



植物工場運営 超入門

Shohei Imamura

PFBoost

Operación de Granjas Verticales: Guía para Principiantes

Índice

Introducción

- Estructura y uso del libro
- Autor

Capítulo 1: El futuro y las perspectivas de la granja vertical

- Qué es una granja vertical — separar los dos tipos
- Conocer el «ahora» de la granja vertical
- ¿Por qué acaba en números rojos la granja vertical?
- Cómo leer los números y las noticias del sector
- La realidad de la granja vertical rentable
- ¿Cuál es la diferencia decisiva con el cultivo al aire libre y la horticultura protegida?
- Entender la distancia entre la investigación y el campo
- Los tres roles del gestor de una granja vertical

Capítulo 2: Conocimientos básicos de manejo del cultivo

- ¿Cuáles son las claves para elegir el cultivo más adecuado para una granja vertical?
- El aprovechamiento de la iluminación LED
- La luz
- El sistema de hidroponía
- El manejo de la temperatura
- El manejo de la humedad
- El aprovechamiento del CO₂
- El manejo de la climatización y el viento
- El manejo del fertilizante
- El manejo de la solución nutritiva
- La quemadura de puntas
- La etiolación
- Para subir aún más de nivel el manejo del cultivo

Capítulo 3: La gestión de operaciones en la práctica

- ¿Por dónde se empieza a aprender la gestión de operaciones? Las tres capas: plántulas, cifras y personas
- Elaboración del plan de producción
- Siembra
- Producción de plántulas
- Trasplante y trasplante definitivo
- Cosecha y deshoje
- Trabajo posterior a la cosecha
- Gestión y formación del personal
- El rigor de la higiene de instalaciones
- Análisis de datos

Epílogo

Introducción

Una granja vertical no es un negocio que se gane solo con tener el equipo adecuado.

Entré en este sector en 2011, y desde entonces he pisado durante más de una década el día a día de más de diez granjas verticales de todos los tamaños. He visto a grandes empresas, con capital de sobra, tirar la toalla a los pocos años; y he visto instalaciones que, a base de mejoras pequeñas y constantes, llegaban a una rentabilidad estable. La diferencia casi nunca está en el equipo ni en los sistemas: está en cómo se trabaja sobre el terreno. Al lado del sensor más moderno, hay alguien que palpa las hojas con sus propias manos para ver cómo están. Eso, en el fondo, es una granja vertical.

Y eso, al final, solo se aprende sobre el terreno. Leer este libro no va a convertirte en un buen profesional de la noche a la mañana. Pero llegar con una idea clara de lo que sostiene el sector y el oficio hace que todo lo que aprendas luego en la práctica te entre mucho más rápido. Quien sabe para qué sirve la tarea que tiene entre manos, o qué le está diciendo ese número, le saca a un mismo día de trabajo algo muy distinto que quien se limita a mover las manos siguiendo instrucciones.

Por eso he reescrito este libro pensando en **algo que un jefe o un compañero veterano pueda poner en manos de un recién llegado y decirle: «Empieza por leerte esto»**. Una base para hacerse una idea de conjunto del sector y del oficio antes de pisar el campo.

Estructura y uso del libro

El libro se organiza en tres bloques.

- El **capítulo 1** da una visión general del sector de las granjas verticales: qué mundo es, cómo está hoy y dónde se separan los caminos.
- El **capítulo 2** sienta las bases del cultivo: luz, temperatura, solución nutritiva, lo esencial de cómo crecen las hortalizas.
- El **capítulo 3** entra en el día a día: qué tareas hay y en qué se fija el responsable de la instalación.

Si los lees en este orden, cuando llegues al campo sabrás en todo momento dónde estás situado dentro del conjunto.

Quiero dejar clara una cosa: este libro se dedica por entero a transmitir las bases del sector y del oficio, y no entra en **las decisiones que van un paso más allá y afectan directamente a la rentabilidad**: cómo dar con los valores óptimos, qué recortar para bajar costes, cómo diseñar los canales de venta, cómo valorar una inversión y demás. Eso pertenece al terreno del oficio que solo se saca de la experiencia, y de cada uno de esos puntos se ocupa el libro hermano, *172 consejos para mejorar la rentabilidad de tu granja vertical*. Cuando te hayas hecho con la visión de conjunto gracias a este libro, abre aquel cuando lo necesites.

Si le encontráis un uso, el que más me alegraría es que sirviera como material de formación para entregar a quien acaba de incorporarse. Podéis copiarlo y repartirlo con total libertad. Eso sí, los derechos de autor no se ceden, así que os pido que no modifiquéis el contenido.

Autor



Shohei Imamura

Entró en el sector de las granjas verticales en 2011. Como operario de campo y responsable del equipo de soporte, ha participado en la puesta en marcha y la gestión de más de diez granjas verticales de todos los tamaños. Ha formado a más de 600 personas.

De toda esa experiencia se llevó una convicción: lo que decide la rentabilidad de una granja vertical no es el equipo ni los sistemas, sino las habilidades y los conocimientos de quienes los manejan. Hoy trabaja por su cuenta, dedicado a la consultoría de mejora de rentabilidad, al soporte y a la creación de contenidos para granjas verticales.

Capítulo 1: El futuro y las perspectivas de la granja vertical

Bienvenido. Lo que estás a punto de pisar es el mundo de la «granja vertical», un mundo difícil de leer desde fuera. Llevo en este sector desde 2011 y, durante más de diez años, en más de diez instalaciones, he visto de cerca cómo se cultivan hortalizas de hoja en granjas verticales. El caos de las puestas en marcha, los cierres precipitados, las granjas verticales que seguían dando un beneficio modesto sin hacer ruido. En este capítulo, dirigido a ti que acabas de llegar al sector, quiero darte una visión completa de la industria, de principio a fin. Los detalles de cómo ganar dinero los dejo para los capítulos siguientes y para «172 Consejos»; aquí voy a recorrer de un tirón «qué es una granja vertical, en qué situación se encuentra hoy y dónde se bifurcan los caminos», como te lo contaría un veterano en el trabajo. No lo pienses demasiado. Léelo solo para hacerte una idea del contorno general.

Qué es una granja vertical — separar los dos tipos



Cuando la gente oye las palabras «granja vertical», la mayoría imagina una línea de fábrica. Aprietas un botón y salen productos estándar sin parar; basta con instalar el equipo para fabricar cualquier cosa en masa y barato: esa es la intuición con la que nos ha entrenado la fábrica industrial. Pero si entras con esa intuición intacta, lo normal es que malinterpretes lo que ves. Aunque dos instalaciones se llamen «granja vertical», lo que hay dentro puede ser tan distinto como dos seres vivos diferentes. Así que, antes que nada, ten a mano esa distinción.

¿Se usa el sol, o se fabrica todo con electricidad?

Hay una sola línea divisoria que importa. ¿Se usa la luz del sol, o se produce hasta la luz con electricidad?

El tipo que usa luz solar — lo que se conoce como **tipo invernadero** — piénsalo como una extensión del invernadero de plástico. La luz entra gratis por el techo. La parte de «fábrica» es todo lo demás: medir y controlar temperatura, humedad, CO₂ y riego. Es una instalación que no controla la luz, sino todo lo que no es luz.

El otro tipo, la **granja vertical completa**, prescinde del sol de raíz en una sala sin ventanas. Y, además, compra con electricidad la luz que antes era gratis y la reproduce por su cuenta. No solo la luz: también la climatización y la humedad se cubren por completo con electricidad para recrear el clima exterior dentro de la sala. Ese es el precio de desconectarse del aire de fuera. Donde yo pasé más de diez años fue en este tipo: instalaciones de granja vertical cultivando hortalizas de hoja. Cuando en este libro escribo «lo que he visto», entiéndelo, en principio, como algo que sucede dentro de ese ámbito. El tipo invernadero y los casos de hortalizas de fruto o grandes instalaciones en el extranjero los menciono aquí solo como estimaciones a partir de publicaciones y de principios generales.

En este libro, salvo que se indique lo contrario, cuando digo «granja vertical» me refiero a la granja vertical completa. También es donde suele destinarse a los recién llegados.

Por qué los cultivos posibles se concentran en hortalizas de hoja

Lechuga, espinaca, baby leaf. Lo que se oye en las conversaciones sobre granjas verticales son, casi siempre, hortalizas de hoja. La razón se desprende directamente de la restricción de comprar la luz con electricidad. Las hortalizas de hoja no necesitan mucha luz, son bajas y se pueden apilar en varios niveles de estantería. Su período de crecimiento, además, es corto. Por eso justifican, a duras penas, el coste de producir luz con electricidad.

Con los cultivos que dan fruto, en cambio, el orden de magnitud cambia. Las plantas fructíferas como el tomate necesitan mucha luz, y cuanto más crecen en altura, más le cuesta a la luz llegar a las hojas inferiores, con lo que la eficiencia cae. Con cereales básicos como el arroz o el trigo es aún más extremo. Por eso, lo que se puede cultivar comercialmente bajo luz artificial completa se limita, por ahora, sobre todo a las hortalizas de hoja bajas.

Aquí es donde la palabra «fábrica» te traiciona. Una fábrica corriente te permite fabricar una gama más amplia de productos cuanto más equipo instalas, pero la luz artificial completa de una granja vertical funciona al revés: si acaso, el abanico de lo que puedes producir se estrecha. Y lo que crece dentro son seres vivos, así que no puedes pausar la línea porque haya caído la demanda y reanudarla luego desde el mismo punto. Una vez sembrada la semilla, se venda o no, crece al ritmo de su propio desarrollo. No es un dispositivo para fabricar cualquier cosa en masa y barato, sino uno para sacar un conjunto limitado de cultivos de forma estable, al margen del clima: no una fábrica que amplía volumen, sino una que elimina las fluctuaciones.

No apliques directamente los números del sector a tu caso

Cuando empiezas a investigar «cómo está realmente el sector de las granjas verticales», lo primero que te queda en las manos son, por lo general, números. «La tasa de pérdidas es de tanto por ciento». «La inversión inicial asciende a tantos miles de millones». En este libro también veremos más adelante esos números del sector. Pero déjame decir algo de antemano: un número así, por sí solo, no puede servir de vara de medir para tu propio proyecto tal cual. Es un promedio que pone en una sola fila cosas que difieren en tipo, cultivo y escala. No hay ninguna garantía de que tu combinación encaje en una tasa de pérdidas que metió en el mismo saco la lechuga de luz artificial completa, el tomate de tipo invernadero y una pequeña instalación casi de afición, todo bajo la etiqueta «granja vertical». Cómo leer los números en sí los trataré de nuevo en una sección posterior.

El orden en que verificar las cosas

Por último, una sola cosa como base. Cuando investigas las granjas verticales, si intentas decidir primero por el tipo, lo normal es que acabes perdido. Mi recomendación es la inversa: empieza por la **salida**. Quién va a comprar qué, por qué y a qué precio. Una vez definido eso, se define el **cultivo** que necesitas; una vez definido el cultivo, el **tipo** queda prácticamente acotado por la intensidad lumínica y la altura de planta que se requieren; y solo entonces puedes leer los **números** de otros, eligiendo únicamente los casos cuyas condiciones coincidan con las tuyas. Salida, cultivo, tipo, números. Mientras no rompas este orden, no te equivocarás de lleno.

En qué canal de venta resulta rentable cada cultivo: ese juicio es el propio diseño de ingresos, así que en este libro me detengo en la entrada y dejo el análisis más a fondo para «172 Consejos». Por ahora: que existen dos tipos, la razón por la que se concentra en hortalizas de hoja, y que los números hay que separarlos antes de leerlos. Con estas tres ideas, vamos a ver el «ahora».

Conocer el «ahora» de la granja vertical

Entré en el sector de las granjas verticales en 2011, en el período de lo que se llamó el «boom de las granjas verticales». Las grandes empresas entraban una tras otra, se construían nuevas granjas verticales en todo el país y los medios de comunicación lo cubrían como «la agricultura del futuro».

Sin embargo, lo que vino después no fue como se esperaba. Incluso grandes empresas con músculo financiero y una marca reconocida se retiraron en pocos años, una tras otra. Instalar el equipo más avanzado no resultó ser sinónimo de éxito. La fiebre constructora de entonces se calmó, y la forma en que el tema sale hoy en las conversaciones también ha cambiado.

Por qué vuelve a llamar la atención ahora

Aunque no pararon las noticias de retiradas, el interés por las granjas verticales ha vuelto a crecer, si cabe con más fuerza, en estos últimos años. La razón es clara: poder conseguir alimento de forma estable — lo que se llama seguridad alimentaria — es una preocupación que crece en todo el mundo.

El detonante suele ser un momento en que «puede que deje de llegar alimento de fuera». Cuando una enfermedad infecciosa paraliza la logística, cuando un conflicto desestabiliza las rutas de transporte, las consultas sobre granjas verticales aumentan cada vez. Ese patrón se repite una y otra vez. Una granja vertical no es tanto una tecnología para reducir los costes de transporte como una que permite seguir produciendo sin depender de él. Aunque la logística se pare, dentro de la instalación se puede seguir produciendo. Por eso se revaloriza, de nuevo, como «un medio para producir alimentos dentro del propio país, sin estar a merced del clima ni de la situación internacional».

Esto se nota con más fuerza cuanto más lastrada está una región por un entorno poco apto para la agricultura. Donde el clima y el suelo no sirven para cultivar, el agua escasea y gran

parte de los alimentos depende de las importaciones, la granja vertical es menos una opción empresarial que algo directamente ligado a una cuestión de escala nacional: cómo asegurar el suministro de alimentos. La vara de medir la rentabilidad es, desde el principio, distinta a la de un país como Japón, donde el asunto suele plantearse desde el ángulo de «la electricidad es cara, así que no compensa». En regiones donde cultivar al aire libre ya es difícil de por sí, el inconveniente del «alto coste de la granja vertical» pesa relativamente menos, y resulta más fácil que se sostenga como negocio. Las ventajas y los inconvenientes de una granja vertical cambian de aspecto según dónde y quién los mire.

Dicho esto, no todo son buenas noticias. La granja vertical depende de las importaciones para buena parte de su equipo y sus materiales: iluminación LED, sistemas de control, sustratos, tuberías. Justo porque el alimento deja de llegar cuando el transporte se interrumpe se quiere construir la instalación, pero los materiales para construirla también están a merced del transporte; esta contradicción es algo que hay que reconocer con honestidad. El asunto no está tan resuelto como para zanjarlo con un «y por eso, la granja vertical».

Leer a las empresas entrantes no por «número» sino por «dónde ganan»

Cuando se concentra la atención, también aumentan las ocasiones de observar el reparto de empresas que entran. Titulares como «otra gran empresa entra» y «aquella empresa también se retira» aparecen cada cierto tiempo.

En esos momentos, uno tiende a juzgar por el número: «si se juntan tantos, debe de ser prometedor». Pero fíjate bien en el reparto y notarás que el perfil es muy variado. Hay fabricantes que de origen hacían semiconductores o electrónica; hay otros que vienen de la restauración o la distribución; y hay recién llegados como las startups agrícolas. Aunque lo cuentes todo como «X empresas han entrado», más a menudo de lo que parece no es más que una mezcla de gente que en realidad está haciendo cosas distintas.

La forma de verlo con la que me he quedado es dividir las en tres capas según dónde sitúan sus ingresos, es decir, «dónde ganan».

La primera es la **capa que gana vendiendo equipo e instalaciones**. Abundan los fabricantes y, para ellos, las hortalizas son casi una demostración pensada para lucir la capacidad de su propio equipo. Lo que quieren vender es el dispositivo, no las hortalizas en sí: ese tipo de empresas llama la atención. La segunda es la **capa que vende fuera las**

hortalizas que produce. Aquí están las startups agrícolas y los operadores especializados, compitiendo de verdad en «el precio de las hortalizas». La tercera es la capa que, como la restauración y la distribución, **produce para uso propio.** Esta ni siquiera compite vendiendo hortalizas en el mercado.

Estas tres, aunque compartan el cartel de «hacer granjas verticales», difieren por completo en con quién compiten y en las condiciones bajo las que surge el beneficio. Así que, por muchas que sean las empresas, no se sigue que la competencia sea feroz. Lo que importa es cuánta cantidad de cada capa se concentra alrededor del canal de ventas al que tú apuntas. Si las capas que venden hortalizas se pelean por la misma estantería del supermercado, entonces esa estantería sí está saturada. Pero los fabricantes que quieren vender equipo no compiten mucho en esa estantería. El número «X empresas entraron» casi no te dice nada sobre lo concurrido que está el canal de ventas en el que intentas entrar.

Mientras eres nuevo, con leer hasta aquí basta. Cuando veas cifras de entradas y salidas en las noticias, adquiere el hábito de pararte y clasificarlas: «¿es esto una historia de vender equipo, de vender hortalizas o de usarlas en casa?». Solo con eso, el panorama del sector cobra bastante más relieve. A qué franja apunta tu empresa y dónde hay huecos: discernirlo de verdad y actuar es, a partir de ahí, una decisión de gestión, así que en este libro me detengo en la entrada y dejo la lectura más a fondo para «172 Consejos».

Lo que ha cambiado, lo que no ha cambiado

En estos más de diez años, algunas cosas han cambiado, sin duda. El rendimiento de la iluminación LED ha mejorado enormemente. Cuando llegué al sector, todavía había granjas verticales que usaban fluorescentes. La gestión de los datos de cultivo y la optimización de los sistemas también han avanzado. En el plano técnico, el progreso ha sido constante.

Otras cosas no han cambiado. Lo que siento con fuerza tras más de diez años en este sector es que **lo que rige la rentabilidad de una granja vertical no es el equipo ni el sistema, sino las «personas» que los hacen funcionar.** Junto al sensor IoT más moderno, un operario comprueba a mano el estado de las hojas. Junto al control ambiental de la IA, la «intuición» de un veterano sigue contando. La granja vertical es esa clase de lugar.

Aun así, la granja vertical tiene posibilidades

Honestamente, no creo que sea una situación para el optimismo. Aun así, hay granjas verticales que dan beneficio incluso en condiciones difíciles. Lo que tienen en común es saber «cómo hacer funcionar el equipo».

No la calidad del equipo, sino hasta qué punto el personal de producción entiende el cultivo y con qué constancia acumula criterio día a día. He visto, una y otra vez, granjas verticales que cambiaron muchísimo a partir de la mejora más pequeña.

Producción estable sin depender del clima, alta productividad en terreno limitado, una reducción notable del uso de pesticidas. Estas fortalezas tienen valor en muchas regiones. Y mientras la demanda de asegurarse el propio suministro de alimentos siga creciendo en el mundo, las situaciones en que esta tecnología hace falta aumentarán todavía más. En este libro transmitiré, como visión de conjunto, el conocimiento básico que constituye esa base.

Pero, aunque se hable de posibilidades, la realidad no es tan sencilla. A continuación veremos de frente el otro lado, «la dura realidad»: por qué tantas granjas verticales sufren en números rojos.

¿Por qué acaba en números rojos la granja vertical?

Posibilidades aparte, la realidad es que muchas granjas verticales se ven obligadas a una gestión difícil.

- «La inversión de capital costó demasiado».
- «Las hortalizas no crecen como esperaba».
- «Las produce, pero no se venden».

Son frases que se oyen a menudo en el sector. ¿Por qué sufren tantas granjas verticales en números rojos?

Lo primero que hay que tener claro es que la etiqueta única de «la granja vertical es un sector deficitario» es lo que más nubla el juicio. De tanto ver titulares como «el 60 % está en pérdidas», uno acaba dando por hecho que «así es este sector». Pero cuando miras las granjas verticales una a una, hay unas con beneficio y otras con pérdidas, y empiezas a ver de dónde viene esa diferencia. Lo que siento, tras haber trabajado más de diez años en instalaciones de granja vertical y en más de diez lugares, es que la verdadera línea divisoria no es a qué sector pertenece, sino «cómo está montada».

Las «pérdidas de la fase de arranque» y las «pérdidas estructurales» son cosas distintas

Decimos «pérdidas» de un tirón, pero ahí dentro hay cosas de naturaleza distinta. Meterlas todas en el mismo saco con un «está en rojo, así que no vale» es lo más peligroso.

Una es la pérdida de la fase de arranque. El equipo de una granja vertical se deprecia aunque no esté funcionando. En la fase de arranque, las estanterías están vacías durante algunos meses y el rendimiento, al principio, suele quedar por debajo del valor previsto. Por eso los primeros años tienden a ser deficitarios. Pero esta es una pérdida que se reduce cada mes a medida que sube la tasa de utilización y se estabiliza el rendimiento. Se puede decir que es una etapa normal del proceso en que la inversión avanza hacia su recuperación.

La otra es la pérdida estructural. La utilización y el rendimiento han subido todo lo que iban a subir, pero el tamaño de la pérdida no se mueve. Esto ya no es un problema de arranque; es una pérdida decidida en la fase de diseño, de la que no escapas mientras produzcas ese cultivo con ese equipo.

Lo que hay que mirar no es el signo de si está en pérdidas, sino en qué dirección se mueve esa pérdida con el tiempo. Si se reduce con el paso del tiempo, es una pérdida de la fase de arranque. Si no se mueve, es estructural. Lo que la primera necesita es liquidez y paciencia; lo que la segunda necesita es replantear el cultivo o retirarse: lo que hay que hacer es completamente distinto.

Las tres palancas que mueven la rentabilidad

Entonces, dentro de ese «cómo está montada», ¿qué es lo que decide la rentabilidad? Las listas de ventajas e inconvenientes se ramifican en muchos puntos, pero las palancas que de verdad mueven la rentabilidad se reducen, en última instancia, a tres. **Electricidad, canales de venta y la fuerza del equipo.** El grueso del dinero que sale es la electricidad; lo que limita el dinero que entra es el canal de ventas; y lo que al final inclina la balanza de ambos es la fuerza del equipo: cuánto se puede llegar a cosechar de verdad en el campo.

Estas tres son de naturaleza distinta. La electricidad y los canales de venta se pueden fijar sobre el papel antes de empezar las obras. A qué precio se contrata la electricidad, qué se produce y a quién se vende: esto se puede decidir de antemano, en la fase de planos y contratos. La fuerza del equipo, en cambio, es un multiplicador que solo entra en juego una

vez que se ha echado a andar. Con el mismo equipo, el mismo precio unitario de electricidad y el mismo canal de ventas, tanto la cantidad cosechada como la calidad cambian por completo según cómo se gestione el equipo. Por eso la fuerza del equipo es la variable que acaba marcando la rentabilidad al final, y hay que tenerla controlada aparte.

El orden importa. Por encima de todo, lo primero que hay que mirar es el canal de ventas. De las tres, es la que más fácilmente se aplaza y la más imposible de recuperar. La diferencia se aprecia bastante bien con una pregunta: «Antes de producir, ¿se ha decidido quién compra cuánto, a qué precio, cada semana?». Un proyecto que no pueda responder a esto con números es peligroso, por espléndido que sea su equipo. Por el contrario, si esto está cubierto, desde ahí se puede calcular a la inversa la escala necesaria y el techo de costes fijos que te puedes permitir. Si el orden está invertido — el equipo va primero y luego se busca comprador —, eso ya es un síntoma del lado deficitario.

Aquí déjame mencionar una contradicción que se ve a menudo en el campo. Entre las granjas verticales en pérdidas, aparece mezclada, curiosamente, alguna «instalación magnífica». Las que han instalado el equipo más moderno y operan a mayor escala pueden ser precisamente las que parecen más hundidas en el rojo. Según la lógica corriente, cuanto mejor el equipo, mayor debería ser la ventaja; y sin embargo. El truco es sencillo: si se instala el equipo primero sin calcular a la inversa desde el canal de ventas, esa inversión se convierte en un coste fijo que pesa antes de que se genere ninguna venta. Los LED, la climatización, la línea automatizada: la depreciación mensual corre incluso con una tasa de utilización de cero. No es que la magnificencia en sí provoque el rojo; es que el equipo se adelanta mientras el canal de ventas se queda atrás, y eso aflora de forma llamativa.

Un desafío tiene una «capa de techo» y una «capa de tasa de alcance»

Dicho de otra manera, los retos de una granja vertical se dividen en dos capas.

Una es la capa que decide el simple techo de beneficio al que la granja vertical puede llegar en un año. «Qué producir y dónde venderlo»: la combinación de cultivo y canal de ventas decide en silencio, en el momento en que empiezan las obras, el límite superior de costes que la granja vertical puede soportar. Una vez construida, ningún esfuerzo en el campo lo recupera.

La otra es la capa que decide hasta qué punto se puede acercar el resultado real a ese techo ya fijado. Cómo se usa la electricidad, cómo se reparte el personal, el rendimiento. El funcionamiento diario está aquí. Los problemas que surgen en el campo pertenecen a esta capa, y su cometido es elevar la tasa de alcance hacia el techo fijado arriba.

Así, en cuanto al orden: antes de construir, se sube el techo en la capa superior; después de construir, se cosecha a través del funcionamiento. Un fallo habitual es intentar recuperar solo con el funcionamiento mientras el techo sigue bajo. Esa sensación de juego del topo — que bajar la electricidad hace caer el rendimiento, y recortar personal deja otras cosas desatendidas — surge normalmente cuando se intenta recuperar solo con el funcionamiento, sin tener en cuenta las restricciones aguas arriba. Antes de ponerte a dar martillazos, ve a ver una vez «qué elección aguas arriba provocó este síntoma». Sobre esa base, ajusta el funcionamiento. Es una cuestión de orden.

La electricidad es tanto el mayor coste como la mayor carga ambiental

De las tres palancas, la electricidad tiene algo especial. Es, a la vez, una de las partidas más grandes del dinero que sale y el mayor factor de la carga ambiental de una granja vertical. Tanto por el lado del coste como por el lado ambiental, todo acaba remitiendo a la electricidad.

Esto viene de la naturaleza del método de granja vertical. La luz que el campo al aire libre recibía gratis del sol, la granja vertical la compra con electricidad. Por eso, en una granja vertical, la electricidad representa entre el 20 y el 40 % del coste de producción, y la mayor parte de esa electricidad se la lleva la iluminación. Comparada con el campo al aire libre, la energía por unidad de cosecha es muchísimo mayor. Lo que pesa como coste pesa, por eso mismo, como carga ambiental. La razón por la que las medidas para reducir la electricidad recortan a la vez la factura eléctrica y la carga ambiental está en esta estructura.

Dicho esto, aquí hay algo que conviene tener presente: las partidas se mueven juntas. Si, por reducir la electricidad, se aprietan demasiado la iluminación o la climatización, la mayor densidad de plantación puede hacer que se acumulen humedad y calor y se dañen las hojas inferiores, o que aumenten las pérdidas en el proceso de selección; y se puede perder más en rendimiento que lo ahorrado en la factura eléctrica. El coste no es algo que se pueda recortar en cualquier partida por separado; entran en juego el orden en que se recorta y el criterio de

hasta cuánto recortar. La forma concreta de tomar esas decisiones queda fuera del alcance de este libro. El cálculo de los valores óptimos y el criterio sobre la reducción de costes, el diseño de los canales de venta, el criterio sobre la inversión: esos análisis más a fondo, directamente ligados a la rentabilidad, se tratan en detalle en el volumen complementario «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de la Granja Vertical». Aquí basta con captar la entrada al modo de pensar: ver el rojo no por el signo sino por la pendiente, que la rentabilidad la deciden los tres factores de electricidad, canales de venta y la fuerza del equipo, y que un reto tiene una capa de techo y una capa de tasa de alcance.

Cómo leer los números y las noticias del sector

Una vez que la estructura del rojo empieza a verse, son los números e informaciones del sector que circulan por ahí los que empiezan a llamar la atención. En el campo te llegan aunque no quieras. «El mercado es del orden de X mil millones». «La mitad está en pérdidas». «Una empresa grande vuelve a retirarse». Un veterano puede pasarte un informe y decirte «léete esto». El problema es que, en cuanto intentas aplicar cualquiera de esos números a tu propia granja vertical, algo no encaja. Cuanto mayor es el número que miras, más parece que no sirve para la decisión que tienes justo delante en el campo. Ese desajuste tiene su razón de ser. Aquí te daré una vara de medir para no dejarte llevar por los números. La lectura a fondo la dejo para «172 Consejos»; aquí, solo la entrada.

«La mitad está en pérdidas» señala un promedio que no existe

Lo primero que llama la atención es esa única línea: «la mitad de las granjas verticales están en pérdidas». Es frecuente saber de casos en que este número ha frenado a alguien a la hora de entrar o ampliar. Pero es un promedio que mete en el mismo saco la granja vertical y el invernadero, las hortalizas de hoja y las de fruto. La estructura de rentabilidad es completamente distinta en cada caso, así que el promedio apunta a un «algún lugar» que no existe y no te dice nada sobre en qué lado estás tú.

De hecho, incluso en encuestas recientes sobre la situación real, cuando se separa por tipo, el paisaje apunta en sentido contrario. La granja vertical sigue teniendo alrededor de la mitad en el lado deficitario, y su cultivo principal son las hortalizas de hoja del tipo lechuga. Sin embargo, en esa misma encuesta, cuando se mira hacia el invernadero, más del 70 % está en

números negros o en equilibrio, y aquí el cultivo principal son las hortalizas de fruto como el tomate. Contado en torno a la lechuga es «la mitad en pérdidas»; por el lado del tomate, los beneficios son mayoría. El mismo «granja vertical», pero con solo separar la muestra por tipo y cultivo, el titular y el paisaje se intercambian.

Por eso, cuando veas una tasa de pérdidas en un informe del sector, comprueba primero «¿qué tipo y qué cultivo cuenta este número?». Esta es la primera vara de medir.

Una noticia de retirada no mide las perspectivas futuras de esa granja vertical

Cuando entré en el sector, el campo se agitaba cada vez que llegaba la noticia de la retirada de una empresa grande. «Así que realmente no funciona». Pero cuando examinas desde fuera el fondo de una retirada, la historia técnica de «las hortalizas no crecían» casi nunca sale a la luz. Lo que sale es la factura de electricidad que se fue haciendo más pesada poco a poco, los compradores que no crecieron tanto como se esperaba, las personas que no aguantaron. Lo que se para no es la tecnología de producción, sino que la operación deje de sostenerse año tras año.

Si es así, medir «el sector ha terminado» por el ambiente del día en que llega una noticia de retirada es errar el tiro. Que el sector en su conjunto crezca o se acabe, y que la granja vertical concreta que tienes delante se sostenga, son preguntas distintas. Cuando miras un caso desde fuera, lo que te sirve de apoyo es cómo sostiene esa granja vertical las cuatro cosas: electricidad, capital, canales de venta y personas. ¿Dónde, a qué precio y con un contrato a cuántos años consigue la electricidad? ¿El capital tiene trazado un plan más allá de cuando se agoten las subvenciones? ¿Los compradores no están concentrados en uno solo? ¿Las personas no se renuevan sin parar? Aunque no puedas asomarte dentro, este contorno sí se puede leer desde fuera.

Dicho esto, ir más allá y apostar «así que se va a retirar» es imposible. Esas mismas señales suelen estar presentes también en granjas verticales que siguen tranquilamente en números negros. Lo que la forma exterior te dice es, como mucho, candidatos a puntos débiles.

Piénsalo como leerla no para predecir, sino para ver la fragilidad de antemano.

El beneficio de una empresa cotizada es un beneficio ganado por su negocio principal

También puede que tomes el nombre de una empresa cotizada como referencia, pensando: «para granjas verticales, esta empresa». Si los resultados están en números negros, puedes quedarte tranquilo de momento y seguir; pero ¿de dónde viene ese beneficio? Cuando pones en fila los datos de segmento de las empresas cotizadas que hacen granjas verticales, aparece una forma común a muchas de ellas. La parte de granja vertical está en pérdidas, pero la empresa en su conjunto está en números negros. El negocio principal es un fabricante de electrónica, una siderúrgica o una logística que gana sólidamente allí, y tiene la granja vertical a modo de nuevo negocio. En otras palabras, lo que estás viendo no es la viabilidad del negocio de la granja vertical, sino la hondura de los bolsillos del negocio principal. Cuando yo mismo estaba en la operación de una granja vertical, a veces sentía en los huesos ese ambiente de «este negocio está protegido por la empresa matriz». Mientras el negocio principal gana, hay granjas verticales que, en efecto, no tienen motivo para parar aunque estén en pérdidas.

Con la cotización pasa lo mismo. Al ver el titular «sube la acción de las granjas verticales», uno quiere leerlo como el empuje del sector, pero lo que se está comprando es, en última instancia, el negocio principal. No se puede separar de ninguna valoración de la granja vertical. Antes de quedarte tranquilo con los números de toda la empresa o con la cotización, la vara de medir es si puedes mirar esto por separado: ¿por la expectativa de quién y de qué tipo se sostiene la granja vertical en sí misma?

El éxito extranjero lo crea la ubicación, no la instalación

Al leer un artículo sobre una visita a Singapur o a los Países Bajos, ¿no has llegado a pensar a medias «y si hiciéramos esto en Japón...»? Alto rendimiento de cultivo, recuperación rápida de la inversión. Pero, cuando intentas trasladar los números al plan, la mano se te frena de golpe. Las premisas sobre la factura de electricidad son, desde el principio, distintas.

La razón por la que esos polos pioneros crecieron parece estar no tanto dentro de la instalación como del lado del propio país. Singapur sitúa la autosuficiencia alimentaria en el centro de su seguridad y reparte subvenciones, creando demanda por política nacional. Los Países Bajos tienen de base una cultura de invernaderos de la época en que el gas natural era barato y, encima, el vasto mercado europeo está justo al lado, unido por tierra.

Electricidad barata, subvenciones generosas, un canal de ventas grande cerca: lo que ha

crecido son los lugares donde se superpusieron a la vez varias de esas condiciones de ubicación; no es que la instalación fuera excepcionalmente superior. El precio unitario de la electricidad en Japón es estructuralmente alto, las subvenciones son puntuales y difíciles de prever, y no hay una estantería grande donde la lechuga de una granja vertical encaje con facilidad. Construir solo la misma instalación no dará el mismo resultado.

Por eso, los casos del extranjero no hay que leerlos como un ranking de «qué país imitar», sino poner una al lado de la otra las premisas de allí y las de Japón y ver en qué se diferencian. Ver la frontera entre las condiciones que se pueden trasladar y las que no. Esta es la cuarta vara de medir.

Usa los números en dos etapas

Llegado a este punto, empiezas a sentir que ese total de «mercado de X miles de millones» que mirabas al principio ya no hace falta mirarlo. Pero no hay que descartarlo. Solo hay que cambiarle la función.

El total no es un número que responda «si puedo ganar yo», sino uno para leer «si en este mercado va a entrar más gente a partir de ahora». Dónde se vende y el precio del equipo no los decides tú solo; se mueven a medida que aumentan las entradas. Y que ese crecimiento se esté dando en las hortalizas de fruto del invernadero o en las de hoja de la granja vertical cambia por completo cómo aterriza en tu propio campo. Si han aumentado los productores que apuntan al mismo canal de ventas que tú, la oferta sube y empuja a la baja el precio de venta. Así que conserva el total como la entrada para leer la magnitud y la dirección de las entradas: la dirección del viento, vaya.

En cuanto al orden: capta la gran corriente con el total y decide lo de tu propia granja vertical con los números de tu propio bloque; esta es la postura en dos etapas. Los números e informaciones del sector no son tu respuesta en sí; úsalos para leer hacia dónde van a inclinarse de aquí en adelante las premisas sobre las que descansa tu respuesta. Si lo planteas así, evitarás que te zarandeen una a una tanto las noticias de retiradas como el tamaño del mercado. Cómo colocar los números de tu bloque y cómo afinar el precio de venta y la escala: los movimientos concretos se tratan en detalle en «172 Consejos».

La realidad de la granja vertical rentable

En la lectura de números dije «decídelo en tu propio bloque». Entonces, las granjas verticales que de verdad están dando beneficio en ese bloque, ¿qué tienen de distinto? Solo hemos visto historias de pérdidas, pero en ese mismo sector hay granjas verticales que sin duda ganan dinero. Si conviertes esto en la búsqueda de un patrón ganador — «hazlo como aquella empresa y ganarás» —, lo normal es que te hagas la zancadilla a ti mismo. La realidad de las granjas verticales que ganan dinero está en un lugar algo más discreto y algo más honesto.

Un caso de éxito no es un «patrón ganador» sino un «paquete de condiciones»

Cuando escuchas a un operador del mismo sector decir «conseguimos entrar en números negros con la lechuga», te entran ganas de saber cómo: «¿cómo lo hicisteis?». La persona habla con detalle del rendimiento y de los canales de venta. Pero cuanto más escuchas, menos parece que puedas copiarlo tal cual en tu propio sitio. La ubicación es otra, las condiciones de la factura eléctrica son otras. Esa sensación de «cuanto más escucho, menos reproducible parece» es la reacción más honesta.

El caso de éxito de una granja vertical no es un patrón ganador que se pueda copiar, sino un **«paquete de condiciones» que solo funciona cuando la ubicación, la fuente de energía, el canal de ventas y el cultivo encajan por casualidad**. Así que, si difiere aunque sea una sola condición, el mismo método da un resultado distinto. Quien habla no lo hace con mala intención. La ubicación tenía la suerte de contar con buen clima y buen terreno, había cerca un canal de ventas que compraba de forma estable: esas «premisas que ya estaban ahí» son, para esa persona, demasiado obvias para mencionarlas, y por eso desaparecen sin más de la historia de éxito.

Estas cuatro no son un marco exhaustivo que pretenda cubrir todas las condiciones del éxito. Son la primera vara de medir para descomponer un caso según «si se puede copiar o no». Ubicación y fuente de energía son condiciones que se deciden al principio y son inamovibles; canal de ventas y cultivo son condiciones que se pueden reconfigurar después. Primero, desata el paquete por esta línea. Y lo que no hay que olvidar es que hay una capa más. Aunque las cuatro condiciones estén en su sitio, si se va la gente que lo hace funcionar, la calidad se viene abajo. **Tanto el éxito como el fracaso son el mismo paquete de condiciones, más la fuerza del equipo que lo hace funcionar, vistos desde un lado**

distinto.

Los casos de fracaso son exactamente los que te enseñan la condición que falta

Las granjas verticales que se retiraron no se acumulan como casos de estudio. Lo que sale a la superficie son solo las historias de las que entraron en números negros, y las granjas verticales que desaparecieron tienden a despacharse con la frase «fue un error en la decisión de gestión». Pero esta forma de despacharlas es, en el fondo, lo mismo que copiar entero un caso de éxito. En la historia de éxito desaparecen las «premisas que estaban en su sitio». En la historia de fracaso, la «condición que faltaba» se sustituye por la frase «un error en la decisión de gestión», y queda oculta detrás de ella. Solo cambia el sentido; es la misma trampa.

El coste energético de la zona resultó mayor de lo previsto, había un solo comprador y apretó los precios, el cultivo elegido no se podía producir de forma estable con la calidad que exigía ese canal de ventas: cuando en realidad faltaba desde el principio una de las cuatro — ubicación, fuente de energía, canal de ventas o cultivo —, la cosa acaba convertida en una historia sobre la capacidad de una persona: «la decisión del director fue floja». Haz eso, y lo que queda es la peor lección de todas: «yo soy excelente, así que tranquilo».

Dicho esto, tampoco hay que irse al extremo contrario. También hay derrumbes donde las cuatro condiciones estaban en su sitio, pero la persona que llevaba el arranque se fue y el rendimiento cayó, o entró una vez una enfermedad y el ciclo de las estanterías se paró. Esto no es «faltaba una condición», sino un fracaso donde «se vino abajo el lado que hacía funcionar el paquete». Por eso un caso de fracaso se lee exactamente igual que uno de éxito. ¿Cuál de las cuatro faltaba e hizo caer el conjunto? ¿O estaban las cuatro en su sitio pero se vino abajo el lado que lo hacía funcionar? Aunque cuesta conseguirlos, los casos de fracaso son en realidad el material de aprendizaje más rico de todos.

Detrás de los números negros hay premisas que no se dicen

Otra cosa peliaguda es que detrás de las cifras de beneficio y rendimiento de las que se habla en los casos de éxito se esconden premisas que nunca salen a la superficie. Menciono solo tres representativas. La primera es la composición de las subvenciones. ¿Son números negros logrados sobre las ventas, o números negros logrados con una subvención que cubre algún porcentaje de la inversión inicial? La segunda es la densidad de personal. Si esos

números negros se apoyan en el trabajo casi no remunerado del director o de la familia, sin contabilizarlo como coste de personal, se vienen abajo en cuanto se va una sola persona. La tercera son las condiciones contractuales del canal de ventas. Si ese «nos lo compran» es poco más que un acuerdo verbal que se renueva cada año, entonces la condición que llamamos canal de ventas es mucho más frágil de lo que parece.

Estas son partes que no se pueden completar sin preguntar directamente a los implicados. Lo que puede hacer el lector es leer la forma exterior (ubicación, escala, cultivo, si se usaron subvenciones) como un hecho, y dejar el contenido en forma de preguntas, con la etiqueta de «esto es una estimación» puesta. En cuanto crees que puedes dictaminar la causa de la victoria o la derrota solo con información pública, ya has malinterpretado el caso. Y esas mismas cuatro columnas se pueden trazar también para la propia empresa. Pon en fila las premisas del caso junto a la ubicación, la fuente de energía, el canal de ventas y el cultivo de tu propia empresa, una por una. La pregunta cambia de «¿puedo copiarlo?» a un juicio de aplicabilidad: «¿puedo reproducir esta premisa en mi empresa?».

La sustancia de «ganar dinero» se profundiza a partir de aquí

Hasta aquí llega la postura para leer las granjas verticales que ganan dinero. Entonces, para ganar dinero de verdad en tu propia granja vertical, ¿dónde se actúa? Cada uno de esos pasos queda fuera del alcance de la introducción de este libro. Aquí solo dejaré ordenada la entrada al modo de pensar; todos estos son temas que este libro no profundiza y que el volumen complementario «172 Consejos» trata uno a uno.

- **La rentabilidad se decide más aguas arriba que aguas abajo.** El beneficio de una granja vertical tiende a fluir hacia la capa de arriba, la que vende equipo y know-how, más que hacia el cultivo en sí.
- **La rentabilidad cambia según dónde te posiciones.** El equipo que altera tus propias premisas de ubicación y escala, como el tipo de contenedor, tiene cosas que le convienen y cosas que no.
- **Los números negros de un solo año y la recuperación acumulada son cosas distintas.** Aunque un año concreto esté en números negros, cuándo se termina de recuperar la inversión inicial es una historia completamente aparte.

- **Entre los costes, los hay que se pueden recortar y los que no.** Dónde se puede recortar en la inversión inicial, y dónde, si recortas, te pasa factura después.
- **Asegura primero el canal de ventas.** En lugar de empezar por el cultivo, decide primero el canal de ventas que compra de forma estable y calcula el cultivo a la inversa.
- **La fortaleza del tipo urbano no es la cercanía, sino el mantenimiento del precio unitario.** El valor de producir cerca de una ciudad no está en la corta distancia de transporte, sino en el precio al que se puede seguir vendiendo.

Si comprimo la realidad de las granjas verticales que ganan dinero en una sola línea, es esta: **no la novedad del equipo ni la escala, sino si se lee el paquete de condiciones hasta el final y si existe un equipo de campo que lo haga funcionar.** Y cuál de ellas mover: capta la visión de conjunto en esta introducción y luego compruébalas una a una en la colección de consejos.

¿Cuál es la diferencia decisiva con el cultivo al aire libre y la horticultura protegida?

He llevado la conversación sobre la rentabilidad hasta aquí, pero por qué la rentabilidad tiene esa estructura se aclara cuando se mira qué diferencia a una granja vertical del resto de la agricultura. Mientras eres nuevo, tiendes a pensar «son las mismas hortalizas que producimos, así que lo que hacemos será parecido». Pero en realidad difiere desde la raíz misma. La diferencia es fácil de ordenar si se mira a lo largo de dos grandes ejes: **hasta qué punto tomas el entorno en tus propias manos y en qué te apoyas para juzgar.**

Control ambiental: de dejarlo a la naturaleza, al control total

El primer eje es quién decide el entorno en el que crece el cultivo.

- **cultivo al aire libre:** depende de las fuerzas de la naturaleza — lluvia, viento, luz solar —. Necesita terreno amplio, y además está el trabajo duro de la preparación del suelo y el riego. Queda fácilmente a merced del clima, nunca lejos de los riesgos de tifones y sequías.
- **horticultura protegida:** en un invernadero de plástico o de vidrio, protege el cultivo del clima hasta cierto punto. Como la temperatura y la humedad se pueden ajustar algo, la producción es más estable que al aire libre. A cambio, están la construcción y el

mantenimiento de la instalación, y los costes de combustible.

- **granja vertical**: se cultiva en un espacio interior cerrado. La temperatura, la humedad, la luz, la concentración de CO₂ y demás se controlan de forma artificial, construyendo un entorno óptimo para el crecimiento. Sin quedar a merced del clima, se puede producir de forma estable durante todo el año. A cambio, la inversión de capital y la factura eléctrica se acumulan, y hace falta el conocimiento para manejarla.

A medida que se avanza del cultivo al aire libre a la horticultura protegida y a la granja vertical, las partes que se dejaban a la naturaleza pasan, poco a poco, a manos humanas. La granja vertical, en el extremo de esa línea, no toma prestado de la naturaleza, sino que son las personas las que crean el entorno mismo. Lo que he hecho durante más de diez años es justo ese extremo: el mundo donde la temperatura, la luz y la humedad las decidimos nosotros. Si miras el cultivo al aire libre y la horticultura protegida desde fuera, ves con claridad que incluso «acondicionar el entorno» significa algo completamente distinto en cada caso.

La naturaleza del trabajo: de la intuición y la experiencia, al juicio basado en datos

El segundo eje es en qué avanzas el trabajo diario. Cuando cambia la forma de tomar el entorno, la capacidad que se exige en el campo también cambia.

- **cultivo al aire libre**: desde la preparación del suelo hasta la cosecha, mandan la experiencia de muchos años y la intuición. Hay mucho trabajo duro, y los períodos de actividad oscilan mucho con la estación.

- **horticultura protegida**: además de la experiencia al aire libre, hace falta la técnica del control ambiental dentro de la instalación. La gestión de la temperatura, la ventilación y el riego se convierte en una acumulación constante de observación frecuente y ajuste.

- **granja vertical**: la automatización por control informático ha avanzado, así que hay menos del trabajo pesado, de tipo obra civil, del cultivo al aire libre. Pero queda mucho trabajo manual: cosecha, envasado, trasplante definitivo y demás. Lo que pasa al centro es leer el estado del crecimiento a partir de los datos, detectar pronto las señales raras y actuar. Para eso hacen falta capacidad analítica y manejo de la informática, y también se vuelve necesaria una mirada que abarque desde el plan de producción hasta el envío.

Lo que no quiero que malinterpretes aquí es que esto no significa que en una granja vertical la intuición sea innecesaria. Lo que los datos te dicen es «qué ocurrió»; «por qué fue así» y

«cómo actuar a continuación» son, en última instancia, el juicio de una persona que ha observado las hortalizas en el campo. Solo cuando hay alguien capaz de releer con ojos de campo los números del sensor más moderno, eso se convierte en producción estable. La mayor diferencia con el cultivo al aire libre y la horticultura protegida no es, creo yo, la presencia o ausencia del equipo en sí, sino que **esta «capacidad de ir y volver entre datos y observación» pasa a ser el centro del día a día.**

Entender la distancia entre la investigación y el campo

Cuando digo «la capacidad de ir y volver entre datos y observación», puede que pienses: ¿entonces se adquiere estudiando con libros y publicaciones? Aquí hay que tener un poco de cuidado. La granja vertical es un trabajo próximo a la ciencia. Luz, climatización, solución nutritiva, control ambiental: tomes el que tomes, ninguno se sostiene sin la acumulación de la investigación. Así que, mientras eres nuevo, te entra el impulso de estudiar leyendo libros especializados y publicaciones. Eso en sí es bueno. Cuando yo estaba en el campo, también leí bastantes libros y artículos de tecnología de cultivo, buscando cualquier pista que pudiera mejorar el campo aunque fuera un poco.

Sin embargo, hay algo que quiero que sepas aquí. **El «óptimo» escrito en una publicación no es el mismo «óptimo» de un campo que envía miles de plantas cada día.**

Cuando intentas aplicar un método de cultivo tal como está escrito, a menudo no acaba de encajar. Las razones son, a grandes rasgos, tres.

La primera es que falta la perspectiva del coste. Aunque diga «el rendimiento de cultivo subió un 20 % con esta condición», normalmente no dice cuánto cuesta reproducir esa condición en una instalación comercial.

La segunda es la diferencia de escala. Un experimento que manejó entre unas pocas y unas pocas decenas de plantas en un laboratorio, y un campo que gestiona miles, parten de premisas completamente distintas. No es raro que un método que funcionó al probarlo en pequeño deje de funcionar en cuanto se escala.

La tercera es la diferencia de entorno. Un laboratorio puede ajustar con precisión temperatura, humedad y luz, pero en el campo la capacidad de la climatización tiene límites, el entorno se vuelve irregular según la posición de la estantería y nota la influencia del aire exterior estación

tras estación. Las «condiciones óptimas» sobre el papel son difíciles de reproducir en una granja vertical real.

Esto no significa que la culpa sea de los investigadores. Una publicación vive en un mundo que se juzga por «¿es académicamente novedoso?», y el «¿se puede usar en el campo?» casi nunca entra siquiera en el ámbito de evaluación. Así que, de forma inevitable, surge investigación valiosa en lo científico pero difícil de usar en el campo. Es un problema de estructura.

¿Entonces estudiar es perder el tiempo? No lo es. Solo léelo sabiendo que hay una distancia.

La investigación falla si la traes tal cual, y te deja atrás si la ignoras. La forma correcta de relacionarse con ella está en el punto medio. Léela, pruébala en pequeño en tu propio campo y quédate solo con lo que funciona de forma fiable. Que un solo libro te cambie el campo de la noche a la mañana casi nunca pasa. Se tantea durante años, y al final lo que queda es lo que puedes llamar «esto funciona». Casi todo lo que puedo contar todavía hoy es lo que forjé así, en el campo.

Mientras eres nuevo, basta con saber que «lo que has leído no se puede usar siempre en el campo tal cual». Léelo y desmenúzalo, pruébalo, hazlo tuyo. Esta capacidad se convierte, a la larga, en la diferencia en el campo.

Los tres roles del gestor de una granja vertical

La rentabilidad que hemos visto hasta aquí, y también la distancia con la investigación, toman forma solo cuando, al final, hay una persona que lo reúne todo y hace funcionar el campo. Déjame ordenar ese rol para terminar. Los roles que se le exigen al gestor de una granja vertical se dividen, a grandes rasgos, en tres: «proteger la calidad estable», «cohesionar al equipo» y «asegurar los ingresos». Primero, partiendo de estos tres, hazte una idea de qué tipo de trabajo vas a echarle a la espalda a partir de ahora.

1. Proteger la producción estable y la calidad

En una granja vertical, cada elemento ambiental — temperatura, humedad, luz, concentración de CO₂ y demás — se gestiona con manos humanas. Como se influyen entre sí, si cambias uno repercute en los demás. Seguir enviando cada día hortalizas de calidad estable dentro de ese entorno complejo: este es el rol más básico del gestor.

En una granja vertical recién arrancada, este era, sobre todo, el trabajo que se ganaba el respeto. En quien se confiaba era en la persona capaz de «sacarlos adelante sin dejarlos morir». Sin embargo, en los campos de granjas verticales de hortalizas de hoja que he visto, la técnica para cultivarlos sin dejarlos morir ha reunido un conjunto de herramientas bastante completo, y ahora se puede cosechar sin depender de la habilidad personal tanto como antes. Así que este rol sigue funcionando siempre como base, pero, una vez que la granja vertical echa a rodar, el centro de gravedad del gestor se va desplazando poco a poco al siguiente rol.

2. Cohesionar al equipo

Una granja vertical no funciona con una sola persona. La mayor parte del trabajo diario lo mueven las manos del personal de campo. Sacar el rendimiento de cada miembro y mantener el trabajo diario en marcha es tarea del gestor. Eso incluye transmitir al personal el conocimiento sobre el control ambiental y el cultivo, y aumentar el número de personas capaces de juzgar por sí solas.

A medida que aumenta la gente, este rol se vuelve de pronto más pesado. En lugar de cultivarlos tú mismo, no te queda otra que pasar al lado que organiza «cómo crece la gente». En la gran granja vertical cuyo arranque ayudé a gestionar, el personal de campo llegó a una escala de 100 personas, y conseguir que todos juzgaran con el mismo criterio si la calidad era buena o mala se convirtió en sí mismo en un gran reto. No la intuición de una sola persona, sino reunir los trucos dispersos por el campo en una forma que permanezca aunque alguien se vaya. Cuanto más ha guardado alguien la experiencia como intuición en bruto, más se atasca a la hora de ponerla en palabras y transmitirla.

3. Asegurar los ingresos

Trazar el plan de producción, gestionar los costes, elaborar la estrategia de ventas. Leer las necesidades del mercado, seguir asumiendo nuevos retos. Una granja vertical no se sostiene solo con sueños e ideales. Si no se aseguran los ingresos, tampoco se sostiene el campo.

Aquí hay algo que quiero decir con honestidad. El tamaño en sí de las pérdidas y ganancias se decide, por lo general, fuera de las manos del gestor. A qué escala se puede producir, cuánto se puede cosechar, a qué precio se vende, dónde se vende: estos cuatro ya fijan el contorno aproximado de la rentabilidad. Los precios unitarios, como la factura eléctrica, y la renovación del equipo tampoco quedan a la sola discreción del gestor. ¿Entonces el gestor es

impotente? No del todo: dentro del marco fijado desde fuera, hay partes que se pueden mover según cómo se organice el funcionamiento diario. Reducir lo que se desecha, aumentar la proporción que cumple el estándar y se vende al precio normal, elevar la competencia de los trabajadores. Sin tocar el equipo, cómo queda el resultado económico cambia justo ahí. Los juicios de un paso más — hasta dónde ajustar qué valor, dónde vender, cuándo invertir — los dejo para los capítulos posteriores y para «172 Consejos», pero, como entrada, quédate al menos con la mirada para separar «la parte fijada desde fuera» de «la parte que se puede mover a través del funcionamiento».

El centro de gravedad de los roles se mueve con la etapa de la granja vertical

Estos tres son menos una lista en paralelo que algo donde, según la etapa de la granja vertical, va rotando cuál pesa más. En la fase de arranque, «sacarlos adelante de forma estable» se gana el respeto; una vez encauzada, el centro de gravedad se desplaza a «cómo ajustar la rentabilidad»; y a medida que aumenta la gente, se inclina hacia «cómo transmitir el conocimiento del campo». Aunque el cargo sea el mismo, lo que se echa a la espalda va cambiando poco a poco. Esto es menos el crecimiento de la propia persona que algo más cercano a un orden: la granja vertical saca el siguiente problema, y cambia lo que hace falta para responder a él.

Dicho esto, lo que se mueve es el «énfasis»; no es que haya ningún rol del que puedas despreocuparte. La producción estable, la cohesión del equipo y los ingresos siguen funcionando sin parar en cada etapa. Con la higiene en particular, una vez que aparecen plagas o enfermedades pueden extenderse por toda la granja vertical, así que la prevención — evitar que se multipliquen y se propaguen — siempre hace falta.

Lo que quiero que captes tú, el recién llegado, es este eje temporal. La habilidad que se exige justo ahora no es más que una instantánea de la etapa en que se encuentra la granja vertical en este momento. No midas tu propia experiencia y tus puntos fuertes solo por el «rol actual»; léelos por «qué rol va a pesar más dentro de unos años». Viéndolo así, sea cual sea el rol que vayas a asumir a partir de ahora, deberías poder afrontarlo sin que te descoloque.

Resumen del capítulo 1

- Una granja vertical es una cosa distinta según sea del «tipo invernadero» o «granja vertical completa». Lo que trata este libro es el mundo de la granja vertical completa de

hortalizas de hoja.

- Con el trasfondo de la preocupación por la seguridad alimentaria, ahora está volviendo a llamar la atención. Pero el panorama de la rentabilidad cambia según dónde y quién lo mire.

- Ve el rojo no por el signo sino por la pendiente. Lo que mueve la rentabilidad son los tres factores de electricidad, canales de venta y la fuerza del equipo, y un reto tiene una «capa de techo» y una «capa de tasa de alcance».

- Los números e informaciones del sector, aunque hablen del «sector», no hablan de «tu propio bloque». Sepáralos por tipo y cultivo, y úsalos para leer hacia dónde van las premisas.

- Las granjas verticales que ganan dinero no son un patrón ganador, sino un «paquete de condiciones». Más que la novedad del equipo o la escala, lo que cuenta es si se lee el paquete hasta el final y si existe un equipo de campo que lo haga funcionar.

- Una granja vertical difiere desde la raíz de la agricultura convencional, y «la capacidad de ir y volver entre datos y observación» pasa a ser el centro del día a día.

- Los roles del gestor son tres — «producción estable», «cohesión del equipo» y «asegurar los ingresos» —, y su centro de gravedad se mueve con la etapa de la granja vertical.

- Los juicios de un paso más, directamente ligados a los ingresos, van a los capítulos posteriores y a «172 Consejos».

En el próximo capítulo veremos los fundamentos de la tecnología de cultivo que hace falta en el campo.

Capítulo 2: Conocimientos básicos de manejo del cultivo

En el capítulo anterior vimos el panorama general de qué es una granja vertical: cómo funciona, qué puede hacer y qué resulta difícil. A partir de aquí damos un paso más y entramos en el conocimiento necesario para cultivar hortalizas de verdad. Elegir el cultivo, darle luz, ajustar el agua, el aire y los nutrientes, detectar los problemas y actuar a tiempo—vayamos viendo, en orden, lo que se hace cada día en el terreno. Aunque cada cosa parezca un tema aparte, en el terreno todo está conectado. Téngalo presente en un rincón de la mente mientras empezamos por «qué producir».

¿Cuáles son las claves para elegir el cultivo más adecuado para una granja vertical?



Como en una granja vertical el entorno se puede controlar de forma artificial, en teoría se puede cultivar cualquier cosa. Pero, cuando uno intenta sacar beneficio de verdad en el terreno, los cultivos que se pueden elegir se reducen drásticamente. Y lo que más me extrañó al ver tantas instalaciones fue esto: no es raro que, produciendo la misma lechuga, una instalación esté en números negros y otra en números rojos. Lo que decide al final si queda beneficio no es el nombre de la hortaliza en sí.

«La hortaliza que da dinero» no se decide por el producto

Si uno busca «granja vertical hortaliza rentable», aparecen rankings sin fin: que si la lechuga, que no, la fresa, el melón. Mientras lee, da la impresión de que en algún sitio hay una respuesta correcta rodando por ahí. Pero no hay garantía de que esa respuesta funcione también en su caso. Con la misma lechuga, si cambia a quién se vende o cómo se rota, el beneficio aparece o desaparece.

Yo mismo he visto esta escena muchas veces con la lechuga. Cuando la sacaba a un mercado de productores giraba con solidez, pero al intentar venderla al por mayor para uso profesional el precio unitario caía de golpe y, ocupado y todo, no quedaba nada en la mano. A la inversa, llevar directamente a un restaurante una hierba aromática de la que solo podía producir poca cantidad daba un beneficio inesperado. Puestos así, uno acaba pensando que lo que da dinero no es el producto en sí, sino que va en pareja con «dónde se vende».

Por eso, más que como una lista fija, a la hortaliza rentable se le acierta más viéndola como **la multiplicación de tres factores: el precio unitario del canal de venta, los días de rotación y la dificultad de cultivo**. Con la lechuga era justo así. En un mercado de productores se obtiene un precio unitario alto, así que la velocidad de rotación se traduce directamente en beneficio. Al canalizarla al por mayor el precio baja, queda solo la rotación y no queda beneficio. Con el mismo equipo, el destino de venta decide el precio y la rotación, y encima se suma el trabajo de cultivo. Por eso la pregunta no es «qué hortaliza», sino «en mi canal de venta, ¿cuál hace que precio×rotación compense el trabajo de cultivo?».

De hecho, los cultivos que resultan rentables en una granja vertical se reducen casi a un rango limitado: sobre todo hortalizas de hoja y hierbas aromáticas, y las hortalizas de fruto según las condiciones. De los alimentos básicos como el arroz, el trigo o el maíz——cultivos fundamentales que suponen alrededor del 60 % de la energía alimentaria mundial——se informa que, con los costes y la tecnología actuales, no hay perspectiva de que lleguen siquiera a la línea de rentabilidad. Lo que da dinero no es una propiedad fija del cultivo, sino que está arrastrado por si ese cultivo puede tener un destino de venta capaz de darle precio unitario y rotación.

Que abunde la lechuga es porque «cuesta que fracase»

Si uno mira a su alrededor las granjas verticales reales, la mayoría giran en torno a la lechuga. Incluso entre las hortalizas de hoja, todo es lechuga, y apenas se meten con las de

fruto. Esto no es porque «la lechuga sea la que más dinero da», sino porque la lechuga es la que mejor encaja con el formato de fábrica. Lo que pesa aquí es, de la fórmula anterior, la parte de «la dificultad de cultivo».

La lechuga tiene un periodo de crecimiento corto y rota rápido, es baja y fácil de apilar en pisos, y el manejo de la luz y de la solución nutritiva está consolidado. Es decir, en un entorno cerrado, con alta reproducibilidad, se puede hacer girar según lo planeado. Con las hortalizas de fruto no es así. El tomate o la fresa requieren controlar la polinización y el cuajado, tienen un periodo de cultivo largo y son altos. Con la misma superficie de suelo y el mismo gasto de luz y climatización, el trabajo de cultivo se vuelve muchísimo más pesado.

La dificultad tiene además otra cara que he sentido con fuerza en el terreno. Aunque el manejo de la temperatura o de la concentración de solución nutritiva se desajuste algo, la lechuga difícilmente cae en una cosecha catastrófica. La desigualdad de crecimiento también es relativamente escasa, y el coste de aprendizaje para llevarla a una calidad apta para el envío es más bajo que el de otros cultivos. Esto cobra peso cuando uno se imagina las caras de quienes entran en la granja vertical. También en los proyectos en cuya puesta en marcha he participado, había muchísimas incorporaciones nuevas procedentes de otros sectores. Gente que no conoce con el cuerpo la fisiología de las plantas entra cargando una gran inversión en equipo. Desde esa posición, lo primero que se impone es «no poder fallar». Elegir primero la lechuga, que aunque se desajuste algo no se derrumba la cosecha y cuyo coste de aprendizaje es bajo, era una decisión de lo más natural: más que maximizar la ganancia, evitar la quiebra.

Por eso, el paisaje centrado en la lechuga no es «la respuesta que da dinero», sino el resultado de haber elegido «la solución que cuesta que se venga abajo en el formato de fábrica». Dicho al revés, para quien sabe manejar la dificultad de las hortalizas de fruto, o para quien tiene un canal de venta que solo se sostiene precisamente por ser de fruto, es justo fuera de esa fila uniforme donde queda margen. Tenga presente que hay estas razones para que el novato entre primero por la lechuga.

Por qué no se alinean el arroz, el trigo y las raíces—— $\text{superficie} \times \text{días} \div \text{precio unitario}$
A la inversa, ¿por qué no se ve arroz, trigo, rábano o zanahoria en una granja vertical? No es porque no se puedan cultivar. Técnicamente, tanto las raíces como los cereales crecen en

una granja vertical. Y aun así apenas se alinean en el mercado. La razón está en otro lugar distinto a si se pueden cultivar o no.

El coste de una granja vertical recae, en su mayor parte, **sobre la superficie y el tiempo**.

Tanto la iluminación como la climatización son como un alquiler que se cobra en proporción a cuánto tiempo se ocupa la superficie de la estantería, de modo que lo que pesa es «cuántos días se ocupa esa superficie y cuánta cosecha sale». La lechuga es baja, ligera, y da una vuelta en unos 30–40 días. Las raíces tardan meses en engordar y, para su peso y volumen, su precio unitario es bajo. Con la zanahoria hay que contar unos 70–120 días desde la siembra hasta la cosecha. La misma superficie se ocupa, en un caso, 1 mes, y en el otro, 3–4 meses. Solo con esto ya se intuye cuánto se abre la brecha de «cuánto se gana por superficie y por día». Por eso las raíces no es que la tecnología no las alcance, sino que caen en silencio en cuanto haces los cálculos.

Con los cereales esto sale de la forma más extrema. El arroz, el trigo y el maíz tienen un precio unitario bajo, un periodo de cultivo largo, son altos y difíciles de apilar en pisos. Van en contra de las tres condiciones que encajan bien con una fábrica. Hay una estimación simbólica: incluso en el mejor de los casos para producir trigo en una granja vertical de Suecia, solo el coste eléctrico se calcula en el equivalente a 40 000 dólares por tonelada—unas 100 veces el precio mundial del trigo de aquel momento. No es un problema de técnica de cultivo, sino que la partida ya está decidida en cuanto sacas la cuenta. Dan ganas de esperar a que «con el tiempo la tecnología lo abarate», pero en los datos apenas se ve esa mejora del conjunto del sector según la cual cuanto más se produce más barato sale.

Las raíces tienen además otra barrera previa a la rentabilidad. La zanahoria y el rábano extienden una raíz recta y gruesa hacia las profundidades del suelo, mientras que el equipo hoy predominante en la granja vertical está pensado para hortalizas de hoja: una placa de poliestireno fina y una solución nutritiva de recirculación. Ni la profundidad del sustrato ni la capacidad de sujeción son suficientes, y cuando la zona radicular se llena de líquido tiende también a faltar oxígeno. Desde la posición de quien diseña una línea nueva, como las raíces caen ya en la división de la rentabilidad, ni siquiera se llega a discutir el equipo; pero desde la posición de quien ya tiene equipo para hortalizas de hoja y piensa «raíces también en la estantería libre», antes de la rentabilidad la raíz no cabe en el equipo. Cuál barrera llega

primero cambia según en qué punto se sitúe uno. Si digo con franqueza mi conclusión en el terreno, se asienta en lo obvio: lo razonable es cultivar las raíces en tierra.

Hay excepciones, pero solo cuando se cumple la condición

También aquello de lo que he venido escribiendo «no es adecuado» tiene excepciones. Pero la excepción solo pasó porque se cumplió cierta condición, y no hay garantía de poder trasladar esa condición íntegra a su propio cultivo.

Una dirección es la excepción de **ganar por rotación**. Los microvegetales (las hojas tiernas de hortaliza) son extremadamente rápidos: de la siembra a la cosecha, 7–14 días.

Comparados con los 30–40 días que tarda la lechuga, en la misma superficie se puede rotar muchas veces al año. El precio por gramo también se obtiene alto con facilidad, y hay incluso movimientos para diferenciarlos como alimento funcional con nutrientes reforzados. Si va a montar de cero, merecen bastante la pena como producto a considerar. Sin embargo, montarlos tal cual en una fábrica existente para lechuga no es sencillo. El recorrido de cosecha en estanterías de hasta 10 pisos—ya sea extrayendo el sustrato entero o cortando el operario en los pisos altos—es algo completamente distinto a la lechuga. Si va a hacerlo en serio, lo realista es pensar desde la fase de construcción en un equipo de transporte y cosecha específico.

La otra es la excepción de **ganar por precio unitario**. Con tal de que el precio por superficie y por día sea alto, hasta un cultivo de rotación lenta puede subirse a la estantería. Es el caso de raíces que se venden extremadamente caras, como el ginseng medicinal, o del wasabi. El wasabi tiene un precio unitario alto, es escaso y popular incluso en el extranjero—hasta apuntar el nombre, todo correcto. Pero aquí hace falta precaución. El alto precio del wasabi, según mi lectura, no está pegado al cultivo wasabi en sí, sino a la relación con el comprador: «este productor, de esta zona, con esta calidad, entrega de forma estable». Cuanto más caro paga un cliente—como un restaurante de alta cocina o uno de sushi—, más tiene ya un proveedor fijo, y no cambia con facilidad a un productor nuevo de quién sabe dónde. Por eso, cuando un recién llegado logra producir wasabi, lo único que tiene en la mano es la parte del cultivo dentro de las razones del alto precio; la relación, que es lo decisivo, hay que construirla desde cero. Y como las bocas que pagan caro precisamente no absorben volumen, el cálculo de la facturación anual hecho con «precio unitario × volumen estimado de envío» suele fallar.

Poder producirlo y que funcione como negocio son cosas distintas.

Con el arroz pasa lo mismo: el «imposible» no es uniforme en todas partes. Una tierra con electricidad escandalosamente barata, un comprador cercano que pague caro, una salida que venda a varias veces el precio normal——como materia prima farmacéutica——: según hasta dónde se reúnan esos tres factores, cambia cómo se ve. Los casos de éxito de cultivo de arroz en fábrica en el extranjero suelen tener como premisa una ubicación con agua escasa y electricidad barata, más bien la contraria a Japón. Parece un tema de tecnología y, en realidad, era un tema de ubicación; no es algo infrecuente.

Primero, alinee partiendo de su propio canal de venta

Entonces, ¿por dónde empezar? No por el producto. Los rankings y los casos de éxito sirven de referencia, pero no se pueden convertir tal cual en un plano. La información que circula por el mundo está sesgada hacia «las historias que salieron bien», y apenas quedan datos de las fábricas que se retiraron. De hecho, se dice que una proporción considerable de las granjas verticales de Japón se han ido reemplazando a lo largo de una década aproximadamente. La composición es esta: detrás de los éxitos que afloran, hay un buen número de retiradas que no se cuentan.

Por eso, lo primero que se escribe en el papel no es el plan de cultivo, sino que basta una división de una línea. Tomando como base la misma superficie de estantería, saque «precio de venta estimado ÷ días de ocupación», ponga la lechuga como referencia y alinee los candidatos en la misma tabla con las mismas condiciones. Anote ahí los días de rotación, la dificultad de cultivo, el rendimiento útil y hasta el trabajo de mantener el canal de venta, y compárelos por el beneficio anual por superficie. Esa es la primera jugada. En cuanto a la colocación, sitúe en el centro las hortalizas de hoja, rápidas de rotar y fáciles de leer, y considere en segundo término las de fruto y los nichos de alto precio. Las de fruto y el wasabi tienen margen de precio, sí, pero son cosas que solo se sostienen cuando se reúnen las condiciones, así que lo realista es subirlas después de afianzar los números de base con las hortalizas de hoja.

Los cultivos nuevos son interesantes, y cada año se puede hacer más con ellos. Pero eso cobra vida dentro de los cultivos que han pasado por la entrada de la rentabilidad; ponerlo antes de esa entrada es dar un rodeo. Qué es adecuado y qué no, no se ve por el ranking de

productos, sino por este «precio unitario del canal × rotación × dificultad» y por «cuánto por superficie y por día»——con tener solo esa mirada, cuando aparezca el próximo cultivo nuevo podrá empezar sin agobios desde la primera hoja de papel.

Dicho esto, de aquí en adelante——a qué destino de venta resulta rentable cada cultivo, cómo ir a por las salidas de alto precio, si la conversión a hortalizas de fruto compensa la inversión——es entrar en el diseño de la rentabilidad en sí. En este libro me quedo en la entrada a la forma de pensar, y dejo los juicios más profundos a «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales».

Una vez decidida la hortaliza a producir, lo siguiente es cómo cultivarla. Los tres pilares para cultivar hortalizas en una granja vertical son la luz, el agua y el aire——empecemos por la luz, el equipo más emblemático de la granja vertical.

El aprovechamiento de la iluminación LED



El equipo más emblemático de una granja vertical es la iluminación LED alineada en filas. En la agricultura convencional no quedaba más remedio que depender de la luz solar, pero en una granja vertical se puede crear de forma artificial, con LED, el entorno lumínico óptimo para el crecimiento.

Las 3 ventajas que la iluminación LED aporta a la granja vertical

1. Reducción de costes por ahorro de energía

El coste eléctrico es un coste que no se puede ignorar en una granja vertical. Como la iluminación LED destaca por su eficiencia energética, cabe esperar una reducción acorde del

coste eléctrico.

2. Larga vida útil que también aligera el mantenimiento

Los fluorescentes requieren reemplazo periódico, y cada vez cuesta dinero y trabajo. El LED tiene una vida útil muchísimo más larga, y permite reducir la frecuencia de reemplazo. En una granja vertical que usa gran cantidad de iluminación, esta diferencia de coste es grande.

3. Se puede elegir el color de la luz según la planta

Las plantas necesitan, según la especie y la etapa de crecimiento, longitudes de onda (colores) de luz distintas. El LED tiene productos de diversas longitudes de onda—rojo, azul, blanco, etc.—y se puede elegir según el cultivo. En las granjas verticales convencionales predominaba la iluminación LED que combinaba luz roja y azul, pero en los últimos años se ha extendido también el LED blanco, cercano a la luz solar.

Ingenio en la instalación y el manejo

Para sacar partido al LED, también son importantes pequeños detalles como el método de instalación o el tiempo de irradiación.

- Cultivo en pisos: para aprovechar el espacio limitado, es habitual el «cultivo en pisos», que apila la estantería de cultivo en varios niveles.
- Ángulo y distancia de irradiación: ajustando el ángulo de irradiación del LED y la distancia a la planta, se puede elevar la eficiencia fotosintética.
- Tiempo de irradiación: la planta crece repitiendo el «período de luz», en el que hace la fotosíntesis, y el «período de oscuridad», en el que respira y transloca nutrientes.

«Más brillante» no siempre es mejor

Cuando se habla de LED, uno tiende sin querer a pensar que «cuanto más fuerte la luz, mejor crece». Yo también lo pensaba de novato. Si uno se decide y ilumina con fuerza un piso de la estantería, ciertamente la cantidad de cosecha aumenta. Mejoran el peso y el aspecto. Uno puede pensar «al final acerté iluminando más»—hasta que ve la factura eléctrica a fin de mes. Subí la luz 1,5 veces, pero el rendimiento no llegó a 1,5 veces. Si al aumento de ventas le restas el aumento del coste eléctrico, lo que queda en la mano es más bien más magro que antes. Aparecen meses así. Yo mismo, en hidroponía de lechuga en granja vertical, he visto muchas veces la escena en que, al apretar fuerte, lo que quedaba en el bolsillo era aún más

magro que antes.

Aquí conviene conocer la palabra PPFD, que expresa la cantidad de luz. Basta pensar en ella como la cantidad de partículas de luz que llegan a la hoja. Lo clave es que esta relación entre el PPFD y el rendimiento no es proporcional. Si empieza a subir desde un nivel bajo, al principio crece a buen ritmo, pero cuanto más sube, menor es la parte que se gana al iluminar aún más. El coste eléctrico, en cambio, aumenta siguiendo a la luz casi en línea recta. Por eso, las ventas que aumentan «se van frenando», mientras que el coste eléctrico que aumenta «sube en línea recta». En algún punto llega el momento en que el coste eléctrico pesa más que la recompensa de la luz añadida. Ahí está el punto en que conviene dejar de subir la luz.

Lo fastidioso es que ese punto de corte no se fija en un único número. En la época en que la electricidad es barata, dejarlo en ese nivel fuerte parece de sobra positivo, pero cuando el precio unitario sube, ese mismo ajuste se vuelve de pronto pesado. Con la misma estantería, la misma variedad y la misma luz, según el mes se intercambian «esto es lo correcto» y «esto es pasarse». Por eso no funciona la forma de tratarlo de memorizar y dejar pegado el PPFD óptimo como un único número. La luz es algo cuyo límite se mueve según el coste eléctrico——captarlo así es una sensación que conviene adquirir de novato.

Cuando uno se mete en el manejo dinámico que recalcula el PPFD óptimo según el precio de la energía, o en el juicio de elegir el modelo por su eficiencia lumínica, esto pasa a ser un tema profundo, directamente ligado al beneficio. La forma de discernirlo se trata en detalle en «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales».

La luz

El LED no es más que una herramienta para crear luz. Lo que de verdad importa para la planta es qué luz, con cuánta intensidad y durante cuánto tiempo le da esa herramienta——es decir, el contenido de la luz en sí. Como en el apartado anterior hablamos de la máquina, aquí bajemos un poco y fijemos la base de cómo recibe la planta la luz. No es algo difícil. Basta pensar que la luz tiene tres escalas——«intensidad», «color» y «tiempo»——y que la cantidad de luz de un día se decide por la multiplicación de las tres.

Intensidad——no es que cuanto más fuerte, mejor

Primero, la intensidad. La luz es imprescindible para el crecimiento de la planta, pero no es algo tan simple como que cuanto más fuerte, más crece. Pasado cierto punto, el avance de la fotosíntesis se estanca, y al subir aún más la hoja se daña y la cosa se inclina más bien hacia el lado negativo. En una granja vertical, donde se vuelve a comprar la luz con electricidad, hay además el problema de que el coste eléctrico de lo que se ilumina de más que lo necesario se desperdicia tal cual.

Por eso, lo básico es elegir el LED ajustándolo a la intensidad que pide el cultivo. Las hortalizas de fruto, que dan fruto, piden luz fuerte, pero las de hoja como la lechuga no necesitan tanta luz fuerte. Son bajas y crecen incluso con luz más débil. Una de las razones de que se prefieran las hortalizas de hoja en una granja vertical está también aquí.

Color——la planta tiene longitudes de onda que sí aprovecha

A continuación, el color. La luz cambia de color según la longitud de onda, y la planta da usos distintos a cada color.

Dicho a grandes rasgos, la luz roja (aproximadamente 600–700 nm) es la que mejor actúa sobre la fotosíntesis e impulsa el crecimiento. La luz azul (400–500 nm) también se usa en la fotosíntesis y actúa en la dirección de engrosar la hoja y de hacer que el tallo se engruese con firmeza. De la luz verde (500–600 nm) se dice que su efecto sobre la fotosíntesis es pequeño, pero que llega con facilidad hasta el fondo de la hoja y que participa también en la formación de la planta. Por eso, antes en las granjas verticales predominaba la luz violeta, solo de rojo y azul, de aspecto típicamente «de granja vertical», pero en los últimos años han aumentado tanto las que incluyen verde como los LED blancos, cercanos a la luz solar.

Yo también he usado LED de diversos tipos, y siento que con los que añaden verde o los cercanos al blanco se ve mejor el crecimiento que con el tipo de solo rojo y azul. Es una sensación de piel: el color, el brillo y el porte de la hoja salen de forma más natural. Qué color y en qué proporción mezclar conviene a cada cultivo es un tema profundo, directamente ligado al coste, así que aquí dejo solo el planteamiento inicial: «el color tiene diferencias de uso».

Tiempo——el tiempo de luz y el tiempo de oscuridad

El tercero es el tiempo. No es que a la planta le venga bien iluminarla todo el día sin parar. Crece repitiendo el «período de luz», en que se le da luz, y el «período de oscuridad», en que se le corta. En el período de luz fabrica nutrientes con la fotosíntesis, y en el período de oscuridad envía esos nutrientes a cada parte del cuerpo para destinarlos al crecimiento—hay un ritmo de respiración: ganar de día y poner en orden de noche. A este diseño de cuántas horas iluminar al día se le llama fotoperiodo.

En una granja vertical, a diferencia del sol, el tiempo de iluminar se puede decidir libremente por nuestra parte. Es una ventaja potente, pero a la vez significa que «hay que decidirlo». Si se ilumina mucho, se gana tiempo de fotosíntesis, pero el coste eléctrico se abulta, y si el período de oscuridad es demasiado corto a veces se altera el estado de la planta. Aparece el juicio de dónde colocarlo para que convenga al cultivo y a la rentabilidad. Discernir ese punto óptimo entra en el diseño de la rentabilidad, así que en este libro me quedo solo en la base: «hacen falta tanto el tiempo de luz como el de oscuridad».

La cantidad de luz de un día—el DLI, la multiplicación de los tres

Por último, una sola idea que enlaza los tres. Al multiplicar intensidad y tiempo, sale la cantidad total de luz que el cultivo ha recibido en un día. A esto se le llama DLI (cantidad de luz integrada en un día).

No hace falta darle muchas vueltas. Una luz débil, si se da mucho tiempo, aumenta la cantidad total, y una luz fuerte, si es poco tiempo, no eleva la cantidad total. Cuánta luz ha recibido la planta en un día no se decide ni solo por el brillo del instante ni solo por el tiempo encendido, sino por la multiplicación de ambos—algo de lo más obvio. Que en el terreno pasen cosas como «subí la luz pero no creció tanto como esperaba» o «al revés, recorté el tiempo de encendido y no cayó tanto» suele ser porque tendemos sin querer a mirar solo la intensidad y no la cantidad total del día. Tenga intensidad, color y tiempo como tres escalas separadas, y al final contemple la cantidad total del día. Como base de la luz, con tener a mano primero esta mirada es suficiente.

Si la luz es un asunto que se completa por encima de la planta, lo siguiente es a sus pies: el agua en la que están sumergidas las raíces. En una granja vertical, esa agua se convierte en el propio cimiento del cultivo.

El sistema de hidroponía



Junto con la iluminación, si algo caracteriza a la granja vertical es la hidroponía. Cultivar sin usar tierra, poniendo la raíz directamente en contacto con el agua y los nutrientes. Esa es la razón de que se pueda cultivar rápido y uniforme, y también el punto que más cuidado pide a diario en el terreno.

Por qué hidroponía en una granja vertical

Lo que aporta no usar tierra tiene varios puntos. Como no hace falta suelo, no se elige la ubicación ni en zonas urbanas ni en lugares con condiciones de terreno difíciles. Como la raíz está siempre en contacto con agua y nutrientes, el crecimiento es rápido y sube la rotación. También se reduce el riesgo de plagas y enfermedades transmitidas por la tierra, y sin verse uno perseguido por el riego diario, basta con gestionar la concentración y la cantidad de la solución nutritiva para que el suministro sea automático.

Solo una cosa, un punto que suele malinterpretarse, por adelantado. Se dice a menudo que «la hidroponía resiste bien la pudrición de raíz», pero esto va con condición. Mientras el oxígeno disuelto (DO) en el agua se mantenga suficiente, la raíz toma oxígeno fresco y está sana. Pero si falta oxígeno, también en hidroponía se produce la pudrición de raíz. En particular, cuando sube la temperatura del agua, el oxígeno que puede permanecer disuelto en ella disminuye. Por eso, téngalo en un rincón de la mente: no es «tranquilo porque está sumergido en agua», sino «tranquilo porque hay oxígeno suficiente».

NFT y DFT—¿fluir fino o acumular profundo?

Los dos que más se usan en una granja vertical son el NFT y el DFT.

El **NFT (hidroponía de película fina)** es un método en el que se fija la planta sobre una cama de cultivo inclinada y se hace fluir continuamente, con una bomba, una fina capa de solución nutritiva. Como fluye, el oxígeno entra en contacto con facilidad y se gasta poca solución nutritiva. A cambio, como la cantidad de agua es pequeña, recibe con facilidad las influencias externas y la temperatura del agua también varía con facilidad.

El **DFT (hidroponía de líquido profundo)** es un método en el que se acumula abundante solución nutritiva en un tanque de cultivo, como una pileta, y se flotan ahí las plantas. Como hay mucha agua, resiste los cambios de temperatura y es fácil de cultivar de forma estable. A cambio, el equipo se vuelve grande, y tiene el inconveniente de que en el fondo el oxígeno tiende a escaparse.

Ambos pertenecen a la familia del «sistema de recirculación», que funciona haciendo circular la solución nutritiva con una bomba. Aparte de estos, el DWC (agua profunda), que sumerge de lleno las raíces en agua profunda, puede verse prácticamente como parte de la familia del DFT por el hecho de acumular agua. El método de nebulización, que rocía niebla sobre las raíces, es el que tiene el oxígeno más abundante porque las raíces quedan expuestas al aire, pero como no acumula agua, es el que se seca más rápido cuando se detiene. Es de uso limitado, para instalaciones que pueden montar con bastante holgura un sistema que avise en el instante de la parada.

No es cuál es superior

Al montar de nuevo, o al reconstruir la instalación, con lo que uno suele toparse primero es con «¿NFT o DFT?». Si uno consulta una tabla comparativa, cada apartado tiene un círculo en uno u otro lado, y al sumar queda más o menos en empate. He visto a no poca gente quedarse dando vueltas durante días.

Aquí lo digo claro. El método en sí no tiene una superioridad absoluta. Tras ver lechuga durante años, al rastrear la causa de que el rendimiento o la calidad oscilaran, casi siempre era «el estado del agua de ese día», no «el método». Que en NFT salga pudrición de raíz no es por el método, sino cuando el flujo cae y la punta de la raíz se seca. Que en DFT se debilite tampoco es por el método, sino cuando sube la temperatura del agua y se escapa el oxígeno. Elija lo que elija, al final todo depende del manejo del agua posterior.

Entonces, ¿cómo se decide el método? Esto puede ser de lo más directo. Se decide por las restricciones que uno tenga a mano. Si quiere aguantar unos minutos ante un corte de luz o una avería, y quiere cantidad de agua como prima de tranquilidad, tira hacia DFT. Si quiere aumentar el número de pisos de la estantería y construir ligero, y quiere también la fontanería sencilla, tira hacia NFT. Por la escala y por el margen de riesgo que uno puede permitirse, es un rango que se decide casi automáticamente. No es una bifurcación como para preocuparse durante días. El tiempo de preocuparse, mejor destinarlo al manejo del agua de después de haber elegido: rinde muchísimo más en la cantidad cosechada.

¿Reversible o irreversible?—la línea que de verdad funciona en hidroponía

Si se capta la diferencia entre NFT y DFT con un solo eje, el manejo posterior se vuelve mucho más fácil. Ese eje es «¿reversible o irreversible?».

Aunque se desvíe, si uno se da cuenta y mete mano puede devolverlo a la banda y la raíz se recupera—las cosas **reversibles** así son el lado que se recibe con el manejo. Que el oxígeno del fondo del DFT se haya vuelto más fino, que la temperatura del agua haya subido, basta con mirarlo a diario y, si se sale, traerlo de vuelta. Es trabajo de personas y de registro. En cambio, si en NFT se detiene el flujo y la punta de la raíz se seca, esa sequedad no vuelve. La punta dañada una vez no regresa a su estado original aunque se devuelva el agua. Esto es **irreversible**. Como con la sola inspección visual diaria no se puede tapar del todo, se hace que una máquina detecte la parada y lance un aviso, y con energía de emergencia o una bomba de respaldo se elimina de antemano la parada misma. Es el dominio que se borra del lado del equipo y la prevención.

La línea queda así: **lo reversible se recibe con el manejo; lo irreversible no se le carga al manejo, se borra de antemano con el equipo y la prevención**. Lo reversible, que llega poco a poco, lo ve una persona; lo irreversible, que llega de golpe, se detiene con la máquina y la prevención.

Una aclaración: reversible o irreversible no es una etiqueta pegada al método. También en NFT, si hay un sistema que avisa al instante en cuanto se detiene, esa rapidez no da miedo. Y también en DFT, si se deja pasar la alta temperatura del agua o el estancamiento del verano, esa agua abundante se convierte esta vez en agua caliente que no se enfría y la raíz se pudre—la fortaleza de tener cantidad de agua se vuelve en contra si no se mira. Por eso no

se puede afirmar tajante que «el DFT es seguro porque tiene cantidad de agua». Lo que mueve la frontera no es el atributo del método, sino «la amplitud de la desviación y cuánto se ha dejado pasar».

Este «después de elegir, dónde y cómo se mira cada día»——en qué orden se miran el caudal, la temperatura del agua y el oxígeno disuelto, y dónde se traza la línea entre bien y mal——es lo que de verdad separa la cantidad cosechada. Eso se concreta en detalle en «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales».

Cuando lo del agua empieza a verse, lo inseparable de esa agua es el aire que llena el contorno de las raíces y de las hojas. Temperatura, humedad, CO₂, y el viento que los transporta——de aquí en adelante pasamos al aire que rodea a la planta.

El manejo de la temperatura

El manejo de la temperatura es uno de los apartados más importantes que más condicionan el éxito de una granja vertical.

La planta tiene una franja de temperatura adecuada para crecer. Al salirse de ahí, repercute en el crecimiento en formas como que se ralentiza el crecimiento, empeora el color de la hoja y, en casos graves, se seca. En las hortalizas de fruto puede dar fruto de mala forma, y si decae su vigor también se debilita la resistencia a plagas y enfermedades.

Temperatura adecuada por cultivo

La granja vertical recibe poca influencia del aire exterior y puede mantener la temperatura constante. La referencia por cultivo es más o menos esta.

- Hortalizas de hoja como la lechuga: prefieren un entorno relativamente fresco, unos 15–25 ■
- Hortalizas de fruto como el tomate: prefieren un entorno cálido, unos 20–30 ■
- Hierbas aromáticas como la albahaca: unos 20–25 ■. Aunque las hay que prefieren el calor o que resisten el frío

Un manejo de temperatura ajustado a la especie de hortaliza y a la etapa de crecimiento es la base de la producción estable.

Lo que se gestiona es el aire; a lo que responde la planta es la hoja

Aquí introduzco una distinción que funciona cuando uno se atasca en el terreno. Lo que nosotros fijamos y gestionamos es la «temperatura del aire» de la sala de cultivo. Pero a lo que la planta responde de verdad es a la «temperatura de la hoja».

Normalmente estas dos coinciden más o menos, así que la cosa gira sin necesidad de distinguirlas. Sin embargo, esta distinción asoma cuando, respetando bien el ajuste, el crecimiento no sale parejo según la estantería. Por ejemplo, salen diferencias de crecimiento entre el piso alto y el bajo del mismo rack. Al principio uno sospechará de cómo da el viento o de la distancia al LED, pero hay además otra circunstancia: en el piso alto el calor de la iluminación tiende a acumularse. Aunque se diga que el LED ahorra energía, una proporción considerable del consumo eléctrico sale en forma de calor. Por eso, aunque el ajuste sea de 25 ■, la temperatura de la hoja misma del piso alto, cercana a la iluminación, a veces está más alta que el aire.

¿Por qué pesa más la temperatura de la hoja? Porque tanto la fotosíntesis como la respiración son reacciones enzimáticas, y lo que decide su velocidad no es el aire, sino la temperatura de la propia hoja. Aunque sea el mismo «ajuste de 25 ■», si la hoja del piso alto está en realidad a 27 ■, la temperatura para esa hoja ya no es 25 ■. El ajuste es parejo pero el crecimiento no——eso ocurre a menudo en forma de que se ha igualado el aire pero no se han igualado las hojas.

Como lo que la climatización puede mover directamente es el aire, queda una estructura de dos pasos: mirar ambos, el aire como «entrada» y la hoja como «resultado». Si uno aplica un termómetro de radiación a las hojas del piso alto y del bajo y mide cuántos grados se desvían respecto al valor ajustado del aire, la maña de su propia estantería empieza a verse en números. Por cierto, esta desviación es grande de día, cuando la luz es fuerte, y se reduce de noche, con la iluminación apagada.

Bajar la temperatura nocturna es para «apretar»

Como en una granja vertical se puede crear día y noche de forma artificial con la iluminación LED, se puede ajustar el crecimiento usando la diferencia de temperatura. El «día» de aquí indica con la iluminación encendida (período de luz) y la «noche», con la iluminación apagada (período de oscuridad), y a la diferencia de temperatura entre este período de luz y de oscuridad se le llama «DIF».

De noche, como la iluminación está apagada, la temperatura de la hoja y la del aire coinciden casi por completo. Es porque no ocurre, como de día, que solo la hoja se eleve por el calor de la fuente de luz. El problema es el estado en que uno baja esa temperatura nocturna con una sensación del tipo «de noche se refresca» y, en cambio, la razón para bajarla no le acaba de encajar.

Se asienta si uno piensa la lógica desde «de noche, ¿qué tiempo es?». De día se recibe luz y se fabrica azúcar con la fotosíntesis; de noche, como no hay luz, no se puede fabricar azúcar nuevo y se respira usando el azúcar acumulado de día. Como esta respiración avanza más rápido cuanto más alta es la temperatura, enfriar la noche reduce el propio consumo de azúcar durante la noche.

Aquí hay una cosa que conviene cuidar: no enlazar sin más «reducir el consumo = crece lo que queda». En realidad, no es que cuanto más se enfríe, más crezca. En las hortalizas de hoja sale en la dirección de que lo cálido (hasta cierto rango) crece más bien mejor. Entonces, ¿cuál es el sentido de bajar la temperatura nocturna? Más que para aumentar la cosecha, es un ajuste del lado de la calidad: contener la etiolación y apretar la mata. Si no se baja del todo la temperatura nocturna, el tallo tiende a estirarse y el porte se desbarata. Por eso encaja más con la sensación del terreno pensar en la temperatura nocturna como una palanca para ajustar «la firmeza de la forma de crecer» que como una palanca para ganar «cantidad de crecimiento».

Y tampoco es que cuanto más se baje, mejor. Si se baja demasiado, la etiolación se detiene, pero también se entra en el lado de que el ritmo de crecimiento se ralentiza. La temperatura nocturna se decide en el equilibrio entre «apretar» y «cultivar como es debido». En la lechuga, unos 18 °C de noche son un ejemplo de ese punto medio.

El criterio del ajuste es, en última instancia, el estado del cultivo

En pleno verano la temperatura tiende a subir y la electricidad de la climatización también pesa fuerte. Uno quiere subir el ajuste aunque sea 1 °C para aligerar la carga, pero no puede afirmar qué le pasará al crecimiento y no se atreve a tocarlo—este es un atasco habitual en el terreno de verano. En realidad, ese 1 °C funciona en una dirección completamente distinta según se suba de día o de noche, y al final romper la desigualdad de temperatura también acaba siendo trabajo del viento. El juicio de esta operación activa se vuelve por sí solo todo

un tema, así que aquí me quedo solo en la idea de partida: «el aire y la hoja son distintos» y «la temperatura nocturna es para apretar».

Al pensar la temperatura dentro de la sala de cultivo, el criterio del valor de ajuste es, en última instancia, «el estado del cultivo». En lugar de calcar una tabla de valores correctos, se lee si encaja o no mirando en el propio terreno la desviación entre la temperatura de la hoja y la del aire, la diferencia día-noche y el aspecto de hojas y raíces. A quienes ajustamos la temperatura se nos exige la capacidad de observación para captar correctamente el estado de la planta. Cómo mover ese 1 ■ día-noche, cómo juzgar la desviación o la diferencia día-noche y demás operaciones más a fondo se tratan en «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales».

Inseparable de la temperatura es cuánta agua sostiene el aire——la humedad. Con la misma temperatura, según la humedad el estado de la hoja cambia por completo.

El manejo de la humedad

Junto con la temperatura, otro manejo imprescindible es el de la humedad. La planta saca agua por la hoja, en lo que se llama «transpiración», y, montando sobre ese flujo, reparte por todo el cuerpo el agua y los nutrientes absorbidos por la raíz. La humedad actúa directamente sobre esta transpiración.

El 60 % del higrómetro cambia de contenido según la temperatura

En una granja vertical, lo habitual es mantener la temperatura ambiente más o menos constante y contener con deshumidificación, de forma continua, la humedad que sube de la hidroponía. La humedad se mira por rango, del tipo «con objetivo en el 60 %», y si el higrómetro se asienta por ahí, pues bueno, irá bien.

Pero ¿no ha tenido esta experiencia? Con el mismo «60 %», según el día el aspecto de la mata es de algún modo distinto. La turgencia de la hoja tiene días buenos y días no tanto. Y eso que el número del higrómetro no ha cambiado.

Esto, probablemente, no es imaginación suya. El «60 %» del higrómetro es la proporción de qué porcentaje está lleno ahora, respecto a cuánta agua puede sostener el aire a esa temperatura. Como es una proporción, cuando la temperatura se mueve, con el mismo 60 % cambia el propio «margen que aún puede absorber» del aire. El aire cálido puede sostener

mucho, así que con 60 % aún hay gran margen para absorber. Si baja la temperatura ambiente, el propio volumen del depósito lleno se hace pequeño, y con el mismo 60 % el margen para absorber es menor.

Visto desde la hoja, este «margen que el aire aún puede absorber» es la propia fuerza de tracción con la que se puede sacar agua como transpiración. Esto es lo que se llama **VPD (déficit de saturación)**. Que en un día de temperatura ambiente alta la mata se viera en buen estado fue porque la tracción del aire funcionaba, la transpiración giraba y, montando sobre ese flujo, los nutrientes llegaban hasta la punta de la hoja. Un día de «60 % y, aun así, hoy va pesado» era que, al bajar la temperatura ambiente, la tracción se debilitó y, queriendo sacar, no se sacaba del todo y el interior de la hoja estaba algo congestionado—visto así, más o menos cuadra.

Es decir, uno creía estar mirando el higrómetro, pero lo que de verdad funcionaba era la «fuerza de tracción» que, por detrás, se decidía en conjunto con la temperatura. El % de humedad relativa es una sección transversal del resultado, y es algo distinto del eje continuo que siente la mata.

La deshumidificación y la temperatura ambiente mueven una misma tracción desde lados distintos

Llegados aquí, cambia una manera de verlo. Hemos gestionado «temperatura ambiente constante, humedad al 60 %» como dos mandos separados, pero, visto desde la mata, la deshumidificación y la temperatura ambiente no son dos cosas separadas, sino que mueven un mismo eje—esa fuerza de tracción—desde lados distintos. Tanto si se baja la humedad como si se sube la temperatura, el «margen que el aire aún puede absorber» se ensancha. Visto desde la hoja, con cualquiera de las dos operaciones se mueve en la dirección de que la tracción se refuerza.

Sin embargo, no es que sean intercambiables. La temperatura mueve, junto con la tracción, también el propio metabolismo de la mata—la velocidad de estiramiento y la respiración. La deshumidificación, en cambio, puede tocar solo la tracción sin tocar relativamente eso. Actúan sobre el mismo eje, pero arrastran un rango distinto. Por eso, si el objetivo es el solo punto de la tracción, lo normal es ir a ajustar con la deshumidificación, que no trae cosas de más, y dejar la temperatura como último margen—ese es el orden.

Por trazar una línea con franqueza: lo que he comprobado con el cuerpo es solo el rango de las hortalizas de hoja en granja vertical. El gran marco de que la deshumidificación y la temperatura actúan sobre este único eje me encaja ahí, pero con qué VPD concreto conviene girar para que vaya mejor cambiará según el producto y la etapa de crecimiento, y eso no es algo que yo pueda afirmar tajante.

El VPD se puede leer con los dos instrumentos que ya hay

Cuando empieza a verse el eje de la fuerza de tracción, quizá uno piense «¿entonces hace falta un instrumento nuevo?». La conclusión es que no. Como el VPD es una magnitud que se decide a partir de la temperatura y la humedad, con tener los dos——el termómetro y el higrómetro de la pared——ya se llega. Tanto si se busca en una tabla de consulta rápida como si se calcula con una fórmula de conversión, el valor que sale es el mismo. Más que una máquina nueva, es de la naturaleza de releer los dos números que ya se tienen no como «proporción», sino como «tracción».

Si algo falta, no es el instrumento, sino más bien «de dónde» es la tracción. El termómetro y el higrómetro de la pared suelen medir el aire del centro de la sala. Pero la tracción era cosa de lo que siente la mata——la hoja. Cuando las matas se alinean apretadas y la hoja se espesa, dentro de esa espesura la sensación del aire es distinta a la de fuera. Al meter la mano, se nota el aire cargado. En una misma sala conviven lugares de tracción fuerte y de tracción débil. Un punto de la sala solo mira ese promedio.

Por qué es importante el manejo de la humedad——la trampa propia del espacio cerrado

La granja vertical recibe poca influencia del aire exterior pero, por ser un espacio cerrado, la humedad tiende a acumularse. En el lado que debilita la tracción——es decir, el lado de humedad demasiado alta——hay varios frenos.

Primero, la **condensación**. El agua que el aire ya no puede sostener sale como gotas sobre paredes frías, equipos o la hoja. El lugar condensado se convierte con facilidad en madriguera de moho, y si quedan gotas sobre la hoja también prolifera con facilidad el patógeno. Lleva también a cortocircuitos del sistema eléctrico y a corrosión del metal. El germen en sí está en todas partes y no se puede llevar a cero. Por eso el objetivo no es «no dejarlo entrar», sino **no aumentarlo ni extenderlo** por condensación o acumulación. Se reduce a no crear un estado

propenso a la condensación por plantación densa mal ventilada o por cambios bruscos de la temperatura ambiente.

Y el lado de humedad demasiado alta es también la entrada a la **etiolación**, en que la mata se estira larga y fina (la etiolación se trata en la segunda mitad de este capítulo). A la inversa, en el lado de tracción demasiado fuerte hay otra trampa distinta, y esa es la historia de la quemadura de puntas que viene a continuación.

La distinción con la quemadura de puntas——el mismo «secado de puntas», pero con causas opuestas

Si hablamos del problema con el que el terreno se topa primero en relación con la humedad, será la **quemadura de puntas**, en que la punta de la hoja se seca quebradiza. Y, además, no es la hoja vieja, sino la punta de la hoja nueva, la que crece con más vigor, la que resulta dañada.

Teniendo en cuenta lo de la tracción, aquí hace falta distinguir. Porque la quemadura de puntas sale **tanto con tracción débil como fuerte**. Por eso, solo por el aspecto del síntoma, no se distingue desde qué lado vino el daño.

La verdadera identidad es, en esencia, que el calcio no llega a la punta de la hoja. El calcio se transporta montando sobre el flujo de la transpiración y, una vez que llega a un sitio, es un nutriente que se asienta y ya no se mueve. Por eso, en la punta de la hoja nueva, la más lejana y la que más lo pide, es donde primero aparece la carencia. La rareza de que sea la hoja vigorosa la dañada es porque su demanda es la más grande.

Sobre esa base, los dos lados se reparten en cara y cruz.

- **El lado de tracción débil** (el lugar cargado del fondo de la espesura): como el propio flujo no se origina, no se puede transportar. Es una congestión con la salida cerrada.
- **El lado de tracción demasiado fuerte** (la época en que el viento da, tiende a secar y crece a buen ritmo): aunque la hoja entera está sacando agua, la velocidad de estiramiento es mayor, y antes de que el flujo llegue hasta la punta se agota en el lado del cuerpo principal. Hay flujo, pero el extremo se queda atrás: es, por así decir, una derrota en el reparto.

Aunque el resultado de que no llega es el mismo, la causa es opuesta según esté atascado o se haya perdido en el reparto. Por eso, al aventurar el diagnóstico, más que el síntoma en sí,

se miran juntos «dónde salió» y «hacia qué lado iba la tracción en ese momento». Si sale en un día en que la fila del fondo, donde se acumula el aire, está pesada en su conjunto, se sospecha del lado débil; si sale en una época en que crece a buen ritmo en un lugar donde da el viento, se sospecha del lado fuerte.

Téngalo presente: como es un problema de la forma de repartir, aunque uno se limite a concentrar más el calcio de la solución nutritiva, difícilmente llega hasta las hojas jóvenes del interior. Más que la cantidad total, funciona el flujo que lo hace llegar. Las medidas complejas contra la quemadura de puntas en sí se vuelven a tratar en la segunda mitad de este capítulo.

Una jugada que se puede hacer mañana, sin añadir máquinas

Si, leído hasta aquí, hubiera una primera jugada que se pudiera hacer mañana sin meter una máquina nueva, yo empezaría por meter la mano en el lugar que parezca de tracción más débil.

No hace falta herramienta. Meta la mano en la fila más recóndita, donde la espesura es máxima y parece acumularse el aire. ¿Está pesado y cargado comparado con fuera, o el aire se mueve como es debido? Solo con eso, uno sabe con la piel dónde está el «lugar débil» de su sala. Como el número de la pared solo dice el promedio de la sala, lo primero es ir a buscar con la mano el lugar que ha quedado descolgado de ese promedio. Junto con eso, si saca una vez el VPD a partir de la temperatura y la humedad actuales, «por qué zona estoy operando ahora» empieza a verse también en números.

Una vez hallado, lo siguiente es el viento. Sin meter una máquina nueva, cambie un poco la orientación o la disposición de los ventiladores que ya giran y pruebe a hacer pasar aire hacia ese fondo. Si se quita la acumulación, la tracción del lugar más débil se acerca al promedio de la sala y la desigualdad se reduce.

Por cierto, llegado el verano llega sin falta la escena en que preguntan «¿no se puede bajar el coste eléctrico de la deshumidificación?». Aflojar la deshumidificación es tirar hacia el lado que debilita la tracción. Si se afloja toda la sala de forma uniforme, lo primero que se queja no es el valor promedio, sino la fila del fondo, la más débil. Por eso, antes del «¿cuánto bajar?», primero recorte la desigualdad y suba el techo del lugar débil——el juicio de aflojar no llega tarde si es después de eso. Este discernimiento, es decir, la amplitud óptima de la tracción y el equilibrio con el coste, si se entra a fondo da para un libro entero. La continuación de la

forma de pensar la dejo a «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales».

Una última cosa. Lo que he comprobado con el cuerpo es solo el rango de las hortalizas de hoja en granja vertical, y lo de hoy también es una estimación dentro de ese tacto. Si cambian el producto o el equipo, también cambiarán cómo aparece el lugar débil y cómo funciona el viento. Por eso, reciba también esta jugada no como una respuesta, sino como un primer asidero para poner en duda su propio terreno.

Tras la temperatura y la humedad, dirigimos la vista al contenido del aire en sí—el CO₂ que la planta usa como material de la fotosíntesis. También aquí lo que funciona no es solo «cuánto hay», sino «si llega hasta la hoja».

El aprovechamiento del CO₂



La planta absorbe con la fotosíntesis el CO₂ del aire y fabrica nutrientes como el azúcar para crecer. La concentración normal de CO₂ en el aire es de unos 400 ppm, pero en una granja vertical, al elevarla, se promueve la fotosíntesis y se acelera el crecimiento. Como referencia de la concentración interior, lo habitual es elevarla finalmente hasta en torno a los 1000 ppm (este «1000 ppm» es la concentración final que se toma como objetivo, no la cantidad que se aumenta).

Al elevar la concentración, cabe esperar a grandes rasgos los siguientes efectos.

- Si la luz y la temperatura son suficientes, sube la velocidad de crecimiento y se puede acortar el periodo hasta la cosecha

- Si esas condiciones se reúnen, también se puede aumentar la cantidad cosechada por la misma superficie
- La fotosíntesis se activa y la mata crece con firmeza

Métodos para elevar la concentración

A la tarea de elevar la concentración de CO₂ se le llama «aplicación de CO₂». Hay principalmente 3 formas de suministro.

1. Bombona de gas carbónico: adecuada para instalaciones relativamente pequeñas. Se puede introducir barato, pero requiere el trabajo de cambiar la bombona y espacio de almacenaje 2. CO₂ líquido: para instalaciones de tamaño medio a grande. Puede suministrar gran cantidad, pero conlleva coste de introducción 3. Generador de CO₂ por combustión: produce CO₂ quemando queroseno o gas natural. El coste de funcionamiento es relativamente barato, pero como junto con el CO₂ también salen calor, vapor de agua y gases de combustión, en una instalación cerrada de luz artificial hace falta tratar el calor residual, el aumento de humedad y los gases de combustión (las condiciones de aplicación son distintas a las de un invernadero)

Qué método elegir cambia según la escala, el presupuesto y el cultivo. Pero la forma de elegir el aparato es una historia que tiene como premisa el «si llega o no» que se dirá después, y se elija el método que se elija, si no se logra transportar al contorno de la hoja, el efecto se ve perjudicado por igual. Para la comparación de costes entre métodos y el juicio de selección, basta con sujetar el marco de la forma de pensar y concretarlo en los 172 consejos.

El manejo de la concentración en sí suele combinar un sensor de CO₂ con un dispositivo de control. El sensor mide la concentración interior en tiempo real, y el dispositivo de control regula automáticamente la cantidad de suministro a partir de ese valor.

El medidor marca 1000, pero solo la fila del fondo no crece

A partir de aquí está el punto que más atasca en el terreno.

Hay muchos terrenos que hacen girar el CO₂ como «mantener en 1000 ppm» y la climatización como «respetar el valor de ajuste», con encargados distintos y medidores distintos. Pero ocurre que, aunque el medidor marca 1000, dentro de la misma sala solo la fila del fondo se queda atrás en crecimiento. Al principio uno piensa que la fotosíntesis se ha

estancado, pero, fijándose bien, la fila cercana a la boca de salida del aire no está tan mal, y solo la fila del fondo, donde el aire no se mueve, va lenta. Cuando es así, esto, más que un problema de la cantidad de CO₂, es la historia de si el aire se mueve o no.

¿Por qué ocurre así? La hoja que está haciendo la fotosíntesis absorbe el CO₂ justo cercano a su superficie y crea ahí una capa como una fina película. A esto se le llama «capa límite foliar». Si el aire de aquí no se mueve, lo absorbido no se repone y solo el contorno de la hoja queda con la concentración fina. La concentración del contorno de la hoja se decide, al final, por la resta de «cuánto vuelve a transportar el aire lo que la hoja absorbió». Por eso, aunque el medidor de la sala marque 1000 ppm, en la superficie de la hoja de la franja sin viento del fondo a veces solo se obtiene una cantidad menor que esa. ¿No le suena de algo?

En hortalizas de hoja en granja vertical totalmente artificial, si la luz es constante con LED, la diferencia de crecimiento por fila no se puede explicar con «falta luz». El número del medidor es el valor de algún punto de la sala, y no tiene por qué ser igual el contorno de la hoja de la fila del fondo. El problema es «cuánto llega realmente al contorno de la hoja», pero mientras se mire por separado el medidor de un punto, el aplicador de CO₂ y la climatización, esa diferencia no se ve.

La concentración y el flujo de aire son problemas distintos

Lo que aquí conviene sujetar es que **la concentración de CO₂ y el flujo de aire son problemas distintos.**

Por mucho que se aumenten los aplicadores y se lleve toda la sala a 1200 o 1300 ppm, si no hay movimiento en el contorno de la hoja la capa límite sigue fina y la fila del fondo sigue lenta igual. A la inversa, la fila cercana a la boca de salida, aun con un flujo débil, renueva el aire, así que con los mismos 1000 ppm llega como es debido. Es decir, cuánto llega no se decide por la cantidad que se envía, sino por el método de aplicación y la forma de crear el flujo de aire. Antes de añadir cantidad, primero hay que dudar de «si se está transportando».

Y, además, no es que el CO₂, por mucho que se añada, funcione sin límite. El CO₂ que puede usar la fotosíntesis tiene un tope, y en una granja vertical donde la luz y la temperatura son constantes, a partir de cierta concentración, por más que se añada, el incremento de rendimiento se hace pequeño. Lo que aquí es fácil confundir son el estado de «se ha saturado y se ha estancado» y el de «parece estancado porque no se está transportando al fondo».

Cuando en realidad solo está atascado el transporte y, creyendo que se ha saturado, se aumentan los aplicadores o se sube la concentración de la bombona, a fin de mes solo quedan los números de «subió el gasto de CO2 pero el rendimiento no cambió». Este es el patrón en que más dinero se tira.

El asidero para distinguir no es difícil. Pegue al extremo de una varilla un papel ligero o un pañuelo cortado fino y manténgalo a la altura de la hoja. Que en la parte delantera ondee y en el fondo cuelgue sin moverse hace ya visible que «aquí no se está transportando». Sobre esa base, en un terreno donde se ha sabido que el fondo está sin viento, antes de añadir CO2 alto a veces funciona más cambiar la orientación del viento hacia el estancamiento del fondo, o añadir un pequeño ventilador de circulación. La forma de generar el viento en sí se trata a continuación, en «El manejo de la climatización y el viento».

El CO2 es uno de los elementos básicos de la granja vertical, junto con la luz, el agua y la temperatura. Por mucho que se ajusten la luz o la temperatura, sin CO2 la planta no crece. Pero recuerde que lo importante en la aplicación no es solo «a cuánto poner la concentración de la sala», sino más bien «si esa cantidad se está transportando hasta la hoja del fondo». El discernimiento de la concentración óptima, y el juicio del coste y la recuperación por método, ese paso más a fondo, se trata en detalle en «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales».

Ese «si se está transportando hasta la hoja» que ha salido tantas veces en lo del CO2—ese transportador es el viento. La temperatura, la humedad y el CO2, al final, llegan a la hoja montando sobre el flujo del aire. Veamos aquí el viento en sí, que los transporta a todos juntos.

El manejo de la climatización y el viento

Hemos visto la temperatura, la humedad y el CO2, y aunque parezca que se gestionan por separado con equipos separados, en realidad están unidos por un solo hilo. Ese único hilo es el flujo del aire, es decir, el viento. La granja vertical recibe poca influencia del aire exterior pero, por ser un espacio cerrado, el aire tiende a estancarse y, si se deja, nace el estancamiento. Por mucho que se ajusten la temperatura, la humedad y el CO2, si ese aire no se mueve hasta donde está la hoja, no tiene sentido. El viento es el transportador que los hace llegar todos juntos a la hoja.

El papel que cumple el viento

El viento tiene, a grandes rasgos, los siguientes papeles.

- **Hacer llegar el CO2 hasta la hoja:** aunque el medidor de la sala marque 1000 ppm, ese es el valor de algún punto de la sala. En los lugares donde el aire no se mueve, lo que la hoja absorbió no se repone y solo el contorno de la hoja se adelgaza. Hay situaciones en que funciona más mover el aire que aumentar la cantidad de aplicación.
- **Igualar la desigualdad de temperatura y humedad:** por la influencia de la iluminación o la climatización, según el lugar salen diferencias de temperatura y humedad. En especial, entre el piso alto y el bajo de un rack en pisos las diferencias de temperatura salen con facilidad, y el viento las iguala.
- **Renovar el aire de la superficie de la hoja:** en la superficie de la hoja hay una fina capa de aire llamada «capa límite foliar», y si esta no se mueve se atasca la entrada y salida de CO2 y de humedad. El viento mueve esta capa y ayuda a la entrada y salida.
- **No acumular humedad:** en un espacio cerrado donde la humedad tiende a subir, también es trabajo del viento sacar el vapor de agua acumulado en el contorno de la hoja. Como el germen está siempre presente, más que tapar la entrada, funciona no dejar que se acumule ni que se extienda.

El viento es más «la forma de repartir» que «la cantidad total»

Para generar viento se usan principalmente el «ventilador» y la «función de soplado del equipo de climatización». El ventilador hace de forma localizada y la climatización hace girar el viento por toda la instalación: ese es el reparto de papeles.

Lo que aquí conviene recordar es que **no es cuestión de hacer el viento fuerte**. Si uno sube el caudal de aire para hacerlo llegar al fondo, esta vez la hoja de delante se seca de más o recibe estrés. Como con un único mando de caudal está todo conectado, al levantar el fondo no se levanta la parte delantera. Lo que de verdad funciona, más que subir la cantidad total, es «la forma de repartir». Por ejemplo, añadir un pequeño ventilador de circulación solo en el fondo o en los huecos de las estanterías, donde el aire tiende a estancarse, y mover solo el punto que se ha adelgazado. Así no hace falta subir el caudal de aire del conjunto.

La base de la forma de repartir tampoco es difícil.

- No colocar los ventiladores enfrentados, sino hacer que en toda la instalación el viento dé una vuelta en una misma dirección (si los flujos se cancelan entre sí, queda estancamiento)
- Las esquinas donde al viento le cuesta darse la vuelta son habituales del estancamiento, así que darles de forma intensiva
- Si se quiere igualar la diferencia de temperatura por piso del rack, en dirección vertical; si se quiere uniformar una cama de cultivo amplia, en dirección horizontal——usar la orientación según el caso
- No dar el viento de forma continua directamente sobre la hoja. Hacerlo fluir por encima o por el costado de la planta (si se continúa el impacto directo, la hoja se daña)

El estancamiento se encuentra con la temperatura y la humedad

El manejo de la climatización y el viento, si se sujeta lo básico, es sencillo. La zona donde el aire se estanca empieza a verse si se mide la temperatura o la humedad. En la misma sala, donde solo la fila del fondo tiene la temperatura alta o la humedad alta, ahí está el estancamiento. Si pega un papel ligero al extremo de una varilla y lo mantiene a la altura de la hoja, la falta de viento se ve a ojo: delante ondea y al fondo cuelga sin moverse. Una vez hallada la desigualdad, se ajusta la forma de dar el soplado y se va corrigiendo. Con esto basta para mucho.

Pero cuando se llega al punto en que, por la forma de armar las estanterías o la forma de la sala, aunque se añadan ventiladores el viento no gira, se entra en el dominio de rediseñar con cálculo el propio flujo de aire. Eso pasa a ser también un gran juicio de inversión, así que sujete solo la entrada a la forma de pensar, y el diseño a fondo se trata en «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales».

Una vez ajustados la luz, el agua y el aire, el último elemento es la nutrición. En hidroponía, toda la nutrición que la planta necesita se la damos disuelta en agua por mano humana. Empecemos por cómo manejar el propio fertilizante que está en su origen.

El manejo del fertilizante

En hidroponía, se disuelve el fertilizante en agua para hacer la solución nutritiva. En este apartado veremos cómo manejar ese fertilizante en sí. Cómo medir y cómo renovar la

solución nutritiva lo dejo al apartado siguiente, y aquí me ciño a «qué y cómo formular».

Las condiciones que se le exigen al fertilizante en una granja vertical

La premisa al elegir el fertilizante que se usa en una granja vertical son estos tres puntos.

- Solubilidad en agua: en hidroponía, el fertilizante llega a la planta en estado disuelto en agua. Que se disuelva bien en agua y se absorba con facilidad
- Pureza: usar un fertilizante de alta pureza, con pocas impurezas, estabiliza el equilibrio de componentes de la solución nutritiva y reduce el riesgo de inhibición del crecimiento
- Rapidez de acción: como se busca cosechar en poco tiempo, conviene la rapidez de acción que la planta absorbe enseguida

Fertilizante simple y fertilizante compuesto

Hay dos tipos de fertilizante: «fertilizante simple» y «fertilizante compuesto». El fertilizante simple contiene solo un nutriente concreto, como nitrógeno, fósforo o potasio. El fertilizante compuesto es uno que mezcla de antemano los nutrientes necesarios.

Ventajas de usar fertilizante compuesto

- Cómodo: lo necesario viene ya formulado, y se ahorra el trabajo de preparación y manejo
- Producto ajustado al objetivo: hay productos ajustados al cultivo y a la etapa de crecimiento, como para hortalizas de hoja o para hortalizas de fruto

Ventajas de usar fertilizante simple

- Reposición puntual: a partir del resultado del análisis de solución nutritiva, se puede reponer solo el nutriente que falta
- Formulación original: combinando varios fertilizantes simples, se puede crear una formulación propia

Cuál usar depende de la orientación del cultivo. Pero en la fase de recién empezar, en que uno no sabe cuál usar, lo recomendable es entrar primero por el fertilizante compuesto. La formulación con fertilizante simple cobra sentido una vez que se empieza a hacer girar la cosa.

«Barato, luego fertilizante simple» no siempre es así

El motivo para meterse con el fertilizante simple suele ser «hacerlo más barato que el fertilizante compuesto comercial». El precio unitario de la materia prima en sí, ciertamente, tiende a bajar. Pero a cambio se montan, en intercambio por el coste del fertilizante, las horas de mezcla, el trabajo de medición, el inventario de varios tipos que hay que tener y el desecho de lo que sobra sin usar. Si se produce poca cantidad y solo de vez en cuando, a veces gana la comodidad del fertilizante compuesto. Si es barato o no depende de la escala y del manejo, y mirando solo el coste del fertilizante no se zanja la partida.

El verdadero valor del fertilizante simple está, más que en lo barato, en la libertad de poder mover el contenido ajustándolo al cultivo y a la etapa. Lo que en el fertilizante compuesto está decidido en bloque, se puede tocar por unidades de ion. Si esa libertad hace falta o no es la bifurcación de si avanzar o no hacia el fertilizante simple.

Aunque la CE cuadre, no por ello cuadra el contenido

Aquí dejo una cosa que en el terreno se malinterpreta con facilidad.

La concentración de la solución nutritiva se mide con la CE (conductividad eléctrica), pero la CE solo mira la cantidad total del conjunto de iones disueltos. Aunque la suma sea la misma, su desglose no se refleja en el medidor de CE. Tanto si hay mucho nitrógeno y poco potasio como al revés, el medidor da el mismo número.

Donde esto cobra peso es en el método de recirculación, que reutiliza la solución nutritiva. Como el cultivo no absorbe los iones de forma uniforme, si se hace circular con la formulación fija, ocurre que la CE se mantiene pero solo ciertos iones van disminuyendo sin que se note. En particular, los microelementos como el cloruro, el hierro o el manganeso tienden a agotarse antes sin montar sobre el movimiento de la CE. Cuando «la CE cuadra pero, no se sabe por qué, el crecimiento no luce», a veces detrás está este sesgo del desglose. Por eso, acotar a uno o dos los iones que se reflejan poco en la CE y que disminuyen con facilidad, y comprobarlos de vez en cuando por separado——solo con esto ya se llega antes a la merma que con la sola CE no se advierte.

Separar la solución A y la B es por el calcio y el fósforo/azufre

Tanto en fertilizante compuesto como en simple, hay un tipo que se hace separando la solución madre en dos tanques (solución A y solución B). Por qué hace falta esto, lo

importante es no confundir la razón.

Lo que se separa es el calcio y el «fósforo/azufre», para no hacerlos coincidir mientras están concentrados. El calcio, cuando coincide con el fósforo o el azufre en alta concentración, forma precipitado. La verdadera identidad de eso blanco que se acumula en el fondo es, casi siempre, este fosfato de calcio. Por eso se reúne el nitrato de calcio en uno de los tanques y los de tipo fósforo y azufre en el otro, y no se mezclan directamente las soluciones concentradas. Como al diluir baja la concentración, en la solución nutritiva final el calcio y el fósforo/azufre conviven sin problema. El precipitado solo da miedo, a fin de cuentas, dentro de la solución concentrada.

Por cierto, a menudo se dice «separar el calcio y el magnesio», pero lo que hay que separar es el calcio y el fósforo/azufre. Y como el precipitado sale con más facilidad cuanto más alta es la temperatura del agua (el fosfato de calcio, al calentarse, se disuelve más bien peor), en verano hay que tener especial cuidado al preparar la solución concentrada.

La formulación, «desde el ion», no «desde la CE objetivo»

Entonces, ¿cómo se decide la cantidad de formulación, que es lo importante?

Cuando uno no está acostumbrado, tiende a meter la cantidad de la tabla de formulación para que la CE quede parecida a la del año anterior, ajustar con el medidor de CE y dar por terminado. Pero, como hemos visto antes, la CE no mira el desglose. La vía correcta es la inversa: decidir primero la concentración objetivo de cada ion y, a partir de ahí, calcular hacia atrás la cantidad de fertilizante simple. La CE no es el objetivo al que ir a ajustar al principio, sino la herramienta para comprobar al final «si no se ha desviado»: ese es el orden.

En esto, la clave es igualar por la reactividad del ion, no por el peso, y aquí aparece la unidad mEq/L (miliequivalente por litro). Porque entre el potasio monovalente y el calcio divalente, con el mismo peso, la reactividad difiere en casi el doble. Aun así, calcular esto a mano cada vez no es realista en el terreno. En la práctica se calcula con una hoja de cálculo o con una herramienta de programa de fertilización.

La formulación del fertilizante es uno de los trabajos importantes de la granja vertical. Hacen falta tanto la experiencia como los datos, y con el tiempo se va asentando como la propia habilidad de formulación. Como referencia, también he preparado una hoja de programa de fertilización gratuita, «SimpleFert», que hice a partir de mi experiencia en el terreno. Basta con

introducir la información necesaria para calcular la cantidad de formulación.

El procedimiento concreto de cálculo hacia atrás en mEq/L——desde qué fertilizante simple ir rellenando, cómo restar los iones que entran de acompañamiento, cómo moverlo ajustándolo a la etapa de crecimiento y a la temperatura del agua——es entrar en el contenido del diseño de formulación, así que está recogido en «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales». Aquí, primero, tenga solo esta actitud: «la tabla de formulación no es un valor fijo que memorizar, sino un plano que se rehace cuando se vienen abajo las premisas».

Si se disuelve el fertilizante en agua, queda la solución nutritiva. Cómo medir y cómo mantener día a día esa solución nutritiva——aquí está el trabajo central del día a día de la hidroponía.

El manejo de la solución nutritiva



Disolver el fertilizante en agua es lo que da la solución nutritiva. En una granja vertical, esta solución nutritiva se convierte en la línea de vida que condiciona el crecimiento de la planta. En el apartado anterior vimos cómo elegir el propio fertilizante; aquí es la historia de cómo gestionar día a día la solución nutritiva que lo disuelve.

Los nutrientes que contiene la solución nutritiva

En hidroponía, en lugar de suelo se usa una solución nutritiva que mezcla agua y fertilizante. Los principales nutrientes que contiene la solución nutritiva son los siguientes.

- Nitrógeno (N): promueve el crecimiento de hojas y tallos, y es imprescindible para la síntesis de proteínas y de clorofila. Su carencia amarillea la hoja

- Fósforo (P): promueve el desarrollo de la raíz y la formación de flores y frutos, y participa en el metabolismo energético. Su carencia empeora el desarrollo de la raíz
- Potasio (K): promueve la fotosíntesis y eleva la resistencia a las enfermedades. Participa también en la regulación del agua dentro de la célula. Su carencia seca el borde de la hoja
- Calcio (Ca): refuerza la pared celular y estabiliza el crecimiento. Su carencia deforma la hoja nueva o pudre la punta del fruto
- Magnesio (Mg): componente de la clorofila, imprescindible para la fotosíntesis. Su carencia amarillea el espacio entre nervios de la hoja
- Azufre (S): componente de las proteínas, participa también en la activación de enzimas. Su carencia amarillea la hoja en su conjunto

A estos se les llama macronutrientes, y si falta cualquiera de ellos la planta no crece. Además, los nutrientes llamados micronutrientes, aunque en poca cantidad, también son importantes.

La base del manejo de la solución nutritiva: la CE y el pH

Los indicadores especialmente importantes en el manejo de la solución nutritiva son dos: «CE» y «pH». Primero sujetemos estos dos.

CE (conductividad eléctrica)

CE es la abreviatura de «Electrical Conductivity (conductividad eléctrica)» e indica la facilidad con que fluye la electricidad. Como cuando el fertilizante se disuelve en agua la electricidad fluye con más facilidad, mirando la CE se sabe de forma indirecta la concentración de fertilizante disuelto en la solución nutritiva.

- CE alta: la solución nutritiva está concentrada
- CE baja: la solución nutritiva está diluida

Si la CE es demasiado alta, la planta deja de poder absorber agua y hay peligro de que se seque. A la inversa, si es demasiado baja, el crecimiento se detiene por falta de fertilizante. Ajustar la concentración de CE adecuada según la especie de planta y la etapa de crecimiento es el punto de partida del manejo de la solución nutritiva.

pH (concentración de iones de hidrógeno)

El pH indica el grado de acidez o alcalinidad de la solución nutritiva. Donde la mayoría de los cultivos absorben los nutrientes con más eficiencia es en torno al pH 5,5–6,5, ligeramente

ácido. Al salirse de este rango se producen los siguientes problemas.

- Inhibición de la absorción de nutrientes: los nutrientes de la solución nutritiva se absorben con dificultad
- Trastorno del crecimiento: empeora el desarrollo de la raíz o el color de la hoja
- Absorción insuficiente de microelementos: el hierro, el manganeso, etc., se absorben con dificultad y se llega a un mal crecimiento

Como el pH condiciona la propia facilidad de disolución de los nutrientes, lo básico es primero meterlo en este rango. Pero el pH se mueve por su cuenta a medida que la raíz absorbe iones. No es un valor que con ajustarlo una vez quede zanjado, y según el cultivo y el sustrato también tiene un margen de movimiento, así que téngalo por un objeto que se va mirando a diario.

Hacer la solución nutritiva

Para hacer la solución nutritiva, se mezclan agua y fertilizante en la proporción adecuada.

1. **Preparación del agua:** se usan agua del grifo, de pozo, filtrada, etc., pero el caso del agua del grifo es el más frecuente. Si se usa un fertilizante que contiene nitrógeno amoniacal, se elimina el cloro residual dejándola reposar o con tiosulfato de sodio, etc. 2. **Preparación del fertilizante:** si se usa fertilizante compuesto, se disuelve en agua la cantidad adecuada siguiendo las instrucciones del producto. En un sistema de recirculación, es eficiente preparar una solución madre (solución de reserva) de unas 100 veces la concentración de la solución nutritiva final y hacerla solución nutritiva final diluyéndola con un inyector o un dispositivo de suministro automático (no es una «solución diluida 100 veces», sino la solución 100 veces concentrada antes de diluir) 3. **Mezcla:** se disuelve el fertilizante en agua poco a poco mientras se remueve bien. Como el calcio provoca precipitado dentro de la solución concentrada en alta concentración con el fósforo y el azufre, hay un tipo que prepara el tanque de solución madre separado en dos, A y B (en la solución nutritiva final tras diluir, el calcio y el fósforo/azufre conviven) 4. **Ajuste de la CE y el pH:** se mide con el medidor de CE y el de pH y, si hace falta, se ajusta. El valor de CE, si está por debajo del objetivo se añade fertilizante, y si está por encima se añade agua para diluir. El valor de pH, si está bajo se añade un poco a poco un corrector de subida de pH, y si está alto, uno de bajada de pH

Gestionar la solución nutritiva

Durante el cultivo, la solución nutritiva no está siempre en un estado constante. El manejo diario sigue este flujo.

1. **Medición:** se miden el valor de CE y el de pH al menos una vez al día (si se baja la frecuencia, se retrasa la captación del cambio). Si se igualan los momentos de medición a la misma hora cada día, es más fácil comparar los cambios diarios. En entornos a gran escala, la medición manual tiene un límite 2. **Registro:** los valores medidos se registran sin falta. Permite captar los cambios y sirve también para indagar la causa cuando surge un problema. Vale tanto un cuaderno como una hoja de cálculo 3. **Ajuste:** si se sale del valor objetivo, se ajusta. Como el pH, si se mete de golpe en gran cantidad, a veces precipita los componentes del fertilizante, se añade poco a poco 4. **Renovación de la solución nutritiva:** si se continúa el cultivo un tiempo, el equilibrio de los componentes del fertilizante se desbarata o se acumulan componentes innecesarios. Se hace una «renovación de la solución nutritiva», cambiándola periódicamente. La frecuencia depende del cultivo y de la estación, pero en general la referencia es una vez cada 2–3 meses. Las hortalizas de hoja de crecimiento rápido consumen rápido, así que se sube la frecuencia, y en verano los microorganismos se activan y la degradación se adelanta, así que se adelanta también

Es habitual la situación de «no sé la causa, pero por algún motivo el crecimiento no va bien». Con la experiencia se llega a prever la causa, pero de principiante no es tan fácil. En esos casos, probar a jugársela con una renovación de la solución nutritiva también es una jugada. Que se pueda tomar esta opción cuando uno está en apuros es también una de las fortalezas de la hidroponía

5. **Observación:** no solo el valor de CE y el de pH, sino que también se observa bien el estado de la planta. Si hay cambios en el color o la forma de la hoja, o en la situación de crecimiento, quizá haya un problema en la solución nutritiva

La forma de pensar el manejo de la higiene

El tanque de solución nutritiva y la tubería se limpian periódicamente. Es porque, si se acumulan algas o residuos, prolifera con facilidad el patógeno.

Pero, cuando se habla de higiene, se tiende a inclinar hacia la historia de la entrada de «desde dónde no dejar entrar el germen», y la sensación del terreno es algo distinta. El germen, de entrada, no se puede llevar a cero, y está en todas partes. Por eso lo importante

es «no aumentar» y «no extender» el germen. Con las algas igual: hay mucha gente que se preocupa, pero acaban apareciendo. Aunque el aspecto sea malo y sucio, más que aspirar a cero, no hay problema con la actitud de gestionarlas para que no aumenten en exceso. Más que apoyarse en estar desinfectando sin parar, mantener un estado en que la solución nutritiva no se estanca y circula con normalidad, a fin de cuentas, es más estable.

Con solo ajustar no basta——el DO y la desviación del desglose

Hasta aquí es la base del manejo de la solución nutritiva. Cada mañana se aplica el medidor, la CE y el pH están según el objetivo. Los números del parte diario están limpiamente igualados. Y aun así, algo va mal. ¿No le suena de algo?

Hay muchos terrenos en que con solo ajustar casi basta, pero cuando sale un malestar que ni ajustando se explica, hay dos puntos que es fácil pasar por alto. Uno es el oxígeno disuelto (DO); el otro, la desviación del «desglose» de los nutrientes.

El oxígeno disuelto (DO) no es un valor que se ajusta, sino un valor que se vigila

Aunque se gestionen la CE y el pH en paralelo, lo que se mira suelen ser estos dos, y el DO tiende a quedar relegado. Lo fastidioso es que el problema no llega siempre con la misma cara. La CE y el pH están según el objetivo, pero algo va mal. Al mirar atrás, esa época era invariablemente cuando la temperatura del agua había subido, o cuando las raíces habían aumentado y estaban densas, y probablemente el DO había caído——así es como llega.

La CE y el pH son valores que cobran sentido solo cuando la raíz puede absorber realmente los nutrientes. Esa absorción gira con la respiración de la raíz, y la respiración necesita oxígeno. Por eso, cuando el DO cae, por más que se ajusten la CE y el pH según el objetivo, del lado de la raíz no se pueden agotar. Es un estado en que el tablero está en orden pero la mano no se mueve.

Y, además, el DO no es un valor al que, como la CE o el pH, se vaya acercando a diario hacia un objetivo. Es un valor que sale como resultado de condiciones como la temperatura del agua, la cantidad de raíz, el caudal y la aireación. Los medios para moverlo——el método de aireación o el ajuste de la temperatura del agua—— suelen estar decididos del lado del equipo, y no son mandos que se puedan girar a diario en el terreno. Por eso, lo que se puede hacer respecto al DO, más que operar el valor en sí, es comprobar si no está cayendo y leer pronto la pendiente que se dirige al empeoramiento. Téngalo no por un objeto al que decidir

un valor objetivo e ir acercándose a diario, sino por un objeto que se vigila para que no baje de cierto nivel.

En el rango en que he hecho girar hortalizas de hoja en granja vertical, he tomado como referencia del lado seguro no dejar que el oxígeno disuelto baje de 5 mg/L y, a ser posible, mantener en torno a 8 mg/L. Pero esto no es un umbral absoluto que aplique en todas partes, sino una referencia de límite inferior. Más que «cuanto más alto, más funciona», téngalo por una línea que se pone para no dejar que baje de aquí. Al registrar, más que dejar el valor absoluto del DO en un solo punto, conviene dejar juntos la temperatura del agua y el DO. Como al subir la temperatura del agua baja el propio tope de oxígeno que se disuelve en ella, con el mismo DO la caída cuando la temperatura del agua es alta no tiene margen.

Una cosa que conviene recordar es más bien el hecho de que, en la época del problema, la CE y el pH se veían según el objetivo. Eso no sirve de fundamento para «por lo tanto la solución nutritiva no tiene problema». Más bien al revés: cuando el DO se escapa y la absorción se vuelve lenta, como no se consume, la CE y el pH se ven estables. Que los números limpiamente asentados fueran, en realidad, el reverso de que no se estaba usando—hay esa posibilidad.

La CE solo habla de la cantidad total

Junto con el DO, otra cosa fácil de pasar por alto es la naturaleza de la propia CE. La CE es un número que agrupa en bloque la concentración del conjunto. Suma todas las concentraciones de iones separados—nitrato, potasio, calcio, magnesio—en una sola conductividad. Por eso, aunque la suma esté según el objetivo, no por ello cuadra la proporción del contenido.

Y, además, ese desglose se desvía por su cuenta aunque se deje estar. Como la raíz no absorbe los iones de forma uniforme, según la etapa de crecimiento y el producto salen los que absorbe bien y los que deja sin absorber. Por ejemplo, en una época en que absorbe bien el potasio, aunque con la solución de reposición se devuelva a la misma CE, mientras se ajusta la cantidad total añadiendo el potasio que disminuyó, los demás iones que quedaron sin absorber se van acumulando poco a poco. La CE es la misma, pero el contenido se inclina hacia algo distinto de la solución que se hizo al principio. Cuanto más se reutiliza la solución en recirculación, más se acumula esta desviación.

Es decir, «la CE cuadra pero algo va mal» no es solo cosa de la impresión. En el momento en que se redondea en un único número, la CE, la información del desglose se ha perdido. Pero medir cada ion por separado a diario tampoco es realista. Más bien, hay que seguir usando la CE asumiéndola como gestión de la cantidad total y, sobre esa base, tener la premisa de que «aunque la cantidad total cuadre, el desglose puede desviarse». Y la desviación del desglose se contiene con el manejo——renovación periódica de la solución nutritiva y, si aparecen señales, rehacerla por adelantado. Con esto basta. Apunto algunas señales que sirven de material de juicio para el adelanto.

| Señal | Detalle | | --- | --- | | Inestabilización de la CE | Se necesita un ajuste frecuente, o hay variaciones inesperadas | | Cambio brusco del pH | Aunque se ajuste el pH, vuelve enseguida a un valor anómalo, o la variación es grande | | Color u olor de la solución nutritiva | Turbidez, decoloración u olor desagradable | | Estancamiento del crecimiento | El brote nuevo crece lento, la hoja es pequeña, el tallo es fino | | Empeoramiento del estado de la raíz | Se observan pardeamiento, reblandecimiento o muerte de la punta de la raíz | | Aparición de enfermedad | Aumentan la pudrición de raíz o las enfermedades de la hoja |

El malestar no sale el mismo día, sino semanas después

Tanto el DO como la desviación del desglose tienen una naturaleza común. El desbarate no sale el mismo día, sino que aparece con retraso. Aunque el número de hoy esté en rango normal, ese desbarate vuelve convertido en el rendimiento o el grado de calidad de semanas después. Por eso, si el registro de la solución nutritiva se relee no solo con «cuánto fue hoy», sino con el ojo de «¿hubo alguna semana de desbarate y qué se movía entonces del lado de las condiciones?», por primera vez se conecta con el crecimiento. Avanzar un paso aquí, diseñar el registro como KPI y rehacer la desviación del desglose con fertilizante simple——ese juicio de manejo a fondo se trata en detalle en los 172 consejos.

El sabor se mueve por el manejo, no por el método

La historia del manejo de la solución nutritiva enlaza, tal cual, con la historia del «sabor». «Lo de fábrica es aguado», «no tiene amargor y sabe a poco»——a las hortalizas de cultivo interior les persigue esta valoración. Y suele echársele la culpa al tipo de instalación.

Pero cuanto más produce y vende uno en el terreno, más sabe que no es tan simple. El sabor cambia bastante con el tiempo transcurrido desde la cosecha. Con la misma mata, el dulzor

difiere entre la cosecha de la mañana y la de la tarde. Según cómo se gestione justo antes del envío, cambia mucho también cómo sale el amargor. El propio tipo de instalación también genera diferencias de sabor, pero dentro de un mismo método el margen que el manejo puede mover también es grande.

Por ejemplo, el amargor. En lechuga hidropónica, con solo detener la fertilización 2–4 días antes de la cosecha, el nitrato de la hoja, que está en el origen del amargor, baja bastante. Y, además, si las condiciones son buenas, durante ese tiempo el rendimiento apenas cae. Uno tiende a ponerse en guardia con «acercar el sabor sacrifica la cantidad», pero, en cuanto al amargor, hay margen para sacarlo manteniendo la cantidad. En hortalizas de hoja y granja vertical, qué se hace en los días previos a la cosecha es una palanca clara para mover el sabor. Pero no es una panacea, y salen otros costes, como que apretar demasiado el nitrógeno aclara el color de la hoja.

Lo importante aquí es que el dulzor, el amargor y el aroma alcanzan su pico cada uno en condiciones distintas. La condición en que sube el azúcar y la condición en que el nitrato se hace mínimo no son la misma. «El ajuste que maximiza la cantidad» y «el ajuste que maximiza el dulzor» están también en posiciones distintas del mismo dial. Por eso, si no se acota el objetivo a uno, todos los diales quedan parados en una posición a medias. Que una hortaliza cultivada sin decidir el objetivo aterrice en «un sabor sin carácter, fino» no es por ser codicioso, sino porque, al no haber eje, cada proceso oscila a medias. La verdadera identidad de lo de fábrica que llaman aguado es, más que el método, la ausencia de ese objetivo.

Por eso, lo primero que hay que hacer no es ponerse de golpe a tocar la luz o el fertilizante. Es saber qué puede sacar y qué no puede sacar la propia variedad y esa instalación. El aroma tiende a toparse con el tope que la variedad tiene de origen, y por mucho que se apriete el manejo, la variedad que no aromatiza difícilmente aromatiza. Si en las primeras cosechas, sin oscilar el objetivo, se produce con calma en las mismas condiciones y se come tal cual, empieza a verse la naturaleza de «esta variedad de origen no aromatiza» o «el dulzor sube con facilidad». Solo cuando se sabe qué eje se puede mover, se puede elegir dónde levantar uno.

Dicho esto, qué sabor apuntar para que se convierta en precio unitario, con qué destino de venta unirse, las condiciones en que se sostiene la premiumización del sabor—esa historia directamente ligada al beneficio se trata a fondo en los 172 consejos.

Mejora de la precisión aprovechando los datos

Usando los datos, la precisión del manejo de la solución nutritiva sube aún más.

- Registro de cultivo: registrar el valor de CE, el de pH, la temperatura del agua, el tipo y la cantidad de fertilizante y la situación de crecimiento, y captar la relación entre el estado de la solución nutritiva y el crecimiento
- Análisis de solución nutritiva: si se encarga a un organismo especializado, se puede captar con precisión la concentración de cada componente de la solución nutritiva. Ajustar la formulación a partir del resultado del análisis permite un manejo más adecuado
- Aprovechamiento de los datos ambientales: si se analizan relacionando los datos ambientales como temperatura, humedad y concentración de CO₂ con el valor de CE, el de pH y la situación de crecimiento, sube la precisión del control ambiental y del manejo de la solución nutritiva

Mientras uno piense en la solución nutritiva como un valor que se acaba ajustando cada día con el medidor y anotando en el parte diario, la solución nutritiva sigue siendo un «trabajo de ajustar». Pero, desde el momento en que se cambia la mirada a que esa forma de ajustar funciona en la cosecha de semanas después, el manejo de la solución nutritiva se convierte en una pista para leer el crecimiento. Pruebe a releer una vez, con ese ojo, el registro de esta semana.

Hasta aquí se ha reunido, de un tirón, el cimiento del cultivo: luz, agua, aire y nutrición.

Aunque el cimiento esté en orden, en el terreno salen problemas de crecimiento. Por último, veamos los dos con los que el novato se topa antes——la quemadura de puntas y la etiolación.

La quemadura de puntas



«Una lechuga que crecía sin problemas y, justo antes de la cosecha, la punta de la hoja se ha empezado a secar quebradiza y parda». Cuando uno cultiva hortalizas de hoja en una granja vertical, la quemadura de puntas es un trastorno del crecimiento por el que no se puede pasar de largo. Yo también padecí mucho con esto durante largo tiempo.

Qué es la quemadura de puntas

Es un trastorno fisiológico en que la punta o el borde de la hoja se seca y se vuelve pardo. Al principio es apenas una ligera decoloración de la punta, pero al avanzar la parte seca se va extendiendo. En el caso de la lechuga, lo que sale con especial facilidad es en las hojas jóvenes interiores, cercanas al corazón del cogollo. Las hojas grandes de fuera están turgentes y sanas, pero solo el borde de las hojas pequeñas del centro se seca quebradizo. Si nota que «la punta de la hoja se ha vuelto un poco negra», puede ser una señal.

Aunque se diga «falta de calcio»

En el terreno, lo primero que se dice es «falta de calcio». Así que se añade Ca. Pero vuelve a salir. Si tiene esta experiencia, la causa está en otro lugar.

Por mi experiencia, los casos en que la propia concentración de calcio de la solución nutritiva es insuficiente, en realidad no son tantos. En muchos casos, el Ca de la solución es suficiente. Y aun así sale el síntoma. Es decir, la quemadura de puntas, más que faltar la **cantidad total** de Ca, es que el Ca **no llega** hasta las hojas interiores—no es la cantidad en sí, sino cómo se reparte dentro de la mata, ese problema del «reparto».

Por eso, añadir fertilizante de Ca a mansalva pensando «si falta, aumentémoslo» suele ser contraproducente. Por mucho que se concentre la solución, si el destino está sesgado no llega al corazón. Es más, sube la CE o se entra en disputa con otros iones, y se invita a otro malestar.

Por qué se desbarata el «reparto»

El Ca se transporta junto con el agua, fluyendo por los vasos de la planta. Y el agua es traída hacia donde hay mucha transpiración.

Lo que pesa aquí es la diferencia por estantería. Cuanta más luz recibe la estantería, más transpiran activamente las hojas grandes de fuera. Entonces el Ca es traído cada vez más hacia esas hojas exteriores. En cambio, las hojas jóvenes del corazón aún transpiran poco, y dentro de la mata la humedad es alta y el aire también se mueve con dificultad. Como el propio flujo de agua es fino, el Ca no llega. Que se seque solo el centro de la estantería de mayor vigor, la más pujante y de la que más se quiere cosechar——el mecanismo está aquí.

Que salga con más facilidad cuanto más se ataca un crecimiento rápido es por la misma razón. Cuanto más rápido crece, más se van sumando hojas jóvenes interiores una tras otra, y según se reparte van aumentando hojas nuevas. La llegada al corazón deja de alcanzar la velocidad del crecimiento. «Rápido y grande» y «seguro hasta el corazón», llevados al extremo, no miran en la misma dirección. Esta es también la dificultad de las medidas contra la quemadura de puntas.

Las palabras clave son «transpiración» y «velocidad de crecimiento»

La entrada a las medidas está en estos dos.

- **Transpiración:** una humedad demasiado alta contiene la transpiración y baja también la actividad de la raíz. A la inversa, si es demasiado baja, el agua es traída solo hacia las hojas exteriores y el corazón, más bien, se reseca. Como la humedad está hondamente relacionada con la quemadura de puntas, hay que mantenerla aquí con cuidado (véase también el apartado del manejo de la humedad).

- **Velocidad de crecimiento:** si un crecimiento demasiado rápido está agravando el síntoma, se revisa en la dirección de **bajar** la cantidad de luz, la temperatura y el CO₂, es decir, de frenar un poco el crecimiento (como acelerarlo empeora, aquí no se aumenta, se

reduce).

La forma de dar el viento también está implicada. Si se hace fluir, horizontal a lo largo de la estantería, un flujo de aire estable y uniforme, el reparto hacia el corazón cambia. A la inversa, un viento fuerte y desbocado que solo seca el borde de las hojas exteriores resulta, más bien, perjudicial. Aunque sea el mismo «viento», considere que un flujo estable y uniforme y un viento fuerte desordenado son cosas distintas.

Cómo tratar lo que ha salido

Por más que se agote la prevención, lo que sale, sale.

Aunque salga quemadura de puntas, su efecto sobre el sabor en sí es limitado. Pero el aspecto es claramente peor. Como la hortaliza se elige por el aspecto, repercute en la calidad de envío. Así que se ve uno forzado a juzgar si retirar las matas de síntoma leve o quitar la parte dañada antes de sacarlas.

Solo una cosa aquí. No intente quitar a la desesperada hasta la quemadura de puntas mínima. Si se arranca la hoja a lo loco, a veces la putrefacción avanza desde la herida. Más que ir a por todo lo que ha salido, conviene discernir si está al nivel que repercute en la calidad de envío y meter mano entonces. Así, en conjunto, se sale ganando.

Verlo como un único hilo, el del reparto

Hay diferencias de tolerancia por variedad. En los tipos con holgura en el porte de la hoja el agua circula con facilidad hasta el interior, y en las variedades con crecimiento poco desbocado el desbarate del reparto es también más lento. Pero esto es una jugada que afloja un poco en bloque el sistema encadenado, y si se ataca demasiado sale con normalidad incluso en variedades fuertes. La historia no se cierra con la variedad.

Del mismo modo, si se toca un solo factor——«bajar solo la humedad», «reforzar solo el viento»——, la carga recae sobre otro factor. Si se baja solo la humedad, el corazón se reseca aún más; si se refuerza solo el viento, se daña el borde de las hojas exteriores. La quemadura de puntas es un síntoma que se produce conectando la luz, la velocidad de crecimiento, el flujo de aire, la transpiración, la zona radicular y la solución nutritiva. No atacar en solitario, sino verlo como un único hilo, es lo que menos se enmaraña.

Ante una mata afectada, desde qué y en qué orden sospechar. Cómo oscilar el entorno de remate, acotado a unos días antes de la cosecha. Cómo distinguir si es un problema de flujo o si el Ca de la solución de verdad ha tocado fondo. Lo concreto de esta zona, como es un punto de discernimiento directamente ligado al beneficio, está recogido en detalle en el siguiente recopilatorio de consejos.

«172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales»

Si la quemadura de puntas era la historia de «llega o no llega», el otro problema representativo, la etiolación, es la historia de «se estira o no se estira». De novato, tener estos dos memorizados en pareja da seguridad.

La etiolación

Junto con la quemadura de puntas, otro trastorno del crecimiento representativo es la «etiolación». La etiolación es el fenómeno por el que la plántula se estira larga y fina y alarga el tallo más de lo necesario. Se acerca a imaginar cómo una planta de interior junto a la ventana se estira fina y larga hacia el lado donde hay luz.

Cuando en una granja vertical se produce etiolación, salen estos efectos.

- Bajada del rendimiento: solo se estira el tallo y la hoja, que es lo importante, se queda pequeña.
- Bajada de la calidad: el tejido se vuelve endeble, y bajan la conservación y el sabor. La pared celular se adelgaza y se vuelve también débil ante las enfermedades.
- Bajada de la eficiencia del trabajo: se cae con facilidad y aumenta el trabajo de cosecha y de manejo del cultivo.

Y lo fastidioso es que el entrenudo, una vez estirado, no vuelve a su estado original. Que el hipocótilo estirado se apriete y encoja, aunque se ajuste el entorno, no lo he visto en el rango de lo que he observado en el terreno. Por eso, considere la etiolación como algo que se «lee de antemano antes de que salga» más que algo que se «corrige después de salir».

Primero sospeche de la densidad, y después lea el entorno

Cuando sale etiolación, uno tiende sin querer a buscar el mando del entorno con «venga, ¿cómo lo paro?». Pero antes de eso hay un orden de mirada.

Lo primero de lo que se sospecha no es el entorno. Son **la variedad, la densidad de siembra y el número de celdas**. Con el mismo entorno, la variedad propensa a estirarse se estira. Si se siembra apretado en la bandeja, el propio apiñamiento con la vecina estira la plántula. El número de celdas de la bandeja de producción de plántulas (72, 128, 200 celdas, etc.) también condiciona, no solo «cuántas se pueden producir», sino «qué porte de plántula sale». Cuanto más pequeña es la celda, más estrecho es el margen para que la raíz se extienda, y actúa en contra cuanto más largo es el periodo de producción de plántulas del cultivo.

Incluso en el rango de lo que he observado en el terreno, no fue poca la etiolación que se explicaba, antes de quebrarse la cabeza con el entorno, con «¿esa bandeja no se ha sembrado simplemente de más? ¿la celda no es demasiado pequeña?». Por eso, primero, ordene la variedad, la densidad y el número de celdas. Este es el primer escalón.

Sobre esa base, lo que aún quede se lee con el mando del entorno——los 3 factores de **luz, temperatura nocturna y humedad**. Dicho al revés, cuando la verdadera causa es la densidad o la variedad, por más que se giren los 3 del entorno se falla el golpe. Si uno piensa solo «etiolación = los 3, luz, humedad, temperatura», se salta el primer escalón, que es el que más funciona. El orden es: la densidad primero, el entorno después.

Distinguir los 3 factores del entorno por el porte de la plántula

Que el tallo se estire es una reacción que la plántula provoca al percibir la luz. Si la apiñan y la tapa la hoja vecina, o si la propia luz es débil, la plántula estira el tallo buscando luz. Esta es la verdadera identidad de la etiolación. Los 3 factores restantes se aventuran tomando como pista el porte de la plántula. No se pueden distinguir por completo, pero sirven de orden de prioridad de qué sospechar a continuación.

- **Luz débil:** a cambio de que el tallo se alargue, la propia hoja tiende a ser fina y de color pálido. Es el porte de quien lanza el cuerpo hacia la luz.
- **La temperatura nocturna no baja del todo:** cuando se estira porque tras apagar la luz se acumula el calor, la hoja mantiene su grosor y color y solo el entrenudo se estira. Sale con facilidad cuando coinciden el lugar del piso bajo y el tiempo de la noche.
- **La humedad se acumula:** en las franjas horarias o estanterías donde la deshumidificación funciona flojo, la transpiración se detiene, y la hoja se espesa algo

grande y blanda manteniendo su turgencia, y debajo de ella el tallo se estira flojo.

Es decir, no solo la longitud del tallo, sino que se miran juntos **cuándo, dónde y cómo está la hoja**. Si la hoja es también fina y pálida, tira a luz; si la hoja es normal y solo el entrenudo se estira, tira a temperatura nocturna; si en una estantería con humedad acumulada está blanda, tira a exceso de humedad: así se aventura.

Pero esto no es una herramienta para confirmar la causa principal, sino una referencia para aventurar. En especial, el piso bajo de la estantería de cultivo es un lugar donde la luz, la temperatura nocturna y la deshumidificación tienden a flojear a la vez, y se quiebra justo donde más se quiere usar. Si se quiebra, no lo dé por sentado en una sola.

La etiolación que ha salido y no volver a sacarla son historias distintas

Aquí hay algo que quiero separar. **Qué hacer con la cosecha que ahora se está estirando y no volver a sacar la misma etiolación en la siguiente cosecha** son historias distintas.

La plántula que ya ha empezado a estirarse es una carrera contra el tiempo, y si uno se mueve tras acotar la causa a una, mientras tanto el estiramiento avanza. Por eso, a la etiolación que ahora está saliendo se le tira en bloque hacia el lado conservador sin esperar a identificar la causa. Se eleva la luz, se baja la temperatura nocturna, se refuerza la deshumidificación. Pero como moverlo de golpe y mucho es de por sí un estrés, hágalo por etapas y, además, **no suba aún más en la estantería donde la luz ya es suficiente**. La luz no es mejor cuanto más, y la elevación hace falta en la estantería débil, no en la suficiente.

En cambio, la forma de leer que acota la causa a una cobra vida de cara a la cosecha siguiente. Por la mañana alinee y compare las plántulas del piso alto y del bajo, y aventure, mirando la longitud del tallo, el color y el grosor de la hoja, y la blandura de la hoja, cuál responde con la voz más fuerte. Sobre esa base, si en el siguiente lote mueve solo el sospechoso y ve el cambio en cómo sale, puede confirmar la causa principal. Si dentro de la misma cosecha toca los tres a la vez, deja de saberse cuál funcionó. Confirmar de uno en uno cobra sentido precisamente en un lote distinto.

Cómo tratar la plántula estirada

La plántula que ya se ha estirado de golpe cambia de sentido de la jugada según la etapa.

Si el estiramiento está aún en la fase inicial del hipocótilo y la hoja verdadera va a desplegarse a partir de ahora, ajustar el entorno merece bien la pena. Es porque el estiramiento del entrenudo de aquí en adelante se puede detener, y queda margen para enderezar el porte por el lado de la hoja verdadera que se va apilando por encima. En cambio, si el entrenudo ya se ha estirado y tiende a tumbarse, y la hoja verdadera también empieza a desplegarse heredando el estiramiento, también sale el juicio de dar esta mata por perdida como estándar. Ponga el núcleo de la línea en «**si la hoja verdadera ha heredado el estiramiento o no**», y mírelo junto con el punto de crecimiento, la vida o muerte de la raíz y la etapa del periodo de cultivo. En una fase temprana de la producción de plántulas a veces es eficiente trasplantar, y si la cosecha está cerca a veces sale más a cuenta cosechar la mata etiolada tal cual sin enderezarla a la fuerza.

No sacarlo en la siguiente cosecha: la comprobación antes de la siembra

Si el tallo estirado no vuelve, el valor de la jugada está, después de todo, en el lado de «no sacarlo en la siguiente cosecha». El orden de comprobación es el mismo: primero la densidad, después el entorno.

- **Densidad de siembra y número de celdas:** respecto al porte de plántula buscado y al periodo de producción de plántulas, ¿no se ha sembrado de más?, ¿la celda no es demasiado pequeña? Cuando las hojas empiezan a solaparse con la mata vecina o las hojas bajas empiezan a amarillear, es el momento del aclareo o del trasplante.
- **Luz:** medir de antemano la cantidad de luz por posición de estantería. Aun con el mismo LED, en el piso bajo a veces la llegada cae, y la estantería débil lo devuelve en estiramiento.
- **Temperatura nocturna:** mirar de antemano, por estantería, cómo baja la temperatura tras apagar la luz. En el piso bajo el calor tiende a acumularse de noche.
- **Humedad:** recoger si no hay franjas horarias o estanterías donde la deshumidificación funcione flojo.

Si se escriben estas cosas, por estantería, antes de la siembra, en lugar de apurarse después de sacar etiolación, se puede leer el lugar débil antes de que salga y prepararse. Más que culpar al tallo estirado, primero sospeche de la densidad y, lo que aún quede, léalo como la señal de a qué ajuste responde la plántula. Si se piensa así, la mirada con la que se observa

la bandeja cada mañana debería cambiar un poco.

La etiolación está directamente ligada al rendimiento. Cómo leer combinando densidad, luz, temperatura nocturna y humedad, hasta dónde atacar y dónde darlo por perdido—ese juicio es, tal cual, también la historia de la rentabilidad de la granja vertical. Quien quiera recoger aún más ampliamente perspectivas útiles en el terreno, por aquí también.

«172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales»

Para subir aún más de nivel el manejo del cultivo

Hasta aquí hemos visto, de un tirón, la base del manejo del cultivo: desde la elección del cultivo hasta la luz, el agua, la temperatura, la humedad, el CO₂ y el viento, el fertilizante y la solución nutritiva, y la quemadura de puntas y la etiolación. Aunque cada cosa parezca una historia independiente, en el terreno todo se influye mutuamente. Si se mueve la humedad, repercute en la quemadura de puntas; si se refuerza la luz, cambia la temperatura y cómo se usa el agua. Con solo tener presente en un rincón de la mente esta «conexión», la estimación cuando surge un problema cambia bastante.

Pero, si soy franco, lo que he venido escribiendo hasta aquí es, a fin de cuentas, el cimiento. Al salir al terreno, sale sin falta la escena en que uno se pierde con «tengo el conocimiento, pero entonces, ¿por qué empezar en concreto y dónde poner el objetivo?».

Por ejemplo, aunque en este libro se pueda mostrar la luz y la temperatura hasta el «rango adecuado», dónde está el valor óptimo para la propia granja vertical y el propio cultivo no queda más remedio que discernirlo mientras se produce. Aunque se recorten el coste eléctrico o el de personal, dónde recortar para que quede beneficio sin bajar la calidad—ese juicio solo cobra sentido tras sujetar la base. Yo mismo tardé mucho tiempo en aprender esto a tientas.

En este libro me he ceñido a reunir hasta la «entrada a la forma de pensar» previa a eso. La forma de discernir el valor óptimo, el juicio de la reducción de costes, el afinado de los números—ese paso más profundo directamente ligado al beneficio lo dejo a «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales», recopilado aparte. Primero allane el terreno de la base con este libro y, cuando le entren ganas de entrar un escalón más a fondo, ojalá abra aquel.

Resumen del capítulo 2

- **La elección del cultivo se ve, no por el producto, sino por «precio unitario del canal × rotación × dificultad» y por «cuánto por superficie y por día».** Que la lechuga esté en el centro no es la respuesta que da dinero, sino el resultado de haber elegido la solución que cuesta que se venga abajo en el formato de fábrica. Los cultivos nuevos, después de pasar por la entrada de la rentabilidad.
- **La luz se capta como la multiplicación de los tres——intensidad, color y tiempo (DLI).** Más brillante no siempre es mejor, y el punto de corte se mueve según el coste eléctrico.
- **Los métodos de hidroponía (NFT/DFT) no tienen una superioridad absoluta.** Lo que funciona es el manejo del agua después de elegir. La desviación reversible se recibe con el manejo, y el accidente irreversible se borra de antemano con el equipo y la prevención.
- **El aire no se mira por separado en temperatura, humedad y CO₂, sino por si llega a la hoja.** Lo que se gestiona es el aire, lo que responde es la hoja. La humedad no como proporción, sino como «fuerza de tracción (VPD)»; el CO₂ no como concentración, sino como «si se transporta hasta el fondo». Lo que los transporta a todos juntos es el viento, y lo que funciona es más la forma de repartir que la cantidad total.
- **En la nutrición, con la CE y el pH de base, se vigilan los dos puntos que con solo ajustar no bastan (el oxígeno disuelto y la desviación del desglose).** La CE solo habla de la cantidad total, y la formulación se calcula hacia atrás desde el ion. La higiene no es llevar el germen a cero, sino «no aumentarlo ni extenderlo», sin apoyarse en la desinfección, con una circulación normal.
- **Los problemas de crecimiento no se atacan en solitario.** La quemadura de puntas no es la cantidad total de Ca, sino el «reparto»; la etiolación, primero la densidad y después el entorno. Ambos se producen conectándose varios factores en un único hilo.

Aunque cada cosa parezca una historia aparte, en el terreno todo se influye mutuamente. Una vez afianzado el cimiento en este capítulo, lo siguiente es la fase de afinar los números ajustándolos a la propia granja vertical y al propio cultivo. Esa práctica un paso más profunda se hereda al volumen hermano, «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales».

Capítulo 3: La gestión de operaciones en la práctica

En los capítulos anteriores vimos cómo se compone, como sistema, una granja vertical. A partir de aquí, el foco se desplaza a qué ocurre día a día dentro de esa caja, y a qué hace la persona que está de pie en el sitio de trabajo. Entre conocer el equipo y la teoría, y ser capaz de hacer funcionar realmente el sitio, todavía hay un escalón de distancia. Ese escalón es el que vamos a rellenar aquí.

¿Por dónde se empieza a aprender la gestión de operaciones? Las tres capas: plántulas, cifras y personas

«Al final, no queda más que aprenderlo con la experiencia.» Es la conclusión a la que suele llegar quien acaba de entrar respecto a la gestión de operaciones. Y la mitad es cierta. Pero esa frase suele venir en un mismo paquete con la idea preconcebida de que lo que hay que aprender es un solo bloque.

En realidad, la gestión de operaciones se divide en tres capas de naturaleza distinta: leer el crecimiento de las plántulas, vigilar las cifras, y ordenar a las personas y la organización del trabajo. Estas tres se adquieren por separado y solo cuando encajan entre sí empieza a funcionar el sitio. Por dónde empezar a aprender también se aclara si se piensa en estas tres capas.

La capa que lee las plántulas, la que vigila las cifras y la que ordena a las personas

Habiendo visto a mucha gente en el sitio, me di cuenta de una cosa. Entre los recién entrados, hay quien mira una plántula y enseguida capta «esta se ve un poco floja». Pero esa misma persona no reacciona en absoluto a los cambios de la CE (una referencia de lo concentrada que está la solución nutritiva) ni a las cifras de la solución nutritiva. A la inversa, hay quien sigue las cifras con minucia pero no siente nada al mirar la planta real. Al principio creí que era cuestión de experiencia, pero no parece ser una sola línea.

La manera de ver las plántulas y la de ver las cifras son fuerzas distintas. Mirar una plántula y captar «se ve floja» pertenece a la capa que lee el crecimiento de la planta. Es un mundo que se aprende con la práctica: la firmeza y el color de las hojas, cómo se estira el cogollo. En cambio, seguir la CE y las cifras de la solución nutritiva pertenece a la capa que vigila las

cifras. Es un modo de usar la cabeza que lee no la planta real, sino la evolución en el tiempo. No es que la poca experiencia impida hacer ambas: como las capas son distintas, se adquieren por separado. Por eso es corriente que alguien sea diestro en una y pase de largo por la otra.

Y para colmo, cuanto más diestra es una persona con la planta real, más tiende a decir «no necesito mirar las cifras, con ver las hojas lo sé». Se entiende el sentimiento, pero aquí hay una trampa. Hay anomalías que las cifras avisan primero y, a la inversa, hay anomalías que aparecen antes en las hojas aunque todas las cifras estén normales. Por ejemplo, la quemadura de las puntas (síntoma en que se seca el borde de la hoja) se dispara cuando un crecimiento repentino hace que el reparto de calcio no llegue a tiempo a las hojas jóvenes del interior; aunque la cifra de calcio de la solución nutritiva esté normal, si el modo de repartirlo (el flujo de la transpiración) no da abasto, aparece antes en las hojas. Así que con solo una de las dos se te escapan cosas. Solo mirando ambas empiezan a reducirse los descuidos.

Hay una capa más, distinta del crecimiento y de las cifras. Las personas y la organización del trabajo: la sensibilidad para hacer funcionar quién hace qué y cuándo. Hay quien entiende las plántulas y sigue las cifras y, aun así, es raramente torpe para dar instrucciones a la gente o armar procedimientos. A la inversa, hay quien en cultivo es del montón pero en organización es sobresaliente. Tampoco es raro.

Organizar es también otra cosa. El crecimiento y las cifras tienen enfrente a la planta, pero la organización tiene enfrente el flujo de personas y cosas, y usa la cabeza de otro modo. Solo que, aunque parece un mundo de intuición, en realidad es algo que se puede medir y ordenar. Al escribir el trabajo de un día, en mi propio sitio lo que se comía el tiempo era todo lo que rodea a la cosecha. Quién entra en qué y cuándo, la altura de la mesa, dónde se pone lo cosechado: eso se puede ver y medir. En lugar de zanjarlo con «esa persona organiza bien», se puede mirar dónde espera la gente, dónde se fuerza la postura, y rearmar la disposición. Esta es una capa distinta del crecimiento y las cifras: la capa que se mide y se ordena.

Con esto quedan las tres. La capa que lee las plántulas, la que vigila las cifras y la que ordena a las personas y el trabajo. La gestión de operaciones funciona con estas tres superpuestas.

Qué aprender primero: la capa que se puede entregar de antemano y la que se construye en el sitio

Cuando las tres capas empiezan a verse, «al final, qué aprender primero» se vuelve de repente concreto. No se adquieren las tres a la vez, porque la entrada de cada capa es distinta.

En cuanto al orden, lo primero es meterse el mecanismo en la cabeza. En las tres capas, la entrada mezcla «la parte que se puede entregar de antemano como conocimiento» y «la parte que solo se construye en el propio sitio». En la capa del crecimiento, cómo se absorben la luz y los nutrientes y cómo se forman las hojas, ese hilo se puede leer y aprender. En la capa de las cifras también: qué representan la CE y el pH, y qué sospechar cuando se mueven de cierta manera, ese modo de leer se puede entregar de antemano. En la capa de la organización, la idea de escribir el trabajo y medirlo también se puede enseñar. Hasta aquí es la parte que se puede entregar antes de pisar el sitio.

El límite entre lo que se puede entregar y lo que hay que construir es bastante nítido. Por ejemplo, se puede explicar el mecanismo de que reforzar la luz aumenta el rendimiento. Pero dónde conviene detenerse depende del propio coste eléctrico y del precio unitario, y eso no se puede entregar como cifra. El valor óptimo de CE también se mueve si cambian el cultivo o el sistema, así que no se puede usar tal cual el valor de otro. Por eso «el mecanismo y el modo de leer» se entregan de antemano como conocimiento, y «con qué valor ajustarlo a las propias condiciones» se deja para que se construya contrastándolo con el rendimiento comercializable del propio sitio. Pensarlo dividiéndolo por esta línea funciona bien.

Luego, qué capa te toca desarrollar. Esto no se decide por lo que se te da bien o mal. Se deduce hacia atrás de dónde estás realmente atascado en el sitio ahora mismo: en qué capa se apoyan los retrasos y las repeticiones de trabajo. Si ya ves tanto la planta como las cifras, lo que se atasca suele ser la parte de la organización, y ahí aparece la capa que a esa persona le toca ahora desarrollar. Toma la repetición de trabajo más visible, mira a qué entrada de capa está más cerca, y elige a partir de eso. Con eso basta.

Y ser sobresaliente en una sola cosa no hace funcionar el sitio. Justo porque las tres capas se adquieren por separado, en el sitio solo dan resultado cuando encajan. Aunque leas el crecimiento a la perfección, no podrás proteger el rendimiento comercializable si no están la persona que vigila las cifras y la organización en su sitio. Optimizar una sola capa no garantiza que el conjunto sea óptimo: esto aparece con la misma forma en una granja de cualquier tamaño.

Cómo recorrer este capítulo

De aquí en adelante, el capítulo recorre estas tres capas por orden. El plan de producción decide la organización del conjunto; la siembra, la producción de plántulas, el trasplante, el trasplante definitivo y la cosecha siguen el proceso de criar la plántula. El trabajo posterior a la cosecha entrega la calidad como producto; la gestión y formación del personal, y la higiene de instalaciones, ordenan el cimiento de las personas y el sitio. Por último, el análisis de datos conecta con el juicio los registros hasta aquí.

No hace falta intentar meterse todo en la cabeza de una vez. Ten presentes las tres capas, lee desde la capa en la que estás atascado ahora, la capa que te toca, y prueba mañana una vez en el sitio. Este modo de avanzar es, al final, el que más se te queda.

Conviene señalar que lo que aquí se trata llega solo hasta «el mecanismo y el modo de leer». Los juicios ligados directamente al beneficio —a qué valor poner el óptimo, cómo sopesarlo con el coste, cómo vender— exceden el alcance de este libro. Si notas la entrada a esas preguntas, adéntrate en el libro compañero, «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales».

Elaboración del plan de producción

品目			フリル		フリル		フリル		フリル	
パネル穴数			300 穴		300 穴		120 穴		40 穴	
栽培工程			暗所発芽		育苗		生育1		生育2	
日数			1 日		12 日		7 日		7 日	
作業			播種	苗取出し	苗移動	苗取出し	移植1	苗取出し	移植2	苗取出し
12/01	水		3600							
12/02	木		3600	3600	3600					
12/03	金		3600	3600	3600					
12/04	土		3600	3600	3600					
12/05	日		3600	3600	3600					
12/06	月		3600	3600	3600					
12/07	火		3600	3600	3600					
12/08	水		3600	3600	3600					
12/09	木		3600	3600	3600					
12/10	金		3600	3600	3600					
12/11	土		3600	3600	3600					
12/12	日		3600	3600	3600					
12/13	月		3600	3600	3600					

De las tres capas, empezamos por decidir la organización del conjunto: «qué hacer, cuándo y cuánto». A partir de aquí vamos viendo, una a una, las tareas de gestión de una granja vertical. La primera es el plan de producción.

Por qué hace falta un plan de producción

El método de la agricultura convencional, que se mueve al ritmo de las estaciones y del tiempo, no sirve en una granja vertical. A cambio de poder crear tú el entorno, hace falta decidir de antemano qué hacer, cuándo y cuánto.

Si funcionas sin plan, sueles tropezar de tres formas. La oferta y la demanda se desajustan y lo que hiciste queda sin vender. Los costes de electricidad, agua, mano de obra y materiales salen primero y no queda beneficio (los costes de material y de mano de obra se preparan antes de plantar, así que sin previsión los gastos imprevistos se hinchán). La gestión del entorno y del trabajo se vuelve improvisada y el acabado sale desigual. Todas ellas se habrían evitado decidiéndolas de antemano.

Armar desde el envío hacia atrás

He estado mucho tiempo dedicado a la producción y la puesta en marcha de hortalizas de hoja como la lechuga en una granja vertical de luz artificial (PFAL), y el orden en que pienso el plan es uno solo: partir del envío y remontar desde ahí el cultivo. Si piensas «armar usando al máximo la capacidad del equipo, y que el envío se ajuste a eso», para empezar no funciona. Si tomas la capacidad como base, aparecen alternadas semanas en que puedes hacerlo pero no venderlo, y semanas en que quieres vender pero no llega.

El flujo hacia atrás es así.

1. **Previsión de demanda:** leer cuándo, cuánto y a qué precio es probable que se venda. 2.

Elaboración del plan de producción: desde ese volumen de envío, deducir hacia atrás la cantidad a plantar y el calendario de cultivo. 3. **Gestión del avance y revisión:** mientras funciona, mirar las desviaciones y corregirlas con frecuencia.

Paso 1. Previsión de demanda

Primero, captar dónde, cuánto y a qué precio se va a vender. Si es supermercado, restaurante o particular; a cuánto se vende por ese canal de venta; cómo se mueve la demanda según la estación; qué hacen los competidores que producen el mismo cultivo. Se lee tomando como referencia datos de ventas pasados y el movimiento del mercado, pero nadie puede saber la respuesta a «haz esto y se venderá seguro». Asímelos sin más como el trabajo de plantear una hipótesis.

Paso 2. Elaboración del plan de producción

Bajar la demanda leída a un plan concreto. Decidir el cultivo por tres puntos —necesidad del mercado, periodo de cultivo y rentabilidad— y poner un objetivo de producción sin forzar a partir del tamaño de las instalaciones, la capacidad del equipo, la mano de obra y los canales de venta. Luego ajustar el momento de cosecha a la demanda del mercado, deducir hacia atrás el periodo de cultivo y fijar la fecha de siembra. Por último, estimar semillas y plántulas, fertilizante, materiales, personal, electricidad y agua. Al remontar desde el lado del envío, este orden sale por sí solo.

Paso 3. Gestión del avance y revisión

Un plan no termina al elaborarlo. Es algo que se corrige mientras funciona. Observar y registrar el crecimiento con regularidad, comprobar si se vende según lo planeado y si el inventario es adecuado, y cuando aparezca una desviación, buscar la causa y, si hace falta, corregir el calendario o el volumen de producción.

Que se desvíe no es cuestión de precisión

Aquí hay una manera de ver que quisiera que guardaras desde novato. Cuando no funciona según el cronograma, mucha gente piensa «el plan fue chapucero», «debí armarlo con más detalle». Pero, por mucho detalle que se le meta, a veces la desviación no desaparece. Es porque, dentro de un mismo plan, **hay mezcladas cosas de distinta velocidad**.

El envío, arrastrado por la demanda, oscila fino, por semanas. El cultivo es el ciclo de un ser vivo, así que es mucho más lento. Para la lechuga de hoja, unos 35 días desde la siembra hasta la cosecha. Aunque hoy aumentes el trasplante definitivo, esas plantas suben a la estantería un ciclo después. Y el ajetreo de la mano de obra se mueve en un pico distinto de ambos. Si intentas poner los tres en la misma escala de un único cronograma, ajustarte a la ola rápida zarandea el cultivo, y ajustarte al ciclo lento hace que se te escapen envíos. Así que la desviación no es un problema de precisión, sino un problema estructural de sincronizar a la fuerza cosas que deberían funcionar por separado; así lo veo yo.

Entonces, ¿qué es funcionar por separado? Es poner deliberadamente **amortiguadores (colchones)** entre los tres. El colchón del lado del envío es la anchura del punto óptimo en que puedes esperar la cosecha sobre la estantería, y la oscilación arriba-abajo del grado que puedes enviar. El colchón del lado del cultivo es la anchura del intervalo de la siembra y el trasplante definitivo. El colchón del lado de la mano de obra es el margen. Las hortalizas de

hoja frescas duran poco y es difícil sostenerlas como inventario varios días, así que el lado del envío sostiene su colchón con «cuánto puedes oscilar hacia delante y hacia atrás el punto de cosecha» más que con «engordar el inventario».

Y lo que se mira no es el cronograma en sí, sino **cuánto queda ahora de ese colchón**. La ola del envío se recibe con la anchura del punto de cosecha, y cuando ese margen está a punto de agotarse, se mete mano al intervalo del cultivo. Solo que únicamente el cultivo no llega a tiempo si esperas a que se agote el amortiguador. Aunque aumentes la siembra después de que se seque el margen para recibir envíos, esas plantas suben unos 35 días después. Por eso, únicamente el ajuste del cultivo se mueve **con antelación**, previendo el plazo de entrega hasta la cosecha.

El eje más difícil de mover es donde más colchón se le puede añadir

Lo interesante es que el cultivo, el más difícil de mover de los tres, es precisamente el lugar donde se le puede añadir colchón. El ciclo mismo en que crece una planta no se puede cambiar. Pero «cuándo sembrar» y «en cuántas veces repartir la siembra» sí se pueden cambiar. Si siembras mucho de golpe, la cosecha también se concentra en un punto y no hay forma de ajustarla a la ola del envío. Pero si desplazas el momento y siembras poco a poco, sobre la estantería se alinean en escalera «plantas a punto de entrar en el punto de cosecha» y «plantas que suben pronto». La semana en que sube el envío, antes; la semana que quieres apretar, algo más tarde. Nace esa anchura. Lo duro es el ciclo de cada planta individual; lo blando es cómo las esparces sobre el eje del tiempo. Desplazando y superponiendo unidades que no se pueden mover, en conjunto se convierten en un colchón.

El ritmo de la revisión se cambia según la velocidad de la ola

También la frecuencia con que se mira se puede cambiar según el eje. La anchura del punto de cosecha que recibe los envíos recibe la ola rápida, así que cada día o cada pocos días se echa un vistazo a «cuántas plantas oscilables hay ahora en la estantería». El lado del cultivo no devuelve respuesta aunque lo midas cada semana, así que una vez cada varias semanas se inspecciona el ajuste mismo de «¿está bien este intervalo de siembra actual?». Si igualas los intervalos, en el lado rápido se te pasa algo por alto y el lento lo oscilas en vano.

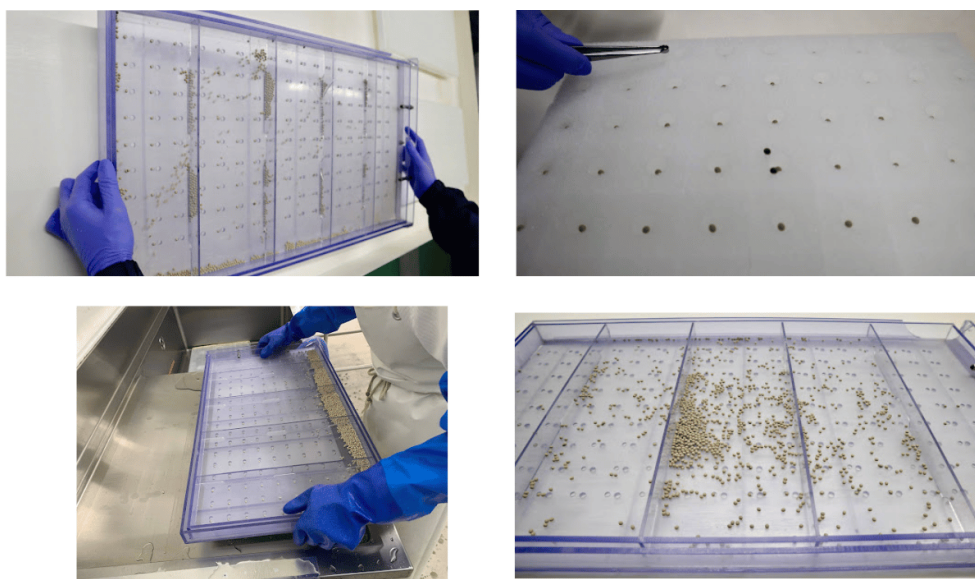
Y de qué colchón se está reduciendo señala directamente dónde está la causa. Si la anchura del punto de cosecha siempre va adelgazando, el intervalo de siembra no sigue el ritmo de la

ola del envío. Si el margen de la gente siempre está apurado, la estimación de personal no absorbe el pico de la cosecha. En lugar de meter las desviaciones en un mismo saco como «laxitud del plan», puedes separarlas por qué eje empezó a romperse. Este es el mayor provecho práctico de mirarlo dividido en tres. Incluso la primera desviación se puede mirar con calma, no como un fracaso, sino como la señal de que tres relojes han empezado a andar.

Conviene señalar que armar esto desde cero cada vez es una lata. Tengo publicada la plantilla de calendario de cultivo que usaba en el sitio, así que úsala como asidero para captar cómo se montan las fórmulas. El número de plantas, la rotación y el rendimiento comercializable difieren según la granja, así que la premisa es no usarla tal cual, sino rehacerla a la medida de tu propio entorno.

De aquí en adelante, los criterios ligados directamente a la cuenta de resultados —«entonces, cada cuántos días concretos sembrar», «cómo decidir la densidad de plantación en función del volumen de cosecha», «cómo producir conteniendo el coste eléctrico»— son territorio que se afina con las cifras de tu propia granja. Dejo la entrada al modo de pensar hasta aquí y cedo el juicio más a fondo a «172 Consejos». El plan de producción es la parte que sirve de eje a la operación de una granja vertical.

Siembra



Cuando el plan fija la fecha de siembra, entras por fin en el proceso de criar la plántula. A partir de aquí vamos viendo, por orden, el trabajo de sitio de criar realmente las hortalizas. Lo

primero es la siembra, es decir, el proceso de sembrar la semilla.

La siembra es el primer paso de la gestión del cultivo. Una granja vertical no usa tierra. Se siembra en un sustrato —un material que sostiene las raíces en lugar de la tierra y aporta agua y nutrientes—. El flujo en sí es sencillo. Se coloca el sustrato en bandejas dedicadas y se empapa bien en agua, y se colocan las semillas con pinzas de precisión o con una sembradora. Tras sembrar, para evitar la sequedad y el arrastre de las semillas se mantiene la humedad con una tapa o cubierta, se rocía agua con suavidad con un pulverizador y se espera la germinación gestionando temperatura, humedad y luz. La densidad de siembra varía según el cultivo.

De novato, aquí seguramente te enseñan a fijarte en la «tasa de germinación». Qué proporción brotó. Si sale cerca del 90%, te satisfaces una vez: «esta tanda va bien». Eso en sí no está mal. Solo que, cuando repaso en mi sitio las tandas de rendimiento comercializable mediocre, más que a la baja tasa de germinación lo que se me venía a la mente era «aquella vez no estaban parejas». El giro de perspectiva que quisiera que aprendas aquí es este: **lo que de verdad hay que mirar en la siembra no es tanto «qué porcentaje brotó» como «cuán parejas se levantaron».**

La cifra de la tasa de germinación no refleja la «uniformidad»

La tasa de germinación solo cuenta si la semilla brotó o no. Es una cifra que suma la disyuntiva brotó-no brotó, y ahí no entra la información temporal de «cuándo brotó». Por eso, una bandeja que se levantó toda a la vez, pareja, y una bandeja que fue saliendo a cuentagotas durante tres días, si al final ambas llegan al 90%, se alinean como el mismo 90%.

Pero estas dos son totalmente distintas después. Si la tasa de germinación es «altura», la uniformidad es «anchura»: la dispersión de los momentos en que brotó cada semilla. A la misma altura, que la anchura sea estrecha o ancha cambia la facilidad de manejo de los procesos posteriores. Una bandeja que no salió pareja, con desfases temporales, se vuelve difícil de manejar desde alrededor del trasplante. Si te ajustas a las plántulas grandes, las pequeñas se quedan atrás; si esperas a las pequeñas, toda la tanda se alarga.

Aquí está lo importante. La siembra y la germinación parecen un proceso que se cierra en pocos días, pero la uniformidad de las plántulas que allí formas arrastra su cola —pasando por el trasplante y el crecimiento— hasta el rendimiento comercializable de varias semanas

después. La germinación no es la meta, es la entrada de un largo proceso que continúa hasta la cosecha. Así que mirar la uniformidad, más que añadir un indicador, es correr hacia atrás el momento de juzgar si la siembra fue buena o mala: de justo después de la germinación al rendimiento comercializable del proceso posterior.

La uniformidad se decide en la «entrada»

Entonces, ¿una uniformidad dispersa se puede recuperar en el proceso posterior? Aquí se puede trazar una línea clara. **No se puede.**

Porque la uniformidad no es una «diferencia» de tamaño, sino una «diferencia de tiempo». Una plántula cuya germinación se retrasó medio día no es simplemente pequeña: en el desarrollo va medio día por detrás. Es más joven que las que se adelantaron. Aunque después le añadas fertilizante o luz, el conjunto solo avanza esa medida hacia delante, y entre el líder y el último de la cola la separación se mantiene abierta mientras avanza. Un desfase temporal una vez marcado no se puede rebobinar, tiempo incluido, en un proceso posterior.

Hay maneras de «absorberlo» con la selección o con la anchura de cosecha: entresacar los individuos rezagados para alinearlos con los líderes, seleccionar por imagen, tomar ancha la ventana de cosecha; son procesos estándar del sitio, no un engaño. Solo que lo común es que no borran el desfase temporal en sí. Si entresacas, esas plántulas acaban desechadas; si amplías la anchura de cosecha, la rotación de la estantería adquiere holgura. Es decir, una tanda que parece reuniformada suele estar pagando un coste —en rendimiento comercializable o en esfuerzo— para absorber el desfase temporal; la dispersión no ha desaparecido en la nada.

Por eso la uniformidad no es «ya lo arreglaré luego» sino «absorberlo luego cuesta dinero». Ese coste no aparece en el albarán como «gasto por falta de uniformidad». El esfuerzo de entresacar plántulas rezagadas, el reponer las que faltan, las horas de selección antes del trasplante: cuanto peor es la uniformidad de una tanda, más se van acumulando poco a poco estos costes invisibles. La uniformidad se va a fabricar en la entrada. Esa es la forma más segura de reducir de antemano el coste invisible que se paga después.

Registrar la uniformidad como la «anchura del arranque»

La anchura se capta suficientemente con dos apuntes. Mira la bandeja una sola vez al día, a una hora fija, y anota dos puntos: «el día en que salió el primer brote» y «el día en que salieron más o menos todos». La diferencia entre ambos es la anchura que costó arrancar. Más que subir la precisión de la observación, mirar cada vez a la misma hora e igualar las condiciones funciona mucho mejor, porque permite comparar tandas sembradas con la misma vara.

Hay un truco. «El día en que salieron más o menos todos» conviene tomarlo como «el día en que salió alrededor del 80%», no el 90%. El último 10% se ve arrastrado por los granos que llegan tarde o que al final no salen, y la fecha se difumina con facilidad. Y este 80% no es una cifra solo para el registro. La cubierta de retención de humedad (la cúpula) que pusiste justo tras la siembra se retira cuando más o menos el 80% ha germinado. Si te retrasas en retirarla, la luz no llega y las plántulas se ahílan finas y largas, y con el exceso de humedad también salen enfermedades más fácilmente. La señal de trabajo «retirar la cubierta al 80%» y la señal de observación «registrar al 80% el día en que salieron todos» se solapan en el mismo punto. Si anotas la fecha de paso al retirar la cubierta, la operación y el registro se hacen de un solo trazo.

El día del primer brote y el día del 80%. Con solo ir alineando por tanda la diferencia entre estos dos puntos, las tandas que salen parejas y las que se dispersan empiezan a separarse bastante claramente. La observación detallada basta con hacerla una vez que aparezca una tanda que te preocupe.

Para la causa de la dispersión, sospecha primero de la temperatura

Entre las causas de que el arranque se disperse, lo más fácil de abordar en el sitio es la desigualdad del entorno. La variación individual de las semillas en sí ciertamente existe, y eso fija el «suelo» de la uniformidad. Por mucho que iguales las condiciones, no lograrás más uniformidad que la dispersión de las semillas. Solo que, en lo que he visto en la producción de plántulas de luz artificial, las tandas que se dispersan más a menudo no habían apretado el entorno hasta ese suelo. La temperatura y la humedad tras sembrar no están igualadas entre el borde y el centro de la bandeja, ni entre el nivel de arriba y el de abajo de la estantería. Dentro de la misma bandeja, un grano está en la condición en que se enciende el interruptor de germinación y otro aún no. Eso sale convertido en desfase temporal.

Por eso, en cuanto al orden, primero prueba a aplastar la desigualdad del entorno. Para hacerte una idea rápida, primero la temperatura. La temperatura óptima de germinación difiere según el cultivo, y por la sensación de las hortalizas de hoja que he criado, había esa diferencia de que la mizuna y la komatsuna arrancan más parejas en una banda algo más alta que la lechuga. Más que memorizar cifras finas, en una tanda cuya germinación va lenta vale la pena sospechar primero si se ha salido de la banda óptima del cultivo que usas ahora. La desigualdad de humedad también influye en la uniformidad, pero temperatura y humedad se enlazan con facilidad —los lugares cálidos se secan antes—, así que si miras primero la desigualdad de temperatura, también le tomas la medida aproximada a la humedad. La humedad del periodo de absorción influye especialmente, así que al inicio empápala bien y bájala un poco una vez confirmada la germinación. Si esta subida y bajada sale desigual por sitios, también se enlaza con la diferencia de arranque.

En cuanto al lugar que mirar, no hace falta medirlo todo. Basta con los dos puntos donde más probable es que aparezca diferencia. En una estantería, el nivel de arriba y el de abajo; en una sola bandeja, el borde y el centro. Estos son lugares donde estructuralmente aparece diferencia con facilidad. Pon un termómetro en cada uno y contrástalo con la anchura del arranque. Si las tandas que tienden a retrasarse se concentran en un nivel fijo, en una posición fija, esa es la identidad de la desigualdad. Lo demás es subir la temperatura del nivel que se retrasa, intercambiar la ubicación y, para la desigualdad que aun así no logras nivelar, mover el aire con un ventilador de circulación, y repetir tandas con la misma vara.

El menú de contramedidas en sí —aplantar la desigualdad de temperatura y revisar el lote de semilla— no difiere de lo de siempre. Lo que difiere es el momento. Hasta ahora, darte cuenta de la desigualdad de temperatura era, por lo general, después de que las plántulas se dispersaran y te dieran problemas en el trasplante: a destiempo. Si miras la anchura del arranque en la entrada, puedes jugar la misma mano con antelación, antes de que las plántulas hayan crecido. Ese es el provecho de tener el único punto de vista de la uniformidad.

La dispersión que queda aun apretándola es cosa del lote de semilla

Aun aplastando del todo la desigualdad de temperatura, queda una dispersión. Ese es el suelo de la propia capacidad de la semilla, un muro que no se supera con el modo de

sembrar. Si aun apretando hasta ahí siguen dispersándose las tandas, ya no es un problema del modo de sembrar, sino que pasa a ser algo que se mira del lado del lote de semilla y del aprovisionamiento. Conviene tener trazada la línea entre las contramedidas de sitio y lo que se mira en la compra y la selección de lote.

Por eso mismo, mantén el almacenamiento en base a baja temperatura, baja humedad y sombra, aplica a fondo el primero-en-entrar-primero-en-salir usando antes el stock viejo, y anota el número de lote. Las semillas pueden perder vigor sin que se note por fuera, y eso sale después como mala germinación. Cuando la uniformidad se dispersa, para separar si fue el modo de sembrar o el lote, si no queda registro de qué lote se usó y cuándo, la cosa ni empieza.

Hasta aquí es la perspectiva que quisiera que adquirieras en la siembra. Hasta dónde afinar las condiciones óptimas de germinación y la selección de semilla para convertirlo en beneficio: ese cálculo es territorio que se resuelve sitio por sitio, así que en este libro me quedo solo en la entrada. El juicio a fondo lo cedo a «172 Consejos».

Producción de plántulas



Cuando termina la siembra y salen los brotes, entras en el periodo de criar esos brotes hasta plántulas que aguanten el trasplante. Esto es la «producción de plántulas». Como proceso es la etapa discreta encajada entre la siembra y el trasplante, pero su calidad prácticamente decide los resultados de crecimiento posteriores. De novato, la cosecha y el trasplante se ven más llamativos, pero por la sensación de mucho tiempo en el sitio, una parcela que tropezó en la fase de plántula a menudo no se recupera hasta el final. Según la granja, se dispone una

sala o unas estanterías de producción de plántulas dedicadas, y solo aquí se afina el entorno.

¿Por qué tanto empeño en las plántulas? La razón es sencilla: una plántula robusta hace que todo lo demás sea más fácil. Una plántula con raíces bien extendidas se aclimata bien al entorno de destino del trasplante y arraiga rápido. El crecimiento también avanza sin más con soltura, así que el periodo hasta la cosecha se acorta. Una plántula en buen estado nutricional también es fuerte frente a las enfermedades. A la inversa, si envías tal cual una plántula fina y débil, se dispersa tras el trasplante, salen enfermedades con facilidad y al final repercute en el rendimiento. Piensa en la producción de plántulas como una inversión para levantar desde abajo el rendimiento final.

Lo que más hay que cuidar al criar plántulas es no dejar que se ahílen. El ahilamiento es que solo el tallo se estira fino y largo y se ablanda. La causa está en su mayor parte en la falta de luz y en una temperatura demasiado alta. Tras la germinación, en la fase en que los cotiledones se abren y empiezan la fotosíntesis, si te retrasas en dar iluminación se ahílan de golpe. Si tienes una operación en que durante la germinación no das luz, en cuanto los cotiledones se abren empieza la iluminación antes de que sea demasiado tarde. El momento aquí es un punto que hay que afinar en el sitio.

Los puntos del entorno a controlar son continuos con los de la siembra: los cuatro de temperatura, humedad, luz y solución nutritiva.

- **Temperatura:** se ajusta al cultivo y a la fase de crecimiento. Para la lechuga es habitual gestionar la temperatura del aire de la sala de plántulas (no la del agua) en torno a 25 °C durante el día (como se quiere contener el ahilamiento, de noche se baja algo para apretar). Las plántulas pequeñas son débiles frente a la baja temperatura, así que no bajarla demasiado.

- **Humedad:** si es demasiado alta, salen enfermedades con facilidad. Una humedad relativa de en torno al 60–70 % es la referencia.

- **Luz:** lo que funciona para evitar el ahilamiento es la luz. Aunque muchas variedades no necesitan luz para la germinación en sí, una vez que se abren los cotiledones hay que asegurar un nivel de luz adecuado. Si el inicio de la iluminación se retrasa, solo con eso salen plántulas débiles.

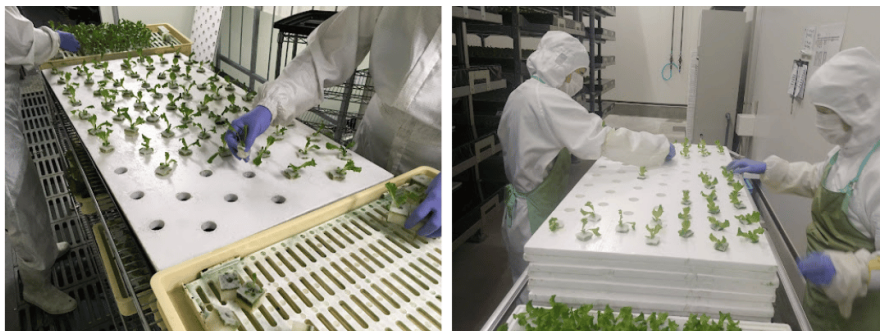
- **Solución nutritiva:** mientras la plántula es pequeña, lo básico es mantener baja la concentración de la solución nutritiva (CE) e ir la subiendo conforme al crecimiento. Aun

así, en mi experiencia, si la gestión resulta difícil, operar con una CE fijada baja y constante no da problemas en la práctica (no significa mantenerla constante en la misma CE alta que en el área de cultivo principal, sino mantenerla constante en un valor de bajo a medio).

Lo que se busca al criar plántulas no es simplemente plántulas grandes, sino plántulas parejas. Si el crecimiento se dispersa dentro de la misma bandeja, no se puede ajustar el momento del trasplante y la gestión posterior queda engorrosa todo el rato. El riego desigual, la luz o la temperatura desiguales según la posición en la estantería, la dispersión de la densidad de siembra: las causas de la falta de uniformidad están más o menos por ahí. Al sacar una bandeja, lograr crear cada vez un estado en que la altura de las plántulas y el despliegue de las hojas se vean parejos. Ahí es donde se luce la destreza de la producción de plántulas.

Cuando las plántulas crecen y empiezan a solaparse con las hojas vecinas, es la señal del siguiente proceso, el trasplante.

Trasplante y trasplante definitivo



Las plántulas que han terminado la producción se trasladan a un espacio más amplio. Si dejas tal cual plántulas cuyas hojas han empezado a solaparse con las vecinas, la luz no llega bien, las raíces están estrechas y no absorben suficientes nutrientes. Al trasladarlas a un espacio amplio, la luz recibida por planta vuelve y el crecimiento se acelera de nuevo. Repitiendo este traslado por etapas, plantar al final con el intervalo que las lleva hasta la cosecha es el trasplante definitivo.

El marco de plantación no se decide por «la conveniencia de plantar» sino desde «el envío»

En el trasplante definitivo, «cuántas plantas meter por m²», ¿no lo estás decidiendo por la conveniencia del trabajo del momento —si se planta rápido, si salen pérdidas—? Cuántas bandejas maneja una persona, cuántas se dejan caer en el arraigo. Esa vara en sí es importante. Solo que únicamente la densidad de las plantas, si la decides con esa sensación de velocidad, la facilidad de cosecha y el peso vendible por estantería se van recortando por detrás.

Al plantar es agradable poder meterlas rápido y apretadas, pero la mano de la cosecha se ralentiza después. La estantería apretada parece a la vista bien llena y con pinta de buen rendimiento, pero cada planta sube pequeña y, al pesar, «las plantas que alcanzan el tamaño buscado» salen menos de lo que pensabas. El intervalo de plantación influye no solo en la conveniencia del trabajo del momento, sino en el peso vendible que finalmente pesas.

¿Por qué es así? La cantidad de luz que cae sobre la estantería no aumenta aunque subas la densidad. Al final, esa luz fija solo se está repartiendo entre el número de plantas. Así que al aumentar las plantas, la parte de cada una se reduce y sube pequeña. Aquí es fácil equivocarse: el total de cosecha por unidad de superficie —el peso en bruto— más bien sigue subiendo, hasta cierta densidad, conforme aumentas el número de plantas. Lo que se estanca no es el total, sino «el peso que alcanza el tamaño de acabado buscado y se puede enviar como grado = el peso vendible». Que se vea bien lleno mientras el peso utilizable no crece suele ser prueba de que aumentan las plantas pequeñas que quedan por debajo del grado.

A la inversa, si tomas demasiado ancho el marco de plantación, no aprovechas el limitado espacio de cultivo y cae el volumen de cosecha por unidad de superficie. Una granja vertical es un sistema que apila las camas de cultivo en vertical para elevar la eficiencia productiva, así que se quiere usar el espacio al máximo. Pero si aprietas demasiado, el crecimiento se resiente. Compaginar ambas cosas es la clave del trasplante definitivo.

Por eso invierte el orden. Primero pon delante el tamaño de acabado buscado por planta y el hueco por el que la mano de la cosecha entra a gusto. Deduce el intervalo hacia atrás desde ahí, y la velocidad de plantación se concilia al final. «No el tope superior del lado de quien planta, sino traído desde el lado de quien cosecha y desde el peso vendible por estantería»: pensándolo en este orden, la densidad cambia bastante en cómo se ve.

Conviene señalar que este «apretar de más es una pérdida» supone hortalizas de hoja acogolladas o de mata grande que se envían por el tamaño de acabado de una sola planta.

En productos que se venden por número o por volumen total, como el baby leaf, la pérdida de que una planta quede bajo grado sale con menos facilidad, así que la densidad justa se inclina hacia el lado más apretado. Es solo que el punto de equilibrio difiere según el producto.

Míralo no por número, sino por «el círculo que despliega una planta»

Aun así, la mano del sitio tiende a dejarse arrastrar por «apretando un poco más gano número». Esto no es por avaricia. Cuántas plantas sembraste se puede contar en el acto, pero los segundos de cosecha y el peso que alcanzó el grado no salen hasta mucho después. Solo estás con las riendas tiradas por la cifra que tienes delante.

Por eso, lo que conviene tener a mano no es el número, sino la imagen de «el círculo que despliega una planta». Al plantar, dibuja en la cabeza, planta a planta, el círculo del despliegue de hojas al tamaño buscado, y mira solo cuánto se solapa ese círculo con el de al lado. Cuando los círculos chocan y empiezan a morderse, ese es el adelanto de las dos cosas: «pelearse por la luz y quedar bajo grado» y «que la mano de la cosecha no entre». Si quieres dejar algo más como marca física, dibuja en el panel de trasplante definitivo un círculo del mismo diámetro que el despliegue de hojas del tamaño buscado. Cada vez que plantes, compara ese círculo con el marco de plantación que tienes delante, y hazlo una marca que diga de un vistazo: si está más apretado que el círculo, te estás adelantando a los problemas. Aunque el paso de los orificios esté fijo y no se pueda mover en el momento, sirve de referencia al decidir qué panel usar la próxima vez.

El desnivel, el rendimiento comercializable y la automatización son otra historia

Un enganche común, lo apunto de paso. «Aunque planto con el mismo intervalo, en el nivel de arriba y el de abajo suben un poco distinto.» El culpable de esa diferencia no suele ser la luz. La estantería de luz artificial se diseña por lo común bajo la premisa de que en cada nivel se montan los mismos paneles a la misma altura y la luz es pareja independientemente del nivel. Lo que queda y surte efecto es la desigualdad de temperatura y de flujo de aire —el calor tiende a acumularse en los niveles de arriba, y el modo en que circulan el viento y el CO₂ no es parejo por nivel ni por posición—. Así que si un nivel siempre sube pequeño, tratar de que se ponga al día toqueteando la densidad nivel por nivel tiende a complicar la gestión del trasplante definitivo y de los paneles, mientras que la causa crucial se queda sin tocar.

Eso se arregla no con el marco de plantación, sino con el HVAC, la ventilación forzada y el equipo.

Otra cosa: al apretarlas y que las hojas se entrelacen, al interior de la planta le llega peor el aire que promueve la transpiración, y según la variedad se seca la punta de las hojas internas: aumenta una aparición tipo quemadura de las puntas. Las variedades cuyas hojas se yerguen y dejan huecos en el marco de plantación aguantan aunque se aprieten algo, pero las variedades cuyas hojas se acuestan y se enrollan se cierran fácil por el centro y son débiles al apretujado. Así que «cuanto más propensa a desmoronarse es la variedad, más grande ves el círculo y paras antes de que se solapen». El juicio de apretar la densidad y la elección de variedad son cosas que se miran enlazadas.

Cuando empieza a pesar el coste de mano de obra, la conversación tiende a ir hacia «mejor automatizar el trasplante», pero aquí es seguro mirarlo bajando un escalón las expectativas. En lo que la máquina es rápida es en «la velocidad de plantar», y la superficie de recepción de luz y el hueco de cosecha que decidían el rendimiento —la calidad de la disposición— no mejoran por sí solos por plantar rápido.

Afinar el marco de plantación óptimo, el juicio de inversión en equipo para rellenar el desnivel, si el trasplante automatizado sale a cuenta: esta zona es territorio que solo se puede juzgar tras medir de verdad con la vara del peso de envío por estantería. El procedimiento para medir en conjunto las tres salidas (el peso que alcanza el grado, los segundos de cosecha, el rendimiento comercializable), la clasificación por variedad y la evaluación realista de la automatización se tratan en detalle en «172 Consejos». Como novato del sitio, primero llévate a casa el hábito de un instante de comparar el círculo del panel con el marco de plantación que tienes delante cada vez que plantas; con eso basta.

Cosecha y deshoje



Cuando las plantas del trasplante definitivo terminan de crecer, llega el último proceso del cultivo: la cosecha y el deshoje. Es el instante en que la semilla que tú mismo sembraste queda acabada como hortaliza, pero al mismo tiempo es el punto de partida de un nuevo proceso hacia la venta.

He estado más de diez años dedicado a la cosecha de hortalizas de hoja en granjas verticales de luz artificial (PFAL). La consulta que más recibo en este proceso es el tira y afloja de «si cortas rápido baja la calidad, si trabajas con esmero no sale el número». Si armas una línea que corta rápido, para cuando llega al estante de la tienda las puntas de las hojas están dañadas. Si aflojas la mano para que no se dañen, esta vez el rendimiento del día no alcanza el objetivo. Mucha gente reconocerá la sensación de que, apuntales lo que apuntales, lo otro se desmorona.

Pero esto solo parece una disyuntiva porque has puesto eficiencia y calidad en una misma balanza. Si miras bien, la cosecha tiene varias perillas que se pueden girar por separado.

Cuándo cortar, cómo moverte, con qué cortar: una vez que los separas, aumentan las jugadas. Aunque de momento dejes a un lado los grandes dispositivos como la luz y la temperatura, solo con lo que puedes mover en el sitio desde hoy, la conversación deja de ser un único «velocidad o calidad».

Antes de girar las perillas, nivela el suelo de la higiene

Antes de girar las perillas, hay una cosa más que poner primero. El «suelo de la calidad». Lavar y secar los utensilios y los recipientes de cosecha, retirar con frecuencia el agua y la basura del área de cosecha: en las hortalizas de hoja hidropónicas, esto se vuelve el cimiento

de la calidad previo al corte. Si envasas con agua todavía encima, se convierte en la entrada del moho y la putrefacción. Es también sobre lo que he insistido en el sitio hasta quedarme afónico.

Lavar, secar y recoger no cuestan dinero, se pueden hacer desde hoy y se pueden rehacer. Por eso es también la perilla que se puede girar la primera de todas. Si hablas del corte con esto flojo, el suelo se queda hueco. La idea de la higiene en sí la tratamos junta más adelante en «El rigor de la higiene de instalaciones», pero en el sitio de la cosecha, más que «cortar los microbios en algún punto», basta con la actitud de no dejar agua ni residuos, no aumentarlos, no esparcirlos.

Cuándo cortar: la franja horaria y el día del corte

Primero, la franja horaria dentro del día. En los sitios que he visto, al llegar la tarde salía el cansancio y lo que se cortaba se descubría luego, en la fase de encajado, con el corte tosco y las longitudes desiguales. A la inversa, desde el inicio de la jornada hasta el mediodía la concentración se sostenía y, aunque la mano fuera rápida, salía pareja.

Sin embargo, qué franja se vuelve tosca difiere según el sitio y la persona. Seguro que hay sitios donde a primera hora de la mañana la mano y la vista están frías y la primera hora es la más tosca. Así que, más que dar por sentada la franja, mira en tu propio sitio cuándo se vuelve tosco y vuelca solo esa franja hacia la uniformidad. Cuando conozcas la franja que se vuelve tosca, asúmela como algo aparte: baja de momento la perilla de la velocidad y concéntrate solo en igualar las longitudes. Cuando el estado va sobrado, aunque subas la velocidad sale pareja. En una misma cosecha, se separa el objetivo según la franja horaria.

Lo interesante es que, cuando se estabiliza la calidad de la franja tosca, la velocidad de después más bien también aumenta. Como disminuyen las repeticiones de trabajo que se arreglan en la fase de encajado, el proceso posterior se acelera. Más que enfrentar de cara velocidad y calidad, si decides de antemano cuál priorizar según la franja horaria, hay una franja en que ambas vienen solas.

También en el «día del corte» —en qué día cortar—, un escalón más lento, hay algo que surte efecto. Desplazaste un día la fecha prevista de cosecha y, mientras que el día anterior había plantas pequeñas mezcladas, al día siguiente estaban parejas y tanto cortar como encajar terminaron con soltura. ¿No has tenido esa experiencia? Solo que, si desplazaste un día por

corazonada, no se convierte en una organización reproducible. De entrada, la uniformidad de las plantas se decide en buena parte por la densidad del trasplante definitivo y los procesos anteriores, y remontando, por la uniformidad de la germinación, así que no es cosa solo del lado del corte. Aun así, elegir un día parejo para cortar es algo que se puede hacer en el sitio de la cosecha.

Cómo moverte: la uniformidad del corte cambia con el recorrido

Por la tarde, al cansarte, cortas con solo la muñeca, tijeretazo va, tijeretazo viene. Mientras amontonas lo cortado en la mano izquierda, el gesto de estirar la mano hacia la siguiente planta tiene algo de torpe. En cambio, por la mañana, cuando estás en forma, giras con el brazo entero, con el cuerpo entero de cara a la planta. Y eso que es la misma persona. Ese «cómo te mueves» surte efecto en la uniformidad del corte.

El tijeretazo de muñeca se vuelve tosco probablemente porque el rango de corte es demasiado ancho y estiras solo la mano hacia plantas lejanas. Por eso, en la situación de trasladar las plantas a una mesa de trabajo o a una cinta transportadora para procesarlas, ajusta la altura de la mesa a que el codo se doble ligeramente y estrecha el rango de estirar la mano a un solo paso. Corta solo el rango que alcanzas y luego acércate con el cuerpo entero. Así el ángulo con que entra la hoja sale parejo cada vez, y el corte se dispersa menos: es un tacto que he visto muchas veces en el sitio de hortalizas de hoja de luz artificial.

Que baje la carga postural es algo medido también en investigación. En un informe que hizo análisis de movimiento de la cosecha de hortalizas de hoja en granjas verticales, comparado con estar de pie o con una mesa alta, sentarse ajustando la mesa a la altura del codo y estrechar el rango de trabajo redujo tanto el ángulo de echar el cuello hacia atrás como el de sacar los hombros hacia delante. Sin embargo, esto midió la situación de sentarse a una mesa independiente, así que no se aplica directamente a la situación de cortar en el sitio en los niveles altos de una estantería de varios pisos. Donde surte efecto es en la situación de trasladar las plantas a una mesa o a una cinta para procesarlas o seleccionarlas.

Con qué cortar: más que la herramienta, la constancia del movimiento

La cuestión de la herramienta. Al cortar hortalizas de hoja, hay quien usa tijeras y quien tira con suavidad con una hoja tipo cuchillo. Más que decidir la uniformidad según sea tijera o cuchillo, en ambos casos surte más efecto «si la hoja entra en el mismo ángulo, en la misma

posición». Las tijeras fijan con facilidad la posición de cierre, así que la longitud es fácil de igualar. La sección a veces sale más lisa tirando con suavidad. No es cuestión de cuál es superior, sino la idea de elegir la que se ajuste a tu propio recorrido.

En torno a la herramienta, una cosa más, con la higiene de por medio. El cuchillo, las tijeras y los recipientes de cosecha, en cuanto se usan se lavan y se secan enseguida. No solo para mantener el filo, sino como base del sitio para cortar la suciedad que no quieres introducir en las hortalizas de hoja hidropónicas.

Deshoje: el proceso que ordena crea el valor del producto

Cuando terminas de cortar, viene el deshoje. El deshoje es el trabajo de ordenar la hortaliza cosechada. No es una mera cuestión de aspecto, sino que atañe al valor del producto en sí. Una hortaliza de forma ordenada y deshojada con limpieza se ve fresca y apetitosa, da sensación de tranquilidad y transmite una impresión de alta calidad. En las hortalizas de hoja, se dejan caer unas pocas hojas exteriores dañadas y la base, y se dejan las hojas limpias del centro. Los criterios de número de hojas, longitud, peso y forma a veces están fijados con detalle según la granja o el destino de venta.

Lo que aquí conviene tener presente es que el deshoje, si se hace en exceso, surte efecto al revés. Es el trabajo de dejar caer las hojas exteriores dañadas y la base, pero si retiras de más, el peso vendible se reduce sin más: trabaja en la dirección de bajar el rendimiento comercializable. A la inversa, si haces heridas o rasgas hojas, baja el valor del producto. Y el trabajo descuidado genera repeticiones y al final lleva tiempo. Así que si en la selección fijas de antemano los criterios de tamaño y calidad y clasificas por grados, el juicio no oscila de una persona a otra.

Lo que parece diferencia de destreza y lo que el diseño puede levantar desde abajo

Por último, queda una constatación. Cuando aparece diferencia de volumen de cosecha o de calidad entre un veterano y un novato, tiendes a zanjarlo con «a esa persona aún le falta destreza». Pero, tras lo dicho hasta aquí, quizá no sea un problema de destreza, sino simplemente que la altura de la mesa no encaja, que la organización del día de corte no está pareja de una persona a otra, que el procedimiento de higiene no se ha repartido.

Aquí separamos dos cosas. El diseño —la altura de la mesa, la organización del día de corte, los procedimientos de higiene y de deshoje— levanta desde abajo el «suelo» tanto del veterano como del novato. Si el procedimiento se reparte en una sola hoja de papel, sube la línea mínima del novato. Por otro lado, el «techo», es decir, la producción de la persona experta, el cálculo en situaciones difíciles, la dosificación de la fuerza, eso es el lado que decide la destreza. Igualar el diseño no lo borra, ni es algo que deba borrarse.

Confundirlos sale a cuenta perdida. Si zanjás con «a esa persona aún le falta destreza» un desnivel que en realidad el diseño podría arreglar, se te pasa una diferencia que se habría rellenado con una sola hoja de papel. Así que primero levanta el suelo con el diseño, y a la diferencia que aun así quede, recién entonces llámala destreza. El orden es ese.

Conviene señalar que de aquí en adelante hay también perillas que no se pueden mover solo desde el sitio de la cosecha. El preparativo de apretar el abonado unos días antes de cortar para bajar el nitrato de las hojas, el compromiso en que subir el rendimiento baja el valor nutricional —como con la luz y la solución nutritiva—, y el juicio de si meter maquinaria de automatización: todos ellos son ahondamientos ligados directamente al rendimiento y a la cuenta de resultados, y requieren el cálculo de «a partir de cuánto compensa». Como estos exceden la entrada de la cosecha, pongo solo la entrada al modo de pensar y cedo los detalles a «172 Consejos». La mejora del proceso de cosecha, al final, surte efecto en el beneficio del conjunto de la granja.

Trabajo posterior a la cosecha



La hortaliza cortada no es algo que puedas simplemente dejar ahí. La hortaliza pierde frescura desde el instante en que se cosecha. Por fuera pierde la lozanía y se marchita, en sabor decae el aroma y aumentan el amargor y la aspereza, y también baja el valor nutricional. La cadena de trabajos hasta el envío decide hasta dónde se puede proteger esta frescura.

El trabajo posterior a la cosecha es, a grandes rasgos, cuatro cosas. El **transporte** del área de cultivo al área de trabajo (manteniendo la temperatura durante la salida y absorbiendo el impacto con recipientes y carros). El **pesaje y la selección** para ajustar tamaño, forma y peso al grado. El **envasado y embalaje** en bolsas y packs. Y el **almacenamiento**, dejándolas reposar a temperatura y humedad adecuadas. Como procedimiento, fluye en este orden. Solo que aquí hay una cosa cuya manera de ver quiero cambiar de antemano.

El instante en que confirmas la calidad y el instante en que el cliente la confirma. Pesas, envasas, inspeccionas y envías. Vas haciendo funcionar cada paso con rigor. Y aun así, tras el envío, llega una reclamación: «las hojas estaban marchitas», «estaban dañadas por gotas de agua». El pesaje según grado, el envasado y la inspección según procedimiento. Y aun así te lo dicen en el destino.

Bien pensado, el último instante en que tú confirmas la calidad es la mesa de inspección, y el primer instante en que el cliente la confirma es cuando abre la caja recibida. Entre ambos yace, entera, la duración del transporte, la temperatura y el traqueteo. Si en la inspección se te pasa una gota de agua y la dejas pasar, dentro de la caja sellada esa humedad pierde su salida y va sofocando la hoja todo el transporte. Aunque en el momento del envío no haya problema, para cuando llega está dañada.

Es decir, el trabajo posterior a la cosecha no es un proceso que solo confirma el estado actual, sino un proceso que decide aquí y ahora el estado de unas horas después, de unos días después. Por eso también el criterio de inspección se redibuja: no solo «si está dentro de grado», sino deduciendo hacia atrás desde «cómo estará al abrirla».

El primer paso de esa deducción hacia atrás es hacerte tú cliente. Saca una caja del envío de hoy. En lugar de dejarla en la estantería de envío, déjala reposar la misma duración de transporte, en la misma banda de temperatura, y ábrela tú a la hora en que la abrirá el otro lado. Entonces «sin problema al encajar, gotas de agua medio día después, marchitez un día

después» se alinea en el eje del tiempo con lo que ocurre en la salida de tu propio proceso. Esto no acierta más allá, hasta la logística. Es una verificación baratísima para separar solo el daño que ya has metido dentro de tu propio proceso, antes de entregar a la logística.

Los tres tipos de deterioro

El deterioro que aparece con el paso del tiempo conviene no meterlo todo en el saco de «se cayó la frescura». Al tocarlo con la mano, se divide en varios tipos. Porque la física que ocurre es distinta en cada uno.

La **marchitez (deshidratación)** tiene la hoja sin firmeza y ligera. Si pesas, debería estar por debajo de lo que estaba al envío. Es una señal de que, en la fase previa al enfriamiento, el agua está escapando de la hoja. Cuando en mi sitio salía marchitez, por lo general se había alargado el tiempo en que la hoja quedaba desnuda al aire seco entre la cosecha y el preenfriamiento y el envasado. Las jugadas son: no dejar que se seque antes de enfriar y antes de envasar, y apretar los procesos que exponen la hoja. Si tiende a salir marchitez antes de envasar, humidificar para contener la sequedad alrededor de la hoja también surte efecto. Solo que hay que tener cuidado: esta humidificación solo surte efecto «antes de envasar, en el lado de la marchitez». Si dejas encerrada la humedad tras meterla en la bolsa y cerrarla, esta vez se inclina hacia los dos tipos siguientes. Aun siendo la misma «agua», según la situación la jugada se invierte.

Las **gotas de agua (condensación)** aparecen en forma de gotas pegadas al interior de la bolsa. Es el tipo de haber sellado en caliente. Si metes en la bolsa y sellas una hoja no enfriada hasta el corazón, la humedad de dentro pierde su salida y se hace rocío en el interior. Las jugadas son: bajar del todo la temperatura antes de sellar, o cambiar a un envasado que la deje salir. A la inversa, si sellas tras enfriar hasta el corazón, el sellado más bien tiene una faceta que juega a favor reteniendo la humedad. No es que el sellado en sí sea malo, sino que lo que surte efecto es haber sellado antes de enfriar del todo.

La **putrefacción (sofoco)** tiende a salir en el nivel del fondo y en el centro de la caja. Es el tipo de haber apilado antes de que se enfríe y de que el calor del centro no haya salido. Las jugadas son: bajar la temperatura del corazón antes de apilar, y apilar de un modo que deje pasar el aire. Aquí hay una ruta más que no se explica solo con la temperatura y el modo de apilar. En la putrefacción también influye el número de microbios que ya estaban en la

superficie de la hoja. Si los utensilios o los recipientes están sucios, recoge microbios ahí, y luego la humedad y la temperatura dentro de la bolsa lo hacen avanzar. Así que la contramedida contra la putrefacción no es meter equipos de desinfección especiales; primero, la recogida de toda la vida: lavar y secar los utensilios y recipientes usados, secar el agua de la mesa, no dejar que se acumulen los restos que salen. Los microbios están por todas partes de entrada y no se pueden llevar a cero. Así que más que «no meterlos», «no aumentarlos, no esparcirlos». Esta es la rutina de higiene que pertenece al suelo de la calidad, antes incluso de hablar de tipos.

A cuántos grados y en cuántos minutos cambia un tipo se mueve según el cultivo, según el envasado y según las condiciones logísticas. Aquí no se puede afirmar tajantemente. Seguir una caja en tu propio sitio y confirmar dónde aparece el tipo es lo seguro.

Ordena las jugadas como «operación → consumibles → equipo»

Una vez que has sacado jugadas por tipo, esta vez alinéalas en otro eje. Según el tamaño del esfuerzo y el dinero que cuesta cambiarlas, las jugadas se dividen en tres capas.

La primera es la capa del **orden, el momento y el recorrido**. El orden de enfriar, el modo de apilar, el tiempo que se expone la hoja se pueden cambiar por operación desde hoy. No cuesta dinero, solo decidir y hacer funcionar. El orden de sacar el inventario también está aquí. Lo que entra primero sale primero. Si rompes esto y dejas que el inventario viejo se estanque en la estantería, le das justo ese tiempo de más para que avancen la deshidratación y la putrefacción. La higiene de lavar los utensilios y recoger el agua se alinea también en esta capa gratuita.

La segunda es el nivel de **consumibles y utillaje**. Cambiar el material de envasado por uno que deje salir la humedad, cambiar la altura de la estantería, añadir acumuladores de frío. Se puede probar con una pequeña inversión y se queda en el rango de los consumibles.

La tercera es la capa de **equipo y contratos**. La cámara de preenfriamiento, la envasadora, la banda de temperatura del transporte logístico son asuntos que se llevan hacia arriba.

Lo importante es el orden. Primero aprieta del todo la operación de la primera capa. Los tipos que desaparecen con eso no necesitan equipo. Invierte el orden y compra primero una cámara de preenfriamiento para un tipo que la operación podría haber borrado, y por mucho dinero que gastes ese tipo no desaparece. Dicho esto, no significa que «con solo la operación

desaparezca todo». Hay también tipos a los que el retoque de la operación no llega, como la velocidad de bajar la temperatura del corazón o el modo de sellar. Así que empezar por la operación no es porque con la operación desaparezca todo, sino para separar barato, antes de comprar, «qué tipos desaparecen con la operación y qué tipos necesitan equipo». Y si tienes un registro de la primera capa que ha separado los tipos, también al llevar hacia arriba un asunto de equipo o de contrato puedes decir «para detener qué daño, cuánto». Los materiales para el juicio quedan reunidos.

El daño que se puede prevenir tras la cosecha y el daño que se decide aguas arriba. Aun apretándolo capa por capa, queda una pregunta. El proceso posterior a la cosecha no decide «todo».

La manera de distinguir es esta. Sigue una caja: sin problema al envío, y medio día después, un día después, aparece un tipo. Marchitez, condensación, sofoco. Este es el lado que se puede cambiar tras la cosecha. El daño que aparece con el tiempo lo crea tu propio manejo. A la inversa, en cuanto la abres el corte ya está marrón, la hoja ya tiene daño, la firmeza era débil de entrada y se marchita enseguida. Esto no salió con el tiempo, estaba metido desde el principio. La elección de variedad, el momento de la cosecha, el modo de cortar: se decidió en la cosecha misma o antes de ella, y por muy con esmero que la manejes tras la cosecha no se recupera. El daño que entró aguas arriba, devuélvelo aguas arriba.

El trabajo posterior a la cosecha no es el lugar donde cargar con todo. Lo que se decide aguas arriba, y el precio y la marca, no se pueden cambiar aquí. Pero el rango que tú estás finalizando aquí —el estado cuando el cliente abre la caja—, solo eso lo fabricas del todo con limpieza. Si un lote una vez comprado se vuelve a elegir la próxima vez, o se convierte en reclamación y el negocio se adelgaza: lo que separa ambas cosas es si llegó en el estado prometido al abrirla.

Conviene señalar que si tienes una salida que dirija las hojas que no alcanzaron el grado a uso de corte o a materia prima de procesado en lugar de al desecho, lo que no lograste prevenir del todo con la operación no queda como pérdida pura. Hasta dónde se puede recuperar depende de cómo armes los canales de venta, pero este diseño de la salida y el cálculo de hacia qué tipo dirigir la inversión en equipo son juicios ligados directamente al beneficio. Pongo aquí solo la entrada al modo de pensar y cedo el afinado a fondo a «172

Consejos».

Gestión y formación del personal

Hasta aquí el foco ha estado en las plántulas y las cifras. A partir de aquí entramos en la última de las tres capas: la capa de las personas y la organización del trabajo. Con solo la tecnología y el equipo, una granja vertical no funciona. Lo que la mueve son las personas, y cómo formas a las personas gobierna en silencio los resultados del sitio. Comparado con la inversión en equipo se ve discreto, pero en realidad es aquí donde más surte efecto.

Al enseñar, el primer muro es «la intuición de esa persona». El rendimiento no se estabiliza. Sigues la razón y al final siempre llegas al juicio de alguien concreto. Según el día en que esa persona está o no está, el sitio cambia. Aumentas el personal y no sale reproducibilidad, e intentas enseñar y la propia persona no lo pone bien en palabras: en la raíz de esta inquietud hay probablemente una idea preconcebida. La premisa de que la intuición es la experiencia y el ingenio de un individuo, enteramente suya, y no se puede sacar afuera. Quitémonos una vez esa premisa.

La intuición se puede dividir en tres capas

Un veterano decide de repente cuándo cosechar. Cómo entregar ese cálculo a la siguiente persona. No es cosa que se resuelva haciendo un manual, pero con «mira y aprende» tampoco, porque el sitio se para en el instante en que esa persona se va.

Si pruebas a preguntar «¿qué miraste para decidir?», lo que vuelve suele ser «así, por intuición». Pero si observas bien, el color de la hoja, la postura de la planta, la diferencia de crecimiento por nivel de la estantería: la propia persona está mirando varias cosas. Solo que no las verbaliza; está mirando pistas fijas. Este «así, por intuición» no es mentira ni pereza y probablemente es un hecho, pero «no poder ponerlo en palabras» y «no poder hacerlo forma» no son lo mismo.

Yo pienso el juicio del veterano dividido en tres capas según la facilidad de estandarización.

- **Primera capa: el valor que lee un instrumento.** Queda como cifra, tal cual, sin pasar por la sensación de la propia persona. Solo que cómo leer esa cifra —si está calibrada, dónde se midió, cómo tratar la diferencia entre niveles si es una estantería de varios pisos— es ya cosa de la siguiente capa. Incluso en hortalizas de hoja de luz artificial, en la

misma sala el crecimiento difiere entre un nivel donde el flujo de aire se estanca y uno donde no, y con la cifra de un solo punto se te escapa la realidad.

- **Segunda capa: el juicio que se ramifica por condiciones.** La parte de ramificación de «si el color de la hoja es así, en esta época, para este destino de envío, entonces se recoge». Aunque la persona no sepa decirlo, si a su lado le preguntas muchas veces «¿por qué no lo recogiste ahora?», se van recogiendo candidatos de pistas. Solo que la explicación a posteriori a veces difiere del juicio real, así que se coteja en varias ocasiones y con varias personas.

- **Tercera capa: el tacto de la mano.** La parte genuinamente difícil de cuantificar, la que queda en la mano hasta el final.

La clave es no intentar hacerlo todo forma desde el principio. Como metes las tres capas juntas en el saco de «intuición», se vuelve difícil de entregar. Si recoges primero la parte que se puede verbalizar en la primera y la segunda capa, una buena parte de la intuición se puede acercar a los asuntos de traspaso corrientes. Lo que queda es solo la tercera capa, la que queda en la mano. Como no separas eso y dices «míralo y apréndelo todo», se para en el instante en que la persona se va.

El cálculo del momento de cosecha es justo una situación donde se superponen estas tres capas. Hay una referencia cercana a un instrumento: los días de crecimiento desde la siembra y el trasplante definitivo (primera capa). Pero al final miras el aspecto —el color de la hoja, la postura de la planta— y decides si recoger ahora o esperar un día. Esta lectura del aspecto no se puede poner del todo en palabras y tiende a quedar en la mano (tercera capa). Poner las cifras de base y entregar el cálculo final al lado, con demostración: mirándolo separado, se ordena hasta este punto sin problema.

La verbalización se disuelve en el parte diario de tiempos normales

Sacarle el contorno a la segunda capa preguntando decenas de veces al lado cuesta bastante tiempo y bastante mano de obra. Y si no lo haces mientras el veterano está aún en el sitio, no llegas a tiempo. Sin embargo, el sitio tiende a empezar con prisas solo cuando se sabe que esa persona se va.

Por eso, en lugar de montarlo como un proyecto especial, disuélvelo en el trabajo diario. Si paras el sitio y sientas al veterano al lado a tomarle declaración, la persona se pone en

guardia y no continúa. En vez de eso, en una línea del parte diario o del traspaso, añade una razón **solo los días en que el juicio se dividió**. «Hoy no lo recogí, porque el color de la hoja aún no estaba.» Si intentas escribir todos los días, en las épocas de trabajo es lo primero que se omite. Si es una línea, funciona como prolongación del trabajo cotidiano.

En cuanto a quién escribe, más que hacer verbalizar al propio veterano, funciona mejor que el joven que trabaja a su lado apunte en una línea «qué, cuándo, cómo lo hizo». Como la persona solo sabe decir «así, por intuición», registra el lado que tiene la pregunta. Solo que la parte del «por qué» no se rellena si el veterano no responde una palabra en el acto, así que avanza mientras es tiempo normal y aún colabora. Cuando se acumule, relee de vez en cuando las razones que se repiten para reagruparlas como ramificaciones por condición, y la línea que escribió el joven, que el veterano confirme luego en una palabra «sí con ese entendimiento está bien». Más que llegar a tiempo, es crear en tiempo normal un estado de estar a tiempo.

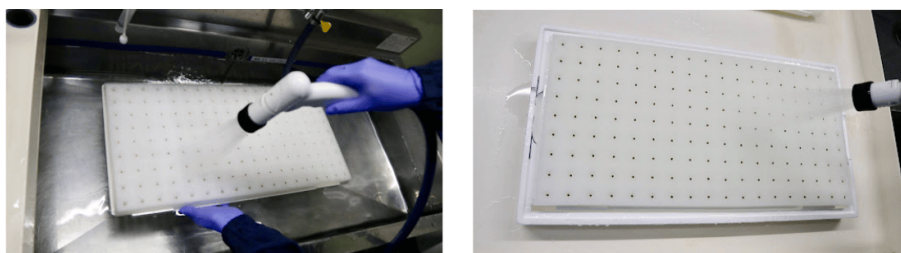
La formación de novatos también se apoya sobre esta separación. Las bases van para todos: la diferencia entre una granja vertical y la agricultura convencional; las bases de la gestión del cultivo como temperatura, humedad, luz, CO2 y solución nutritiva; los procedimientos de cada proceso; la higiene de instalaciones; el control de calidad; la gestión de seguridad. Ya que se suma al trabajo, un mínimo de conocimiento es imprescindible, y la higiene y la calidad especialmente con énfasis. Las especialidades más allá —técnica de cultivo, gestión de equipos, análisis de datos— se entregan por etapas a quien ha terminado las bases. Esta parte de especialidad es justo el territorio donde se apiñan la segunda y la tercera capa de antes.

Hay una cosa que quiero dejar puesta con honestidad. Antes de preguntar «cómo entregar la intuición», también está la jugada de preguntar si no se puede salir del paso sin entregarla. Aumentar la parte medible por instrumentos y empujar la segunda capa hacia la primera. Rediseñar el trabajo para reducir las situaciones que requieren juicio. Simplificar el criterio para que aterrice en el mismo procedimiento lo haga quien lo haga. Si así se puede reducir el volumen mismo de intuición, también el esfuerzo de entregarla deja de hacer falta. Esta es la dirección correcta como línea principal, y lo que se pueda reducir, mejor inclinarlo hacia ahí. Solo que la parte a la que la automatización y la estandarización no llegan del todo queda de todos modos. Así que aquí se trata de «tras inclinar lo que se pueda, cómo entregar lo que

aun así queda». Hasta dónde inclinarlo a sistemas y en qué gastar personas y coste: ese cálculo es el juicio mismo de recortar opex, y el modo de pensar a fondo lo cedo a «172 Consejos».

Cuando se logra esta separación, la intuición deja de ser «algo que desaparece con cada persona».

El rigor de la higiene de instalaciones



Una vez ordenadas las personas, pasas al cimiento del sitio donde esas personas trabajan: la higiene. El sitio de una granja vertical arrastra siempre el trato con patógenos y plagas. En lo que más tropiezan los novatos es en esta higiene de instalaciones. Porque, si estás convencido de que la higiene es cuestión de la cantidad de limpieza de «cuánto lavar», algún día chocarás sin falta con el muro en que, por mucho que laves, las cifras no bajan. Dejo escrita primero mi postura. Los microbios no se pueden llevar a cero. Por mucho que aísles el edificio, hay una parte que entra mezclada en pequeña medida en el agua del grifo y en el agua de la solución nutritiva, y donde se juntan temperatura y agua, siempre hay en algún sitio. Por eso a mí no le encuentro mucho sentido a determinar «por dónde entraron» los microbios. Solo hay dos cosas que controlar. Si no estás creando el lugar donde esos microbios aumentan (el foco). Y si no estás esparciendo hacia un lugar que debería estar limpio la contaminación que se ha concentrado en un punto. La higiene de instalaciones empieza por cambiar el chip: no es el trabajo de aumentar el número de lavados, sino el trabajo de no aumentar, no esparcir.

El motivo por el que se estanca aunque aumentes el número de lavados

«Lo subí de tres veces por semana a cada día, y la cifra de microbios del área de cultivo no cambia respecto a antes.» Engruesas el manual de procedimientos, añades lugares que limpiar, y otra vez se estanca en la misma cifra sin bajar. De novato, aquí tiendes a agobiarte con «¿mi limpieza es chapucera?», pero por lo general no es un problema de la cantidad de

limpieza.

Al caminar por el sitio, notas algo curioso. La mesa que limpias a diario está razonablemente limpia, mientras que bajo una estantería que la gente apenas toca o en la junta de una tubería —lugares que no entran en el procedimiento de limpieza— la cifra de microbios es peor. El lugar que lavas y el lugar donde los microbios aumentan están, de entrada, desalineados. Más que ser insuficiente el lavado, lo veo así: en los lugares donde se acumulan la condensación y la materia orgánica y no se secan, a los microbios les es fácil asentarse. Las hortalizas de hoja usan agua. Inevitablemente, en los sitios bajos, las juntas y alrededor de los desagües se acumulan los restos de agua y de solución nutritiva. Ahí la temperatura y la humedad también son cómodas para los microbios. Engruesas el manual y aumentas los lugares que limpiar, pero si queda el propio foco de multiplicación, se estanca; esto lo he visto muchas veces en el sitio. Así que lo primero que se mira no es la tabla de limpieza, sino «dónde se detiene el agua y no se seca». Si está diseñado para que se seque, de entrada la cosa ni siquiera llega a una contienda del número de lavados.

En la hidroponía hay otra cosa que cuidar. Es la advertencia de que el hecho mismo de que la solución nutritiva circule por las instalaciones puede convertirse en una estructura que impulse la multiplicación de los microbios que pueden moverse dentro del agua. Solo que aquí es fácil malinterpretar: la circulación en sí no es un mal. Mientras asegures caudal suficiente y la hagas girar con normalidad, sin estancamiento, no es que la circulación dispare el riesgo; ese es mi criterio. Lo que se vuelve problema son los lugares donde el flujo se detiene y el agua se estanca, los que no se secan nunca. Que los microbios aumenten con facilidad en el sistema de solución nutritiva depende en gran medida, antes que del número de lavados, del lado estructural de si el agua fluye como es debido y si no se estanca.

No llevar la contaminación concentrada a la zona limpia: las plántulas y el recorrido

Una vez controlado el lugar donde aumentan, lo que surte efecto a continuación es dónde concentras esos microbios y hacia dónde los esparces. Los microbios en sí están en todas partes, tenues y en pequeña medida. El problema es si queda en las instalaciones una ruta por la que los microbios, que deberían ser tenues, se concentran en un punto y son llevados al área de cultivo que debería estar limpia.

Los portadores son, a grandes rasgos, dos. Uno son las plántulas. El sustrato y alrededor de las raíces son, de entrada, un lugar concentrado con más microbios. Si las metes tal cual en el área de cultivo, estás poniendo contaminación concentrada en un lugar que debería estar limpio. Por mucho que laves la sala, la parte que viene pegada a las plántulas no se reduce con el número de lavados. El otro es el recorrido de personas y cosas. Producción de plántulas, trasplante, cosecha, envasado: salas que deberían diferir en limpieza acaban cruzadas de un lado a otro por carros y personas. Las ruedas de los carros, las botas, los guantes llevan tal cual los microbios concentrados del lado sucio al lado limpio. Así que el punto a controlar es la estructura de fijar a un solo punto el lugar donde se reciben las plántulas y armar el recorrido en un solo sentido, de mayor a menor limpieza. No dejar que refluya, no dejar que vuelva. No introducir los microbios del lugar concentrado en el lugar tenue. Si controlas eso con el diseño, la limpieza posterior se vuelve bastante más fácil.

Al inspeccionar el recorrido, si divides una vez las instalaciones en tres por grado de limpieza, empieza a verse dónde se cruzan.

Zona Limpieza Lugares principales Punto a controlar	--- --- --- ---	Zona
contaminada Baja Entrada de la instalación, oficina, aseo, sala de descanso Detener la		
contaminación traída de fuera	Zona de transición Media Sala de preparación de	
	materiales, lugar de cambio de ropa y lavado de manos No trasladar contaminación a la	
zona limpia	Zona limpia Alta Áreas de siembra, cultivo y cosecha Mantener esto lo más	
limpio posible		

Fija el recorrido en un solo sentido: zona contaminada → zona de transición → zona limpia. Antes de entrar en la zona limpia, pasa siempre por la zona de transición y entra tras quitarte la suciedad con el cambio de ropa y el lavado de manos. No entrar en la zona limpia saltándote la zona de transición: eso es lo básico. Si lo miras en tu propia instalación, los puntos están más o menos fijados. Si personas y cosas van como es debido en un solo sentido, de la sala de mayor limpieza a la de menor. Si hay alguna situación en que un carro o una persona refluye de vuelta del lado bajo al alto. Si la entrada de recepción de plántulas está fijada a un solo punto, o entran por aquí y por allá. Solo con hacer visibles los límites mediante código de color en el suelo y señalización, el movimiento de la gente cambia. Con que los empleados «tengan cuidado» sin más, el entorno higiénico se desordena enseguida. Ordenarlo con reglas y estructura es lo realista.

Problemas que se borran con la estructura y problemas que se mueven con la operación

Hasta aquí, tanto el lugar donde aumentan los microbios como la ruta por la que se esparce la contaminación concentrada han ido viéndose como del lado estructural de la instalación.

Entonces lo que surte efecto a continuación es trazar la línea. Lo que tienes ahora mismo delante, ¿es «un problema que no desaparece si no arreglas la estructura», o «un problema al que se llega cambiando el modo de limpiar o desinfectar»?

Lo que sirve aquí es el orden de «primero golpea». Aunque hables primero de estructura, las paredes de la instalación existente no se pueden mover al momento. Así que prueba primero a cambiar el modo de lavar y secar, que no cuesta dinero y se puede mover desde hoy. Si las cifras bajan sin resistencia, era un problema al que llega la operación. A la inversa, si aun duplicando la limpieza reincide fielmente en un lugar concreto, en una estación concreta —por ejemplo, vuelve a la misma línea del lado sur solo en la temporada de lluvias—, eso lo veo como señal del lado estructural. Que salga en el mismo lugar por mucho que golpees, ese estancamiento es justo lo que te enseña que el foco está del lado estructural. Otra pista es si sale igual, en el mismo lugar, aunque cambies al encargado. Si cambia al cambiar la persona, es el lado del operario; si sale en el mismo lugar lo haga quien lo haga, es el lado estructural: esa es la separación.

Aunque sepas que es el lado estructural, redibujar tabiques o pendientes en la instalación existente se vuelve casi una reconstrucción. No se le puede meter mano al momento. En ese caso, haz que la operación surta efecto «en lugar de la estructura». Fija a un solo punto el lugar por donde metes las plántulas, y separa los carros entre el lado de mayor y el de menor limpieza sin mezclarlos. Aunque no haya pared física, la introducción y el cruce se pueden controlar con eso. O divide por tiempo. Agrupa el trabajo limpio por la mañana y el trabajo que ensucia por la tarde, creando el sentido único con el tiempo. Solo que, si no intercalas limpieza y secado para resetear tras el trabajo sucio de la tarde, esa suciedad se traspasa a la mañana siguiente y el sentido único se rompe. Dividir y luego resetear una vez sin falta: hasta ahí es un conjunto. También en torno al agua, aunque no puedas arreglar al momento la pendiente o el desagüe, con solo drenar y secar las tuberías y depósitos que dejan de usarse tras la jornada y el agua estancada en los sitios bajos, la parte que se estanca y aumenta se debilita bastante.

La desinfección no es una panacea: la gestión de una circulación normal por encima de la desinfección intensiva

Hay situaciones en que se pone la desinfección (ozono, UV, cloración de la solución nutritiva) encima de la limpieza y el secado. La limpieza es el proceso de arrastrar físicamente la suciedad; la desinfección es el proceso posterior de matar con agentes los patógenos que quedan aun tras lavar. No se debe invertir el orden. Porque si esparces desinfectante con la materia orgánica y los restos vegetales todavía presentes, el efecto cae mucho.

Solo que hay algo que quiero decir con firmeza aquí. La desinfección no es una jugada de panacea de meterla y ya está. Las desinfecciones como el cloro, el dióxido de cloro, la UV y el ozono ciertamente pueden reducir los microbios. Pero el modo en que actúan cambia mucho según el tipo de microbio contrario y según la concentración y el tiempo de contacto del agente, y no existe un tratamiento estándar que actúe sobre todo con una sola cosa. Además tiene efectos secundarios. El tratamiento con ozono puede bajar el hierro y el manganeso de la solución nutritiva, o reducir junto no solo los patógenos buscados, sino también los microorganismos beneficiosos que hacen un trabajo útil dentro de la solución nutritiva. Se reducen los microbios buscados, pero se recorta el «lado que cría»: los nutrientes de la solución nutritiva y el equilibrio de microbios.

Por eso yo me pongo del lado de aplicar a fondo la gestión de una circulación normal, más que de contener con equipos de desinfección. Asegurar caudal suficiente, hacerla girar con normalidad sin estancamiento, lavar y secar. Sobre ese cimiento, poner solo la desinfección necesaria. El orden es, por encima de todo, este. En lugar de apoyarte del todo en la desinfección, añade la desinfección como auxiliar allí donde has cortado el foco y la ruta con la estructura. No «seguro porque metí equipos de desinfección», sino «se mantiene limpio porque gira con normalidad»: piénsalo en ese orden.

Las tres capas que agrupa la palabra «seguridad»

Si profundizas en la higiene de instalaciones, tarde o temprano chocas con la pregunta «¿son seguras nuestras hortalizas?». Surgen situaciones en que te lo preguntan los compradores del destino de envío o los consumidores. Aquí hay una cosa que quisiera dejar ordenada desde novato. La única palabra «seguridad» agrupa en realidad tres capas de naturaleza distinta.

La primera es la **capa del sin pesticidas**. Esta es la historia de «qué no metiste en la entrada», y está cerca de una etiqueta de producto. Solo dice el único punto de que no se usaron pesticidas. De lo del agua, de lo de los insectos, de lo de la higiene, la palabra «sin pesticidas» no garantiza nada. «Seguro porque es sin pesticidas» también se puede decir que es solo pegar la frase más fácil de decir a todas las preocupaciones.

La segunda es la **capa microbiana**. Es el riesgo operativo de que los microbios aumenten dentro de la instalación y puedan esparcirse por los conductos de agua. Se suele decir que una granja vertical es segura porque está cerrada, pero estar cerrada significa también que, cuando ocurre algo dentro, todo está conectado a través del agua y del HVAC. Si salen microbios en una estantería, pueden montar el conducto de agua y circular a la línea de al lado. La unidad para mirar la seguridad pasa de ser «una planta» a ser «el rango conectado por el conducto de agua»: esta es esa capa. Sin embargo, esto no es una historia de «cerrada = aniquilación total segura». Más bien al revés: una instalación hidropónica que circula con normalidad con caudal suficiente y está bien gestionada tiene, de entrada, bajo riesgo de que proliferen los patógenos. La clave es que lo que se pregunta es cómo divides ese conducto de agua y cómo mantienes normal la circulación.

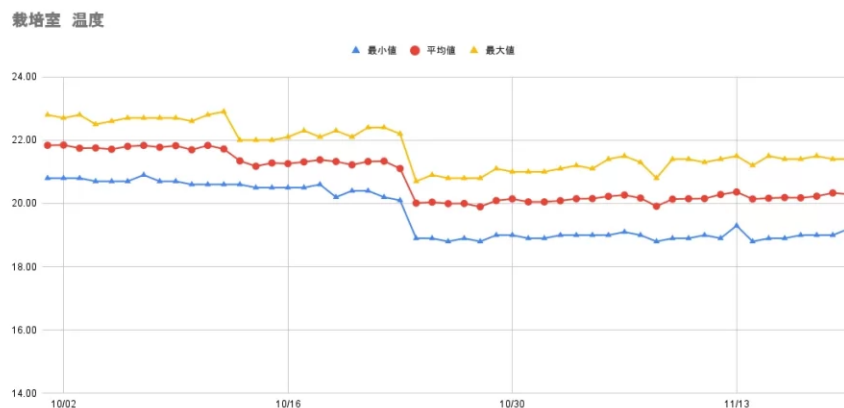
La tercera es la **capa del contrato**. Cuando ocurre algo, hasta qué lote remontas para retirar. Cuando el equipo se para y toda una zona queda inservible, cómo se mueven el contrato y el seguro. Lo que de verdad le importa al destino de envío no es la presencia de pesticidas, sino, por lo general, esto: el acuerdo de quién asume hasta dónde cuando se esparce.

La misma palabra «seguridad» agrupa en realidad tres cosas de capas distintas. Por eso, si al preguntarte respondes mezclándolas, no encaja. Cuando el consumidor dice «no sé, se me hace artificial y me inquieta» y le devuelves el contenido técnico de «separamos los sistemas de agua», puedes acabar inquietándolo más: «¿hay que gestionarlo tanto para que no sea peligroso?». Lo que quisiera que adquirieras de novato es la actitud de extraer un solo eje de lo que preocupa al otro y devolver hechos solo sobre ese eje. Si preguntan por pesticidas, «no usamos». Si preguntan por el agua, «es una solución nutritiva con fertilizante disuelto, y gestionamos así la concentración y la renovación». Si preguntan por la higiene, la historia de la zonificación y el secado. Más que afirmar tajantemente que es segura, alinear qué haces y qué no haces llega mejor a la inquietud del otro.

Y recuerda también que el rango que puedes devolver con tus propias palabras y el rango que debes entregar a la inspección son cosas distintas. La concentración de la solución nutritiva y la frecuencia de renovación, la fecha de cosecha, el entorno de cultivo son tus propios registros, así que si te preguntan puedes devolverlos con tus propias palabras. Por otro lado, los valores de análisis de pesticidas residuales, el recuento de microbios y la trazabilidad del origen, aunque digas «lo hacemos» o «no lo usamos», eso es solo tu propia palabra y no se convierte en prueba que el otro pueda usar como base de la transacción. Este es el rango que debes entregar a la inspección y los registros de un tercero. Transmitir pronto «no lo cubrimos» de lo que no puedes producir acaba siendo, al final, más digno de confianza que empujar a la fuerza con «es segura».

Las hortalizas de hoja a menudo se envían sin lavar tras la cosecha, así que el entorno higiénico durante el cultivo se convierte tal cual en el estado higiénico del producto. La higiene de instalaciones es un trabajo discreto y sin fin. Ni el punto en que obtienes una certificación ni el punto en que una inspección salió negativa son la meta. Primero lava, seca y golpea, y lee el estancamiento que aun así queda como señal estructural. Corta el lugar donde aumentan los microbios y la ruta por la que se esparce la contaminación concentrada, separa lo que se puede borrar de lo que se mueve, y sigue mirando dónde reaparece. Esta actitud discreta es la que surte efecto al final. Conviene señalar que cómo componer los ítems de inspección en las tres etapas de causa, resultado y actitud, qué reforzar según el destino de envío (gran distribución, restauración, catering institucional), el afinado de los valores de referencia de las especificaciones de compra y de los contratos y seguros, son asuntos que entran en el territorio del diseño de negocio más que en la gestión de operaciones. Pongo aquí solo la entrada al modo de pensar y cedo la práctica a fondo a «172 Consejos».

Análisis de datos



Los procesos hasta aquí han ido dejando registro mientras funcionaban. Por último, el análisis de datos, que conecta ese registro con el juicio. Al oír «análisis» quizá te pongas en guardia, pero el punto de partida no es comprar un sistema nuevo, sino que está mucho más a mano. Es la historia del orden que conviene controlar antes de que un proveedor te diga «primero aumentemos sensores y recojamos datos».

Los registros se acumulan, pero mirarlos es tras el incidente

Anotas temperatura, humedad y volumen de cosecha en el parte diario, y registras también el coste eléctrico cada mes. Que eso en sí continúe, hay muchos sitios así. El problema es tras anotarlo. Si hay alguien que lo mira como es debido, es dudoso. Solo cuando cae la cosecha remontas por primera vez y te das cuenta a posteriori de que «entonces la cifra realmente estaba rara». El coste eléctrico también acaba en mirarlo y «qué caro». Los datos ya están de sobra a mano, pero mirarlos es siempre «tras haber ocurrido algo».

Lo que falta no es un sensor nuevo. Quién mira, y cuándo, lo que ya tienes a mano: ahí es donde falta. Hay dos maneras de mirar: el «rastreo a posteriori» que remonta tras ocurrir el incidente, y la «inspección periódica» que mira a punto fijo en tiempos normales, cuando no ha ocurrido nada. El rastreo a posteriori es tarde, así que solo sirve para comprobar la causa.

Así que lo que se decide antes de comprar un sistema nuevo es quién mira y cuándo, eso es todo. Una manera que he sostenido en el sitio de hortalizas de hoja de luz artificial: quince minutos por la mañana, una persona lee en voz alta el parte del día anterior. Temperatura, humedad, volumen de cosecha, cada mañana aunque no haya anomalía. Entonces «está más alto que de costumbre» se engancha en la fase de una pequeña sensación de extrañeza,

antes de convertirse en incidente. También el coste eléctrico, con solo mirarlo por encima cada semana en vez de una vez al mes, «solo esta semana está raramente alto» empieza a verse como un HVAC funcionando de más o una puerta que se quedó sin cerrar. En una granja de luz artificial que hace girar sin cesar la iluminación y el HVAC en un entorno cerrado, en mi sitio esta zona salía la primera.

La misma cifra, mirada tras haber ocurrido es un mero registro; mirada cada día en tiempos normales se convierte en una vara que mide «la diferencia respecto a lo de costumbre». El aprovechamiento de datos avanza mucho con solo ese cambio primero.

Haz de la anchura de lo normal una vara, y no cargues el juicio en una sola persona ¿Cuál es el registro mínimo que reunir? Alineados desde la perspectiva de servir de base al juicio de gestión, son tres tipos: producción (el volumen de cosecha diario y, a ser posible, el rendimiento comercializable), coste (el coste eléctrico y el uso de mano de obra y materiales) y calidad (el grado de los envíos y cuánto salió fuera de grado). Estos suelen quedar dispersos por separado en distintos libros y recibos, así que en lugar de empezar a medir algo nuevo, alinea lo que ya existe en un mismo lugar. Fabricar el conjunto mínimo empieza por ahí.

Si sostienes cada día la lectura en voz alta de quince minutos de la mañana, al cabo de un tiempo la lectura se vuelve un rito. Se acostumbra y fluye de largo. En lo que he visto, esto ocurría casi sin falta. Así que hacen falta dos ingenios.

El primero es cómo fabricar la primera vara. Qué es «distinto de lo de costumbre» al principio no lo sabe nadie. Así que al principio, asumiendo que no juzgas, haz solo la única cosa de alinear cifras. Si alineas cada mañana la temperatura de la misma hora y del mismo lugar, «lo nuestro está más o menos por aquí» aparece por sí solo como una anchura. Anota esa anchura en una línea en papel —«la temperatura de la mañana está por aquí»— con los valores reales de tu propio sitio. Una vez que pones en letra la anchura de lo normal, la vara se sale de la sensación individual y queda igual lo lea quien lo lea. El truco es no intentar decidir el criterio correcto desde el principio.

El segundo es que, cuando quien mira es una sola persona, la sensación se sesga. La lectura hazla hacer a una persona, pero el juicio no lo hagas hacer a una sola. Quien lee puede ser fijo cada día. Solo que, únicamente cuando piense «esto se me hace distinto de lo de

costumbre», lanza en el acto a una persona más «¿tú qué opinas de esto?». Lo que evita que se acostumbre y fluya de largo es, en realidad, también esto. Como concentrarse a la perfección cada día es imposible, hazlo una regla de que solo cuando algo se engancha se dice en voz alta y se implica a una segunda persona. La idea es que, aunque sea una lectura por encima, basta con que sea una estructura en la que, si una cosa se engancha, se puede parar.

Que se acostumbre es la premisa. Déjalo en una forma que se pueda recoger aun acostumbrado. Una operación que se apoya en una concentración perfecta, para empezar, no dura. Decidir por separado quién mira y quién juzga es discreto, pero es un punto que surte efecto.

Añadir medición viene tras chocar con el muro de la separación

Cuando la lectura de la mañana y el coste eléctrico semanal te dejan recoger «distinto de lo de costumbre», viene sin falta el muro siguiente. El muro de que la diferencia se ve, pero por qué se ha vuelto así no se separa con el registro a mano. Por ejemplo, cayó la cosecha y también subió el coste eléctrico, pero la temperatura del parte está dentro de la anchura de lo normal. Aquí no aciertas a decir «¿es el HVAC, es el agua, es otra cosa?». Con el registro a mano, la separación se detiene. Ahí es por primera vez la señal de «añadir medición». A la inversa, si añades sensores antes de chocar con ese muro, como no hay hábito de mirar, al final acabas mirándolos y ya. El orden está invertido.

Donde este orden surte efecto sin resistencia es en un entorno cerrado como las hortalizas de hoja de luz artificial. Porque las variables son relativamente pocas y el parte diario y el coste eléctrico recogen mucho. En un invernadero zarandeado por el aire exterior y la radiación solar, o en el territorio de las hortalizas de fruto con muchas variables, seguro que hay situaciones en las que sin varias mediciones desde el principio la cosa ni empieza, así que toma lo que estoy pensando como, en todo caso, la historia del lado del entorno cerrado.

Una cosa más: si vas a añadir medición, mira también a la vez si «quién la lee, y cuándo» se puede montar sobre la operación. Una medición que se pueda añadir como una línea al marco de los quince minutos de la mañana dura. Lo que no se ve sin abrir cada día por separado una pantalla dedicada, por muy de altas prestaciones que sea, tarde o temprano deja de mirarlo nadie. Esto también lo he visto muchas veces en el sitio. Así que cuando

añadas, piensa sin falta si no puedes dejar caer alguna línea vieja. El marco de lectura fijo en quince minutos, y no aumentes el número de líneas. Si la temperatura que alineaste al principio se estabiliza en «más o menos por aquí» y no se sale durante mucho tiempo, ya no hace falta decirla en voz alta cada mañana. Puedes dejarla caer al lado de confirmarla de vez en cuando semanalmente. No aumentes el marco, cambia el contenido. El juicio de añadir y el juicio de dejar caer van en conjunto.

Medición que se hace girar en un carril aparte: detección de averías y calibración

Hasta aquí es la historia de «la medición para la separación viene tras chocar con el muro», pero aparte de eso hay también medición que se hace girar desde el principio.

Las anomalías como una avería o una enfermedad, en las que cuando te das cuenta es tarde e irrecuperable, no llegan a tiempo con la lectura de tiempos normales. La medición que vigila en continuo y lanza alertas es algo que se pone sin esperar al problema. También las horas en que el ojo humano no llega —de noche o con falta de personal—, en vez de intentar rellenarlas con operación manual, se dejan en manos de la vigilancia continua.

La otra es la calibración de la vara misma. Si un sensor devuelve un valor desviado, hasta la anchura de lo normal que te tomaste el trabajo de anotar se deforma, y creas un «rastreo a posteriori» del lado de los datos. La garantía de que el instrumento saca el valor correcto se vuelve a tomar periódicamente como premisa de la operación. Junto con ello, el papel donde anotaste la anchura, actualízalo y tráspasalo cada vez que cambia la persona. Estas dos cosas son el ejemplo típico de por dónde se rompe una operación dependiente de personas, así que decidir las desde el principio es cómodo.

El comienzo no es un sensor, sino una hoja de papel

«Nosotros, de entrada, no hemos metido ni sensores ni IoT, así que lo del aprovechamiento de datos es todavía cosa lejana.» Hay quien lo siente así y se para en la entrada, pero el comienzo no es un sensor, sino una hoja de papel. Si todavía no registras nada, antes de ir a comprar IoT, elige una sola cifra que ya te preocupa y prueba a anotarla cada día a la misma hora. Basta con el valor del termómetro y el volumen de cosecha, o incluso solo el coste eléctrico que llega cada mes. Lo más fácil de empezar es el coste eléctrico. Como llega cada mes en forma de factura, solo cambias «mirarla y archivarla» por «anotar la cifra de este mes junto a la del mes pasado, alineada en un mismo lugar». Con eso ya es un aprovechamiento

de datos hecho y derecho. La pregunta «quién mira, y cuándo» empieza en el instante en que las cifras a comparar pasan a ser dos.

La fuerza de leer cifras alineadas crece aunque estreches los ítems. Lo que a menudo miraba en el sitio de luz artificial era la proporción de basura que sale en el deshoje. Si lo dejas en «hoy hubo mucha basura», no queda nada, pero de la misma cifra se leen varias facetas: el esmero del trabajo de ese día, algún defecto en algún punto del proceso de cultivo, si no habrás apretado demasiado las plantas. Aun con una sola cifra, con solo alinearla junto a la anchura de lo normal y preguntar «¿por qué hoy está alta?», cambia la anchura de las jugadas que puedes hacer. Antes que un equipamiento caro, es este modo de leer el que surte más efecto.

Por último, un trazado de línea honesto. Lo que la operación del registro a mano puede cubrir es el rango de «darte cuenta de una diferencia y poder poner tú una jugada». La temperatura distinta de lo de costumbre, una puerta que estaba abierta, olvidarse de cerrar el riego: la causa está dentro de tu propia operación diaria, y si la diferencia se ve puedes estirar la mano y arreglarla. Ahí es donde este método surte más efecto, y además es más amplio de lo que mucha gente piensa.

Solo hay dos sitios donde sueltas la mano. Uno es el muro de la separación. Cuando la diferencia se ve pero con el registro a mano no puedes separar la causa, y errarla por corazonada de verdad cuesta dinero. Ahí es por primera vez cuando añades medición y, a ser posible, pides que entre un especialista que lee ese tipo de datos como oficio. El otro es lo que toca la capacidad eléctrica, el cableado, los agentes químicos, la estructura, es decir, la seguridad o el equipo en sí. Ahí no experimentas en absoluto con tu propia vara. Porque el precio del fracaso no es «cae la cosecha», sino algo irrecuperable. La referencia es esta. Si al leer la cifra entiendes «qué hay que hacer», déjala en tu propio marco. Si lo único que entiendes al leerla es «hace falta alguien que sepa más que yo», ahí está el límite. Y poder darte cuenta pronto de ese límite es, en sí, una de las cosas que te enseña el hábito de mirar cada día.

Conviene señalar que si te pierdes desde cero en qué ítems alinear y cómo, reparto tal cual los formatos de registro que he usado en el sitio como «13 plantillas de gestión de operaciones». Más que algo para aplicar exactamente, creo que es mejor mirarlas como una lista de comprobación que ilumina qué le falta y qué le sobra a tu propio sitio. La historia que

ahonda hasta el cálculo del valor óptimo y el juicio de recorte de costes la cedo a «172 Consejos». Cuando logres convertir el registro a mano en una vara, léelo como el siguiente paso.

Resumen del capítulo 3

- La gestión de operaciones se divide en tres capas: leer las plántulas, vigilar las cifras y ordenar a las personas y el trabajo. Se adquieren por separado y solo cuando encajan funciona el sitio. Primero mete en la cabeza el mecanismo y el modo de leer, y empieza por la capa en la que estás atascado ahora.
- El plan de producción se arma desde el envío hacia atrás. Envío, cultivo y mano de obra son tres relojes de velocidad distinta, así que sostén los amortiguadores (colchones) por separado y, únicamente el cultivo, muévelo con antelación por el plazo de entrega.
- Lo que hay que mirar en la siembra no es la tasa de germinación, sino la «uniformidad». La anchura del arranque se decide en la entrada y absorberla después cuesta dinero. Para la dispersión, sospecha primero de la desigualdad de temperatura.
- La producción de plántulas es una inversión en el rendimiento final. No las dejes ahilarse; crea uniformidad por encima del tamaño. Cuando las hojas empiezan a solaparse, es la señal del trasplante.
- El marco de plantación del trasplante definitivo se decide no por la conveniencia de plantar, sino deduciéndolo hacia atrás desde el envío (el tamaño buscado y el peso vendible, y la facilidad de cosecha).
- La cosecha no es una disyuntiva de «velocidad o calidad». Separa cuándo cortar, cómo moverte y con qué cortar, y primero nivela el suelo de la higiene. Levanta el suelo con el diseño, y a la diferencia que quede recién entonces llámala destreza.
- El trabajo posterior a la cosecha es el proceso que decide ahora el estado en que el cliente abre la caja. Distingue el deterioro por tipo, y ordena las jugadas operación → consumibles → equipo. El daño que entró aguas arriba, devuélvelo aguas arriba.
- La intuición de una persona se puede dividir en tres capas; el valor que lee un instrumento y el juicio que se ramifica por condiciones se pueden disolver en el parte diario de tiempos normales y entregar. Inclina a los sistemas lo que se pueda y entrega lo que quede.

- La higiene no es «tapar la entrada», sino «no aumentar, no esparcir». Corta el foco (los lugares que no se secan) y los portadores (plántulas, recorridos), y gestiona con una circulación normal en lugar de apoyarte en la desinfección.
- Para el análisis de datos, «quién mira y cuándo» viene antes que un sensor nuevo. Haz de la anchura de lo normal una vara y recoge la sensación de extrañeza antes del incidente. El comienzo puede ser una hoja de papel.

El conocimiento que forma el cimiento del sitio está ya, a grandes rasgos, todo reunido. De aquí en adelante, haz sólidas en tu propio sitio las bases que has aprendido, y sobre ellas construye «cómo crear una granja en la que quede beneficio»; ese modo concreto de calcular lo cedo a «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales», recopilado con foco en la rentabilidad. Primero, haz que las bases de este capítulo se familiaricen con tus propias manos y ojos.

Epílogo

Hasta aquí, hemos recorrido de principio a fin el panorama completo de este oficio que es la granja vertical: desde el futuro del sector, pasando por los fundamentos del cultivo, hasta la práctica sobre el terreno. Ahora que has llegado al final de la lectura, ya no eres aquel novato que se planta en el terreno sin entender qué está pasando. Ya sea mirando los equipos, mirando las cifras o mirando cómo la gente organiza su trabajo, deberías poder hacerte una idea aproximada de en qué lugar del conjunto encaja cada una de esas cosas. Antes que nada, reconócele a ti mismo el haber llegado hasta aquí.

Ahora bien, seré honesto contigo. Este libro no es más que un cimiento. Lo que he escrito aquí, con solo leerlo, apenas se asimila la mitad. La otra mitad solo entra a través de la repetición: mañana pruebas algo una vez sobre el terreno, no sale como esperabas, y lo vuelves a intentar. El conocimiento solo se vuelve tuyo cuando lo pones en uso. Por eso escribí este libro no para que se termine sobre la mesa de trabajo, sino para que lo lleves contigo al terreno y lo llenes de marcas con tus propias manos.

Y cuando llegue el momento de levantar, sobre ese cimiento, la cuestión de «cómo construir una granja vertical que deje beneficio», el saber hacer más avanzado, el que incide directamente en la rentabilidad, lo he reunido en el volumen hermano, «172 Consejos para Mejorar la Rentabilidad de las Granjas Verticales». Dónde fijar el valor óptimo, cómo ponerlo en la balanza frente al coste: es justo lo que viene después de esa línea que en este libro tracé varias veces al decir «de aquí en adelante, este es el terreno que se afina con las cifras de tu propio terreno». Y si te encuentras con que no puedes rematarlo tú solo, o quisieras que alguien le echara un vistazo a tu propio terreno, también podemos trabajar juntos directamente a través de mi consultoría. Qué camino tomar es algo que decidirá por ti tu propio terreno, tal como está hoy.

Una última cosa. A veces se dice que la granja vertical «no da dinero». Pero yo, tras más de diez años observando hortalizas de hoja en el terreno de una granja vertical de luz artificial, estoy convencido de que, según cómo se haga, todavía queda margen de sobra para mejorar. Una y otra vez he visto cómo una pequeña mejora regresa convertida en una diferencia inesperadamente grande. En el terreno donde estás a punto de plantarte también hay, sin duda, margen que nadie ha tocado aún. Encontrarlo y ponerlo en movimiento: ese es el

trabajo de aquí en adelante.

En marcha, pues. Te espero sobre el terreno.