

APORTES CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL INIA A LAS **TRAYECTORIAS AGROECOLÓGICAS**

Editores: Georgina Paula García-Inza, José Paruelo y Roberto Zoppolo



Capítulo 16

Oportunidades para la transición agroecológica en tomate bajo invernáculo en el sur de Uruguay: una metodología para evaluar el avance hacia sistemas más sostenibles

Paloma Bertoni, Mariana Scarlato, Cecilia Berrueta
y Santiago Dogliotti

1. Introducción

A partir de la Revolución Verde, una parte importante de la agricultura a nivel mundial adoptó un modelo de producción altamente dependiente del combustible fósil y de insumos de origen químico industrial. Este modelo fue exitoso en incrementar la producción, pero ello ocurrió a costa de impactos negativos en el ambiente y también económicos y sociales (UNCTAD, 2017). Estos impactos y la alta dependencia de recursos no renovables hacen que este modelo sea insostenible (Tittonell *et al.*, 2016).

Desde finales del siglo pasado, la sostenibilidad y la búsqueda de una producción más sostenible se han convertido en temas clave. Se definió entonces, que el proceso hacia la sostenibilidad debía ser capaz de generar un desarrollo que fuera equilibrado en términos ecológicos, económicos y sociales. Según Reiche y Carls (1996, 30), esto implicaba que para alcanzar la sostenibilidad se debía cumplir, en líneas generales, con que “todas las acciones y los resultados sean social y culturalmente aceptables, económicamente viables, ambientalmente compatibles y con un alto grado de participación y equidad por parte de la sociedad en general”. En este sentido, la sostenibilidad y la producción sostenible, hoy, constituyen ejes centrales de la agenda política de muchos países y organizaciones. Además de la

investigación dirigida a generar alternativas, uno de los mayores retos es diseñar marcos metodológicos y operativos para evaluar la sostenibilidad a nivel de los agroecosistemas, proyectos o tecnologías.

2. Línea de base de la producción de tomate bajo cubierta en Uruguay

La horticultura en Uruguay ocupa 9.774 de los 16 millones de hectáreas utilizadas para la actividad agropecuaria. A pesar de la baja superficie, involucra a 2.900 predios, la mayor parte familiares, concentrados principalmente en la zona sur. Si bien el número de productores y la superficie hortícola han disminuido desde finales del siglo pasado, la superficie de cultivos protegidos ha crecido en los últimos años. Desde 2003 a 2015, el número de productores de tomate en invernadero se incrementó en 67% y la superficie, en 70% (DIEA-DIGEGRA, 2007, 2017).

La sostenibilidad de la mayor parte de estos predios está amenazada por los bajos ingresos familiares y por el deterioro de los recursos naturales. La principal causa de los bajos ingresos es que la mayoría de estos productores obtiene el 50% o menos del rendimiento alcanzable de los cultivos en la región con similares recursos productivos y buen manejo (Dogliotti *et al.*, 2014). En particular, en los sistemas que tienen al cultivo de tomate de mesa en invernáculo como actividad principal, son varios los factores que inciden en el resultado económico, pero el rendimiento es uno de los más importantes (Berrueta *et al.*, 2020). En el cultivo de tomate de mesa, no se observan mejoras en los rendimientos en la última década, con un promedio de 98 Mg ha⁻¹ en los cultivos protegidos para la temporada 2014-2015 (DIEA-DIGEGRA, 2017).

Por otro lado, la sostenibilidad de los sistemas hortícolas se ve amenazada por el deterioro de los recursos naturales, especialmente el suelo. Este deterioro del suelo, acentuado por el manejo actual, responde a una larga e histórica trayectoria de uso agrícola, caracterizada por alta intensidad de uso, baja incorporación de carbono al suelo, y elevadas tasas de erosión (Dogliotti *et al.*, 2014). También en este sentido, si bien existe una percepción general de que la producción hortícola se realiza sobre la base de un alto uso de insumos, en particular pesticidas y fertilizantes, y que esto genera una degradación de los recursos naturales, existe poca información cuantitativa al respecto y que haya sido construida sostenida en una muestra amplia y representativa de la realidad (Maeso *et al.*, 2007; Blum *et al.*, 2006). Para evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas y

medir el impacto de la aplicación de prácticas y tecnologías recomendadas sobre los mismos, es necesario generar criterios y metodologías que permitan obtener información cuantitativa, tanto a nivel de los predios como de una región determinada. Esto requiere la transformación del concepto abstracto de sostenibilidad a términos operativos que permitan la evaluación y la planificación, por lo menos a mediano plazo, de las actividades productivas (Sarandón, 2002; Tilman *et al.*, 2002).

En este trabajo se desarrolló y aplicó una metodología para evaluar el desempeño desde el punto de vista ambiental de los sistemas de producción hortícolas. La evaluación consideró las prácticas y tecnologías utilizadas respecto del uso de pesticidas, manejo y conservación del suelo, y productividad. La metodología se utilizó para analizar la sostenibilidad del manejo del cultivo de tomate en invernáculo en una muestra representativa de 23 predios del sur del Uruguay, que involucró 109 cultivos comerciales.

3. Detalle de la tecnología propuesta y metodología para su evaluación

En este trabajo se propone una metodología que permite evaluar y caracterizar los predios hortícolas en cuanto a su sostenibilidad desde el punto de vista ambiental. Esta metodología se basa en la evaluación de la utilización de prácticas de manejo y tecnologías ampliamente reportadas como positivas para la disminución del impacto ambiental de la producción, y la conservación de los recursos naturales en los predios analizados.

Se trabajó con una base de datos generada en un proyecto anterior (Berrueta *et al.*, 2019), de 109 cultivos de tomate evaluados durante 2014-2015 y 2015-2016 en 23 predios representativos de la zona sur del Uruguay. La muestra de predios fue definida en función de una tipología de predios de la región, considerando el área de tomate, el nivel de rendimiento y la ubicación. El tamaño de la muestra fue del 10% del total de productores de tomate en invernáculo del sur. En este trabajo se evaluaron dos áreas relacionadas con la sostenibilidad ambiental: el uso de pesticidas, y el estado y manejo del suelo. Para ello se construyeron tres índices, y un índice integrador de dichas áreas (Bertoni, 2019). Uno de los índices refirió al uso de pesticidas en los cultivos. Para el manejo de suelos se definieron dos índices, uno con énfasis en la materia orgánica y otro, en la sanidad del suelo, aunque se entiende que todas las prácticas contribuyen a ambos. El índice integrador se calculó como la suma de los

tres índices mencionados anteriormente. El análisis predial consideró todos los cultivos evaluados en cada predio. La construcción de los índices se describe en la Tabla 1. Además de los indicadores que compusieron el índice de sostenibilidad, se analizó la relación entre el contenido de carbono (C) orgánico mineralizable actual de los suelos respecto del contenido original, y los balances de fertilización de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de los cultivos, y su relación con el contenido de estos nutrientes en el suelo.

Finalmente, se seleccionaron los tres predios con mayor valor del índice integrador, todos los cuales además tuvieron buenos resultados productivos, y se realizó una visita y entrevista para analizar en qué medida el índice construido a partir del cultivo de tomate reflejaba el manejo general del predio, e indagar las razones detrás del manejo realizado. Las entrevistas fueron realizadas en 2019, lo que permitió corroborar el estado y avance del predio posteriormente a la colección de los datos utilizados para el análisis.

TABLA 1. CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LOS PREDIOS

Índice	Aspectos considerados para el cálculo	Categorías	Valor final del índice a nivel de predio
Uso de pesticidas	Grupos definidos estadísticamente, considerando: cantidad de pesticidas aplicados, número de aplicaciones, y cantidad de pesticida de categorías toxicológicas altas, I y II	Cultivos agrupados en: bueno, medio y malo	(Proporción de cultivos categoría bueno x3) + (proporción de cultivos categoría medio x2) + (proporción de cultivos categoría malo x1)
Suelo. Énfasis en la materia orgánica	Realización de abonos verdes: Sí = 1, No = 0. Incorporación de enmiendas orgánicas: Sí = 1, No = 0	Cultivos con puntaje 2: bueno 1: medio 0: malo	
Suelo. Énfasis en la sanidad	Realización de solarización: Sí = 1, No = 0. Secuencia de cultivos: tomate anterior en el mismo año = 0, tomate anterior 1,5 o más años antes = 1 Frecuencia de tomate: tomate todos los años = 0, frecuencias de menos de 1, tomate menos de una vez por año = 1	Cultivos con puntaje 2 o 3: bueno 1: medio 0: malo	

(Continúa en página siguiente)

Índice integrador	Se compone de la suma de los tres índices anteriores por predio		Valor máximo: 9, mínimo: 3
-------------------	---	--	----------------------------

Fuente: *Elaboración propia.*

3.1. Resultados de la implementación de la metodología propuesta

La aplicación de la metodología propuesta permitió caracterizar los predios hortícolas productores de tomate de mesa en invernáculo del sur del Uruguay en cuanto a la sostenibilidad ambiental, de acuerdo con los indicadores considerados. Además, se obtuvo información cuantitativa sobre el uso de pesticidas y el manejo de suelo y su relación con la productividad del cultivo.

3.1.1 Uso de pesticidas para el manejo sanitario

Los pesticidas fueron la principal herramienta para el manejo sanitario. El 52% de los predios se basó únicamente en el uso de pesticidas de síntesis química para el control de plagas y enfermedades. Tanto para los fungicidas como para los insecticidas utilizados, la cantidad mínima aplicada por cultivo fue cero y las cantidades máximas se alejaron en gran medida de la media, constituyendo un indicador que presentó mucha dispersión y variabilidad (Tabla 2). La mayoría de los predios utilizaron principalmente productos de categoría toxicológica baja (III y IV), aunque en el 26% de los predios se utilizó más cantidad de pesticidas de categorías toxicológicas altas (I y II). Solo en el 22% de los cultivos se combinó el uso de pesticidas de síntesis con productos “alternativos” (como hongos entomopatógenos, insecticidas botánicos, leche, bicarbonato de sodio y jabón). Este porcentaje incluyó cultivos orgánicos y convencionales. En el caso de los cultivos orgánicos, los valores de uso de fungicida registrados correspondieron principalmente al uso de azufre (S).

TABLA 2. CANTIDADES PROMEDIO DE FUNGICIDAS E INSECTICIDAS APLICADAS POR SUPERFICIE DE CULTIVO

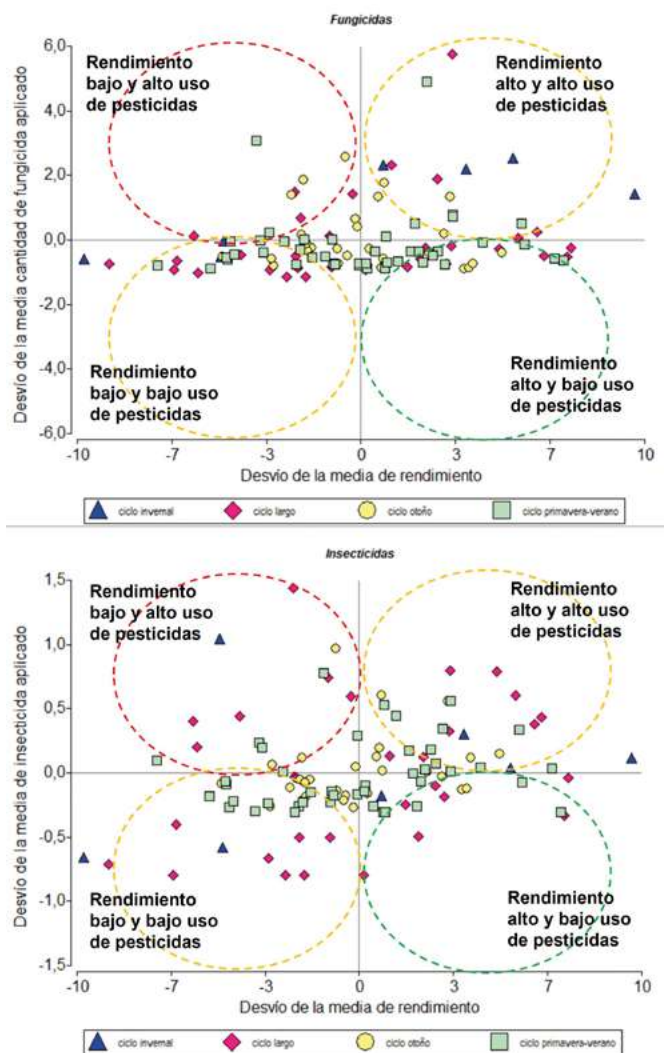
	Cantidad promedio aplicada (g IA/m ²)	Mínimo (g IA/m ²)	Máximo (g IA/m ²)
Fungicidas	1,0	0	6,9
Insecticidas	0,5	0	2,2

Nota: IA: ingrediente activo.

Fuente: Elaboración propia.

No se encontró relación entre el uso de pesticidas y los rendimientos del cultivo. El 38% de los cultivos tuvo un rendimiento mayor a la media con un uso de fungicidas menor a la media, y el 24% en el caso de los insecticidas (Figura 1). Es interesante destacar que la mayoría de los cultivos con esta relación favorable fueron de ciclo de primavera-verano (trasplante entre julio y diciembre) y largos (trasplante entre agosto y diciembre). Esto sugiere que acompañar el ciclo con condiciones ambientales favorables para la especie determina un rendimiento potencial mayor (Berrueta *et al.*, 2019) y menores problemas de enfermedades y plagas, reduciendo la necesidad de insumos externos y mejorando su eficiencia de uso, lo cual disminuye entonces el riesgo de impacto ambiental de la producción.

FIGURA 1. RELACIÓN ENTRE EL USO DE FUNGICIDAS E INSECTICIDAS Y EL RENDIMIENTO SEGÚN EL TIPO DE CICLO



Nota: Rendimientos en kg de tomate/m², expresados como desvío de la media de rendimiento para cada tipo de ciclo: largo y corto. Cantidad de pesticida en g IA/m², expresada como desvío de la media. Cero equivale a la cantidad de rendimiento o aplicaciones promedio.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la eficiencia de las aplicaciones para el control de los problemas sanitarios, no se encontró relación entre las cantidades o el número de aplicaciones de insecticida realizadas por ciclo y la incidencia de mosca blanca, una de las plagas principales del cultivo. Para todos los niveles de incidencia se encontraron casos con distinto nivel de uso de control químico. Como fue discutido por Berrueta *et al.* (2019), la incidencia de esta plaga puede ser determinante de la brecha entre rendimiento real y potencial para el cultivo de tomate. Sin embargo, el nivel de incidencia y, por lo tanto, el control de esta plaga parecen estar determinados por un conjunto de factores más complejos que el solo uso del control químico, involucrando también medidas de manejo culturales y aspectos de la estructura del predio en general. Berrueta *et al.* (2021) sugieren que la mejora en el control de esta plaga en tomate en invernáculo requiere la consideración de todo el predio y todos los cultivos hospederos. Esto implica diseñar adecuadamente las secuencias de cultivos, y el manejo de los cultivos cercanos y de la vegetación espontánea, ya que también afectan la dinámica de la plaga. El uso de hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana* e *Isaria javanica*) y enemigos naturales (*Tuipiocoris cucurbitaceus*), junto con el monitoreo de la plaga, demostró resultados promisorios (Programa FPTA 344: Producción e introducción de agentes de control biológico en el manejo regional integrado de insectos y enfermedades de hortalizas).

3.1.2 Manejo y estado del suelo

Prácticas de manejo

En cuanto a las prácticas de manejo del suelo, los cultivos se clasificaron de acuerdo con la implementación de un grupo de prácticas ampliamente citadas como favorables para la conservación del suelo. En primer lugar, se consideró el uso de abonos verdes y el aporte de enmiendas orgánicas. En el 39% de los cultivos solo se realizaba aporte de enmienda orgánica (principalmente cama de pollo y, en menor medida, compost, estiércol de gallina, cerdo u oveja), y en el 14% solo se realizaba abono verde. Únicamente en el 3% de los cultivos se realizaron abonos verdes y aporte de enmienda orgánica en forma simultánea. El mayor uso de enmiendas orgánicas puede explicarse por la facilidad de implementación, ya que

requiere menor planificación y no ocupa el invernáculo por un período, como sí ocurre con los abonos verdes.

En segundo lugar, se evaluaron las prácticas de manejo de suelos de rotación de cultivos (secuencia de cultivos y frecuencia de tomate en la rotación) y el uso de solarización. Solo en el 3% de los cultivos se realizó rotación de cultivos (baja frecuencia de tomate y secuencias diversas) y solarización. Las secuencias de cultivos incluyeron principalmente morrón, lechuga y, en menor medida, otros cultivos como chaucha, acelga, pepino, repollo o coliflor. En el 37% de los cultivos no se implementó ni solarización, ni rotación. La mayoría de los predios eran altamente especializados, por lo que realizaban tomate todos los años. Por lo tanto, la rotación de cultivos representa un gran desafío para estos sistemas.

Balance de nutrientes

Se analizaron también los balances de fósforo, nitrógeno y potasio por predio (calculados como la diferencia entre los aportes por fertilización química y orgánica y la absorción teórica del cultivo según el rendimiento alcanzado), y pudo constatarse que en el caso del fósforo las medias fueron mayores a cero en casi todos los predios, a excepción del 17% de los casos. En algunos predios se observaron balances excesivamente positivos que superaban los 250 kg/ha. Para el potasio, los balances fueron mayoritariamente negativos. El nitrógeno fue el nutriente que presentó balances más equilibrados. Para este nutriente fueron más los predios que tuvieron balances cercanos a cero, si bien se constataron algunos casos con valores muy excesivos, y mínimos y máximos muy distantes entre los diferentes cultivos de un mismo predio.

Además, se observaron en conjunto los balances y el contenido de los tres nutrientes en el suelo para cada cultivo. No se encontró relación entre la fertilización y el contenido del nutriente en el suelo para el caso del potasio. Se observó una correlación positiva en el caso de nitrógeno y fósforo. Se evidenció que los cultivos con mayor fertilización con fósforo también tenían mayor contenido de fósforo fácilmente disponible para las plantas en el suelo (P-Bray, medido por método Bray-Kurtz), probablemente como resultado de la acumulación de muchos ciclos de balances positivos de este nutriente. Esto puede atribuirse a la dinámica de acumulación de este nutriente en suelo, sugiriendo que existen predios donde se realizan fertilizaciones elevadas que se repiten habitualmente, sin considerar la disponibilidad en el suelo. En el caso del nitrógeno, se observó gran variabilidad, con situaciones en las que se cubren los re-

querimientos del cultivo, otras en las que los mismos no son cumplidos y algunas en las que estos se sobrepasan, generando excesos. El déficit de nitrógeno es negativo por su efecto en el rendimiento del cultivo y porque puede afectar el stock de C del suelo. El exceso de nitrógeno conlleva el riesgo de lavado y volatilización, además de afectar la eficiencia económica.

Estado del suelo

El estado del suelo fue evaluado a partir de la relación entre la cantidad de carbono orgánico mineralizable (COM) original según el tipo de suelo, y el COM actual estimado a través del análisis de suelo. Se encontró que el 56% de los cultivos tenía entre 30 y 70% del COM original, mientras que el 23% tenía menos de 30%, evidenciando un severo deterioro del suelo. Solo el 21% poseía 70% o más del COM original. En algunos casos, la relación fue mayor al 100%. Si bien es un valor estimado, estos casos tenían una larga trayectoria de implementación de prácticas de mejora de la materia orgánica y correspondían a cultivos de sistemas orgánicos.

3.1.3 Índice integrador

Para integrar todas las áreas evaluadas se construyeron índices por predio (Tabla 3) vinculados al uso de pesticidas y al manejo de los suelos, y finalmente se integraron estos resultados en un único índice por predio que permitió ordenar a los mismos según este valor, que refleja el desempeño en cuanto a la sostenibilidad ambiental de las prácticas utilizadas.

Existió gran variabilidad del índice integrador entre los predios (Tabla 3). El 26% de los predios alcanzó un valor del índice de 7/9 o superior. Estos casos con valores más altos del índice tuvieron valores altos en las tres áreas consideradas. El 26% de los predios tuvo los valores más bajos del índice, con niveles menores a 5/9. Generalmente, estos predios tuvieron resultados pobres en las tres áreas. Sin embargo, el peso de las diferentes áreas evaluadas fue distinto en cada uno, lo que implica que sus fortalezas y debilidades son diferentes y que lo que los separa de una mayor sostenibilidad es distinto en cada caso. Esto define que la trayectoria de mejora es particular para cada predio y no hay una única recomendación válida para todos los casos.

TABLA 3. PREDIOS SEGÚN EL VALOR DEL ÍNDICE INTEGRADOR Y LOS TRES ÍNDICES QUE LOS COMPONEN

Predio	Índice uso de pesticidas (escala 1 a 3)	Índice de abonos verdes y enmiendas orgánicas (escala 1 a 3)	Índice de rotación y solarización (escala 1 a 3)	Índice integrador (escala 3 a 9)	Desvío promedio de la media de rendimiento
1	3,00	2,00	2,50	7,50	0,11
2	2,50	2,50	2,50	7,50	-0,13
3	2,25	2,00	3,00	7,25	0,13
4	3,00	2,00	2,25	7,25	-0,04
5	3,00	2,00	2,00	7,00	-0,36
6	2,00	2,00	3,00	7,00	-0,35
7	2,25	1,25	2,75	6,25	-0,15
8	2,75	1,75	1,50	6,00	-0,36
9	2,75	1,25	2,00	6,00	-0,06
10	2,00	1,40	2,20	5,60	0,40
11	1,50	1,00	3,00	5,50	0,16
12	1,67	1,33	2,33	5,33	-0,16
13	2,25	1,25	1,75	5,25	0,11
14	2,00	2,11	1,11	5,22	-0,19
15	2,00	2,00	1,00	5,00	-0,16
16	2,50	1,25	1,25	5,00	0,45
17	2,00	2,00	1,00	5,00	-0,17
18	1,67	1,00	2,00	4,67	0,13
19	2,00	1,50	1,00	4,50	-0,16
20	1,00	1,60	1,80	4,40	-0,04
21	1,60	1,20	1,60	4,40	0,31
22	1,00	2,00	1,00	4,00	-0,09
23	1,67	1,00	1,00	3,67	0,20

Fuente: Elaboración propia.

Es interesante observar que no hubo relación entre el valor del índice integrador y los rendimientos. Como discuten Berrueta *et al.* (2019), los factores que explicaron las brechas de rendimiento no estuvieron directamente vinculados a los aspectos evaluados en este estudio. Por lo tanto, es posible trabajar de forma simultánea en mejorar el rendimiento y reducir el impacto ambiental.

Posteriormente al cálculo de los índices, se realizó una visita a los tres predios que obtuvieron los mayores valores del índice integrador. Se constató que en dos de los tres casos los resultados del índice eran el reflejo de una gestión de la producción consciente de los posibles impactos que los diferentes manejos podían generar en el ambiente y los recursos naturales. Uno de estos predios realizaba un manejo orgánico de la producción y el otro, un manejo integrado en el que se combinaba la utilización de insumos de origen sintético con productos y herramientas alternativas. El tercer predio se encontraba en una etapa más temprana e inestable respecto de la introducción de cambios y modificación de prácticas, ya que la incorporación de algunos manejos había sido abandonada o sustituida por diversas causas. Los dos primeros casos tuvieron un rendimiento promedio por encima de la media y en el tercer caso, fue en 13% menor a la media. En estos casos, el manejo consciente de los recursos está acompañado también de buenos rendimientos productivos, aspectos que, combinados, configuran un escenario ideal para la sostenibilidad en términos generales, no solo desde el punto de vista ambiental.

Desde el momento en que se recabaron los datos (2014-2016) hasta las visitas realizadas (2019), algunas prácticas antes consideradas positivas para la producción orgánica y que actualmente son discutidas, como el uso de cobre para el control sanitario y el uso excesivo de cama de pollo para la fertilización, ya habían sido puestas en tela de juicio y modificadas (mejoradas) por los propios productores. Estos fueron entrevistados acerca de su percepción de su forma de producir, la presencia de medidas de manejo que promovieran la biodiversidad y las dificultades presentes para avanzar hacia un sistema más sostenible. En particular, mencionaron dificultades o inquietudes asociadas a aspectos no relevados en este trabajo, como el manejo y la reutilización del nylon, el compostaje de los restos de cultivo y el acceso a productos alternativos para el manejo sanitario. Esto evidenció una clara actitud de cuestionamiento a las medidas utilizadas, autocrítica para reconocer lo que se ha mejorado y lo que falta por hacer, cualidades que parecen ser esenciales en la búsqueda de un cambio en las formas de pensar la producción hortícola.

Por otro lado, el tercer predio, que se encontraba en una etapa más temprana de incorporación de cambios, da cuenta de la dificultad que enfrentan los productores que deciden transitar hacia sistemas ambientalmente más sostenibles. Muchas veces las prácticas de manejo recomendadas y necesarias no pueden mantenerse, porque están acompañadas de pérdidas transitorias de productividad, calidad, o requieren otra infraestructura. Para fomentar los cambios y apoyar los procesos de transición, es necesario contar con políticas públicas que atiendan los inconvenientes inherentes al proceso. La ausencia o muy baja presencia de políticas agrícolas enfocadas en la agroecología, o que favorezcan este tipo de transformación en los sistemas de producción, conduce a que este tipo de alternativas queden marginalizadas (Rosset y Altieri, 2018). Esto se suma a que no existen mercados que reconozcan diferencialmente los productos que provienen de sistemas en transición, por lo que tampoco existe un incentivo en los precios de venta.

4. Mejoras a partir del uso o de la implementación de las tecnologías

La caracterización de los predios que se desprende de este análisis permite trabajar sobre la base de indicadores construidos con información directamente medida y evaluada en una muestra amplia y representativa de los sistemas de producción del sur del Uruguay. Además, la posibilidad de definir diferentes grupos o “franjas” de predios en función del índice integrador construido, pero manteniendo transparencia en la evaluación de cada componente del índice, implica que los productores puedan aprender de la experiencia de sus pares, fijar un objetivo hacia el que avanzar, o constatar el avance ya realizado hacia un escenario de mayor sostenibilidad.

A partir de estos resultados pudo constatararse también cuáles eran las prácticas más adoptadas en este tipo de sistemas y en cuáles había mayor dificultad para su adopción. La implementación de enmiendas orgánicas fue una práctica más generalizada que la instalación de abonos verdes. La planificación de una rotación en la cual la instalación de abonos verdes se encuentre contemplada es necesaria para viabilizar su uso, especialmente en predios especializados. En el caso de las prácticas con énfasis en la conservación de la sanidad del suelo, vuelve a repetirse la necesidad de planificar rotaciones que impliquen secuencias de culti-

vo diversas y baja frecuencia de tomate. La adopción de estas prácticas se vincula también con la reducción en el uso de pesticidas, al bajar la presión de enfermedades y plagas problemáticas para este cultivo a través de la diversificación del agroecosistema en el tiempo y el espacio. La adopción de herramientas de control sanitario “alternativas” configura un escenario positivo para la reducción en el uso de pesticidas de síntesis química, pero, como fue relevado en las entrevistas, el acceso a este tipo de productos y el conocimiento asociado a su correcta utilización aún requieren de mayores esfuerzos para poder generalizarse.

De los resultados del trabajo se desprende que es posible y deseable que, en vías de generar alternativas hacia una producción más sostenible, se tengan en cuenta aspectos que influyen sobre la capacidad de los recursos utilizados en la producción de perdurar y sostenerse en el tiempo. Simultáneamente, no puede perderse de vista que las familias productoras deben obtener rendimientos que aseguren ingresos aceptables y estables, que viabilicen una permanencia digna en la producción. La mejora del rendimiento es parcialmente independiente de la mejora en la eficiencia de uso de insumos y recursos, según evidencia empírica (Van Noordwijk y Brussaard, 2014). Una trayectoria particular para avanzar hacia mayor sostenibilidad de los predios, teniendo en cuenta estos aspectos, implica la mejora simultánea del rendimiento y de la eficiencia del uso de insumos y recursos. Este camino, que podemos denominar intensificación ecológica, se basa en que la productividad de los agroecosistemas se sostenga y sea regulada por los procesos ecológicos (Tittone, 2014). En este sentido, es posible diseñar estrategias para, en forma simultánea, mejorar los rendimientos y reducir el impacto ambiental.

Si bien se supone que la horticultura, y en particular la horticultura protegida, implica un alto uso de insumos, los resultados de este trabajo muestran que la realidad no es bien reflejada por esta generalización y existe una gran diversidad de situaciones. Puede afirmarse que es posible alcanzar buenos niveles de producción de tomate de forma más sostenible desde el punto de vista ambiental. Aunque queden aún muchos aspectos para seguir pensando y generar alternativas, hoy contamos con una metodología que nos permite cuantificar y analizar las variables del sistema de producción, e identificar los puntos críticos sobre los que es prioritario intervenir. Existen ejemplos de cómo reestructurar los predios para avanzar hacia este objetivo. En este estudio se encontraron predios que, a través del uso cuidadoso de los insumos externos y los recursos naturales, obtienen simultáneamente buenos resultados productivos

y ambientales. Dentro de este grupo, se encontraron predios orgánicos y otros comúnmente llamados “convencionales”. Estos últimos, si bien utilizan algunos insumos de origen sintético, logran manejar el cultivo y el ambiente de una manera que disminuye la necesidad de emplearlos. La utilización de las prácticas que mejoran la sanidad del suelo y el contenido de materia orgánica podría ser uno de los aspectos que permiten tener plantas más equilibradas, que desarrollen mecanismos de resistencia a plagas y enfermedades, y menor presión inicial de estas en los sistemas, lo que conduciría a una menor necesidad de utilizar pesticidas, de cualquier origen. Pensando en una trayectoria agroecológica hacia sistemas más sostenibles, estos predios podrían ser ejemplos para seguir para aquellos productores que aún manejan sistemas más convencionales y buscan transitar hacia modelos menos dependientes de insumos externos de origen sintético que, además, generen menor impacto sobre el ambiente y la salud humana.

Los resultados obtenidos reafirman que no existe una única trayectoria de cambio posible para llegar a una agricultura sostenible. Debe pensarse al agroecosistema “coevolucionando” con su entorno, y a los productores que lo gestionan, tomando decisiones de manejo y de rumbo dependiendo de sus necesidades particulares, además de detectar los aspectos que lo alejan de una producción más sostenible. Los principios de la agroecología y la intensificación ecológica (Tittone, 2013; Sarandón y Flores, 2014) traducidos a la realidad local y particular de cada predio permitirían avanzar en pos de este objetivo. Este proceso requiere la promoción del diálogo constante y la sinergia entre la comunidad científica, los productores, los técnicos, los saberes locales y la sociedad en general.

Bibliografía

Berrueta, C., Borges, A., Giménez, G. y Dogliotti, S.

(2019), “On-farm diagnosis for greenhouse tomato in south Uruguay: explaining yield variability and ranking of determining factors”, en *European Journal of Agronomy*, 110, s. p.

Berrueta, C., Dogliotti, S. y Giménez, G.

(2020), “Horticultural systems based on greenhouse tomato in south Uruguay: characterization and analysis of economic efficiencies”, en *Agrociencia Uruguay*, 24(2), p. 87.

Berrueta, C., Giménez, G. y Dogliotti, S.

(2021), “Scaling up from crop to farm level: Co-innovation framework to improve vegetable farm systems sustainability”, en *Agricultural Systems*, 189, 103055.

Bertoni, P.

(2019), *Comparación de sistemas de producción de tomate en invernadero en el sur del Uruguay a través de indicadores de sostenibilidad, con énfasis en la dimensión ambiental*, Tesis Ing. Agr. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Montevideo. 134 pp.

Blum, A., Chiappe, M., Elola, S., Alliaume, F., Alvarez, M., Bounos, C. y Delgado, S.

(2006), *Estudio sobre mejora de la calidad ambiental de la producción agropecuaria en Montevideo rural*, Montevideo.

DIEA-DIGEGRA

(2007), *Encuestas hortícolas 2006: zona Sur y litoral Norte*, Serie Encuestas 251, 39 pp.

DIEA-DIGEGRA

(2017), *Encuestas hortícolas 2015-2016: zona Sur y litoral Norte*, Serie Encuestas 344, 15 pp.

Dogliotti, S., García, M.C., Peluffo, S., Dieste, J. P., Pedemonte, A. J., Bacigalupe, G. F., Scarlato, M., Alliaume, F., Álvarez, J., Chiappe, M. y Rossing, W. A. H.

(2014), “Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture”, en *Agricultural Systems*, 126, pp. 76-86.

Maeso, D., Nuñez, S., Nuñez, P., Mieres, I., Conde, P., Duarte, F. y Bruno, A.

(2007), “Evaluación del impacto ambiental de los plaguicidas en la producción hortifrutícola”, en *Revista INIA*, 13, pp. 20-26.

Reiche, C. y Carls, J.

(1996), “Modelos para el desarrollo de una agricultura sostenible”, en *Comunicación*, 1(3), pp. 29-33.

Rosset, P. y Altieri, M.

(2018), *Agroecología. Ciencia y Política. Sociedad Latinoamericana de Agroecología (SOCLA)*, Serie ICAS, Riobamba, Ecuador. 208 pp.

Sarandón, S.

(2002), “El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas”, en Sarandón, S. (ed.), *Agroecología: el camino hacia una agricultura sostenible*, Ediciones Científicas Americanas, La Plata, cap. 20, pp. 393-414.

Sarandón, S. y Flores, C.

(2014), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles*, Universidad de La Plata, La Plata, 466 pp.

Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R. y Polasky, S.

(2002), “Agricultural sustainability and intensive production practices”, en *Nature*, 418, pp. 671-677.

Tittonell, P.

(2013), *Farming Systems Ecology: towards ecological intensification of world agriculture*, Wageningen University, Wageningen, 39 pp.

Tittonell, P.

(2014), “Ecological intensification of agriculture – sustainable by nature”, en *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, pp. 53-61.

Tittonell, P., Klerkx, L., Baudron, F., Félix, G. F., Ruggia, A., Van Apeldoorn, D., Dogliotti, S., Mapfumo, P. y Rossing, W. A. H.

(2016), “Ecological Intensification: local innovation to address global challenges”, en Lichtfouse, E. (ed.), *Sustainable Agriculture Reviews*, Springer, Basel, pp. 1-34 (Sustainable Agriculture Reviews 19).

UNCTAD

(2017), *A/HRC/34/48*. Report of the Special Rapporteur on the right to food. FAO. Disponible en: <<https://doi.org/10.1017/S0020818300025613>>.

Van Noordwijk, M. y Brussaard, L.

(2014), “Minimizing the ecological footprint of food: closing yield and efficiency gaps simultaneously?”, en *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, pp. 62-70.