MPN 100 m/L	< 5,000		
Coliformes fecales	MPN 100 m/L	< 1,000		

Fuente. Adaptado a Rezende *et al.* (2010); Steiner (1984).