

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 307**

51 Int. Cl.:

**A01G 9/24**

(2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.07.2018** **PCT/EP2018/070460**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.02.2019** **WO19025317**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.07.2018** **E 18743040 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2024** **EP 3661349**

54 Título: **Método de atenuación para una intensidad de luz constante**

30 Prioridad:

**31.07.2017 EP 17183929**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**26.11.2024**

73 Titular/es:

**SIGNIFY HOLDING B.V. (100.0%)**  
**High Tech Campus 45**  
**5656 AE Eindhoven, NL**

72 Inventor/es:

**KRIJN, MARCELLINUS PETRUS CAROLUS**  
**MICHAEL y**  
**VAN ELMPT, ROB FRANCISCUS MARIA**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 989 307 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método de atenuación para una intensidad de luz constante

## 5 Campo de la invención

La invención se refiere a una disposición de horticultura que comprende un sistema de iluminación de horticultura. La invención se refiere además, a un método para proporcionar luz a una planta, en donde se puede aplicar dicha disposición de iluminación de horticultura. La invención también se refiere a un producto de programa informático para ejecutar dicho método.

## Antecedentes de la invención

El documento US2014259920 describe un sistema que comprende: un recipiente sustancialmente cerrado; una solución nutritiva dentro del recipiente cerrado; una plántula colocada dentro de la solución nutritiva; una luz de crecimiento; al menos un sensor adaptado para observar el crecimiento de la plántula; y un controlador acoplado a la luz de crecimiento y al menos un sensor adaptado para: leer información del sensor para determinar si se ha producido crecimiento; calcular la duración del estrés de las plántulas, en donde la duración del estrés de las plántulas comienza con la colocación de la primera plántula en el sistema en crecimiento y termina cuando se observa crecimiento en la primera plántula; dividir la duración del estrés de las plántulas en una pluralidad de subfases; determinar un factor de subfase para una segunda plántula colocada en el sistema de crecimiento en función de qué subfase ha alcanzado la segunda plántula en función del tiempo transcurrido; calcular el número total de ciclos de encendido/apagado de luces y una duración para cada ciclo de encendido/apagado, en donde un ciclo enciende y apaga las luces; y controlar la luz de crecimiento para ejecutar el número total de ciclos de luz de encendido/apagado calculados durante el tiempo calculado que las luces están encendidas y el tiempo que las luces están apagadas durante cada ciclo en el sistema de cultivo.

El documento US 2015/319933 A1 describe un sistema para cultivar una planta, sistema que incluye un recinto reflectante hacia adentro y preferiblemente una parte superior. Una pluralidad de LED, preferiblemente controlados por una unidad de control, emiten luz selectivamente sobre porciones predeterminadas de la planta. La unidad de control controla las condiciones de crecimiento dentro del recinto con el uso de salidas de aire y flujo de aire, un calentador opcional y retroalimentación de sensores de intensidad de luz y color. Toda la luz generada por los LED quedará confinada al interior del recinto, aumentando la eficiencia del sistema.

## Resumen de la invención

Las plantas utilizan el proceso de fotosíntesis para convertir luz,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  en carbohidratos (azúcares). Estos azúcares se utilizan para impulsar los procesos metabólicos. El exceso de azúcares se utiliza para la formación de biomasa. Esta formación de biomasa incluye el alargamiento del tallo, aumento del área foliar, floración, formación de frutos, etc. El fotorreceptor responsable de la fotosíntesis es la clorofila. Además de la fotosíntesis, también el fotoperiodismo, el fototropismo y la fotomorfogénesis son procesos representativos relacionados con la interacción entre la radiación y las plantas:

- el fotoperiodismo se refiere a la capacidad que tienen las plantas de detectar y medir la periodicidad de la radiación (p. ej., para inducir la floración),
- el fototropismo se refiere al movimiento de crecimiento de la planta hacia y desde la radiación, y
- la fotomorfogénesis se refiere al cambio de forma en respuesta a la calidad y cantidad de radiación.

Dos importantes picos de absorción de clorofila a y b se ubican en las regiones roja y azul, especialmente entre 625-675 nm y entre 425-475 nm, respectivamente. Adicionalmente, también hay otros picos localizados en el ultravioleta cercano (300-400 nm) y en la región del rojo lejano (700-800 nm). La principal actividad fotosintética parece tener lugar dentro del intervalo de longitudes de onda de 400-700 nm. La radiación dentro de este intervalo se llama radiación fotosintéticamente activa (RFA).

Otros procesos fotosensibles en las plantas incluyen los fitocromos. La actividad de los fitocromos dirige diferentes respuestas, como la expansión de las hojas, la percepción de vecinas, la evitación de la sombra, el alargamiento del tallo, la germinación de semillas y la inducción de floración. El fotosistema de fitocromos incluye dos formas de fitocromos, Pr y Pfr, que tienen sus picos de sensibilidad en el rojo a 660 nm y en el rojo lejano a 730 nm, respectivamente.

En horticultura, la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) se mide en número de fotones por segundo por unidad de área (en  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ; correspondiendo un mol a  $6 \cdot 10^{23}$  fotones). En la práctica, especialmente para los tomates, la DFFF roja utilizada puede ser normalmente de  $200 \mu\text{mol/s/m}^2$  y la proporción azul:rojo puede ser típicamente 1:7 (con el rojo y el azul oscilando entre 625-675 nm y entre 400-475 nm respectivamente). Especialmente,

la densidad de flujo de fotones fotosintéticos puede comprender aproximadamente un 10 % de azul y aproximadamente un 90 % de rojo. La DFFF se puede determinar a partir de un fotodiodo, o medirse directamente con un fotomultiplicador. El área en la DFFF se refiere al área local de recepción de luz (planta) del espacio en donde están dispuestas las fuentes de luz. En el caso de un sistema multicapa, es el área de una capa relevante comprendida en la configuración multicapa; la DFFF puede entonces estimarse en relación con cada capa individualmente (ver más abajo). El área puede ser un valor, en una realización, alimentado manualmente a la unidad de control, o, en una realización, puede ser evaluado (p. ej., con sensores) por la unidad de control.

El crecimiento de las plantas depende no solo de la cantidad de luz, sino también de la composición espectral, la duración y el momento de la luz sobre la planta. Una combinación de valores de parámetros en términos de estos aspectos se denomina “receta de luz” para cultivar la planta (en este documento, las palabras planta y cultivo pueden intercambiarse).

Los LED pueden desempeñar una variedad de funciones en la iluminación hortícola, como por ejemplo:

1. Iluminación suplementaria: La iluminación que complementa la luz natural se utiliza para aumentar la producción (de tomates, por ejemplo) o ampliar la producción de cultivos, por ejemplo durante las temporadas de verano, otoño, invierno y primavera, cuando los precios de los cultivos pueden ser más altos.

2. Iluminación fotoperiódica: La duración diaria de la luz es importante para muchas plantas. La proporción entre los períodos de luz y oscuridad en un ciclo de 24 horas influye en la respuesta de floración de muchas plantas. Manipular esta proporción mediante iluminación suplementaria permite regular el momento de floración.

3. El cultivo sin luz natural en granjas de plantas (también conocidas como granjas verticales o fábricas de plantas).

4. El cultivo de tejidos.

Para proporcionar iluminación suplementaria durante el otoño, el invierno y la primavera en invernaderos (o durante todo el año en cultivos multicapa), en general se utilizan lámparas de descarga de gas de alta potencia que deben montarse en un lugar relativamente alto por encima de las plantas para asegurar una distribución de luz suficientemente uniforme entre las plantas. Actualmente, en los invernaderos, se utilizan diferentes tipos de lámparas de alta potencia que van desde 600 W hasta 1000 W (p. ej., HID de alta potencia) para proporcionar a las plantas luz suplementaria. Un inconveniente es que, desde la ubicación por encima de las plantas, la cantidad de luz que llega a las partes inferiores de la planta puede ser bastante limitada, dependiendo del tipo de cultivo. Al mismo tiempo, las partes inferiores de la planta suelen ser las que más necesitan luz suplementaria. El mismo dilema persiste cuando se utiliza iluminación de estado sólido montada sobre las plantas. Sin embargo, la iluminación LED, especialmente la iluminación de estado sólido, tiene algunas ventajas sobre la iluminación de descarga.

En circunstancias en donde las plantas no reciben suficiente luz natural, p. ej., en las regiones del norte o en las llamadas “granjas de plantas”, “granjas verticales” o “fábricas de plantas”, que dependen totalmente de condiciones artificiales y bien controladas, parece existir la necesidad de proporcionar luz a la planta para su crecimiento (hojas y frutos), maduración y acondicionamiento previo a la cosecha.

La luz no es el único facilitador del crecimiento; también la atmósfera (nivel de humedad, niveles de  $\text{CO}_2/\text{O}_2$ , etc.), el agua, los nutrientes y los elementos de esporas son de vital importancia. La temperatura (y el perfil/ciclos de temperatura durante el día y la noche) también contribuye de manera clave al éxito del cultivo de plantas. En el campo de la horticultura al aire libre, parece que existe la necesidad de una horticultura hidropónica o sin suelo, utilizada normalmente por ahora en cultivos de alto valor y rentabilidad. Estos métodos también se basan en el cultivo no natural de plantas y podrían requerir optimizaciones artificiales o beneficiarse de ellas.

El espacio disponible para la producción de alimentos es cada vez más escaso. Se necesita innovación en los métodos de producción para lograr mayores rendimientos con huellas más pequeñas y, al mismo tiempo, volverse más sostenibles (uso mínimo de energía y agua). Producir alimentos en entornos cerrados como granjas de plantas es un método para satisfacer estas demandas. En las granjas de plantas, los alimentos se cultivan en múltiples capas, haciendo un uso mucho mejor del espacio disponible en comparación con el cultivo al aire libre o en invernaderos. Esto implica que la luz del día no podrá llegar a todas las plantas y casi toda la luz tendrá que proceder de iluminación artificial. Para ello se utiliza iluminación LED. En los cultivos de plantas, existe la necesidad de proporcionar a las plantas un tratamiento lumínico óptimo en todo momento. Al mismo tiempo, es imperativo que la luz generada por los módulos LED se utilice de la manera más eficiente posible para reducir el consumo de energía y generar un negocio rentable. En las granjas de plantas, la producción por unidad de superficie es mucho mayor que la producción en campo abierto. Se minimiza el uso de agua. Las enfermedades y plagas de las plantas se pueden prevenir más fácilmente. En la técnica, también se utiliza el término “granja urbana”. Aquí se utiliza el término “granja de plantas”, que puede referirse a lo mismo, pero sin la posible asociación de que la granja esté necesariamente ubicada en una ciudad.

Se puede lograr una alta eficiencia en el uso de la luz utilizando materiales con un alto coeficiente de reflexión entre las plantas y por encima de las plantas (entre los módulos LED): de esta manera, la luz que termine entre las plantas probablemente se reflejará, y tiene una segunda oportunidad de ser interceptada por una planta. El inconveniente de este método de reciclaje de luz es que el flujo de luz que experimentan las plantas no será constante en el tiempo: cuando las plantas son relativamente pequeñas, habrá mucho espacio abierto entre las plantas. Como resultado, se reciclará mucha luz, lo que dará como resultado una intensidad de luz experimentada por las plantas mucho mayor de lo previsto. Cuando las plantas maduren, habrá menos espacio abierto entre las plantas y, por lo tanto, el efecto del reciclaje de luz será menor. En general, este método de reciclaje de luz provocará una sobreexposición de las plantas cuando son jóvenes (o subexposición cuando están maduras), lo que resulta en un crecimiento no óptimo.

En este documento, se propone, entre otros, un sistema de crecimiento que permite ubicar cada planta (o mejor dicho la combinación de planta, sustrato y macetero) en una placa base (en adelante denominada “suelo”) que tiene un alto coeficiente de reflexión de la luz. Sobre las plantas se ubican los módulos de iluminación LED. Por encima de los módulos, o entre los módulos, hay un material que también tiene un alto coeficiente de reflexión de la luz (en adelante llamado material de “techo”). El hecho de que los materiales de suelo y de techo sean altamente reflectantes para un amplio espectro de luz hace que cualquier luz que inicialmente acabe entre las plantas probablemente se refleje (de forma difusa o especular, dependiendo de las propiedades del material) y obtenga una segunda oportunidad de ser interceptada por una planta.

Si bien resulta en un uso muy eficiente de la luz (y la energía), como se mencionó anteriormente, este método de reciclar la luz tiene un inconveniente: la intensidad de luz (irradiancia) experimentada por las plantas no será constante en el tiempo (hay que tener en cuenta que la intensidad de luz se expresa como el número de fotones por unidad de tiempo y por unidad de superficie, en unidades de  $\mu\text{mol/s/m}^2$  (que a veces también puede indicarse como  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ )). Cuando las plantas son relativamente pequeñas, habrá mucho espacio abierto entre las plantas. Como resultado, se reciclará mucha luz, lo que dará como resultado una intensidad de luz experimentada por las plantas que puede ser mucho mayor de lo previsto.

Una intensidad de luz típica óptima para el crecimiento de las plantas es  $200 \mu\text{mol/s/m}^2$ . Como resultado del reciclaje de la luz, el nivel percibido por las plantas puede aumentar hasta casi el doble de este valor, siendo  $400 \mu\text{mol/s/m}^2$ . En este nivel, las plantas están sobreexpuestas a la luz y el crecimiento es subóptimo. A intensidades de luz bajas, se ve que la fotosíntesis (y, por lo tanto, el crecimiento) aumenta linealmente con la intensidad de luz. Al aumentar aún más la intensidad de luz, gradualmente la fotosíntesis comienza a saturarse, lo que implica que la eficiencia del crecimiento se reduce: una eficiencia de crecimiento reducida implica que costará más energía producir la misma cantidad de biomasa. Este es el problema que pretendemos resolver. Otro aspecto del aumento de la intensidad de luz es que aumenta el riesgo de que las plantas desarrollen trastornos del crecimiento (como quemaduras en las puntas). Cuando las plantas maduren, habrá menos espacio abierto entre las plantas y, por lo tanto, el efecto del reciclaje de la luz será menor (hay que tener en cuenta que, en general, la hoja de una planta refleja solo una pequeña porción de la luz que incide en esa hoja). Cuando las plantas comiencen a superponerse, la mayor parte de la luz será absorbida por las hojas y casi nada de luz se reciclará. En ese caso, la intensidad de luz experimentada por las plantas será casi igual a la intensidad de luz emitida por los módulos LED. Hay que tener en cuenta que, en caso de que el material de suelo no refleje ninguna luz (p. ej., una superficie negra), no se producirá el reciclaje de la luz (excepto los pocos fotones que sean reflejados por las hojas y posteriormente se reflejen en el material de techo). En ese caso, la intensidad de luz experimentada por las plantas coincidirá con la intensidad de luz instalada (es decir, la intensidad de luz obtenida multiplicando el número de fotones por segundo emitidos por un módulo LED por el número de módulos instalados por metro cuadrado).

Por lo tanto, un aspecto de la invención es proporcionar una disposición de horticultura alternativa y/o un método de iluminación de horticultura alternativo, además, evite preferiblemente, al menos parcialmente, uno o más de los inconvenientes descritos anteriormente. La presente invención puede tener como objetivo superar o mejorar al menos una de las desventajas de la técnica anterior, o proporcionar una alternativa útil.

En un primer aspecto, la invención proporciona una disposición de horticultura (“disposición” o “sistema”) para una planta, comprendiendo la disposición de horticultura (i) un sistema de iluminación de horticultura (“sistema de iluminación”), que comprende especialmente uno o más dispositivos de iluminación (como especialmente una pluralidad de dispositivos de iluminación), configurados para proporcionar luz de horticultura (“luz”) a las plantas, (ii) uno o más elementos reflectantes (especialmente una pluralidad de elementos reflectantes) configurados para reflejar parte de la luz de horticultura para proporcionar una reflejada y proporcionar la luz hortícola reflejada como luz hortícola reciclada para las plantas;

y (iii) un sistema de control (“controlador” o “procesador”), en donde el sistema de control está configurado para controlar una o más de una intensidad de luz (“intensidad de luz de horticultura”, o “intensidad de luz” o “intensidad”) y una distribución espectral de la luz de horticultura dependiendo de hasta qué punto la luz de horticultura es reflejada por uno o más elementos reflectantes.

Con dicha disposición, es posible tener en cuenta la intensidad de luz real que reciben las plantas. Con dicha disposición, también es posible evitar la sobrecarga de luz de las plantas, pero, con dicha disposición, también es

posible ahorrar energía. La intensidad de luz prescrita se puede reducir cuando las plantas son pequeñas, ya que, debido a la reflexión, las plantas reciben más luz, que puede ser hasta un factor de dos de la intensidad prescrita. Cuando las plantas estén más maduras, la reflexión disminuirá y la intensidad de luz elegida puede converger a la intensidad de luz prescrita.

Los elementos reflectantes están especialmente dispuestos para reflejar parte de la luz no utilizada y/o la luz reflejada a las plantas, al menos durante parte del período que las plantas están en la disposición. La expresión “luz no utilizada” puede referirse, en las realizaciones, a luz de horticultura que, de otro modo, sería absorbida al menos parcialmente por un sustrato de crecimiento (o medio de crecimiento), tal como tierra, material particulado o agua.

Las expresiones “reflejarse a la planta” o “reflejarse de vuelta a la planta”, así como las expresiones similares, pueden referirse al sistema de iluminación de horticultura o a la disposición de horticultura durante su uso. En las realizaciones, también puede definirse como reflejo de una posición donde las plantas pueden crecer o pueden configurarse.

El término “disposición de horticultura” se refiere especialmente a una disposición que incluye un soporte de planta (también indicado en la presente memoria como “soporte”), en donde, o sobre el cual, las plantas pueden crecer; un sistema de iluminación que está configurado para dirigir la luz de horticultura al soporte de planta, en donde, o sobre el cual, las plantas pueden crecer (o crecen); y un sistema de control que controla la luz de horticultura.

En uso, la disposición puede incluir un soporte de planta con una planta, o un soporte de planta con una semilla, o un soporte de planta con una plántula, etc. Por lo tanto, en uso, el sistema (que comprende la disposición) puede incluir un soporte de planta con una planta, o un soporte de planta con una semilla, o un soporte de planta con una plántula, etc.

En la presente memoria, el término “planta” se utiliza esencialmente para todas las etapas. El término “parte de planta” puede referirse a la raíz, al tallo, a la hoja, al fruto (si lo hubiera), etcétera. La luz de horticultura se proporciona especialmente a la porción aérea de la planta. El término “horticultura” se refiere al cultivo (intensivo) de plantas para uso humano y es muy diverso en sus actividades, incorporando plantas para uso alimentario (frutas, verduras, setas, hierbas culinarias) y cultivos no alimentarios (flores, árboles y arbustos, césped, hierba, lúpulo, uvas, hierbas medicinales). La horticultura es la rama de la agricultura que se ocupa del arte, la ciencia, la tecnología y el negocio del cultivo de plantas. Puede incluir el cultivo de plantas medicinales, frutas, verduras, nueces, semillas, hierbas, brotes, setas, algas, flores, algas y cultivos no alimentarios como pastos y árboles y plantas ornamentales. Aquí, el término “planta” se utiliza para referirse esencialmente a cualquier especie seleccionada entre plantas medicinales, vegetales, hierbas, brotes, hongos, plantas que producen nueces, plantas que dan semillas, plantas que dan flores, plantas que dan frutos, cultivos no alimentarios, como la hierba, y árboles ornamentales, etc. Aún más especialmente, el término “planta” se utiliza para referirse esencialmente a cualquier especie seleccionada entre plantas medicinales, hortalizas, hierbas, brotes, plantas que dan nueces, plantas que dan semillas, plantas que dan flores, plantas que dan frutos y cultivos no alimentarios.

El término “cultivo” se utiliza en la presente memoria para indicar la planta de horticultura que se cultiva o se ha cultivado. Las plantas del mismo tipo cultivadas a gran escala para alimentación, vestimenta, etc., pueden denominarse cultivos. Un cultivo es una especie o variedad no animal que se cultiva para ser cosechada, por ejemplo, como alimento, forraje para el ganado, combustible o cualquier otro fin económico. El término “cultivo” también puede referirse a una pluralidad de cultivos. Los cultivos de horticultura pueden referirse especialmente a cultivos alimentarios (tomates, pimientos, pepinos y lechugas), así como a plantas (potencialmente) portadoras de dichos cultivos, tales como una planta de tomate, una planta de pimiento, una planta de pepino, etc. Horticultura, en la presente memoria, puede referirse en general, p. ej., a plantas agrícolas y no agrícolas. Ejemplos de plantas de cultivo son arroz, trigo, cebada, avena, garbanzos, guisantes, caupí, lentejas, judía mungo, frijol negro, soja, frijol común, alubias Moat, linaza, sésamo, khesari, cáñamo, chiles, berenjena, tomate, pepino, okra, maní, patata, maíz, mijo perla, centeno, alfalfa, rábano, repollo, lechuga, pimiento, girasol, remolacha azucarera, ricino, trébol rojo, trébol blanco, cártamo, espinaca, cebolla, ajo, nabo, calabaza, melón, sandía, pepino, calabaza, kenaf, palma aceitera, zanahoria, coco, papaya, caña de azúcar, café, cacao, té, manzanas, peras, melocotones, cerezas, uvas, almendras, fresas, piña, plátano, anacardos, irlandesa, yuca, taro, caucho, sorgo, algodón, triticale, gandul y tabaco. De especial interés son el tomate, el pepino, el pimiento, la lechuga, la sandía, la papaya, la manzana, la pera, el melocotón, la cereza, la uva y la fresa.

El término “planta” en la presente memoria puede referirse especialmente a Archaeplastida. Las Archaeplastida son un grupo importante de eucariotas, que comprende las algas rojas (Rhodophyta), las algas verdes y las plantas terrestres, junto con un pequeño grupo de algas unicelulares de agua dulce llamadas glaucocitas. Por lo tanto, en las realizaciones, el término “planta” puede referirse a plantas terrestres. En las realizaciones, el término “planta” puede (también) referirse a algas (tales como una o más algas verdes y algas rojas y algas unicelulares llamadas glaucocitas).

La expresión “luz de horticultura” se refiere especialmente a luz que tiene una longitud de onda más en una o más de una primera región de longitud de onda de 400-475 nm y una segunda región de longitud de onda de 625-675 nm. Las energías relativas (vatios) que se proporcionan en estas regiones pueden depender del tipo de planta y/o de la fase de crecimiento. Por lo tanto, una receta puede definir la proporción, opcionalmente en función del tiempo, para uno o más tipos de plantas. Especialmente, la expresión “luz de horticultura” puede referirse a la región RFA (la región

fotosintéticamente activa de 400-700 nm). La expresión “luz de horticultura” también puede usarse para la luz que se aplica a las plantas en aplicaciones hidropónicas. Como se sabe en la técnica, en la región RFA (la región fotosintéticamente activa de 400-700 nm) el coeficiente de reflexión de las hojas es muy bajo (5-10 %). Hacia el infrarrojo cercano, más allá de los 700 nm, el coeficiente de reflexión aumenta. Por lo tanto, en realizaciones específicas, la luz de horticultura, además de la luz RFA, también puede incluir una pequeña fracción ( $\leq 25$  % de la potencia, especialmente aproximadamente como máximo el 10 % de la potencia) de color rojo lejano, es decir, 700-850 nm.

Especialmente, la expresión “disposición de horticultura” se refiere a una granja de plantas o a una célula climática, en donde las plantas se cultivan en condiciones controladas y en donde las plantas sustancialmente no reciben luz natural. Además, dicha granja de plantas puede estar climatizada, como en el caso de una célula climática. Por lo tanto, en las realizaciones, la disposición de horticultura incluye dicha granja de plantas o dicha celda climática. En otras realizaciones, la granja de plantas o la celda climática incluye al menos parte de la disposición de horticultura. Por ejemplo, una celda climática puede comprender el soporte de la planta y el sistema de iluminación, y el sistema de control puede estar configurado dentro o fuera de la celda climática. En particular, una granja de plantas puede comprender una célula climática.

El sistema de control de dicha disposición de horticultura puede controlar uno o más de entre la temperatura, la humedad, el nivel de CO<sub>2</sub>, el riego, el suministro de nutrientes, la intensidad de luz de horticultura, las condiciones del aire, incluyendo estas una o más de entre la temperatura del aire, la composición del aire, el flujo de aire, etc. Dicho sistema de horticultura puede estar configurado para controlar una o más de estas condiciones en diferentes ubicaciones de la disposición. Por lo tanto, la irradiación con la luz de horticultura se puede realizar en realizaciones en respuesta a, por ejemplo, uno o más de la hora del día, estación del año, condiciones de iluminación (locales), edad de la planta, condición de la planta, período de siembra, etc. Por lo tanto, la irradiación con la luz de horticultura se puede realizar en realizaciones en respuesta a datos relacionados con la planta, parámetros relacionados con el tiempo, condiciones a las que está sometida la planta (tales como luz natural, temperatura, humedad relativa, nivel de CO<sub>2</sub>, riego, aporte de nutrientes, etc.), etcétera.

El sistema de iluminación de horticultura está especialmente configurado para proporcionar luz de horticultura a las plantas. Esto puede implicar especialmente que el sistema de iluminación de horticultura esté configurado para proporcionar luz de horticultura en la dirección de un soporte de planta en donde, o sobre el cual, pueden crecer las plantas. Dicho soporte de planta puede ser una bandeja. En particular, el término “soporte de planta” también puede referirse a varios soportes de plantas, ya que las plantas pueden cultivarse en capas unas sobre otras (“sistema multicapa”). Por lo tanto, se utilizan bastidores con dos o más soportes para plantas cada uno, y sobre cada soporte de planta un sistema de iluminación. Por lo tanto, la expresión “sistema de iluminación” también puede referirse a una pluralidad de sistemas de iluminación (controlados individualmente).

Además, el sistema de control está configurado para controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura. El término “controlar” y términos similares se refieren especialmente al menos a determinar el comportamiento o supervisar la ejecución de un elemento. Por lo tanto, en la presente memoria, “controlar” y términos similares pueden referirse, p. ej., a imponer un comportamiento al elemento (determinar el comportamiento o supervisar el funcionamiento de un elemento), etc., como por ejemplo, medir, visualizar, accionar, abrir, conmutar, cambiar la temperatura, etc. Más allá de eso, el término “controlar” y términos similares pueden incluir adicionalmente monitorear. Por lo tanto, el término “controlar” y términos similares pueden incluir un comportamiento imponente. La expresión “una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura” puede referirse a la distribución espectral total de la luz de horticultura, es decir, la potencia, especialmente en lo visible, proporcionada por el sistema de iluminación. Sin embargo, en realizaciones específicas, el sistema de control también puede estar configurado para controlar la distribución espectral, p. ej., reduciendo o aumentando partes de la distribución espectral en relación con otras partes de la distribución espectral. Por lo tanto, en las realizaciones, el sistema de control puede estar configurado para controlar una o más de la intensidad y la distribución espectral de la luz de horticultura, por ejemplo, dependiendo de las una o más señales de sensores ópticos.

Tal y como se ha indicado anteriormente, el sistema de control está configurado para controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura dependiendo de la medida en que la luz de horticultura es reflejada por los uno o más elementos reflectantes.

El término “reflexión” puede referirse a la medida en que se refleja la luz de horticultura. Si no se refleja luz y las plantas están maduras, entonces las plantas pueden recibir esencialmente la intensidad objetivo de la luz de horticultura, mientras que, cuando tiene lugar la reflexión de la luz de horticultura, las plantas reciben una intensidad más alta. Por lo tanto, se pueden usar sensores cercanos al sustrato (que detectan hacia arriba (o hacia abajo cuando, p. ej., están dispuestos sobre el sustrato)) y/o sensores más cercanos a los dispositivos de iluminación que al soporte (especialmente cuando detectan hacia abajo) para evaluar la reflexión, es decir, la reflexión de la luz de la horticultura. Esto en la presente memoria también está relacionado con la ganancia (ver más abajo). El sustrato (ver también más adelante) puede ser tierra, o el sustrato puede, en realizaciones específicas, ser agua (para aplicaciones hidropónicas). Otra expresión para sustrato puede ser “medio de crecimiento”. En algunas realizaciones, la reflexión también puede

depender de la longitud de onda. En realizaciones específicas, el sistema de control puede controlar la distribución espectral de la luz de horticultura (también) dependiendo de la distribución espectral de la luz reflejada.

Las condiciones a las que están sometidas las plantas (en crecimiento) se definen generalmente en una receta. Por lo tanto, el sistema de control puede hacer crecer las plantas según una receta. Dicha receta puede incluir una receta de luz, que define una intensidad de luz de horticultura objetivo. Esto puede implicar que la receta define una intensidad de luz de horticultura objetivo a lo largo del tiempo. Como alternativa o adicionalmente, la receta puede definir una intensidad de luz de horticultura objetivo como función de los parámetros que se detectan, como la ingesta de nutrientes, el tamaño de la hoja, la forma de la hoja, la temperatura de la planta, la temperatura de la hoja, la temperatura de la raíz, la longitud del tallo, el tamaño del fruto, la aparición de hojas nuevas, anomalías como quemaduras en las puntas o enfermedades, etc., etcétera.

Además de dicha receta, el sistema de control puede estar configurado para corregir la intensidad de luz impuesta por la receta a una intensidad de luz, especialmente según la receta, pero que en realidad se proporciona a las plantas. En otras palabras, la intensidad de la luz de horticultura recibida por las plantas puede, debido a dicha corrección, corresponder a la intensidad objetivo, en lugar de ser mayor debido a la reflexión. Tal y como se ha indicado anteriormente, la intensidad de luz realmente recibida por las plantas puede ser mayor, debido al reflejo de los elementos reflectantes, que la definida en la receta. Por lo tanto, la invención proporciona un método de atenuación, especialmente para una intensidad de luz constante para las plantas y/o una intensidad de luz recibida real que es aproximadamente la intensidad objetivo, y que no es mayor que una intensidad de luz objetivo debido a la reflexión.

De la misma manera, el sistema de control puede estar configurado para corregir la distribución espectral que impone la receta a una distribución espectral, especialmente según la receta, pero que realmente se proporciona a las plantas. En otras palabras, la distribución espectral de la luz de horticultura recibida por las plantas puede, debido a dicha corrección, corresponder a la distribución espectral objetivo, en lugar de ser diferente debido a la reflexión. La distribución espectral realmente recibida por las plantas puede ser diferente, debido a la reflexión de los elementos reflectantes, de la definida en la receta.

Por lo tanto, en las realizaciones, el sistema de control está configurado para controlar la luz de horticultura según una receta de luz predefinida, en donde la receta de luz incluye información sobre una o más de (i) intensidad de luz de horticultura en función del tiempo y (ii) distribución espectral de la luz de horticultura en función del tiempo, en donde la receta de luz define una intensidad de luz de horticultura objetivo (en función del tiempo) (y/o una distribución espectral objetivo de la luz de horticultura (en función del tiempo)), y en donde el sistema de control está configurado además, para controlar una o más de la intensidad de luz y la distribución espectral de la luz de horticultura (en función del tiempo) dependiendo de la reflexión de la luz de horticultura por uno o más elementos reflectantes. Al controlar la luz de horticultura dependiendo del reflejo de la luz de horticultura, es posible proporcionar una intensidad de luz de horticultura (y/o distribución espectral) a las plantas que cumpla con la intensidad de luz de horticultura (y/o distribución espectral) objetivo (por lo tanto teniendo en cuenta el reciclaje de la luz hortícola por reflexión).

La receta de luz puede definir intensidades de luz objetivo *per se*, pero también puede definir distribuciones espectrales, mediante las cuales también se puede definir una intensidad de luz, ya que se deben definir las intensidades de las diferentes fuentes de luz que pueden formar las distribuciones espectrales. La intensidad objetivo de la receta se puede adaptar de tal modo que la planta realmente reciba la intensidad objetivo. Por lo tanto, en una etapa temprana, puede haber una reducción sustancial en la intensidad de luz, en donde, en una etapa posterior, la reducción puede ser pequeña o puede que no haya reducción.

Por lo tanto, (también) en condiciones específicas, el sistema de control está configurado para controlar la intensidad de luz de horticultura de modo que se evite la sobreexposición a la luz de horticultura.

El sistema puede basarse especialmente en un circuito de retroalimentación, por ejemplo, mediante el uso de sensores (ver también más abajo). En combinación con relaciones predeterminadas entre la señal del sensor y la potencia (estimada) recibida en las plantas, la intensidad objetivo de la luz de horticultura se puede modificar para proporcionar a las plantas una intensidad que realmente se desea o necesita. Por lo tanto, en realizaciones adicionales, el sistema de control está configurado para controlar la intensidad de luz de horticultura según una receta de luz con una intensidad de luz de horticultura objetivo, y en donde el sistema de control está configurado para adaptar la intensidad de luz de horticultura de la luz de horticultura según la receta de la luz en función de una relación predeterminada entre la intensidad de luz en  $\mu\text{mol/s/m}^2$  proporcionada por el sistema de iluminación de horticultura y la intensidad de luz recibida efectivamente por las plantas. En otras realizaciones, el sistema de control está configurado para controlar la distribución espectral de la luz de horticultura según una receta de luz con una distribución espectral objetivo de la luz de horticultura, y en donde el sistema de control está configurado para adaptar la distribución espectral de la luz de horticultura según la receta de luz sobre la base de una relación predeterminada entre la distribución espectral proporcionada por el sistema de iluminación de horticultura y la distribución espectral efectivamente recibida por las plantas.

Por lo tanto, en las realizaciones, el sistema de control está al menos configurado para controlar la distribución espectral de la luz de horticultura (dependiendo del reflejo de la luz de horticultura (por uno o más elementos

reflectantes)). Como alternativa o adicionalmente, en las realizaciones, el sistema de control está al menos configurado para controlar la intensidad de luz de horticultura (dependiendo del reflejo de la luz de horticultura (por uno o más elementos reflectantes)).

5 Tal y como se ha indicado anteriormente, la disposición puede incluir elementos reflectantes. Dichos elementos reflectantes pueden incluir elementos similares a espejos que están configurados para reflejar la luz de manera especular y/o elementos reflectantes que están configurados para reflejar la luz de manera difusa. Por ejemplo, el elemento reflectante puede incluir un revestimiento metálico, tal como un revestimiento de aluminio.

10 Como alternativa, el elemento reflectante puede comprender una pintura blanca, tal como una pintura que comprende Titania. También se pueden utilizar combinaciones de diferentes elementos reflectantes. Los elementos reflectantes están especialmente configurados para reflejar al menos un 50 % de la luz de horticultura entrante, tal como al menos un 60 %, como al menos un 70 %, incluso más especialmente al menos un 80 %, tal como al menos un 90 %. Por lo tanto, dichos elementos reflectantes pueden ser relativamente altamente reflectantes.

15 Aunque en las realizaciones los dispositivos de iluminación también pueden incluir elementos reflectantes, la invención se refiere especialmente a elementos reflectantes adicionales que pueden estar configurados entre dispositivos de iluminación o detrás de dispositivos de iluminación. Dichos elementos reflectantes se indican en la presente memoria también como primeros elementos reflectantes. Dichos elementos reflectantes están especialmente configurados para  
20 reflejar la luz de horticultura de vuelta en la dirección del soporte, especialmente la luz que de otro modo se perdería sustancialmente a medida que se propaga entre los dispositivos de iluminación hasta el techo o la parte trasera de otra bandeja. Además, dichos elementos reflectantes están configurados especialmente en la disposición de horticultura de modo que la luz que viaja en una dirección perpendicular a la horizontal y en una dirección alejada del soporte se refleje de vuelta en al menos un 50 %, tal como al menos un 60 %, incluso más especialmente al menos  
25 un 70 %, tal como al menos un 80 %, incluso más especialmente al menos el 90 %. Por lo tanto, la disposición puede ser tal que una parte sustancial de la luz que se propaga en la dirección que se aleja del soporte en dirección hacia arriba se refleje de vuelta en la dirección del soporte. Por lo tanto, en las realizaciones, las partes traseras de las bandejas pueden ser reflectantes. Por ejemplo, al menos un 50 % del área superficial de la parte posterior de una bandeja, tal como al menos un 60 %, tal como al menos un 70 %, incluso más especialmente al menos un 80 % de la parte posterior de la bandeja, puede ser reflectante para la luz de horticultura. Por lo tanto, en un aspecto, la invención también proporciona una bandeja que tiene una parte posterior reflectante y, opcionalmente, un dispositivo de  
30 iluminación físicamente acoplado a la parte posterior. Por lo tanto, en las realizaciones, la disposición de horticultura comprende una pluralidad de dispositivos de iluminación, en donde uno o más elementos reflectantes están configurados para reflejar la luz de horticultura dirigida en la dirección de los dispositivos de iluminación, especialmente de vuelta a la dirección de las plantas (es decir, en la dirección del soporte). Por lo tanto, en las realizaciones, al menos parte de la luz de horticultura reflejada se dirige en la dirección de los uno o más dispositivos de iluminación, en donde uno o más (primeros) elementos reflectantes están configurados para reflejar al menos una parte de la luz de horticultura reflejada dirigida en la dirección de los uno o más dispositivos de iluminación de vuelta a las plantas.

40 En las realizaciones, se pueden configurar uno o más elementos reflectantes entre dos dispositivos de iluminación adyacentes. En realizaciones adicionales, uno o más elementos reflectantes pueden estar configurados corriente abajo de los dispositivos de iluminación, para que la luz pueda escapar entre dos o más dispositivos de iluminación lejos de la disposición. Como alternativa, uno o más elementos reflectantes pueden estar configurados corriente arriba de los dispositivos de iluminación, donde una o más aberturas en o entre los uno o más elementos reflectantes  
45 permiten que la luz de horticultura se propague a las plantas.

Las expresiones “corriente arriba” y “corriente abajo” se refieren a una disposición de artículos o características referentes a la propagación de la luz desde un medio generador de luz (aquí especialmente la fuente de luz), en donde, con respecto a una primera posición dentro de un haz de luz desde el medio generador de luz, una segunda posición  
50 en el haz de luz más cercana al medio generador de luz está “corriente arriba”, y una tercera posición dentro del haz de luz más alejada del medio generador de luz está “corriente abajo”.

Asimismo, entre las plantas se podrán configurar elementos reflectantes. Estos elementos reflectantes se denominan en la presente memoria también segundos elementos reflectantes. Por ejemplo, en las realizaciones, las plantas se  
55 cultivan en un sustrato y entre las plantas se pueden configurar uno o más elementos reflectantes. Por lo tanto, los elementos reflectantes pueden disponerse sobre el sustrato, con aberturas para las plantas.

En las realizaciones, se proporciona una estructura para albergar plantas, en donde las plantas se pueden colocar y en donde, entre las plantas, se pueden configurar elementos reflectantes. Por lo tanto, en otro aspecto más, la  
60 invención también proporciona dicha estructura. *per se*, tal como especialmente una estructura para albergar las plantas, en donde la estructura comprende posiciones de planta donde se pueden colocar las plantas, y partes intermedias entre las posiciones de plantas, en donde una o más partes intermedias comprenden uno o más (segundos) elementos reflectantes. Opcionalmente, la estructura puede comprender, además, uno o más sensores ópticos configurados para detectar la luz de horticultura reflejada. La expresión “detección de luz de horticultura” y  
65 expresiones similares se refieren a la detección de luz de horticultura que es recibida directamente por el sensor y también después de una o más reflexiones.



El elemento reflectante puede comprender una placa con una superficie reflectante. En otras realizaciones, el elemento reflectante es un revestimiento reflectante sobre otro elemento. En las realizaciones, el elemento reflectante puede ser una lámina reflectante. Por ejemplo, se puede configurar una lámina reflectante sobre un sustrato, tal como un sustrato sólido, o un tablero reflectante puede flotar en el agua, en donde hay orificios configurados en la lámina reflectante o tablero reflectante donde se pueden configurar las plantas (o a través de los cuales pueden crecer tallos). Una lámina reflectante o una placa reflectante pueden proporcionar una pluralidad de partes reflectantes intermedias.

Además, dichos elementos reflectantes están configurados especialmente en la disposición de horticultura de modo que la luz que viaja en una dirección perpendicular a la horizontal y en una dirección del soporte, pero que no alcanza una parte de una planta, se refleje de vuelta durante al menos un 50 %, tal como al menos un 60 %, incluso más especialmente al menos un 70 %, tal como al menos un 80 %, incluso más especialmente al menos un 90 %. Por lo tanto, la disposición puede ser tal que una parte sustancial de la luz que se propaga en dirección hacia el soporte en dirección hacia abajo, se refleje de vuelta en la dirección del soporte. Por lo tanto, en las realizaciones, las partes intermedias pueden ser reflectantes. Por ejemplo, al menos un 50 % del área superficial de las partes intermedias, tal como al menos un 60 %, tal como al menos un 70 %, incluso más especialmente al menos un 80 % de las partes intermedias, pueden ser reflectantes para la luz de horticultura. Esto puede aplicarse especialmente en una etapa en donde no hay plantas disponibles o en donde las plantas se encuentran en una etapa temprana de crecimiento. Por lo tanto, en las realizaciones, la disposición de horticultura comprende una estructura para albergar las plantas, en donde la estructura comprende posiciones de planta donde se pueden colocar las plantas, y partes intermedias entre las posiciones de planta, en donde una o más partes intermedias comprenden uno o más (segundos) elementos reflectantes.

Por lo tanto, la disposición de horticultura puede comprender, en una realización específica, una estructura que comprende un soporte con uno o más (segundos) elementos reflectantes en el soporte o en el sustrato, y por encima de las plantas, una disposición de uno o más (primeros) elementos reflectantes. Por lo tanto, en las realizaciones, se pueden disponer uno o más elementos reflectantes por debajo de al menos parte del dosel y uno o más elementos reflectantes por encima del dosel.

El sistema de horticultura comprende de este modo uno o más elementos reflectantes, de los cuales uno o más pueden estar configurados como primeros elementos reflectantes y/o uno o más pueden estar configurados como segundos elementos reflectantes. Cuando hay elementos reflectantes, tanto primeros como segundos, el sistema de horticultura puede comprender de este modo al menos dos elementos reflectantes.

Tal y como se ha indicado anteriormente, el sistema de control puede controlar la luz de horticultura como función de (una señal de sensor de) un sensor óptico. Por lo tanto, en realizaciones, la disposición de horticultura puede comprender, además, uno o más sensores ópticos configurados para detectar la luz de horticultura reflejada y para generar (una o más) señales de sensor óptico correspondientes, en donde el sistema de control está configurado para controlar la intensidad de luz de horticultura dependiendo de las señales de sensor óptico. Cuando se refleja relativamente mucha luz de horticultura, el sensor detectará más radiación que cuando las plantas absorben sustancialmente toda la luz de horticultura. Se pueden configurar sensores ópticos para detectar la luz de horticultura. Como en las realizaciones la distribución espectral de la luz de horticultura puede ser variable, en dichas realizaciones también se puede aplicar opcionalmente un sensor que sea selectivo para (una parte de) uno de los intervalos de longitud de onda indicados anteriormente. Como alternativa o adicionalmente, se pueden aplicar uno o más sensores que sean capaces de detectar tanto en azul como en rojo. En realizaciones específicas, se pueden aplicar uno o más sensores ópticos (que) incluyen un canal para detectar la luz de horticultura roja y un canal para detectar la luz de horticultura azul. En realizaciones específicas, se pueden aplicar uno o más sensores ópticos (que) incluyen un canal para detectar la luz de horticultura roja y un canal para detectar la luz de horticultura roja lejana. En realizaciones específicas, se pueden aplicar uno o más sensores ópticos (que) incluyen un canal para detectar luz de horticultura azul, un canal para detectar luz de horticultura roja y un canal para detectar luz de horticultura roja lejana. Como el reciclaje de los tipos de luz roja puede ser diferente, el sistema de control puede, con dichos sensores, discriminar entre estos tipos de luz y controlar la distribución espectral de la luz de horticultura (que opcionalmente puede incluir luz roja lejana).

En las realizaciones, un sensor óptico puede estar configurado cerca del sustrato, es decir, más cerca del sustrato que de un dispositivo de iluminación. En las realizaciones, un sensor óptico también puede estar dispuesto más cerca de un dispositivo de iluminación que del sustrato. En las realizaciones anteriores, el sensor puede estar configurado para detectar hacia arriba. Cuando las hojas crezcan, la reflexión se reducirá y el sensor recibirá menos radiación. En las últimas realizaciones, el sensor puede estar configurado para detectar hacia abajo. Cuando las hojas crezcan, la absorción de luz aumentará, la reflexión de la luz por el sustrato, el soporte o los elementos reflectantes cercanos al sustrato disminuirá y, por lo tanto, la reflexión se reducirá y el sensor recibirá menos radiación.

Por lo tanto, en las realizaciones en donde la disposición de horticultura está configurada para hacer crecer plantas en un medio de crecimiento, en donde hay dispuestos uno o más dispositivos de iluminación sobre el medio de crecimiento a una altura de dispositivo de iluminación de (h1) desde el medio de crecimiento, hay dispuestos uno o más primeros sensores ópticos a una altura (h2) de sensor seleccionada del intervalo de 0-80 % de la altura (h1) de

dispositivo de iluminación, tal como 0-50 %, como 0-40 %, tal como 0-20 % de la altura (h1) de dispositivo de iluminación. Dichos sensores pueden (en las realizaciones) estar relativamente cerca del soporte. Tal y como se ha indicado anteriormente, especialmente los uno o más primeros sensores ópticos pueden estar configurados con superficies de sensor dirigidas hacia arriba. Además, especialmente uno o más de uno o más primeros sensores ópticos están configurados para ver más de una planta. Esto puede ser útil para mejorar la precisión de la lectura del sensor en vista del hecho de que la lectura del sensor se deriva de la luz que proviene de un área más grande, promediando así en gran medida cualquier diferencia entre plantas.

Como alternativa o adicionalmente, en las realizaciones, en donde la disposición de horticultura está configurada para hacer crecer plantas en un medio de crecimiento, en donde hay dispuestos uno o más dispositivos de iluminación sobre el medio de crecimiento a una altura de dispositivo de iluminación de (h1) desde el medio de crecimiento, (también) puede haber dispuestos uno o más segundos sensores ópticos a una altura (h2) de sensor, seleccionada del intervalo de 50-150 % de la altura (h1) de dispositivo de iluminación. Tal y como se ha indicado anteriormente, especialmente los uno o más segundos sensores ópticos están configurados con superficies de sensor dirigidas hacia abajo. Además, especialmente uno o más de uno o más segundos sensores ópticos están configurados para ver más de una planta. Esto puede ser útil para mejorar la precisión de la lectura del sensor en vista del hecho de que la lectura del sensor se deriva de la luz que proviene de un área más grande, promediando así en gran medida cualquier diferencia entre plantas.

Como alternativa o adicionalmente, los sensores pueden estar configurados cerca del soporte, tal como la estructura, pero, por ejemplo, un 5-40 % de la altura de dispositivo de iluminación por encima del soporte, como la estructura, y mirando hacia abajo.

Especialmente, en las realizaciones, uno o más sensores ópticos pueden estar configurados para recibir esencialmente solo luz de horticultura reflejada. Esto puede aplicarse especialmente a sensores que están configurados cerca de los dispositivos de iluminación, cuando dichos dispositivos de iluminación están dispuestos sobre las plantas/sobre la estructura y están configurados para detectar hacia abajo, y/o cuando dichos sensores están configurados corriente abajo de los dispositivos de iluminación.

Por lo tanto, en realizaciones específicas, uno o más sensores ópticos comprenden superficies de sensor, en donde las superficies de sensor están configuradas para no recibir luz de horticultura directa. Por lo tanto, es posible que los sensores no estén en la línea de visión directa de los dispositivos de iluminación. O bien, es posible que los dispositivos de iluminación no estén en la línea de visión directa de los sensores.

El sensor óptico puede incluir un sensor que esté configurado para detectar luz, por ejemplo sin información direccional específica, tal como, por ejemplo, una fotocélula. En realizaciones específicas, el sensor óptico puede incluir una cámara, tal como una cámara CCD. La intensidad de luz recibida por la cámara se puede utilizar para evaluar (también) la reflexión de la luz de horticultura por los elementos reflectantes. Adicionalmente o como alternativa, dicha cámara se puede utilizar para evaluar el (desarrollo del) dosel. Dicha cámara también puede usarse para evaluar (con el sistema de control) un parámetro relacionado con el número y/o tamaños de las hojas, tal como el índice de área foliar. En realizaciones específicas, el sistema de control puede controlar la luz (intensidad) de horticultura basándose en una relación predeterminada entre un parámetro relacionado con el número y/o tamaños de las hojas y la intensidad de luz recibida efectivamente por las plantas. De esta manera, la luz de horticultura (su intensidad) se puede controlar para proporcionar una intensidad de luz efectiva que, p. ej., cumpla con una intensidad de luz objetivo definida por una receta de luz. En las realizaciones, las cámaras pueden disponerse especialmente a una altura (h2) de sensor seleccionada entre el 50-150 % de la altura (h1) de dispositivo de iluminación.

Con dicho sistema y/o dicha disposición, también puede ser posible controlar dinámicamente el sistema y/o la disposición, p. ej., adaptado día a día, incluida la (re)actuación sobre la planta en crecimiento, como adaptar, p. ej., las condiciones de iluminación y/u otras condiciones del tamaño físico de la planta, etc.

Tal y como se ha indicado anteriormente, la disposición de horticultura puede comprender de este modo un sistema de iluminación de horticultura para iluminación de horticultura (así como una planta que puede recibir la luz de horticultura durante el uso del sistema). En la presente memoria, la disposición de horticultura se explica especialmente en relación con una situación en donde hay plantas disponibles. Sin embargo, también se reivindica la disposición de horticultura *per se*.

El sistema de iluminación de horticultura comprende un dispositivo de iluminación que se utiliza especialmente para proporcionar (opcionalmente después de alguna modificación de la distribución espectral de la luz del dispositivo de iluminación) la luz para horticultura. La expresión “luz de horticultura” se refiere especialmente a la luz que proporciona el sistema (durante el uso del sistema) y que se puede proporcionar a una o más partes de la planta. El término “luz” se refiere especialmente a luz visible, pero, en las realizaciones, también puede referirse a una o más de radiación UV y radiación infrarroja. El dispositivo de generación de luz es especialmente un dispositivo de iluminación de estado sólido. Además, la expresión “dispositivo de generación de luz” también puede referirse a una pluralidad de (diferentes) dispositivos de generación de luz. Opcionalmente, los dispositivos de iluminación pueden ajustarse en

color. Por lo tanto, en otro aspecto más, la invención también proporciona el sistema de iluminación de horticultura *per se*.

Por ejemplo, en un aspecto, la invención también proporciona un sistema de iluminación de horticultura configurado para proporcionar luz para horticultura, comprendiendo el sistema de iluminación de horticultura uno o más dispositivos de iluminación (especialmente una pluralidad de dispositivos de iluminación) configurados para proporcionar luz para horticultura, (ii) uno o más sensores ópticos configurados para detectar la luz de horticultura reflejada y generar (una o más) señales de sensor óptico correspondientes y (iii) un sistema de control configurado para controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura, especialmente a al menos la intensidad de luz de la luz de horticultura, dependiendo de las una o más señales del sensor óptico.

La disposición de horticultura o el sistema de iluminación de horticultura se pueden usar en un método para proporcionar luz de horticultura a las plantas. En un aspecto adicional más, la invención proporciona un método para proporcionar luz de horticultura a plantas en una disposición de horticultura que comprende uno o más elementos reflectantes (configurados para reflejar parte de la luz de horticultura para proporcionar horticultura reflejada), comprendiendo el método proporcionar luz de horticultura a plantas y controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura dependiendo del reflejo de la luz de horticultura (por uno o más elementos reflectantes). En un aspecto adicional más, la invención proporciona un método para proporcionar luz de horticultura a plantas en una disposición de horticultura que comprende uno o más elementos reflectantes (configurados para reflejar parte de la luz de horticultura para proporcionar una de horticultura reflejada), comprendiendo el método proporcionar la luz de horticultura a las plantas y controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura dependiendo del (desarrollo del) dosel. Por ejemplo, en las realizaciones, el sistema de control puede estar configurado para controlar la intensidad de luz de horticultura dependiendo del índice de área foliar.

Tal y como se ha indicado anteriormente, dicho método se puede utilizar en combinación con la disposición de horticultura o el sistema de iluminación de horticultura descritos en la presente memoria. Por lo tanto, en las realizaciones, la disposición de horticultura o el sistema de iluminación de horticultura están especialmente configurados para ejecutar el método descrito en la presente memoria.

Tal y como se ha indicado anteriormente, un sistema de iluminación de horticultura puede estar configurado de modo que se proporcione luz a  $x \mu\text{mol/s/m}^2$ . De la misma manera, el método puede implicar dotar a un sistema de iluminación de horticultura luz a  $x \mu\text{mol/s/m}^2$ . Sin embargo, debido a la reflexión, la intensidad real recibida puede ser  $n \cdot x \mu\text{mol/s/m}^2$ , en donde  $n \geq 1$ , como, por ejemplo,  $1 \leq n \leq 2$ . Con el método, la intensidad se puede controlar de tal modo que la intensidad proporcionada por el sistema de iluminación se corrija para la reflexión, de modo que la planta reciba esencialmente el valor objetivo de una luz a  $x \mu\text{mol/s/m}^2$ . Con el tiempo,  $n$  puede converger de aproximadamente 2 a 1, conforme se cierra el dosel. Por supuesto, el valor final también puede depender de la distancia entre las plantas. Sin embargo, en condiciones óptimas, hay relativamente poco espacio entre plantas maduras adyacentes, aunque esto puede depender del tipo de cultivo. La reflexión de la luz de horticultura por uno o más elementos reflectantes es sustancialmente cero cuando los elementos reflectantes esencialmente no redirigen luz. Por supuesto, puede haber alguna redirección por parte de la propia planta. La reflexión de la luz de horticultura por uno o más elementos reflectantes puede ser muy alta cuando las plantas son pequeñas, o incluso por debajo del nivel del sustrato.

Tal y como se ha indicado anteriormente, el control inventivo puede ser un control además del control básico, tal como sobre la base de una receta de luz. Por lo tanto, en las realizaciones, el método comprende controlar la luz de horticultura según una receta de luz predefinida, en donde la receta de luz incluye información sobre uno o más de (i) intensidad de luz de horticultura en función del tiempo y (ii) distribución espectral de la luz de horticultura en función del tiempo, mediante el cual la receta de luz define una intensidad de luz de horticultura objetivo y/o una distribución espectral objetivo de la luz de horticultura, y controlar una o más de la intensidad de luz y la distribución espectral de la luz de horticultura dependiendo de la reflexión de la luz de horticultura (por uno o más elementos reflectantes).

La expresión “controlar la luz de horticultura” y expresiones similares implican especialmente controlar una o más propiedades de iluminación de la luz de horticultura, tales como una o más de (i) intensidad (especialmente en vatios o fotones), (ii) distribución espectral, (iii) punto de color, (iv) temperatura de color, etc. de la luz de horticultura. La expresión “controlar la intensidad de luz en horticultura” y expresiones similares implican especialmente controlar la intensidad integral (especialmente en vatios o fotones). Al controlar la distribución espectral, se pueden controlar (independientemente) intervalos espectrales, tales como azul, rojo y/o rojo lejano.

De este modo, la reflexión puede conducir a una mayor ganancia de la luz de horticultura. Esta ganancia es función de la cantidad y número de hojas. Con los uno o más sensores ópticos se puede recuperar una ganancia o con una función de ganancia predeterminada (a lo largo del tiempo) se puede estimar la ganancia. En función de esto, el sistema de control puede adaptar la luz de horticultura (intensidad y/o distribución espectral) para que las plantas reciban aproximadamente la luz objetivo y no una intensidad más alta (u otra distribución espectral) debido a la reflexión. En este caso, el término reflexión también puede referirse a “reflexión múltiple”. La invención puede permitir de este modo una corrección de (múltiples) reflexiones de la luz en elementos reflectantes.

Por lo tanto, en otro aspecto más, la invención también proporciona un producto de programa informático, cuando se ejecuta en un ordenador que está funcionalmente acoplado a, o comprendido por, el sistema de control de la disposición de horticultura, tal como, p. ej., el descrito en la presente memoria, y disposición de horticultura que comprende uno o más elementos reflectantes y es capaz de provocar el método descrito en la presente memoria.

Por lo tanto, la invención proporciona, además, un programa informático habilitado para llevar a cabo el método definido en la presente memoria, por ejemplo, cuando se carga en un ordenador. En otro aspecto más, la invención proporciona un soporte de grabación (o soporte de datos, tal como una memoria USB, un CD, un DVD, etc.) que almacena un programa informático según la reivindicación. Por lo tanto, el producto de programa informático, cuando se ejecuta en un ordenador o se carga en un ordenador, genera o es capaz de generar el método descrito en la presente memoria.

El soporte de grabación o medio y/o memoria legible por ordenador puede ser cualquier medio grabable (p. ej., RAM, ROM, memoria extraíble, CD-ROM, discos duros, DVD, disquetes o tarjetas de memoria) o puede ser un medio de transmisión (p. ej., una red que comprende fibra óptica, la red informática mundial, cables y/o un canal inalámbrico que utiliza, por ejemplo, acceso múltiple por división de tiempo, acceso múltiple por división de código u otros sistemas de comunicación inalámbrica). Cualquier medio conocido o desarrollado que pueda almacenar información adecuada para su uso con un sistema informático puede usarse como medio y/o memoria legible por ordenador. También se pueden utilizar memorias adicionales. La memoria puede ser a largo plazo, a corto plazo o una combinación de memorias de corto y largo plazo. El término memoria también puede referirse a memorias. La memoria puede configurar el procesador/controlador para implementar los métodos, actos operativos y funciones que se describen en la presente memoria. La memoria puede ser distribuida o local y el procesador, cuando se pueden proporcionar procesadores adicionales, puede ser distribuido o singular. La memoria puede implementarse como memoria eléctrica, magnética u óptica, o cualquier combinación de estos u otros tipos de dispositivos de almacenamiento. Además, el término "memoria" debe interpretarse de manera suficientemente amplia para abarcar cualquier información que pueda leerse o escribirse en una dirección en el espacio direccionable al que accede un procesador. Según esta definición, la información en una red, como Internet, todavía está en la memoria, por ejemplo, porque el procesador puede recuperar la información de la red.

El controlador/procesador y la memoria pueden ser de cualquier tipo. El procesador puede ser capaz de realizar las diversas operaciones descritas y ejecutar instrucciones almacenadas en la memoria. El procesador puede ser un circuito integrado de aplicación específica o de uso general. Además, el procesador puede ser un procesador dedicado para funcionar según el presente sistema o puede ser un procesador de propósito general en donde solo una de muchas funciones opera para funcionar según el presente sistema. El procesador puede funcionar utilizando una porción de programa, múltiples segmentos de programa o puede ser un dispositivo de *hardware* que utiliza un circuito integrado dedicado o multipropósito.

### Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán las realizaciones, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en donde los símbolos de referencia correspondientes indican partes correspondientes, y en donde:

la Figura 1 representa esquemáticamente una disposición de horticultura; Figura 2 representa esquemáticamente una disposición de horticultura con una sección transversal de una capa de crecimiento típica;

la Figura 3 representación esquemática de una fotosíntesis medida P (tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ ) frente a la irradiancia para el crecimiento de la lechuga (en luz a  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ );

la Figura 4 muestra: Ganancia frente a cobertura, calculada a partir de la ecuación 1, con  $R_{\text{Suelo}}=80\%$ ,  $R_{\text{Techo}}=60\%$  y  $R_{\text{Suelo}}=5\%$  y  $35\%$  para las curvas indicadas por RFA y RL, respectivamente; y

la Figura 5: Resultados de mediciones de la ganancia de intensidad de luz frente a la edad de las plantas. Los gráficos denotados por A se refieren al caso donde  $R_{\text{Suelo}}=0\%$  y  $R_{\text{Techo}}=0\%$  (es decir, suelo y techo negros). D se refiere al caso donde  $R_{\text{Suelo}}=80\%$  y  $R_{\text{Techo}}=60\%$  (es decir, un suelo y un techo que reflejen bien la luz);

la Figura 6 muestra esquemáticamente una realización adicional. Esta figura muestra parte de una sección transversal a lo largo del ancho de una capa de crecimiento. La capa contiene recipientes (bancos rodantes, que entran y salen del plano del dibujo). En cada recipiente hay un contenedor de plástico que contiene el agua de riego. En cada contenedor se colocan bandejas con plantas. En el lado donde entra el aire para ventilación y el suministro de  $\text{CO}_2$  entra en la capa, hay un escudo.

Los dibujos esquemáticos no están necesariamente a escala.

### Descripción detallada de las realizaciones

En las granjas de plantas (ver: Figura 1), la producción por unidad de superficie es mucho mayor que la producción en campo abierto. Se minimiza el uso de agua. Las enfermedades y plagas de las plantas se pueden prevenir más fácilmente. Normalmente, en una granja de plantas, las plantas se cultivan en células climáticas. Cada celda está equipada con uno o más bastidores. Cada bastidor tiene varias capas para cultivar plantas. La Figura 2 representa esquemáticamente una sección transversal de una capa para el cultivo de plantas según una realización de la invención. Las plantas (hierbas como la albahaca o vegetales de hojas como la lechuga) se cultivan hidropónicamente (las plantas se cultivan sin tierra, utilizando nutrientes minerales u orgánicos disueltos en agua).

La Figura 1 muestra esquemáticamente una realización de una disposición 1000 de horticultura para una planta 1. La disposición 100 de horticultura comprende un sistema 100 de iluminación de horticultura, configurado para proporcionar luz 101 de horticultura a las plantas 1, y un sistema 200 de control. El sistema 200 de control está configurado para controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz 101 de horticultura. El sistema de iluminación puede comprender uno o más dispositivos 110 de iluminación. La referencia 20 indica una celda climática. El interior solo puede recibir luz artificial procedente de los dispositivos 110 de iluminación y esencialmente ninguna luz natural. Las plantas se cultivan en bastidores. La referencia 400 indica una estructura sobre o en donde se pueden disponer las plantas 1.

Entre otros, en la presente memoria se propone un sistema de crecimiento que nos permite ubicar cada planta (o mejor dicho la combinación de planta, sustrato y macetero) en una placa base (en adelante denominada "suelo") que tiene un alto coeficiente de reflexión de la luz. Sobre las plantas se ubican los módulos de iluminación LED. Por encima de los módulos o entre los módulos hay un material que también tiene un alto coeficiente de reflexión de la luz (en lo sucesivo denominado material de "techo", ver, p. ej., la Figura 2. El hecho de que los materiales de suelo y de techo sean altamente reflectantes para un amplio espectro de luz hace que cualquier luz que inicialmente acabe entre las plantas probablemente se refleje (de forma difusa o especular, dependiendo de las propiedades del material) y obtenga una segunda oportunidad de ser interceptada por una planta.

La Figura 2 muestra una realización en donde uno o más elementos reflectantes 310 están configurados para redirigir la luz 101 de horticultura a las plantas 1. Además, el sistema 200 de control está configurado para controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz 101 de horticultura dependiendo de la reflexión de la luz 101 de horticultura por uno o más elementos reflectantes 310.

El rayo denotado por A es interceptado por una planta. El rayo indicado por B inicialmente termina entre las plantas y se refleja de manera difusa en el material de suelo y posteriormente es interceptado por una planta. El rayo C inicialmente termina entre las plantas y posteriormente es reflejado por el material de techo antes de ser interceptado por una planta. Por lo tanto, la luz 101 de horticultura puede reflejarse para proporcionar luz de horticultura reflejada, que se indica con la referencia 102. La luz de horticultura reflejada en el lado de la planta, tal como por uno o más elementos reflectantes 310 en el lado de la planta, puede indicarse como luz 104 de horticultura reflejada. La luz de horticultura reflejada en un lado (muy) por encima de las plantas, tal como por uno o más elementos reflectantes 310 en el lado del dispositivo de iluminación, puede indicarse como luz 103 de horticultura reflejada.

Tal y como se muestra en la Figura 2, la disposición 1000 de horticultura comprende una estructura 400 para albergar las plantas 1. La estructura 400 comprende posiciones 410 de planta donde se pueden colocar las plantas 1, y partes intermedias 420 entre las posiciones 410 de planta. Aquí, una o más partes intermedias 420 comprenden uno o más elementos reflectantes 310.

Por lo tanto, los uno o más elementos reflectantes 310 pueden comprender primeros elementos reflectantes 311. Estos están especialmente dispuestos por encima de las plantas. Los uno o más elementos reflectantes 310 pueden comprender segundos elementos reflectantes 312. Estos están dispuestos especialmente por debajo de al menos una parte del dosel, por ejemplo, sobre el soporte. Por lo tanto, los uno o más elementos reflectantes 310 pueden comprender uno o más de (i) uno o más primeros elementos reflectantes 311 y (ii) uno o más segundos elementos reflectantes 312.

Además, la disposición 1000 de horticultura puede comprender uno o más sensores ópticos 210 configurados para detectar la luz 101 de horticultura reflejada y generar señales de sensor óptico correspondientes. Tal y como se ha indicado anteriormente, el sistema de control está configurado para controlar la intensidad de luz 101 de horticultura dependiendo de las señales del sensor óptico.

De este modo, la Figura 2 revela una estructura (400) para alojar las plantas (1), en donde la estructura (400) comprende posiciones (410) de planta donde se pueden colocar las plantas (1), y partes intermedias (420) entre la planta posiciones (410), en donde una o más partes intermedias (420) comprenden uno o más elementos reflectantes (310), y en donde la estructura (400) comprende, además, uno o más sensores ópticos (210) configurados para detectar la luz de horticultura reflejada.

Especialmente, la disposición 1000 de horticultura está configurada para hacer crecer plantas 1 en un medio 1010 de crecimiento. Uno o más dispositivos 110 de iluminación están dispuestos sobre el medio 1010 de crecimiento a una altura h1 de dispositivo de iluminación desde el medio 1010 de crecimiento. Uno o más primeros sensores ópticos 211

están dispuestos a una altura  $h_2$  de sensor seleccionada del intervalo de 0-80 %, tal como 0-40 % de la altura  $h_1$  de dispositivo de iluminación. Especialmente, uno o más primeros sensores ópticos 211 están configurados con superficies 202 de sensor dirigidas hacia arriba. Estos sensores se pueden configurar, p. ej., en el “suelo”. Especialmente, uno o más de uno o más primeros sensores ópticos 211 están configurados para ver más de una planta 1.

Además, como alternativa o adicionalmente, uno o más dispositivos 110 de iluminación están dispuestos sobre el medio 1010 de crecimiento a una altura  $h_1$  de dispositivo de iluminación desde el medio 1010 de crecimiento, en donde uno o más segundos sensores ópticos 221 están dispuestos a una altura  $h_2$  de sensor seleccionada del intervalo del 50-150 % de la altura  $h_1$  de dispositivo de iluminación. Estos sensores se pueden configurar en un “techo”. Especialmente, uno o más segundos sensores ópticos 221 están configurados con superficies 202 de sensor dirigidas hacia abajo. Además, especialmente uno o más de uno o más segundos sensores ópticos 221 están configurados para ver más de una planta 1.

Si bien da como resultado un uso muy eficiente de la luz (y la energía), la disposición 1000 de horticultura mostrada en la Figura 2 tiene un inconveniente: la intensidad de luz (irradiancia) experimentada por las plantas no será constante a lo largo del tiempo (hay que tener en cuenta que la intensidad de luz se expresa como el número de fotones por unidad de tiempo y por unidad de superficie, en unidades de  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ). Cuando las plantas son relativamente pequeñas, habrá mucho espacio abierto entre las plantas. Como resultado, se reciclará mucha luz, lo que dará como resultado una intensidad de luz experimentada por las plantas que puede ser mucho mayor de lo previsto.

Una intensidad de luz típica óptima para el crecimiento de las plantas es  $200 \mu\text{mol/s/m}^2$ . Como resultado del reciclaje de la luz, el nivel percibido por las plantas puede aumentar hasta casi el doble de este valor, siendo  $400 \mu\text{mol/s/m}^2$ . En este nivel, las plantas están sobreexpuestas a la luz y el crecimiento es subóptimo. A intensidades de luz bajas, se ve que la fotosíntesis (y, por lo tanto, el crecimiento) aumenta linealmente con la intensidad de luz. Al aumentar aún más la intensidad de luz, gradualmente la fotosíntesis comienza a saturarse, lo que implica que la eficiencia del crecimiento se reduce (ver también la Figura 3): una eficiencia del crecimiento reducida implica que costará más energía producir la misma cantidad de biomasa. Este es el problema que pretendemos resolver.

Otro aspecto del aumento de la intensidad de luz es que aumenta el riesgo de que las plantas desarrollen trastornos del crecimiento (como quemaduras en las puntas).

Cuando las plantas maduren, habrá menos espacio abierto entre las plantas y, por lo tanto, el efecto del reciclaje de la luz será menor (hay que tener en cuenta que, en general, la hoja de una planta refleja solo una pequeña porción de la luz que incide en esa hoja).

Cuando las plantas comiencen a superponerse, la mayor parte de la luz será absorbida por las hojas y casi nada de luz se reciclará. En ese caso, la intensidad de luz experimentada por las plantas será casi igual a la intensidad de luz emitida por los módulos LED.

Hay que tener en cuenta que, en caso de que el material de suelo no refleje ninguna luz (p. ej., una superficie negra), no se producirá el reciclaje de la luz (excepto los pocos fotones que sean reflejados por las hojas y posteriormente se reflejen en el material de techo). En ese caso, la intensidad de luz experimentada por las plantas coincidirá con la intensidad de luz instalada (es decir, la intensidad de luz obtenida multiplicando el número de fotones por segundo emitidos por un módulo LED por el número de módulos instalados por metro cuadrado).

A continuación, se analizará una realización con referencia a la Figura 4. Cuando las plantas son relativamente pequeñas, habrá mucho espacio abierto entre las plantas. Como resultado, se reciclará mucha luz, lo que dará como resultado una intensidad de luz experimentada por las plantas que puede ser mucho mayor de lo previsto. En la Figura 4, “C” indica la cobertura y “G” indica la ganancia.

Considere como referencia la situación en donde el material de suelo y el material de techo no reflejan ninguna luz. En ese caso, no se reciclará ninguna luz y la intensidad de luz que experimentan las plantas es igual a la intensidad de luz instalada (aparte de cualquier luz que termine junto a la capa de crecimiento).

En comparación con esta situación de referencia, en caso de que el material de suelo y de techo refleje la luz, la intensidad de luz experimentada por las plantas será mayor debido al efecto del reciclaje de la luz. La magnitud de este efecto (es decir, la ganancia, en relación con la situación de referencia) se puede obtener por aproximación a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Ganancia} = \frac{I}{I - R_{\text{Techo}} [C_{\text{Planta}} R_{\text{Planta}} + (1 - C_{\text{Planta}}) R_{\text{Suelo}}]} \quad (1)$$

Aquí,  $R_{\text{Suelo}}$  y  $R_{\text{Techo}}$  son los coeficientes de reflexión de luz del material de suelo y el material de techo, respectivamente.  $C_{\text{Planta}}$  es la fracción del área de suelo cubierta por las plantas.  $R_{\text{Planta}}$  es el coeficiente de reflexión de las plantas. Consultar más abajo los valores típicos de estos parámetros.

- 5 La ecuación 1 muestra que el valor de la ganancia se puede estimar a partir de la cobertura ( $C_{\text{Planta}}$ ) y las propiedades reflectantes del suelo ( $R_{\text{Suelo}}$ ), el techo ( $R_{\text{Techo}}$ ), y las plantas ( $R_{\text{Plantas}}$ ).

Dado que, en general, la cobertura no se conoce *a priori*, proponemos estimar la ganancia mediante uno de los siguientes métodos:

1. utilizar la lectura de un sensor óptico mirando hacia abajo hacia el suelo o...
2. la lectura de un sensor óptico mirando hacia arriba hacia el techo, o...
3. una combinación de las lecturas de un sensor que mira hacia abajo y un sensor que mira hacia arriba

Sea  $L_{\text{Emitida}}$  la intensidad de luz emitida por las lámparas (en  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ). Sea  $S_{\text{Hacia abajo}}$  la lectura del sensor calibrado (también en  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ) de un sensor óptico que mira hacia abajo. Igualmente, sea  $S_{\text{Hacia arriba}}$  la lectura de un sensor que mira hacia arriba.

Se puede demostrar que, para cada uno de los tres métodos mencionados anteriormente, la ganancia se puede estimar de la siguiente manera:

Para un sensor que mira hacia abajo:

$$\text{Ganancia} \approx \frac{S_{\text{Hacia abajo}}}{L_{\text{Emitida}}} \frac{I}{C_{\text{Planta}} R_{\text{Planta}} + (1 - C_{\text{Planta}}) R_{\text{Suelo}}}$$

Para un sensor que mira hacia arriba:

$$\text{Ganancia} \approx \frac{S_{\text{Hacia arriba}}}{L_{\text{Emitida}}}$$

Para la combinación de un sensor que mira hacia abajo y hacia arriba:

$$\text{Ganancia} \approx \frac{I}{1 - R_{\text{Techo}} S_{\text{Hacia abajo}} / S_{\text{Hacia arriba}}}$$

De estos tres métodos, el método 1 no es atractivo ya que aún requiere conocimiento de la cobertura vegetal  $C_{\text{Planta}}$  (a menos que el sensor sea una cámara, que proporciona imágenes a partir de las cuales se puede determinar la cobertura de la planta). El método 2 es atractivo ya que solo se necesita un sensor; sin embargo, depende de conocer la intensidad de luz emitida  $L_{\text{Emitida}}$ . El método 3 también es atractivo porque no es necesario conocer la intensidad de luz emitida. Dado que depende de la proporción  $S_{\text{Hacia abajo}}/S_{\text{Hacia arriba}}$ , los sensores solo necesitan calibrarse a un nivel relativo, lo cual es ventajoso.

Normalmente, la ganancia en la intensidad de luz, tal como la perciben las plantas, en comparación con la cobertura vegetal, se ve como se muestra en la Figura 4. De esta figura se puede deducir que, en este caso, inicialmente la intensidad de luz percibida por las plantas será casi 2 veces mayor que la intensidad de luz instalada. Gradualmente, cuando las plantas crecen, la intensidad de luz se reduce a un nivel cercano al nivel instalado.

Hemos realizado experimentos para medir esta ganancia durante el crecimiento, cuyos resultados se muestran en la Figura 5. Los resultados están en línea con los resultados de los cálculos del modelo, como se muestra en la Figura 4. Hay que tener en cuenta que la Figura 4 muestra el factor de ganancia en función de la cobertura, mientras que la Figura 5 muestra la ganancia ("G") en función del tiempo (en días).

La ganancia se puede medir mediante un sensor de luz orientado hacia arriba. En primer lugar, se mide la intensidad de luz en situaciones en donde no hay plantas y el material de suelo y de techo está ennegrecido. Esta es la intensidad

de luz de referencia (igual a la intensidad de luz instalada). A continuación, se mide la intensidad de luz con las plantas y el material reflectante de suelo y de techo colocados.

Las plantas se cultivan según una receta de luz: una receta de luz proporciona una prescripción de qué nivel y espectro de luz ofrecer en función del tiempo durante el día y durante el crecimiento día a día. Por ejemplo, para la lechuga, una receta de luz típica sería ofrecer una intensidad de luz de  $200 \mu\text{mol/s/m}^2$  durante 18 horas al día durante todo el período de crecimiento, desde la planta joven hasta la planta madura. Debido al efecto anteriormente mencionado del reciclaje de luz sobre la intensidad de luz percibida por las plantas, esta receta de luz no se puede mantener durante el crecimiento.

Como elemento principal de la invención, proponemos atenuar la intensidad de luz ( $L$ ) en respuesta a (i) la ganancia del reciclaje de luz o (ii) la cobertura vegetal (ver ecuación 1).

Sea  $L_0$  la intensidad de luz que se pretende ofrecer a las plantas. En ese caso, el nivel de atenuación dependiente del tiempo sería:  $L(t) \approx L_0/\text{Ganancia}(t)$ . Aquí,  $L_0$  es la intensidad de luz en caso de que no haya reciclaje de luz ( $\text{Ganancia}=1$ ). Podemos extender esto a recetas de luz más complicadas de la siguiente manera. Asumir que  $L_0(t)$  es la intensidad de luz dependiente del tiempo (tal como la perciben las plantas) que se supone que es óptima para el crecimiento de las plantas. En el caso de un reciclaje de luz no despreciable, proponemos atenuar la intensidad de luz de la siguiente manera:  $L(t) \approx L_0(t)/\text{Ganancia}(t)$ , es decir, utilizando la relación proporcional inversa entre la luz emitida y la ganancia.

En general, además de emitir luz visible, los módulos de iluminación suelen estar equipados con LED que emiten luz de color rojo lejano. Dado que el coeficiente de reflexión de las hojas para la luz roja lejana (RL) es bastante grande en comparación con el de la luz RFA, el factor de ganancia para la luz roja lejana también será más grande. Además, la luz RFA visible provocará fluorescencia de las hojas. Esta fluorescencia también se encuentra en la región del rojo lejano del espectro, lo que aumenta aún más el factor de ganancia de la luz del rojo lejano (ver también la Figura 4). En otras palabras, el factor de atenuación ideal dependerá de la longitud de onda de la luz ofrecida a las plantas.

Tal y como se ha indicado anteriormente, una receta de luz proporciona una prescripción general sobre cómo ajustar la intensidad y el espectro de la luz tal como lo percibe una planta para lograr un crecimiento óptimo. Esta prescripción cubre el desarrollo de la planta desde planta joven hasta planta madura. Dado que el efecto del reciclaje de la luz altera la intensidad y el espectro de la luz percibidos por las plantas, este efecto debe tenerse en cuenta. Además, la cantidad de reciclaje de luz es específica de una granja de plantas y depende de la configuración de la capa de crecimiento, del perfil de emisión de los módulos LED y, especialmente, de las propiedades ópticas del material de suelo y de techo.

Teniendo en cuenta estas nociones, la realización presenta las siguientes características para poder ejecutar una receta de luz general:

- Las recetas de luz para el crecimiento óptimo de una selección de variedades vegetales se almacenan en un medio de almacenamiento (p. ej., una base de datos en la nube).
- Un usuario indica al sistema de control del conjunto de plantas que ejecute una de las recetas de luz almacenadas.
- Los sensores se utilizan para medir las propiedades del crecimiento de las plantas. Las lecturas del sensor son utilizadas por un algoritmo en el ordenador para determinar la cantidad de reciclaje de luz que se está produciendo (es decir, la ganancia).
- Los sensores son sensores ópticos (p. ej., un fotodiodo simple, una serie de fotodiodos con diferentes sensibilidades espectrales, un espectrómetro o una cámara (hiperespectral)). Los sensores están ubicados cerca del techo y miran hacia el suelo y/o están ubicados cerca del suelo y miran hacia el techo. Preferiblemente, el campo de visión del sensor es tal que sustancialmente más de 1 planta está en el campo de visión.
- La intensidad y el espectro de la luz se ajustan en función de la ganancia medida o estimada.
- En función de la configuración de iluminación ajustada, se mide o estima el consumo de energía del sistema de iluminación. Esta información se analiza en el sistema de control climático. El sistema de control climático ejecuta un algoritmo para tener en cuenta esta información con el fin de mejorar el control climático. El sistema de control climático es parte del sistema de control de la granja de plantas.

Se explicará otra realización con referencia a la Figura 6. Aquí, F indica un flujo de aire opcional; LS indica un escudo de luz e I indica una entrada de agua de riego. Esta realización describe un escudo que tiene las siguientes funciones:

- Impide que la luz llegue al agua de riego, para evitar el crecimiento de algas



• Se utiliza para montar sensores, como sensores para determinar propiedades de la luz como el factor de ganancia (sensor S1 en la figura), así como otras propiedades relevantes para el crecimiento de las plantas (sensor S2: temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, nivel de CO<sub>2</sub>), o propiedades del agua de riego (sensor S3: temperatura del agua, nivel del agua, contenido de agua en O<sub>2</sub>).

• El escudo evita el flujo de aire directo contra el cultivo en el borde de la capa de crecimiento.

De forma adicional:

• Se recomienda instalar escudos en ambos bordes de cada capa de crecimiento.

• Los escudos están hechos para reflejar la luz (de forma especular o difusa): esto mejorará el factor de utilización de la luz y la uniformidad del cultivo en los bordes.

• El escudo se puede utilizar como soporte mecánico para las tuberías de suministro de riego.

Por lo tanto, en un aspecto, la invención también proporciona una disposición de horticultura para una planta, comprendiendo la disposición de horticultura (i) un sistema de iluminación de horticultura configurado para proporcionar luz de horticultura a las plantas, (ii) uno o más elementos reflectantes configurados para reflejar parte de la luz de horticultura a la planta y (iii) un sistema de control, en donde el sistema de control está configurado para controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura dependiendo de una ganancia (factor de) estimada o medida. En un aspecto más, la invención también proporciona un sistema de iluminación de horticultura, que comprende uno o más dispositivos de iluminación (especialmente una pluralidad de dispositivos de iluminación) configurados para proporcionar luz de horticultura (para plantas), y (ii) un sistema de control, y (iii) opcionalmente uno o más sensores, en donde el sistema de control está configurado para controlar uno o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura dependiendo de una ganancia (factor) estimada o medida, ganancia (factor) que puede estimarse o medirse en función de una o varias señales de sensor de uno o varios sensores. También, en un aspecto la invención, también se proporciona un método para proporcionar luz de horticultura a plantas en una disposición de horticultura que comprende uno o más elementos reflectantes, comprendiendo el método proporcionar luz de horticultura a plantas y controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura dependiendo de una ganancia (factor de) estimada o medida. Tal y como se ha indicado anteriormente, la ganancia (factor) puede estimarse o medirse en función de una o más señales de sensor de uno o más sensores. Las realizaciones en relación con esta disposición, sistema de iluminación y/o método, entre otras, se han descrito anteriormente.

El término “sustancialmente” en la presente memoria, tal como en “sustancialmente toda la luz” o en “consiste sustancialmente en”, será entendido por el experto en la técnica. El término “sustancialmente” también puede incluir realizaciones con “enteramente”, “completamente”, “totalmente”, etc. Por lo tanto, en las realizaciones, el adjetivo sustancialmente también puede eliminarse. Cuando corresponda, el término “sustancialmente” también puede referirse al 90 % o más, tal como el 95 % o más, especialmente el 99 % o más, incluso más especialmente el 99,5 % o más, incluido el 100 %. El término “comprende” incluye también realizaciones en donde el término “comprende” significa “consiste en”. El término “y/o” se refiere especialmente a uno o más de los elementos mencionados antes y después de “y/o”. Por ejemplo, una expresión como “elemento 1 y/o elemento 2” y expresiones similares pueden relacionarse con uno o más de los elementos 1 y 2. La expresión “que comprende” puede, en una realización, referirse a “que consiste en”, pero, en otra realización, también puede referirse a “que contiene al menos las especies definidas y opcionalmente una o más especies diferentes”.

Asimismo, los términos primero, segundo, tercero y similares en la descripción y en las reivindicaciones se usan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir un orden secuencial o cronológico. Debe entenderse que los términos así utilizados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en la presente memoria son capaces de funcionar en otras secuencias que las descritas o ilustradas en la presente memoria.

Los dispositivos de la presente memoria se describen, entre otros, durante su funcionamiento. Como quedará claro para el experto en la técnica, la invención está limitada por las reivindicaciones adjuntas.

Debe observarse que las formas de realización mencionadas anteriormente ilustran la invención en lugar de limitarla, y que los expertos en la materia podrán diseñar muchas formas de realización alternativas sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Una disposición (1000) de horticultura para plantas (1), comprendiendo la disposición (1000) de horticultura:
  - 5 - un sistema (100) de iluminación de horticultura que comprende uno o más dispositivos (110) de iluminación configurados para proporcionar luz (101) de horticultura para las plantas;
  - uno o más elementos reflectantes (310) configurados para reflejar parte de la luz (101) de horticultura para proporcionar luz de horticultura reflejada y proporcionar la luz de horticultura reflejada como luz de horticultura reciclada para las plantas; y
  - 10 - un sistema (200) de control, en donde el sistema (200) de control está configurado para controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz (101) de horticultura,
  - 15 **caracterizada porque** el sistema (200) de control está configurado para controlar las una o más de la intensidad de luz y la distribución espectral de la luz (101) de horticultura dependiendo de la medida en que la luz (101) de horticultura es reflejada por los uno o más elementos reflectantes (310).
2. La disposición (1000) de horticultura según la reivindicación 1, donde la medida en que la luz (101) de horticultura es reflejada por los uno o más elementos reflectantes (310) se expresa mediante un factor de ganancia (G), en donde el factor de ganancia (G) se define como una proporción entre (i) una intensidad de luz de horticultura recibida por las plantas, incluida la luz de horticultura reciclada, y (ii) una intensidad de luz de horticultura recibida por las plantas, sin la luz de horticultura reciclada, y se estima utilizando una función de ganancia predeterminada, y en donde el sistema (200) de control está configurado para controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura en una relación proporcional inversa con el factor de ganancia (G).
 - 20
- 25
3. La disposición (1000) de horticultura según la reivindicación 1, que comprende uno o más sensores ópticos (210) configurados para detectar luz de horticultura reflejada y para generar una o más señales de sensor óptico correspondientes y en donde la medida en que la luz (101) de horticultura es reflejada por los uno o más elementos reflectantes (310) se expresa mediante un factor de ganancia (G) determinado usando las una o más señales de sensor óptico correspondientes, en donde el factor de ganancia (G) se define como una proporción entre (i) una intensidad de luz de horticultura recibida por las plantas, incluida la luz de horticultura reciclada, y (ii) una intensidad de luz de horticultura recibida por las plantas, sin la luz de horticultura reciclada, y en donde el sistema (200) de control está configurado para controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz de horticultura en una relación proporcional inversa con el factor de ganancia (G).
 - 30
- 35
4. La disposición (1000) de horticultura según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos parte de la luz de horticultura reflejada se dirige en la dirección de los uno o más dispositivos (110) de iluminación, en donde uno o más primeros elementos reflectantes (311) están configurados para reflejar al menos una parte de la luz (101) de horticultura reflejada dirigida en la dirección de los uno o más dispositivos (110) de iluminación de vuelta a las plantas (1).
 - 40
5. La disposición (1000) de horticultura según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una estructura (400) para albergar las plantas (1), en donde la estructura (400) comprende posiciones (410) de planta, donde se pueden colocar las plantas (1), y partes intermedias (420) entre las posiciones (410) de planta, en donde una o más partes intermedias (420) comprenden uno o más segundos elementos reflectantes (312).
 - 45
- 50
6. La disposición (1000) de horticultura según la reivindicación 3, en donde los uno o más sensores ópticos (210) comprenden superficies (202) de sensor, en donde las superficies (202) de sensor están configuradas para no recibir luz (101) de horticultura directa.
 - 55
7. La disposición (1000) de horticultura según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 3-6, en donde la disposición (1000) de horticultura está configurada para hacer crecer plantas (1) en un medio (1010) de crecimiento, en donde hay dispuestos uno o más dispositivos (110) de iluminación por encima del medio (1010) de crecimiento a una altura de dispositivo de iluminación de (h1) desde el medio (1010) de crecimiento, y en donde hay dispuestos uno o más primeros sensores ópticos (211) a una altura (h2) de sensor seleccionada del intervalo del 0-40 % de la altura (h1) de dispositivo de iluminación, y en donde los uno o más primeros sensores ópticos (211) están configurados con superficies (202) de sensor dirigidas hacia arriba.
 - 60
8. La disposición (1000) de horticultura según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 3-7, en donde la disposición (1000) de horticultura está configurada para hacer crecer plantas (1) en un medio (1010) de crecimiento, en donde hay dispuestos uno o más dispositivos (110) de iluminación por encima del medio
 - 65

(1010) de crecimiento a una altura de dispositivo de iluminación de (h1) desde el medio (1010) de crecimiento, y en donde hay dispuestos uno o más segundos sensores ópticos (221) a una altura (h2) de sensor seleccionada del intervalo del 50-150 % de la altura (h1) de dispositivo de iluminación, en donde los uno o más segundos sensores ópticos (221) están configurados con superficies (202) de sensor dirigidas hacia abajo.

9. La disposición (1000) de horticultura según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema (200) de control está configurado para controlar la luz (101) de horticultura según una receta de luz predefinida, en donde la receta de luz incluye información sobre uno o más de (i) intensidad de la luz de horticultura en función del tiempo y (ii) distribución espectral de la luz de horticultura en función del tiempo, mediante lo cual la receta de luz define una o más de una intensidad de luz objetivo y una distribución espectral de la luz (101) de horticultura, y en donde el sistema (200) de control está configurado además, para controlar una o más de la intensidad de luz y la distribución espectral de la luz (101) de horticultura dependiendo de una o más de la intensidad de luz objetivo y la distribución espectral de la luz de horticultura y la medida en que la luz (101) de horticultura es reflejada por los uno o más elementos reflectantes (310).
10. La disposición (1000) de horticultura según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema (200) de control está al menos configurado para controlar la distribución espectral de la luz (101) de horticultura dependiendo de la medida en que la luz (101) de horticultura es reflejada por los uno o más elementos reflectantes (310).
11. La disposición (1000) de horticultura según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema (200) de control está al menos configurado para controlar la intensidad de la luz (101) de horticultura dependiendo de la medida en que la luz (101) de horticultura es reflejada por los uno o más elementos reflectantes (310).
12. La disposición (1000) de horticultura según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema (200) de control está configurado para controlar la intensidad de la luz (101) de horticultura según una receta de luz con una intensidad objetivo de la luz (101) de horticultura, y en donde el sistema (200) de control está configurado para adaptar la intensidad de luz de horticultura de la luz (101) de horticultura según la receta de luz en función de una relación predeterminada entre la intensidad de luz en  $\mu\text{mol/s/m}^2$  proporcionada por el sistema (100) de iluminación de horticultura y la intensidad de luz recibida efectivamente por las plantas (1).
13. Un método para proporcionar luz (101) de horticultura a plantas (1) en una disposición (1000) de horticultura que comprende uno o más elementos reflectantes (310) configurados para reflejar parte de la luz (101) de horticultura para proporcionar luz de horticultura reflejada, comprendiendo el método:
  - proporcionar la luz (101) de horticultura a las plantas (1);
  - reflejar parte de la luz (101) de horticultura y proporcionar la luz de horticultura reflejada como luz de horticultura reciclada a las plantas (1); y
  - controlar una o más de una intensidad de luz y una distribución espectral de la luz (101) de horticultura,

**caracterizado por** controlar las una o más de la intensidad de luz y la distribución espectral de la luz (101) de horticultura dependiendo de la medida en que la luz (101) de horticultura es reflejada por los uno o más elementos reflectantes (310).
14. El método según la reivindicación 13, comprendiendo el método controlar la luz (101) de horticultura según una receta de luz predefinida, en donde la receta de luz incluye información sobre una o más de (i) intensidad de la luz de horticultura en función del tiempo y (ii) distribución espectral de la luz de horticultura en función del tiempo, mediante lo cual la receta de luz define una intensidad de luz de horticultura objetivo, y controlar las una o más de la intensidad de luz y la distribución espectral de la luz (101) de horticultura dependiendo de la intensidad de luz de horticultura objetivo en la medida en que la luz (101) de horticultura es reflejada por los uno o más elementos reflectantes (310).
15. Un producto de programa informático, cuando se ejecuta en un ordenador que está funcionalmente acoplado a, o comprendido por, el sistema (200) de control de la disposición (1000) de horticultura según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1-12, es capaz de llevar a cabo el método descrito en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 13-14.

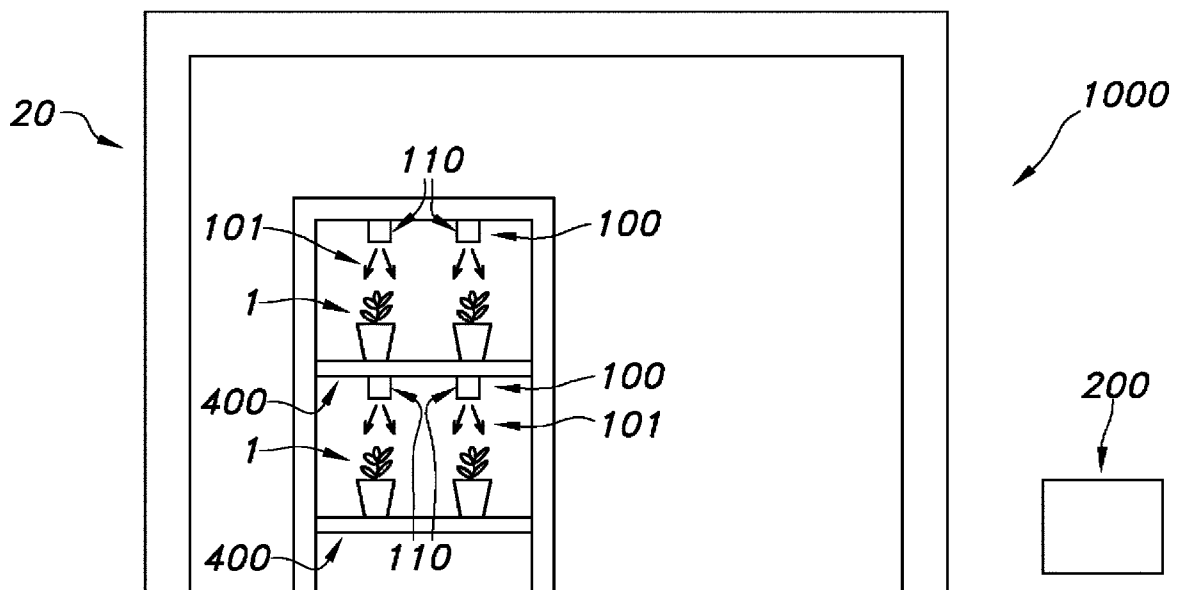


Figura 1

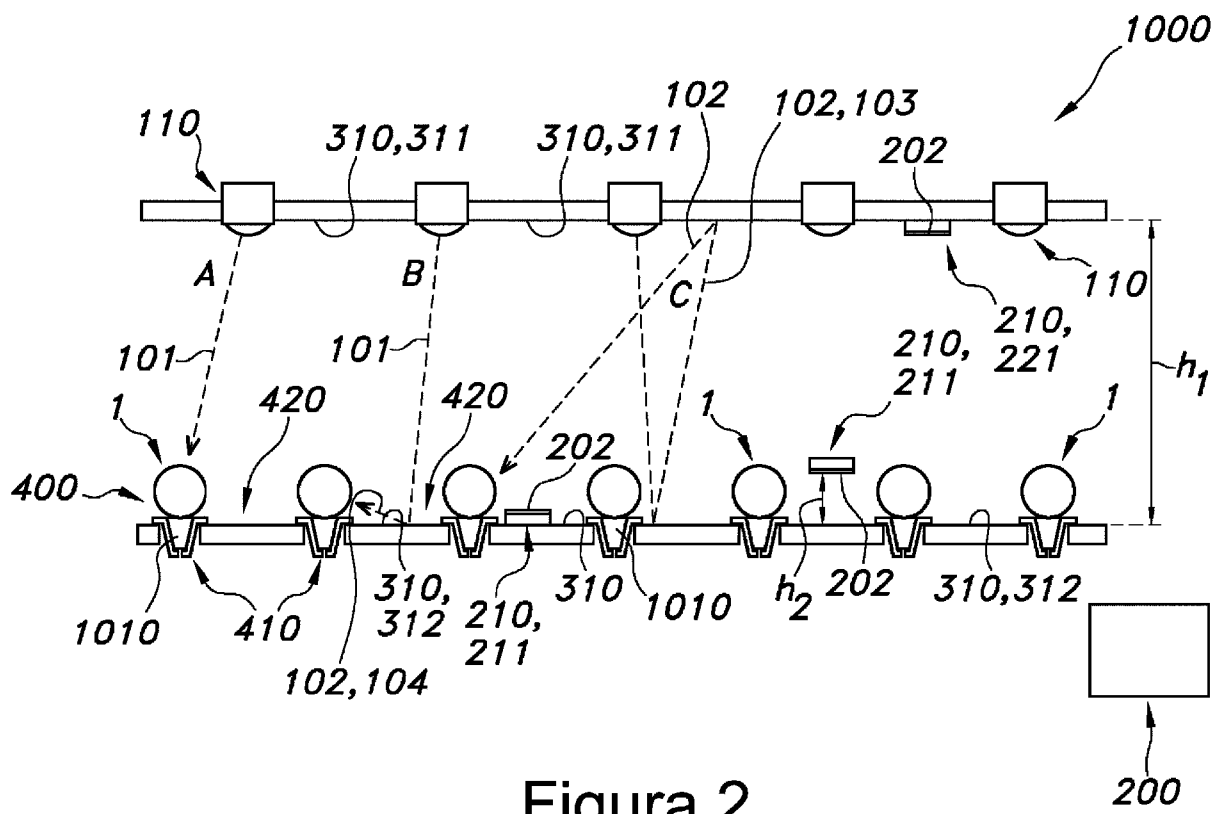


Figura 2

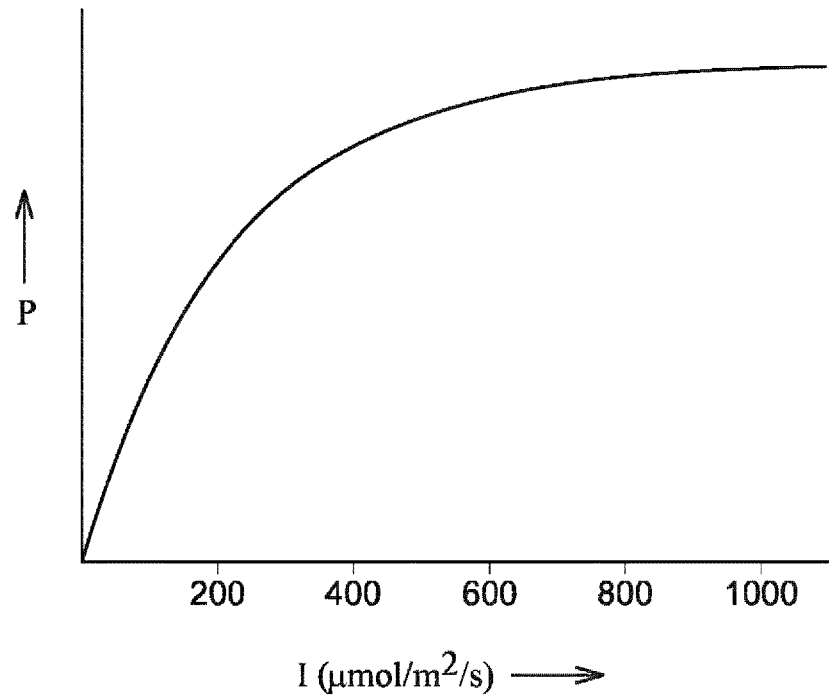


Figura 3

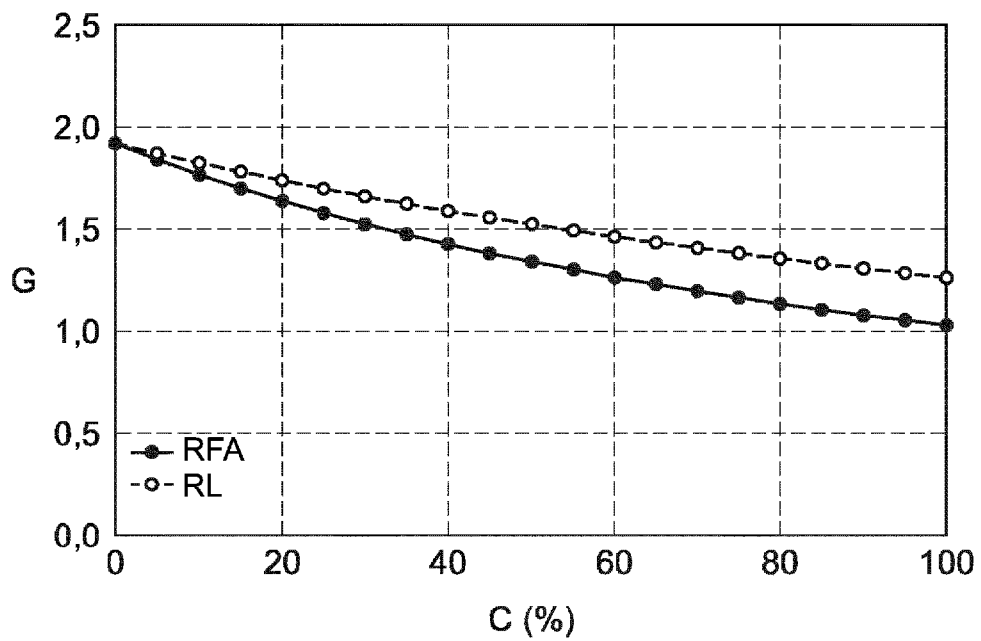


Figura 4

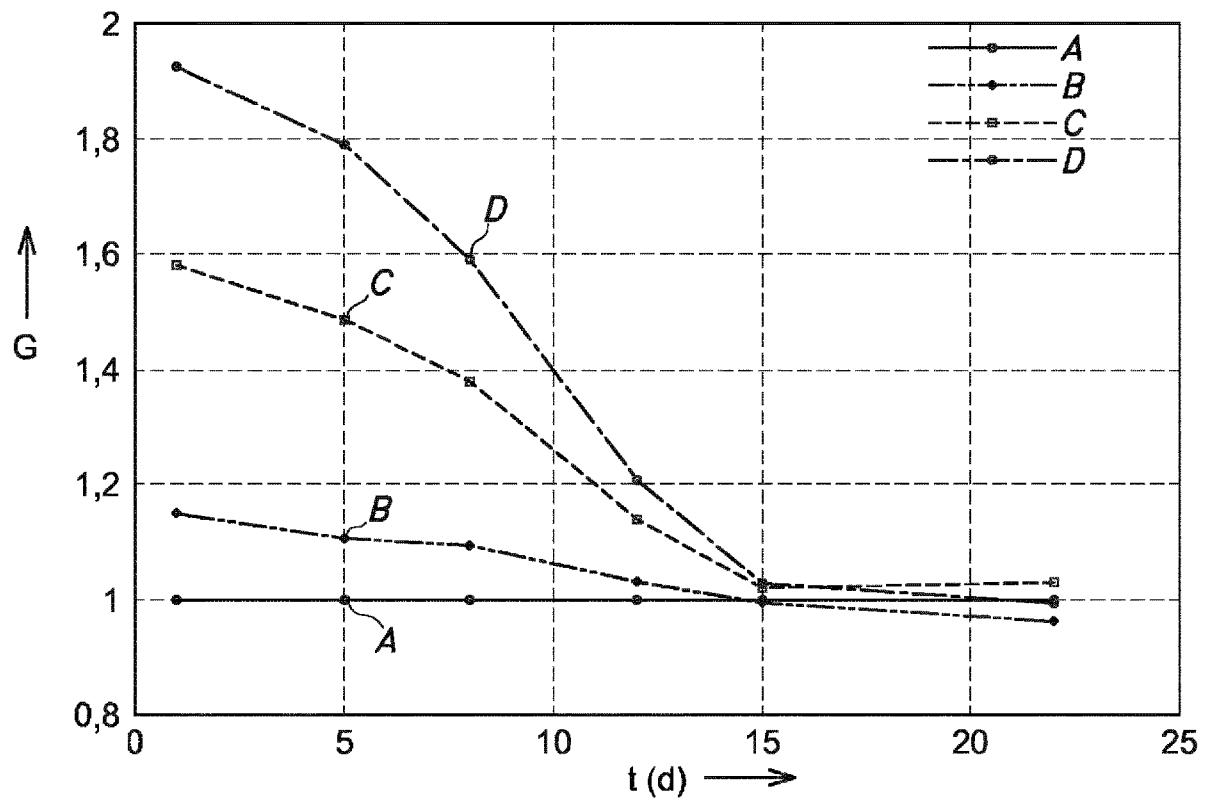


Figura 5

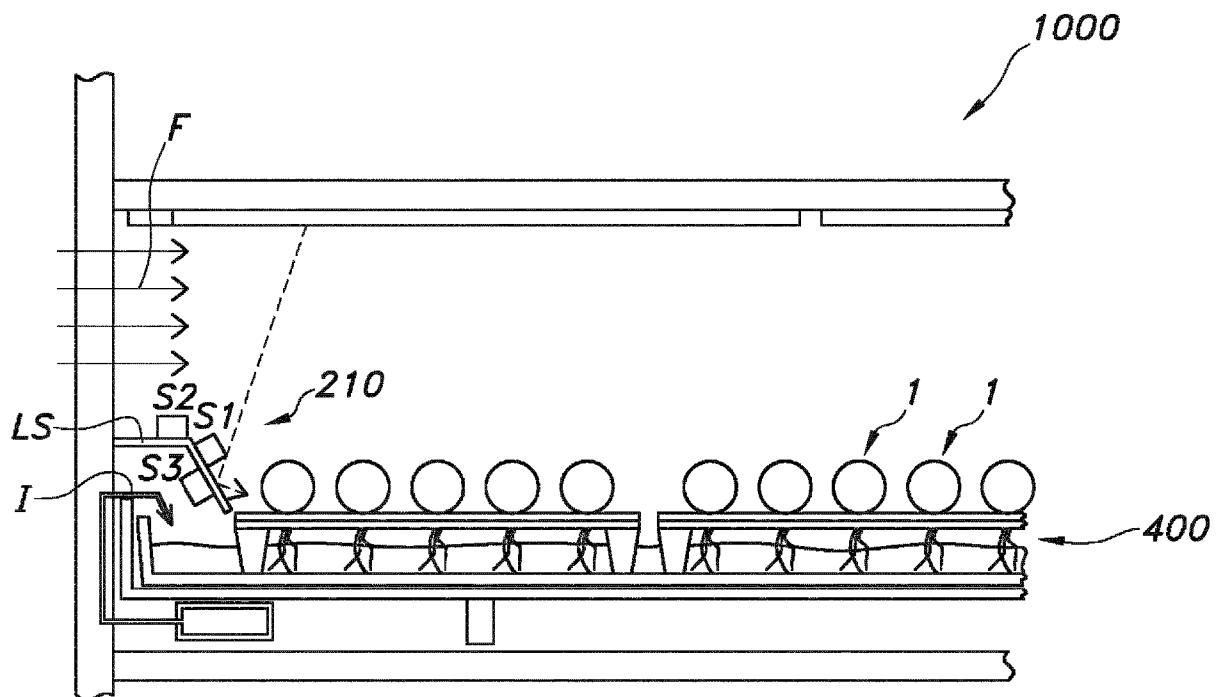


Figura 6