

MEMORIA DESCRIPTIVA

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se enfoca al campo de la agronomía, los recursos hídricos y el impacto ambiental, en general, se refiere a un método de cultivo de árboles frutales con alto consumo de agua, el cual optimiza el uso de agua y maximiza la producción. En particular, se refiere a un método de cultivo intensivo y sustentable de árboles con alto consumo hídrico (por ejemplo paltos, cítricos, manzanos, mangos, perales, duraznos, kiwi, entre otros) en confinamiento, vía manejo de multivariantes de: arquitectura de plantas, nutrición, densidades dinámicas, polinización artificial y uso de longitudes de onda lumínica específicas para cada estado fenológico que permiten una precocidad en la entrada en producción, la maximización del rendimiento por unidad de superficie y el control del momento de cosecha de la fruta. En forma aún más particular, la patente de invención, se refiere a un 1. Método de cultivo de paltos en contenedores para la producción intensiva de frutos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Se estima que la agricultura utiliza el 70% del agua que se extrae a nivel mundial, donde las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del "uso consuntivo del agua" debido a la evapotranspiración de los cultivos. A nivel mundial, más de 330 millones de hectáreas cuentan con instalaciones de riego. La agricultura de regadío representa el 20% del total de la superficie cultivada y aporta el 40% de la producción total de alimentos en todo el mundo. Se espera que la competencia por los recursos hídricos aumente en el futuro, poniendo especial presión sobre la agricultura. Debido al aumento de la población, la urbanización, la industrialización y el cambio climático, se precisa que una mejora de la eficiencia en el uso del agua vaya acompañada de una reasignación del agua en las regiones con estrés hídrico que oscile entre un 25% y un 40% (<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>).

La ONU estima que, en el año 2025, 1.800 millones de personas vivirán en países o regiones con escasez absoluta de agua. Bajo el contexto actual de cambio climático, se proyecta que, en el año 2030, casi la mitad de la población mundial vivirá en áreas de estrés hídrico. En este contexto, Chile es un país cuyo desarrollo se ve limitado principalmente por las sequías que se han producido los últimos años y la escasez de agua dulce encontrándose entre aquellos que padecen estrés hídrico. El sector silvoagropecuario de nuestro país tiene una clara orientación a la exportación, teniendo la fruticultura y la silvicultura lugares preponderantes. Así, se puede afirmar que Chile aún basa su crecimiento económico en la explotación de los recursos naturales, y el agua constituye un elemento fundamental para sectores como la agricultura (<https://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2019/08/30/como-la-escasez-de-agua-estaria-afectando-la-agricultura-de-nuestro-pais/>).

De acuerdo con el instituto de recursos mundiales, más del 25% de los cultivos del mundo se siembran en regiones con una grave escasez hídrica, siendo los 5 cultivos que más agua consumen en el mundo: 1) almendras de California en Estados Unidos, 2) paltas de Petorca en Chile, 3) Caña de azúcar en Pakistán, 4) Arroz de Punjab en India, y 5) Plátanos de República Dominicana (<https://agriculturers.com/los-5-cultivos-que-mas-agua-consumen-en-el-mundo/>).

Ahora, centrándose en los cultivos de frutales, estos se pueden dividir según sus necesidades hídricas, dependiendo si son resistentes, tolerantes, o sensibles a la sequía dependerá de su consumo de agua. En este sentido los frutales sensibles a la sequía que precisan de riego obligatorio son varios, encontrándose: i) los cerezos, albaricoque, melocotón, peral, manzano tardío, palta y chirimoyo con 750 mm de agua anuales; ii) la zarzamora, cítricos, y frambueso con entre 800-1.300 mm de agua anuales; iii) el papayo con 1.800 mm de agua anual; iv) el kiwi con 2.000 mm de agua anual; y v) el avellano con entre 2.500-3.000 mm de agua anual (<http://blog.agrologica.es/necesidades-hidricas-de-las-principales-especies-frutales-riego-tabla-resistentes-sequia/>).

Tal como se indicó anteriormente, un ejemplo emblemático de la escasez hídrica y el cultivo de paltos en Chile es la localidad de Petorca, esta zona es lamentablemente

destacada por tener enormes cantidades de hectáreas cultivadas con paltos y no disponer una cantidad suficiente de agua para el consumo humano. Sin embargo, dicha escasez hídrica, no puede ser atribuible sólo a las plantaciones de paltos, pues, en la zona también existen amplias áreas verdes que corresponden a plantaciones de cítricos. Así entonces, el agua que se utiliza para el desarrollo del palto no es tanto más que el cultivo de cítricos o del nogal, por lo que más allá de la especie producida, el problema, es la excesiva cantidad de hectáreas sembradas.

Sin embargo, más allá del por qué un cierto tipo de árbol es de más interés comercial que otros, y porque algunos de estos consumen tanta agua, se hace necesario entender un poco más en profundidad el ciclo de vida y reproducción de estos árboles frutales de alto consumo de agua, si se quieren generar estrategias reales de optimización de los recursos.

El típico ejemplo de estos árboles es el palto, el cual puede producir millones de flores, sin embargo, menos del 1% de ellas se convierte en fruto. Eso es algo que se debe a una serie de eventos que ocurren durante la fase progámica (desde que llega el polen al estigma hasta que se produce la fecundación) y el desarrollo temprano del fruto, variando desde una polinización ineficiente a condiciones ambientales adversas. Trabajos llevados a cabo en paltos han puesto de manifiesto que, el porcentaje de flores que presentan tubos polínicos en las proximidades del óvulo se ve afectado por el número de granos de polen que llegan al estigma, aunque, sin embargo, no todas las flores cuyos óvulos han sido fecundados se acabarán transformando en fruto. Por otra parte, tras aplicar polen manualmente se consigue incrementar el cuajado, aunque no obstante, el porcentaje de las flores que se transforman en fruto sigue siendo muy bajo, sugiriendo que la polinización ineficiente podría ser uno de los factores involucrados en el bajo cuajado, pero no el único sino que, otros factores podrían estar implicados en el éxito reproductivo de la flor, como es la calidad de la flor misma, lo cual depende a su vez de la nutrición eficiente. La fase progámica es muy sensible a las condiciones ambientales principalmente a la temperatura, donde ésta ejerce un importante papel condicionando la receptividad estigmática, la velocidad de crecimiento del tubo polínico y la viabilidad del óvulo. Por otra parte, para los paltos, se ha descrito que es necesaria

la deposición de al menos 20 granos de polen para que la fecundación tenga lugar. Así entonces, es relevante señalar que para que naturalmente las flores, cuyos óvulos han sido fecundados, se transformen finalmente en fruto, deben concurrir muchos factores y de ahí, por lo cual, el árbol genera esa gran cantidad de flores durante un largo periodo de tiempo, con el consiguiente efecto energético que ello involucra.

En cuanto a la palta obtenida como el fruto de las plantaciones de paltos, se debe destacar el gran aumento en su consumo en los últimos años, pasando de una producción aproximada de 2,8 millones de toneladas el año 2000 a aproximadamente 7 millones de toneladas el año 2019. Para el caso de Chile, el cultivo de paltas, en sus distintas variedades, se ha transformado en un importante foco de desarrollo agrícola y económico, exportando cerca del 70% de su producción y con un gran consumo interno. Por tanto, más allá del consumo mismo de paltas en Chile, la producción de paltas juega un rol importante dentro de la economía nacional, pues, aparte de satisfacer una necesidad alimentaria humana, genera una importante cantidad de empleos directos e indirectos. Por otra parte, la producción de paltas que en su gran parte son exportadas, pone a este sector dentro de un objetivo país, cual es, que Chile sea una potencia alimentaria en el mercado internacional.

Por tanto, es necesario desarrollar nuevas metodologías y productos de cultivo que consoliden a Chile en el mercado internacional y que, a su vez, cumpla un objetivo social al disminuir el consumo de agua que consumen estas especies y hacer una agronomía más sustentable, comprendiendo y manipulando todas las variables que entran en juego al momento de cultivar un árbol frutal para obtener una producción óptima de frutos. Si bien, el desarrollo de la metodología de la patente de invención se lleva a efecto en base a la realidad chilena, su aplicación puede efectuarse en cualquier sitio geográfico del mundo donde se cultiven arboles de alto consumo de agua, como es el caso del palto.

En consecuencia, como soluciones para disminuir el consumo de agua y mejorar el rendimiento de los cultivos de árboles frutales, han surgido distintas innovaciones. Así, se indican en el estado de la técnica, diferentes patentes y publicaciones que se

basan en nuevas innovaciones para fines agronómicos, por ejemplo, el modelo de utilidad CN 203968874, se refiere a un dispositivo experimental de cultivo de plántulas. El dispositivo experimental de cultivo de plántulas comprende un surco de cultivo, donde se forma una abertura en la parte superior del surco de cultivo, luego se forma un espacio cóncavo hacia adentro en el surco de cultivo y se forma una cavidad interna para contener agua o soluciones de nutrientes en el parte inferior de la ranura de cultivo, placas de rejilla entrecruzadas están dispuestas en el espacio cóncavo hacia adentro de la ranura de cultivo, la ranura de cultivo está dividida por las placas de rejilla en una pluralidad de ranuras de contención, donde se forman orificios pasantes comunicados respectivamente con la cavidad interior en la parte inferior de las ranuras de contención, respectivamente. Las cajas de cultivo de plántulas para contener matrices de nutrición están contenidas en las ranuras de contención, se forman orificios de entrada de agua en la parte inferior de las cajas de cultivo de plántulas y se disponen varillas de algodón de succión de agua en la plántula. La posición de la abertura de la ranura de cultivo está cubierta con una película de cobertura. Por medio del dispositivo experimental de cultivo de plántulas, se pueden juzgar convenientemente las condiciones de los requisitos de agua y el grado de iluminación del crecimiento de plántulas de diferentes plantas.

El modelo de utilidad CN 205993179, divulga una maceta multifuncional que se caracteriza porque incluye: un cuerpo de maceta, un gancho, una placa base, una rueda universal, un disco receptor de agua y una ventosa. El cuerpo de maceta y la rueda universal se fijan individualmente en la cara de los extremos superior e inferior de la placa base, el gancho se conecta de forma fija en el cuerpo de la maceta, la bandeja de goteo se fija en la base placa por la ventosa, y la bandeja de goteo está ubicada en la sección inferior del gancho. El cuerpo de la maceta divulgado, incluye una cubeta interior, una cubeta exterior y una placa que afloja el suelo. El cuerpo de la maceta y la cubeta interior se colocan en el cuerpo de la cubeta exterior, y se forma un espacio de corriente libre entre ambos, la placa que afloja el suelo se fija en la pared lateral de la cubeta exterior.

La patente US 2492152, divulga conjuntos de macetas para plantas y tiene entre sus objetos la provisión de tales conjuntos que proporcionarán una protección adecuada contra la deshidratación y el anegamiento de las plantas. Este tipo de maceta evita condiciones indeseables y proporciona una atmósfera húmeda que rodea la maceta. Se proporciona un conjunto de macetero que comprende un contenedor con la parte superior abierta que tiene una pared sin perforar y un macetero que tiene una pared porosa y un reborde cerca de la parte superior del mismo, estando el macetero soportado dentro del contenedor con su pared espaciados de la pared del contenedor y de tal manera que el fondo de la maceta se coloque a una distancia sustancial por encima del fondo del contenedor, el espacio se reserva dentro del contenedor debajo del fondo de dicha maceta para la acumulación de agua. Mediante esta colocación de la maceta, se evita el encharcamiento, ya que el fondo de la maceta no entra en contacto con el agua del fondo del recipiente. Además de esta característica, se proporciona un sello extraíble entre la parte superior de la maceta y el contenedor que tiene el efecto de provocar el mantenimiento constante de las condiciones atmosféricas húmedas alrededor de la maceta, evitando así el secado de la tierra en la maceta.

La solicitud de patente US 2017/027118, divulga una sembradora de semillas de aguacate, la cual es un dispositivo reutilizable que sostiene una semilla de aguacate mientras produce raíces en un frasco o vaso de agua. Una vez que la semilla ha arraigado, se retira de la maceta y se puede plantar en una maceta con tierra para que crezca como planta de interior o se puede plantar para que crezca en el exterior si se desea.

La patente EP 2103212, indica un regulador del crecimiento de plantas y una técnica para su uso. Para ser específico, esta invención se refiere a un regulador del crecimiento de las plantas capaz de aumentar el índice de cosecha mediante el uso de glutatión y a una técnica para el uso del regulador del crecimiento de las plantas.

La solicitud de patente WO 2013/044208, indica métodos para mejorar el crecimiento de las plantas, que comprenden tratar la semilla de la planta o la planta que germina a partir de la semilla con una cantidad eficaz de al menos un quitooligosacárido,

en los que al cosechar la planta presenta al menos un rendimiento de planta aumentado medido en términos de fanega/acre, aumento del número de raíces, aumento de la longitud de las raíces, aumento de la masa de las raíces, aumento del volumen de las raíces y aumento del área foliar, en comparación con las plantas no tratadas o las plantas cosechadas de semillas no tratadas.

La solicitud de patente KR 20200102232, indica una maceta aireada basada en una técnica microporosa. La maceta basada en la técnica microporosa supera los problemas existentes de que el aire fluye mal por un espacio para acomodar plantas y el espacio no retiene la humedad de tal manera que se dificulta el crecimiento, al tener una mayor permeabilidad al aire en comparación con otras macetas de flujo y retener la humedad en microporos para ayudar al crecimiento de las plantas.

La solicitud de patente CN 105766644, indica métodos de cultivo de tejidos para *Abelmoschus esculentus* y pertenece al campo técnico de la biología vegetal. El método comprende los siguientes pasos: preparar un explante, seleccionar semillas maduras y completas de *Abelmoschus esculentus*, lavar las semillas de *Abelmoschus esculentus* con agua corriente durante 2-3 horas, luego desinfectar las semillas de *Abelmoschus esculentus* con 70 por ciento de alcohol en un banco limpio por 30 segundos, desinfectando con 0,1% de cloruro de mercurio durante 8-10 minutos, enjuagando con agua esterilizada por 5-6 veces y remojando las semillas desinfectadas en agua esterilizada durante 12-24 horas; inocular las semillas empapadas en un medio de cultivo 1/2 MS y cultivar bajo luces de una lámpara fluorescente durante 5-7 días; después de aplanar las hojas, cortar brotes terminales de 1,5-25 cm con hipocótilos parciales, inocular los brotes terminales en un medio de cultivo MS que contenga 0,05 mg/L de NAA y cultivar bajo la luz de un LED (diodo emisor de luz) en un color azul-rojo. Relación de combinación amarilla de 1 a 3 a 1 durante 35 días, en la que las luces LED en una relación de combinación azul-rojo-amarillo de 1 a 3 a 1 es adecuada para el crecimiento de plántulas de cultivo de tejidos de *Abelmoschus esculentus*.

La solicitud de patente KR 20170123079, indica un método para aumentar las sustancias bioactivas y el crecimiento de *Crepidiastrum denticulatum* utilizando varios

diodos emisores de luz LED. Asegurando una tecnología LED optimizada para aumentar las sustancias bioactivas y el crecimiento de *Crepidiastrum denticulatum*, que es un cultivo medicinal utilizado como materia prima para fármacos, el método de esta invención se puede aplicar como tecnología para producir materias primas vegetales altamente funcionales.

Como bien se puede apreciar, existen variadas descripciones que permiten identificar las distintas variables que se pueden manejar o manipular para un cultivo intensivo y sustentable de árboles de alto consumo de agua (como paltos), sin embargo el cultivo de estos árboles sigue siendo una problemática, ya que no se ha logrado generar una metodología que reemplace el cultivo masivo en tierra (que es el que requiere un alto consumo de agua) o que sea transversal para distintas especies de frutales con alto consumo de agua.

Por tanto, sigue existiendo la necesidad de contar con mejores métodos de cultivo de este tipo de árboles, donde se logre mejorar la eficiencia en el uso del agua (EUA). Además, existe la necesidad de disponer de cultivos que mejoren su impacto en el medio ambiente y sustentabilidad, disminuyendo el uso de agroquímicos (nutrición o fitosanitarios), sin afectar o disminuir la producción frutal del árbol, ya que si el árbol no produce el rendimiento similar al de un árbol en tierra, no será rentable para los agricultores, por lo que el método además de mejorar el EUA y ser ambientalmente sustentable, también debe ser atractivo comercialmente en cuanto a la producción de fruta.

RESUMEN DE LA INVENCION

Así entonces, es un objetivo del presente invento, proporcionar una metodología respecto a los lineamientos base que se deben manejar para el cultivo de árboles frutales de alto consumo de agua en contenedores aireados, con arquitectura de raíces eficientes y uniformes, analizando y mejorando la EUA, la sustentabilidad ambiental, la polinización artificial, el uso de contenedores aireados, la distancia de ubicación y fotoperiodo e intensidad lumínica de exposición de hojas. La condición de que los

árboles se encuentren dispuestos en contenedores aireados permite mejorar la EUA, ya que el agua necesaria se concentra en el contenedor. Por otra parte, al estar los árboles en contenedores existe una sustentabilidad en uso de nutrientes, ya que: i) los mejores son captados de una manera eficiente por los árboles, y ii) los nutrientes quedan concentrados en los contenedores, por lo cual, no se registra una afectación directa al ambiente circundante, como es el caso cuando los árboles están plantados directamente en la tierra. Todas las variables anteriores, se operan de manera conjunta y sinérgica, con la finalidad de lograr una precocidad en el desarrollo vegetativo, floración y fructificación, y un control fenológico de la planta, sincronizando la floración en forma concentrada y en óptimas condiciones ambientales para el desarrollo de la fruta.

En consecuencia, la presente invención, muestra ventajas técnicas notorias respecto a la tecnología de cultivo conocida en el estado de la técnica, dichas ventajas se logran en base a un método de cultivo intensivo y sustentable de árboles frutales de alto consumo de agua, los que se encuentran en confinamiento y por vía de un manejo de multivariables, entre las que destacan: arquitectura de plantas, nutrición, densidades dinámicas, polinización artificial y uso de longitudes de onda específicas para cada estado fenológico que permiten una precocidad en la entrada en producción, la maximización del rendimiento por unidad de superficie y el control del momento de cosecha de la fruta. El método de cultivo de árboles frutales, como por ejemplo, paltos en contenedores para la producción intensiva de frutos (aunque también puede ser aplicable en cítricos, manzanos, mangos, perales, duraznos, kiwi, entre otros), comprende las etapas de: disponer de plantas clonales de alta densidad radical en contenedores aireados; disponer en los contenedores un sustrato para el crecimiento acelerado de las raíces; fertirrigar los contenedores con una solución de nutrientes que otorgue precocidad en el desarrollo vegetativo, floración y fructificación de la planta; disponer los contenedores en condiciones de una densidad dinámica, la que varía desde una densidad de 1,0 x 1,5 metros hasta una densidad de 3,5 x 2,5 metros; controlar el ciclo fenológico de la planta mediante la iluminación con un sistema de luces led con pulsos intermitentes de longitudes de onda que actúan en forma cíclica a lo largo del tiempo y dentro del espacio de ubicación de las plantas; polinizar artificialmente las

flores mediante la aplicación de polen por un sistema de aspersión a cada panícula floral; controlar el tamaño del árbol mediante conducción y poda para formar una arquitectura de planta tipo multieje; controlar las plagas y enfermedades mediante un control biológico con microorganismos; y cultivar el fruto de calibre grande y con una semilla de reducido tamaño.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FIGURAS

Una descripción detallada de la invención, se llevará a cabo en conjunto con las figuras que forman parte de esta solicitud.

Es importante indicar que las figuras sólo actúan como elementos de apoyo para una mejor comprensión de la invención, sin que ellas representen todos los componentes a una escala real o proporcional. La invención tampoco puede verse limitada sólo a lo que aparece en las figuras, pues ellas representan, en una forma pedagógica, los elementos trascendentes para entender los aspectos básicos del método de cultivo, y pueden no incluirse elementos que son de conocimiento general en el estado de la técnica. Así entonces, se tienen las siguientes figuras:

Figura 1: Esquema de una planta multieje. Se muestra la distribución de una planta multieje de la cual sale un eje principal (A), del cual salen 2 o más ramas secundarias (B).

Figura 2: Diagrama de un sistema radical clonal. Este sistema tiene un tallo principal desde donde salen las raíces adventicias principales y sobre las cuales se generan raíces de segundo y tercer orden.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Para una mejor comprensión del presente invento, es necesario entregar las siguientes definiciones, las que sólo deben ser entendidas como elementos que ayudan al entendimiento de las características técnicas particulares en este campo técnico.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*plantas clonales de alta densidad radical*” se refiere a una planta que tiene un sistema radical mucho más eficiente, con una gran cantidad de raíces absorbentes capaces de suministrar constantemente el agua y los nutrientes requeridos por las distintas estructuras de la planta. El hecho de ser propagadas en forma clonal, les da la ventaja de la uniformidad y la tolerancia a condiciones de desarrollo de patógenos que se puedan producir en este confinamiento.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*contenedores aireados*”, corresponde a todo tipo de maceteros, macetas y otros tipos de contenedores, que permitan no retener agua y por otro lado aislar la planta del suelo y mantenerla en un ambiente de sustrato aireado.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*fertirrigar*” es una técnica que racionaliza la utilización del agua, permitiendo colocar los fertilizantes en solución cerca del sistema radicular de la planta, con lo cual, se da un contacto más rápido y directo de los elementos nutritivos con las raíces y, por ende, se da una mejor absorción y aprovechamiento de los fertilizantes. Asimismo, considerando las etapas de desarrollo del cultivo, se puede fraccionar la fertilización, reduciendo o aumentando las cantidades de fertilizantes, según la necesidad del cultivo de manera que se propicie una reducción de la contaminación ambiental y de los costos de producción. La fertirrigación hace más eficiente el uso del agua y nutrientes, ya que son suministrados al mismo tiempo y de manera localizada. Entre las ventajas más notables están el ahorro de fertilizantes, el suministro fraccionado de nutrientes y mayor eficiencia en el uso de agua.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*desarrollo vegetativo*” se refiere al ciclo de vida de las plantas en donde no se producen flores ni frutos, sino ramillas y hojas.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*floración*” se refiere al inicio de la fase reproductiva de la planta, cuyo éxito viene determinado por el momento en

que se produzca, que debe ser el más adecuado dentro de su desarrollo y bajo unas condiciones ambientales óptimas. Consiste en el proceso del crecimiento y separación de los sépalos y pétalos de la flor que deja expuestos a los estigmas y estambres, también identificado como antesis. Con esto las flores se abren para que se posibilite la polinización, la fecundación, la aparición de las semillas y finalmente la formación del fruto.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*fructificación*” es el proceso de cuajado de la flor que resulta en la conversión de un fruto.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*densidad dinámica*” corresponde a la distancia que existe entre árboles, la cual va variando durante el tiempo para maximizar el aprovechamiento del espacio. La densidad se refiere al número de árboles por hectárea, esto quiere decir que luego de la distribución inicial de alta densidad, las plantas se separan y distribuyen en menores densidades para permitir una óptima luminosidad y máxima superficie productiva.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*fenología*” es la ciencia que estudia el desarrollo, diferenciación e iniciación de órganos o estructuras y se refiere al estudio de fenómenos biológicos vinculados a ciertos ritmos periódicos tales como la brotación, floración, entre otros y relacionarlos con el medio ambiente en que ocurren (Hodges, 1991; Mullins et al., 1992). En este caso el “*ciclo fenológico*” de las plantas tiene que ver con la relación entre los factores climáticos y los ciclos de las plantas. Específicamente a la producción periódica de las estructuras vegetativas y reproductivas.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*panícula floral*” o también conocido o panoja, es una inflorescencia racimosa compuesta de racimos que van decreciendo de tamaño hacia el ápice. En otras palabras, un racimo ramificado de flores, en el que las ramas son a su vez racimos. Se cataloga como un racimo de racimos, posee un raquis principal que se subdivide en raquis secundarios de los cuales se desprenden flores con pedicelo.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*multieje*” o también conocido como sistema arbustivo, es un tipo de conducción de las ramas de los árboles que se fija por una única vez al comienzo con el objeto de maximizar la superficie productiva del árbol para un volumen foliar óptimo requerido para el nivel de producción deseado. Los brotes vigorosos que emergen se seleccionan, eligiendo 4-5 distribuidos de manera adecuada, los que formarán el arbusto o follaje.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*propagación clonal*” consiste en hacer enraizar un tallo etiolado de una variedad de un portainjerto deseado, mediante el raspado de este y la aplicación de una solución con hormonas (Método Frolich y Plath. 1972).

Como se utiliza en el presente invento, el término “*arquitectura radical*” tiene que ver con la estructura que tienen las raíces de las plantas y como estas se van desarrollando a partir de raíces adventicias que emergen de un tallo. La conformación del sistema radical es un aspecto adaptativo esencial en las plantas, al permitir la captación de agua y nutrientes en distintos niveles del perfil edáfico. En especies forestales, la arquitectura radical es además relevante para el cultivo de planta en contenedor y otros aspectos de gestión.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*raíces adventicias*” se refiere a aquellas raíces que no provienen de la radícula del embrión, sino que se originan en cualquier otro lugar de la planta, como por ejemplo en alguna porción del vástago, en tallos subterráneos y en raíces viejas.

Como se utiliza en el presente invento, el término “*mulch*” es cualquier material, generalmente orgánico, que se coloca sobre el terreno alrededor de las plantas y que actúa como capa protectora de los cambios climáticos que tienen lugar en el suelo, principalmente la humedad y la temperatura. El *mulch* resulta beneficioso para aquellos periodos de deficiencia hídrica, ya que tiene la capacidad de disminuir la evaporación,

retiene mayor humedad y mejora la mantención de nutrientes, permitiendo mantener la estructura del suelo.

Por tanto y tal como se indicó en párrafos anteriores, existen diferentes tipos de métodos de cultivo de árboles frutales de interés comercial en macetas para la producción intensiva y sustentable de fruta (como paltos, cítricos, manzanos, mangos, perales, duraznos, kiwi, entre otros), pero ningún documento divulga, en igualdad de condiciones, el método de cultivo divulgado en la presente invención.

En consecuencia, una de las ventajas de la invención es que, se aborda la problemática de la EUA y la sustentabilidad ambiental, ya que se divulga un método de cultivo que necesita menos cantidad de agua para producir un árbol frutal, particularmente paltos, que presenta los mismos índices de rendimiento de frutas que los cultivados en condiciones normales de tierra pero en condiciones que aseguran un menor consumo de agua por árbol, y adicionalmente permitiendo una densificación mayor, por lo que se logra un mayor aprovechamiento de la superficie productiva. Es decir, por medio de la metodología de cultivo de la presente invención, en una superficie acotada, se puede obtener un fruto (palta) de alto calibre y un alto volumen de cosecha en comparación con un sistema de cultivo tradicional, pero, con un reducido consumo de agua y sin afectar ambientalmente su entorno.

Además, a través del presente invento, se ha desarrollado una metodología de cultivo en contenedores aireados, con plantas clonales de alta densidad radical y con luz led, lo cual representa una ventaja en cuanto a la alta eficiencia en el uso de los recursos, planta, agua, nutrición y luz, y la escasa utilización de productos agroquímicos nocivos para el ambiente, el método otorga la ventaja de obtener una producción de frutos con un bajo impacto ambiental y un alto valor nutricional.

Otra de las ventajas del método de la presente invención, es que se desarrolla una polinización artificial, lo cual es muy útil, ya que se llega con el polen en el momento preciso, lo que redundará en mayor tasa de polinización. Por otra parte, la polinización natural a través de las abejas se ha vuelto más complejo, ya que estas se han visto

disminuidas en su número por el uso indiscriminado de pesticidas y las enfermedades, por lo que contar con un método alternativo de polinización es un gran avance en el cultivo de frutales de alto consumo de agua permitiendo una polinización más sustentable. Así entonces, el bajo impacto ambiental del método de la invención y la escasa utilización de productos agroquímicos nocivos, es otra de las ventajas que contribuye a la protección y cuidado de las abejas y su repoblamiento.

Otra característica destacable de la presente invención, es que en el estado de la técnica se han divulgado por separado algunos de los elementos utilizados en la metodología reivindicada, pero ninguno de los documentos citados describe un método con todos los elementos y etapas incluidas en la metodología de la presente invención, por medio del cual se optimiza el uso de agua y maximiza la producción del fruto. Todas las características que conforman la metodología de cultivo de la presente invención, se aplican de manera conjunta y sinérgica, logrando una precocidad en el desarrollo vegetativo, floración y fructificación, y un control fenológico de la planta, sincronizando la floración en forma concentrada y en óptimas condiciones ambientales para el desarrollo de la fruta, lo que permite la precocidad en la entrada en producción, la maximización del rendimiento por unidad de superficie y el control del momento de cosecha de la fruta, todo ello con un reducido consumo hídrico.

Adicionalmente, y tal como se describirá en la sección de ejemplos, otra de las ventajas de la presente metodología, es que se logró determinar la relación óptima de distancia de cultivo entre individuos, para optimizar la producción de frutales, mejorando los espacios de producción, donde cada individuo tiene un óptimo acceso a los recursos de aire, luz y espacio de crecimiento.

Finalmente, el método de la presente invención, junto a los contenedores aireados y el material vegetal (palto) utilizados, presenta la ventaja técnica de generar una masa de raíces finas y un método de fertilización artificial que logra una precocidad en el desarrollo vegetativo, floración y fructificación, mientras que el uso del sistema de luces led, logra controlar el ciclo fenológico de la planta, traduciéndose en una mejor producción de frutos a un menor costo de recursos.

Así entonces, las ventajas técnicas de la presente invención, se logran a través de la conjunción de etapas y características especiales, en donde, cada una de ellas realiza un aporte técnico que se potencia con el resto de las características aplicadas.

Así, por ejemplo, en la figura 1, se representa la arquitectura de planta tipo multieje, donde se controla el tamaño del árbol mediante conducción y poda para formar un eje principal (A), del cual nacen dos o más ramas secundarias (B) que a su vez se dividen en ramas terciarias o ejes donde crecerá y se desarrollará la fruta.

Por tanto, el método de cultivo de árboles frutales con alto consumo de agua, particularmente paltos, en contenedores para la producción intensiva de frutos, de acuerdo a la presente invención, comprende las etapas de: i) disponer de plantas clonales de alta densidad radical en contenedores aireados; ii) ubicar los contenedores sobre estructuras móviles (pallet o estibas), bajo condiciones al aire libre; iii) disponer en los contenedores un sustrato para el crecimiento óptimo de raíces finas; iv) fertilrigar los contenedores con una solución de nutrientes que otorgue precocidad en el desarrollo vegetativo, floración, fructificación de la planta y desarrollo del fruto; v) disponer los contenedores en condiciones de una densidad dinámica, la que varía desde una distancia inicial entre plantas de 1,0 x 1,5 metros hasta una distancia máxima de 3,5 x 2,5 metros; vi) controlar el ciclo fenológico de la planta mediante la iluminación con un sistema de luces led con pulsos intermitentes de longitudes de onda que actúan en forma cíclica a lo largo del tiempo y dentro del espacio de ubicación de las plantas; vii) polinizar artificialmente las flores mediante la aplicación de polen por un sistema de aspersión a cada panícula floral; viii) controlar el tamaño del árbol mediante conducción y poda para formar una arquitectura de planta tipo multieje; ix) controlar las plagas y enfermedades mediante un control biológico con microorganismos y; x) cultivar el fruto de calibre grande y con una semilla de reducido tamaño.

Es relevante enfatizar que el método de cultivo de la presente invención, se realiza en un ciclo continuo que parte desde la disposición de la planta en un contenedor aireado y finaliza con la cosecha de los frutos, por tanto, dadas las condiciones

particulares de cada planta o árbol, la duración de dicho ciclo continuo puede tener una variación de tiempo para cada árbol, aunque siempre se establecen rangos de tiempos para la realización de todo el ciclo que abarca la metodología.

Las plantas clonales, que originalmente se encuentran en viveros, cuando tienen una altura aproximada de 80 centímetros, se trasplantan a los contenedores aireados, en donde se propagan clonalmente con una arquitectura radical que comprende cinco raíces adventicias, donde las raíces adventicias se encuentran distribuidas en forma de espiral, generando una masa de raíces finas que se desarrollan en forma cíclica. Los contenedores aireados contienen una mezcla de sustrato inerte, que puede estar formado, por ejemplo, de fibra de coco y turba, lo que permite mucha aireación de las raíces. Con este método de propagación clonal, se obtiene una corona de raíces que nacen desde un tallo principal, desde donde emergen raíces principales con ángulos abiertos que generan un sistema radical superficial (50 cm de profundidad máxima), con una gran cantidad de raíces de segundo y tercer orden (raíces absorbentes). Tal como se muestra en la figura 2, las raíces se componen de una raíz principal (1) que tiene un diámetro aproximado de 6mm, de la cual salen las raíces de segundo orden (2) que tienen un diámetro aproximado de 2 mm, y de estas nacen las raíces de tercer orden (3) que tiene un diámetro aproximado de 1 mm.

Las plantas de la presente invención siempre se mantienen en contenedores, el cultivo en un contenedor aislado permite ventajas en cuanto a sustentabilidad (menor consumo de agua, mayor eficiencia en uso de nutrientes fertilizantes y agroquímicos, como también un mejor control sobre aspectos fenológicos, por tanto, las plantas siempre se encontrarán en macetas o contenedores sobre la superficie del terreno determinado.

Por otra parte, el método comprende la fertirrigación de los contenedores con una solución de nutrientes, la que se efectúa en una frecuencia y cantidad específicas para cada etapa de crecimiento, frecuencia que se evalúa de acuerdo a las características que se desarrollan y vigilan día a día, para lo cual, se agrega una solución de nutrientes que comprende principalmente ácido fosfórico, nitrato de amonio, nitrato

de potasio, nitrato de calcio y sulfato de magnesio en cantidades que se ajustan de acuerdo a las necesidades de cada planta.

En cuanto a las densidades de cultivo del método, luego de la distribución inicial de alta densidad, las plantas se distribuyen en densidades dinámicas de acuerdo con su grado de desarrollo y nivel de carga frutal, variando dicha densidad desde una distancia inicial de 1,5 x 2,0 metros hasta un distanciamiento máximo de 3,0 x 2,0 metros. El que las plantas se dispongan en una densidad dinámica, implica un distanciamiento que permita el mayor crecimiento de las plantas durante sus etapas de crecimiento. Esto quiere decir que la distancia entre plantas irá aumentando en el transcurso del tiempo. La densidad inicial es de 1,5m x 2,0m para alcanzar un distanciamiento máximo en etapa productiva de 3,0m x 2,0m siendo los 3,0m hacia el callejón de alineamiento y los 2,0m sobre la banda o línea de plantación.

En una realización preferente de la invención, la distribución de densidades dinámicas de las plantas se puede disponer con un esquema de distancia entre hilera de 2,0m x 1,5m sobre la hilera a otro con una distancia de 2,0m entre la hilera x 3,0m sobre la hilera.

Adicionalmente, el sistema de luces led se dispone en una parrilla superior alta sobre las plantas y los pulsos intermitentes de dichas luces led tienen longitudes de onda que varían entre 400 y 1500 nm, actuando en forma cíclica a lo largo del tiempo y dentro del espacio de ubicación de las plantas. La aplicación de los pulsos intermitentes se ejecuta en ciclos que varían entre 15 minutos hasta 3 horas. Lo que regula el ciclo fenológico de las plantas, esto quiere decir, el control de la alternancia entre el crecimiento vegetativo y la floración. Comprende sincronizar la floración de la planta en forma concentrada en el momento de óptimas condiciones ambientales, en términos de temperatura y humedad relativa, para el desarrollo de la flor y cuaje del fruto.

Este control se ve favorecido por la polinización artificial, la cual se efectúa por medio de un aspersor manual y/o mecánico aplicado directamente sobre los árboles en el horario de apertura de la flor.

En otro aspecto de la invención, el control del tamaño del árbol se logra mediante la poda de cada rama que ha dado frutos durante dos años, donde anualmente la madera productiva que ha sido podada es reciclada y utilizada como *mulch*.

En otro aspecto importante de la presente invención, el control de plagas se realiza de una forma ambientalmente amigable, donde el control de plagas y enfermedades se realiza de forma diaria mediante monitoreo y control manual, específicamente mediante el control biológico de las plagas, el cual se lleva a efecto por medio de microorganismos benéficos para las plantas que elimina estos patógenos, estos microorganismos se pueden seleccionar entre *Trichoderma harzianum* T-78 y *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*., *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, aunque también el control de plagas se puede realizar mediante extractos de hongos, levaduras o algas marinas.

Finalmente, la cosecha del fruto se realiza de forma manual o mecánica. Donde estos se pueden cultivar tanto en tierras planas como en tierras con pendiente. El método de cultivo de la presente invención puede ser replicado a árboles frutales con alto consumo de agua como: paltos, mandarinas, cítricos, manzanos, mangos, perales, duraznos, kiwi, entre otros. Siendo de interés especial en la agricultura chilena el cultivo de paltos (en especial la variedad Hass) y el cultivo de cítricos (como naranjas y mandarinas).

EJEMPLOS

La descripción de las pruebas de rigor para indicar el paso a paso del método de cultivo en contenedores y el nivel de producción de estos, se demuestra a través de los siguientes ejemplos comparativos.

Ejemplo 1: Metodología de cultivo de paltos en contenedores en condiciones controladas.

Este ejemplo de metodología comprendió el uso de árboles de paltos de la variedad Hass, plantas propagadas clonalmente de alta densidad radical que no poseen portainjerto y son enraizadas directamente, con una arquitectura radical que comprende 5 raíces principales adventicias distribuidas en espiral, que generan una masa de raíces finas que se desarrollan en forma cíclica y abundante en contenedores aireados (*airpot*) que son ampliamente conocidas en la técnica.

El método involucra el uso de cualquier contenedor que permita el paso de aire y que tengan la suficiente resistencia para durar al menos 10 años sin deteriorar sus características estructurales y de permeabilidad al agua y al aire.

El método de cultivo en contenedores puede utilizar sistemas de inyección de oxígeno de forma mecánica a través del sistema de fertiriego. La disponibilidad de oxígeno a nivel radical es fundamental para el desarrollo óptimo de las plantas, ya que se requiere en diferentes procesos metabólicos prioritarios como son: el metabolismo de carbohidratos, la reducción de nitratos, la fijación simbiótica de nitrógeno, la renovación de proteínas, el mantenimiento del gradiente de protones y la absorción de nutrientes por las raíces, lo cual, dada la situación de confinamiento en la cual se encontraran estas plantas, resulta un factor clave para un óptimo desarrollo de las plantas. Para esto se trabaja con un sustrato que aporte la mejor relación oxígeno/agua, así como contenedores aireados y soluciones nutritivas oxigenadas (oxifertirrigación) que permiten incrementar el rendimiento en estos sistemas de cultivo.

Como sustrato se utilizó una mezcla de sustrato inerte compuesto de fibra de coco y turba, en igual proporción de fibra de coco/turba. Las macetas fueron ubicadas sobre estructuras móviles, bajo condiciones al aire libre y fertirrigadas con una solución de nutrientes que comprende principalmente ácido fosfórico, nitrato de amonio, nitrato de potasio, nitrato de calcio y sulfato de magnesio, que permiten una precocidad en el desarrollo vegetativo, floración y fructificación.

Las plantas se ubican inicialmente a una alta densidad (separación de 1,5m x 1,5m) para luego ser trabajadas en densidades dinámicas de acuerdo con su grado de desarrollo y nivel de carga frutal. Las densidades dinámicas se parten con un esquema de distancia entre hilera de 1,5m x 1,5m sobre la hilera a otro a distancia de 2m entre la hilera x 3m sobre la hilera.

Para optimizar su desarrollo se cultivan utilizando un sistema de luces led con pulsos intermitentes de longitudes de onda que actúan en forma cíclica a lo largo del tiempo y dentro del espacio de ubicación de las plantas. El sistema de luces led se dispone en una parrilla superior alta sobre las plantas y los pulsos intermitentes tienen longitudes de onda que varían entre 400 y 1500 nm, las cuales actúan en forma cíclica a lo largo del tiempo y dentro del espacio de ubicación de las plantas. La aplicación de luces se logra debido a una estructura móvil y el hecho que los árboles se encuentran en una densidad muy alta lo que permite cubrir una gran cantidad de árboles en espacios significativamente menores que en plantación tradicional. Los ciclos de aplicación de pulsos de luz led se ajustan dependiendo el objetivo y edad fenológica de la planta. Dependiendo del rango de luz los tiempos de aplicación varían entre 15 min a 3 horas. Con esto se logra controlar el ciclo fenológico de la planta, sincronizando la floración en forma concentrada y en el momento de óptimas condiciones ambientales para el desarrollo de la fruta.

El ciclo fenológico de la planta se controla sincronizando la floración de la planta en forma concentrada mediante el uso de hormonas, nutrientes, el uso de luces led y las podas, lo que se debe realizar en el momento de óptimas condiciones ambientales en términos de temperatura y humedad relativa, para alcanzar desarrollo de fruta y cosecha en ciertas ventanas de tiempo durante el año, las que se verán determinadas por las condiciones ambientales del lugar donde se encuentren los árboles. El tiempo de floración a fruta debería tomar un rango de aproximadamente 1500 a 2000 grados día año en base 10°.

Para lograr una efectiva polinización de flores, se utiliza un sistema de polinización artificial que permite un aumento significativo en la cuaja de frutos por

panícula, con frutos de calibre grande y con una semilla de menor tamaño. La polinización artificial se efectúa por medio de un aspersor manual y/o mecánico aplicado directamente sobre los árboles en el horario de apertura de la flor el cual depende de las condiciones ambientales diarias del lugar. De esta manera se aumenta la cantidad de flores que pueden cuajar, aumenta el potencial productivo del árbol y se evita la dependencia directa de colmenas de abejas cuya actividad de vuelo dependerá de la temperatura ambiental.

Para el control del tamaño del árbol y la maximización de la producción, se utiliza un sistema de conducción y poda que genera una arquitectura de planta tipo multieje, en donde se recicla anualmente la madera productiva y en el cual cada rama produce durante 2 años y luego es podada.

Para el control de plagas y enfermedades, se utiliza control biológico y microorganismos que mantienen los niveles de patógenos controlados a un nivel tal que no se requiere el uso de pesticidas, ni insecticidas. El control biológico se lleva a efecto por medio de microorganismos del tipo *Trichoderma harzianum* T-78, *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. Otros métodos conocidos en la técnica son con extractos de hongos, levaduras, o algas marinas.

Dada la alta eficiencia en el uso de los recursos planta, agua, nutrición y luz, y la nula utilización de productos agroquímicos nocivos para el ambiente, se consigue una producción de palta con un bajo impacto ambiental y un alto valor nutricional.

Ejemplo 2: Comparación de la metodología de cultivo de paltos en condiciones de cultivo en mesetas y suelos.

Para esta prueba comparativa, se consideró siembras de paltos Hass cultivados en terrenos planos. Debido al tipo de terrenos encontrados en Chile y que la gran parte del país cuenta con una extensa cordillera, no es fácil encontrar muchas hectáreas de terrenos planos disponibles para el cultivo de frutales, además, en los últimos años se

ha determinado que, para proteger el árbol de las condiciones climatológicas adversas, se prefiere su plantación en laderas con orientación norte.

Por esta razón, en numerosos cultivos de paltos que se arrastran desde hace muchos años en Chile, las plantaciones se realizaron en terrenos planos, pues, se desconocía el beneficio de plantaciones en las laderas de los cerros, donde se rebajan los terrenos para formar mesetas de cultivo.

Para esta prueba de campo, se usó paltos en contenedores según la presente invención, que fueron cultivados en terrenos planos, los que se compararon con paltos cultivados en condiciones típicas de suelo en terrenos planos, con el fin de comparar el rendimiento de la producción.

Resultados: Los estudios indicaron que el cultivo en contenedores aireados permite un mejoramiento del estado fitosanitario de los árboles, se logra un tamaño de los frutos significativamente mayor (incidencia comercial positiva), un mayor crecimiento vegetativo del árbol permitiendo la entrada en producción más prematura que lo normal y el requerimiento de agua es menor.

Otra de las mejoras obtenidas fue el uso del agua, ya que, al estar las plantas dispuestas en contenedores, se utiliza el agua justa y necesaria para hidratar las raíces de la planta dentro de su contenedor, sin embargo, en los cultivos en tierra, se pierde mucha más agua que se absorbe por la tierra aledaña y no necesariamente por las raíces del árbol. Al cuantificar los litros de agua utilizados para cada metodología de cultivo, se pudo determinar que hubo una reducción de al menos un 50% de agua de regadío utilizada, al cultivar los paltos en contenedores según la presente invención. Lo cual es sumamente relevante dado la escasez hídrica mundial, y los problemas de muchas regiones de Chile donde se asume que los paltos consumen más agua que la destinada a uso humano, según se indicó previamente.

Finalmente, el último parámetro evaluado fue la producción, ya que, una cosa es que los paltos logren crecer a un tamaño adecuado, resistir las condiciones climáticas y

llegar a etapa adulta, pero, todo no sirve de mucho si el rendimiento de la fruta no es el mismo que los cultivos en tierra.

Los resultados mostraron que el nivel de floración mejoró ostensiblemente en los paltos cultivados en contenedores (según la presente invención), en comparación a los paltos cultivados en tierra, los niveles de producción de frutos en ambos casos fueron iguales, pero, al disponer de un mayor número de árboles por hectárea se logra una densificación mayor, por lo que se logra un mayor aprovechamiento de la superficie productiva y una reducción significativa del consumo de agua por árbol (mayor al 50%). Todo lo anterior indicaría que con el método de cultivo y polinización de la presente invención, se logra mejorar la eficiencia en el uso del agua (EUA), se dispone de un método ambientalmente sustentable al disminuir el uso de agroquímicos de nutrición o fitosanitarios, todo ello con un impacto positivo en los rendimientos del cultivo por hectárea.

Los rendimientos por plantas que se obtienen en los paltos cultivados en tierra según los métodos de la técnica y los cultivados según los métodos de la presente invención fueron los mismo, siendo estos: primer año de producción 4 kg por planta; segundo año 10 kg/planta; tercer año 15 kg/planta; cuarto año 18 kg/planta, quinto año 20 kg/planta.

En consecuencia, el método de la presente invención demuestra ser: i) una estrategia de cultivo sustentable, que requiere de menos cantidad de agua; ii) amigable con el medio ambiente, ya que no requiere de pesticidas; iii) más económico, ya que se ahorran costos de agua, uso de pesticidas, manejo y mantenimiento; y iv) rentable, ya que se logra el mismo nivel de producción de frutos por árbol, pero aumenta el rendimiento por superficie productiva.

Por tanto, los ejemplos y descripción de la invención anteriores, sustentan el método de cultivo de árboles frutales de alto consumo de agua en contenedores para la producción intensiva de frutos. Por ende, el alcance del invento descrito no debe limitarse sólo a los componentes mencionados en los ejemplos como el palto, ya que

otros diseños y conformaciones del invento pueden darse a partir de la descripción aquí detallada y tal como se indicó en párrafos anteriores, otros árboles frutales de alto consumo de agua que son de interés económico en el campo agrícola y que también están afectados por la escasez hídrica son los cítricos, donde este método puede aplicarse a otros árboles distintos del palto.