

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**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**

por

Paloma BERTONI BEDÓ

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2019**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. (PhD.) Santiago Dogliotti

Ing. Agr. (MSc.) Mariana Scarlato

Ing. Agr. (MSc.) Cecilia Berrueta

Fecha: 12 de diciembre de 2019

Autora: -----

Paloma Bertoni Bedó

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores Mariana, Santiago y Cecilia, por la dedicación, paciencia y conocimiento brindado. Por haber guiado este trabajo respondiendo siempre a mis motivaciones e inquietudes, permitiéndome apropiarme del proceso en esta etapa tan importante de aprendizaje.

A mi familia y amigos, por acompañarme, contenerme y apoyarme incondicionalmente siempre, desde el comienzo de esta carrera y especialmente durante esta etapa final. ¡Gracias infinitas!

A la Universidad de la República, gratuita, plural y cogobernada. A la AeA por haber sido mi lugar de encuentro y reflexión en esta casa de estudios. A los compañeros y amigos que hice en este camino.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO SOSTENIBLE</u>	3
2.1.1. <u>Distintas aproximaciones al concepto</u>	3
2.1.2. <u>La complejidad del concepto de sostenibilidad</u>	4
2.1.3. <u>Desarrollo sostenible y su evaluación</u>	6
2.2. <u>AGRICULTURA SOSTENIBLE</u>	8
2.2.1. <u>Los problemas de la agricultura moderna</u>	8
2.2.2. <u>La amplitud de la definición de agricultura sostenible</u>	11
2.2.3. <u>Distintos caminos para llegar al desarrollo sostenible en la agricultura</u>	14
2.2.3.1. <u>Agroecología</u>	14
2.2.3.2. <u>Caminos intermedios que conducen a sistemas de producción más sostenibles</u>	16
2.2.3.3. <u>Principios generales para lograr sistemas de producción más sostenibles</u>	19
2.3. <u>EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD</u>	23
2.3.1. <u>La evaluación del avance hacia una agricultura más sostenible</u>	23
2.3.2. <u>Antecedentes en el uso de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad</u>	24
2.4. <u>PRODUCCIÓN HORTÍCOLA Y SOSTENIBILIDAD EN URUGUAY</u>	29
2.4.1. <u>Marcos regulatorios, planes e investigación en la búsqueda de sistemas de producción más sostenibles</u>	29
2.4.1.1. <u>Marco legal nacional y normativas internacionales que promueven la agricultura sostenible</u>	29
2.4.1.2. <u>Plan de buenas prácticas agrícolas</u>	30
2.4.1.3. <u>Manejo integrado de plagas (MIP)</u>	32
2.4.1.4. <u>Normas para la producción integrada (PI) de tomate bajo invernáculo</u>	34
2.4.1.5. <u>Investigación y manejos específicos asociados a la conservación mejora del suelo</u>	35

2.4.1.6. Proyectos de investigación y diagnóstico de la sostenibilidad de los predios hortícolas.....	37
2.4.2. <u>Caracterización de la zona Sur de producción y de los sistemas de producción de tomate en invernáculo.....</u>	39
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS.....</u>	40
3.1. <u>ESTRATEGIA GENERAL.....</u>	40
3.1.1. <u>Enfoque adoptado para el análisis de la sostenibilidad.....</u>	41
3.2. <u>ZONA DE ESTUDIO Y BASE DE DATOS.....</u>	42
3.3. <u>ÁREAS DE EVALUACIÓN E INDICADORES ANALIZADOS.....</u>	43
3.3.1. <u>Productividad.....</u>	43
3.3.2. <u>Uso de pesticidas para el control de plagas y enfermedades</u>	43
3.3.2.1. Cantidad de insecticida y fungicida utilizados para el manejo sanitario del cultivo por unidad de superficie	44
3.3.2.2. Número de aplicaciones.....	44
3.3.2.3. Cantidad de producto (en g IA/m ²) según la categoría toxicológica.....	44
3.3.2.4. Incidencia de mosca blanca.....	45
3.3.3. <u>Estado y manejo del suelo.....</u>	45
3.3.3.1. Prácticas de manejo.....	45
3.3.3.2. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio.....	48
3.3.3.3. Estado del suelo.....	48
3.3.4. <u>Resumen de los indicadores utilizados por área de evaluación.....</u>	49
3.4. <u>SEGUNDA ETAPA: EVALUACIÓN INTEGRADA DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL POR CULTIVOS Y PREDIOS..</u>	50
3.4.1. <u>Selección de los datos para la clasificación.....</u>	50
3.5. <u>TERCERA ETAPA: VISITA A PREDIOS Y ENTREVISTAS.....</u>	51
3.6. <u>ANÁLISIS DE LOS DATOS.....</u>	52
4. <u>RESULTADOS.....</u>	53
4.1. <u>INDICADORES DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL CULTIVO DE TOMATE.....</u>	53
4.1.1. <u>Productividad.....</u>	53
4.1.1.1. Rendimiento en kg de tomate/m ² según tipo de ciclo	53
4.1.1.2. Rendimiento según predio y tipo de ciclo.....	54
4.1.2. <u>Uso de pesticidas para el control de plagas y enfermedades</u>	54
4.1.2.1. Cantidad de pesticidas utilizados por cultivo.....	54
4.1.2.2. Cantidad de ingrediente activo de fungicidas e insecticidas utilizado según predio.....	56
4.1.2.3. Cantidad de ingrediente activo de fungicidas e insecticidas utilizado según categoría toxicológica....	57

4.1.2.4. Cantidad de ingrediente activo de fungicidas e insecticidas según tipo de ciclo.....	58
4.1.2.5. Número de aplicaciones con insecticidas y fungicidas.....	59
4.1.2.6. Análisis de componentes principales para las variables relacionadas al uso de pesticidas.....	61
4.1.2.7. Relación entre aplicaciones de fungicidas e insecticidas y el rendimiento.....	62
4.1.2.8. Incidencia de mosca blanca.....	66
4.1.2.9. Agrupación de los cultivos según uso de pesticidas..	66
4.1.3. <u>Estado y manejo del suelo</u>	68
4.1.3.1. Prácticas de mejoramiento y conservación del suelo.	68
4.1.3.2. Balance fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio...	69
4.1.3.3. Estado del suelo a partir del indicador de carbono actual mineralizable/carbono mineralizable original...	73
4.2. SEGUNDA ETAPA: EVALUACIÓN INTEGRADA DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL POR CULTIVOS Y PREDIOS..	74
4.2.1. <u>Clasificación por cultivos y predios</u>	74
4.2.2. <u>Clasificación final por sistema</u>	79
4.3. TERCERA ETAPA: ENTREVISTA Y ANÁLISIS DE LOS TRES PREDIOS CON MAYOR ÍNDICE TOTAL.....	81
4.3.1. <u>Diversidad productiva</u>	81
4.3.2. <u>Uso de pesticidas</u>	81
4.3.3. <u>Prácticas vinculadas a la mejora y conservación de la materia orgánica del suelo</u>	83
4.3.4. <u>Prácticas y manejos del suelo que se relacionan con la sanidad</u>	85
4.3.5. <u>Observación de aspectos generales del predio y percepciones de los productores sobre la sostenibilidad</u>	86
5. <u>DISCUSIÓN</u>	90
5.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNÁCULO EN EL SUR DEL PAÍS CON ESPECIAL ÉNFASIS EN SU SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL.....	90
5.1.1. <u>La complejidad y dinamismo del concepto de sostenibilidad en la práctica</u>	104
5.2. LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL.....	105
6. <u>CONCLUSIONES</u>	110
7. <u>RESUMEN</u>	113

8. <u>SUMMARY</u>	114
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	115
10. <u>ANEXOS</u>	124

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Determinación de los ciclos de cultivo de acuerdo a su duración y época.....	43
2. Categorías según No. de prácticas realizadas relacionadas a la materia orgánica del suelo.....	47
3. Categorías según No. de prácticas realizadas relacionadas a la sanidad.....	47
4. Resumen de los indicadores utilizados para la evaluación.....	49
5. Agrupación de cultivos según uso de pesticidas para ciclos largos y cortos.....	68
6. No. de cultivos en las tres categorías del grupo de prácticas de “suelos- materia orgánica”.....	69
7. No. de cultivos en las tres categorías del grupo de prácticas de “suelos-sanidad”.....	69
8. Contenido de materia orgánica, fósforo y potasio en los suelos.....	71
9. Presentación de los resultados de la evaluación en las tres áreas seleccionadas, por cultivo.....	75
10. Interacción entre los resultados de las diferentes áreas: número de cultivos que se encuentran simultáneamente en la misma categoría para dos áreas diferentes.....	77
11. Proporción de cultivos que pertenecen a cada categoría por predio e índices por área evaluada y total.....	78
12. Índice total por sistema, integrando las tres áreas.....	80
13. Resumen de las entrevistas y observaciones realizadas en los tres predios.....	88
Figura No.	
1. Relaciones función-servicio de la biodiversidad.....	12
2. Etapas de la conversión agroecológica de sistemas convencionales	15
3. Modelo de agroecosistema sostenible.....	21
4. Indicadores de sostenibilidad genéricos, con especial énfasis en el área ambiental.....	28
5. Esquema representativo de la estrategia de trabajo.....	40
6. Rendimiento según tipo de ciclo (kg/m ²).....	53
7. Rendimiento según predio y tipo de ciclo (kg/m ²).....	54
8. Cantidad de ingrediente activo por superficie de fungicidas e insecticidas aplicados por cultivo (g IA/m ²).....	55
9. Cantidad de pesticidas aplicados por predio.....	56

10. Cantidad de pesticidas según categoría toxicológica por predio.....	57
11. Cantidad de insecticida y fungicida según tipo de ciclo.....	58
12. Número de aplicaciones con fungicidas por cultivo según tipo de ciclo.....	60
13. Número de aplicaciones con insecticidas por cultivo según tipo de ciclo.....	61
14. Análisis de componentes principales para las variables vinculadas al uso de pesticidas y ciclo de cultivo.....	62
15. Relación entre cantidad de insecticida y rendimiento según tipo de ciclo.....	64
16. Relación entre cantidad de fungicida y rendimiento según ciclo.....	65
17. Incidencia de mosca blanca y aplicación de insecticidas.....	66
18. Agrupación según uso de pesticidas (para ciclos cortos y largos)....	67
19. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio (kg/ha).....	70
20. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio (kg/ha) por predio.....	72
21. Carbono actual mineralizable/carbono mineralizable original por predio.....	74

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura intensiva en Uruguay representa el 2% de la superficie agropecuaria y, en particular, la horticultura ocupa 9774 hectáreas del total (16 millones de hectáreas). A pesar de la relativa poca superficie, la horticultura involucra a 2900 predios, la mayor parte familiares, concentrados mayormente en la zona Sur en el cinturón hortícola de Montevideo, Canelones y San José, y en el Norte principalmente en Salto. La zona Sur concentra el 80% de los productores y el 77% de la superficie. Si bien el rubro hortícola ha tenido una tendencia a la disminución en superficie y número de productores desde finales del siglo pasado, el cultivo protegido, ha incrementado su importancia en los últimos años. Desde el año 2005 al 2014 el número de productores de tomate en invernadero se incrementó en un 67% y la superficie en un 70%, lo que devela que se trata de una tecnología de producción en crecimiento y desarrollo dentro del sector hortícola (MGAP. DIEA y MGAP. DIGEGRA 2005, 2014). La producción hortícola nacional abastece casi en su totalidad la demanda anual del mercado interno. El tomate representa uno de los seis cultivos principales, representando el 23% de la producción total de hortalizas.

Desde finales del siglo pasado, la sostenibilidad y la búsqueda del desarrollo sostenible se han convertido en temas claves, en un escenario global en donde las consecuencias del cambio climático, la degradación de los recursos naturales y la desigualdad en el acceso a los alimentos son asuntos ampliamente discutidos a nivel popular, y constituyen ejes centrales para la agenda política de la mayor parte de los países y organizaciones mundiales.

A partir de la Revolución Verde (década del '60) la agricultura adoptó ampliamente un modelo de producción altamente dependiente del combustible fósil y de los insumos externos, principalmente de origen químico e industrial. La expansión de este tipo de sistemas de producción ha desencadenado problemas ambientales que impactan en la sociedad en general, pero implican además importantes problemas para la subsistencia de los agricultores ante la predominancia de agroecosistemas inestables y poco productivos, que cada vez deben apoyarse más en el uso de los agroquímicos y ciertas tecnologías para mantener la productividad. Además de la investigación dirigida a generar alternativas, uno de los mayores retos que enfrenta la discusión sobre desarrollo sostenible es diseñar marcos metodológicos y operativos para evaluar de manera tangible la sostenibilidad a nivel de los agroecosistemas, proyectos o tecnologías.

Particularmente en Uruguay, para la producción hortícola, si bien existe una percepción general de que se realiza en base a un alto uso de insumos y que hay una degradación de los recursos naturales, se cuenta con poca

información cuantitativa al respecto. En este trabajo se propone un análisis de la sostenibilidad en el manejo del cultivo de tomate en invernáculo en 23 predios hortícolas del Sur del Uruguay, con énfasis en las prácticas y tecnologías adoptadas, especialmente en las áreas de uso de pesticidas, manejo y conservación del suelo, y productividad. Para esto, se plantea como objetivo general elaborar, seleccionar, y utilizar indicadores que permitan evaluar la sostenibilidad desde el punto de vista ambiental, en cultivos de tomate en invernáculo, de acuerdo con la realidad y el contexto de la situación productiva nacional. Se pretende que esto aporte información de utilidad para discutir las tecnologías y prácticas realizadas, y en forma más global, la relación entre el desarrollo sostenible y los modelos adoptados para la producción.

Para lograr esto, los objetivos específicos planteados son: i. describir los sistemas de producción de tomate en invernáculo en el sur de Uruguay haciendo énfasis en las áreas ambiental y económica-productiva: estado del recurso suelo, productividad, tipo de prácticas y tecnologías utilizadas para el manejo del suelo y la sanidad de los cultivos. ii. seleccionar y construir indicadores de sostenibilidad en el manejo del cultivo de tomate, aplicarlos y evaluar si permiten definir diferentes grupos. iii. analizar en qué medida los grupos según los indicadores de sostenibilidad definidos en el manejo del cultivo de tomate coinciden con la evaluación a nivel predial.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO SOSTENIBLE

2.1.1. Distintas aproximaciones al concepto

Dado que el concepto central en torno al que gira este trabajo es la sostenibilidad, y debido a la amplitud de significados y abordajes que esta temática puede adoptar, resulta necesario presentar algunas definiciones, alcances y enfoques que fueron tenidos en cuenta como base ideológica y teórica a la hora de elaborar la metodología para el trabajo y el análisis de los datos.

Ante la preocupación por parte de diferentes actores de la sociedad, se explicita por primera vez, en la década del '80, la necesidad de tener en cuenta la sostenibilidad y el desarrollo sostenible en un mundo de creciente desarrollo económico con un costo medioambiental muy alto. Es así que la idea de sostenibilidad comienza a cobrar mayor relevancia, y a emplearse de forma más generalizada, y el desarrollo sostenible ingresa al debate público a nivel mundial a partir de 1987 con el informe Brundtland (Our Common Future) que plantea que *“Está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, duradero, o sea, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias.”* (WCED, 1987). Según el informe, el concepto de desarrollo duradero implica límites; no absolutos, sino limitaciones que imponen los recursos del medioambiente, el estado actual de la tecnología y de la organización social y la capacidad de la biósfera de absorber los efectos de las actividades humanas. Para esta definición, tanto la tecnología como la organización social pueden ser ordenadas y mejoradas de manera que abran el camino a una nueva era de crecimiento económico. Esta primera forma de entender la sostenibilidad forja un enfoque más productivista del concepto que abre el debate y la reflexión para nuevos enfoques, menos concentrados en el desarrollo económico o rédito productivo que pueda extraer el ser humano de la explotación de los recursos. Algunas de estas visiones se mencionan más adelante.

A partir del informe de la WCED (1987), la sostenibilidad se convirtió en el principio central de la declaración de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro y de la Agenda 21, en 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Allí se estableció un mandato para que la Organización de las Naciones Unidas formulara un conjunto de indicadores que permitiera evaluar el progreso hacia la sostenibilidad. Esto determinó que desde entonces se realizara un esfuerzo conjunto por monitorear el progreso hacia el buscado “desarrollo sostenible”, utilizando indicadores para evaluar el manejo sostenible de la tierra y su calidad, y el progreso hacia la “agricultura sostenible”

como un fin de carácter general. Este objetivo se convirtió en el centro de las políticas para la agricultura, con un reconocimiento creciente de la necesidad de articular las políticas generadas para el área ambiental y las socio-económicas (Ryan et al. 2014, Dillon et al. 2015). Si bien los aspectos vinculados a la agricultura sostenible son los que se relacionan más íntimamente con el abordaje de este trabajo, y los que generalmente son tratados al hablar de desarrollo sostenible, el concepto posee un significado y una aplicación más amplia. Es así que puede mencionarse la definición de Neufeldt (1988), en donde la palabra sostenibilidad, estrictamente, expresa la habilidad de “mantener en existencia, mantenerse o prolongar”, lo que evidencia que el concepto debe ser aplicado a otros aspectos de la actividad humana que no sean la agricultura. Este concepto debería estar presente al pensar las formas de organización de una sociedad, de producción de alimento, de desarrollo de la industria, entre algunos ejemplos de actividades humanas que podrían comprometer la supervivencia de futuras generaciones, si no se ejecutan de forma sostenible.

Según Arreola y Saldívar (2017), la propuesta del informe Brundtland, anteriormente mencionada, tuvo como objetivo afrontar un doble desafío para la humanidad: la condición de pobreza en la que vive la mayor parte de la población y los retos planteados por los problemas ambientales. El proceso hacia la sostenibilidad debe ser capaz de generar, en este sentido, un desarrollo que sea equilibrado en términos ecológicos, económicos y sociales.

En relación a esto último, una primera clasificación permite dividir a la sostenibilidad en tres pilares que la componen: ambiental, social y económico. Como explican Reiche y Carls (1996), generalmente ésta puede representarse gráficamente como un triángulo equilátero donde cada lado es una de las áreas mencionadas. Hipotéticamente, cada lado significaría alcanzar un 100% de una dimensión u objetivo. Esto implicaría que para alcanzar la sostenibilidad se debe cumplir, como criterio o línea general de pensamiento, 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.”*

2.1.2. La complejidad del concepto de sostenibilidad

La definición planteada por WCED (1987) implica diferentes dificultades y contradicciones al pensarla en detalle. Una de ellas es un “problema ético con el pasado”, ya que el razonamiento implícito en esta definición, supone que las generaciones pasadas generaron deudas sociales, económicas y ambientales que se cobran hoy, de la misma forma que la generación presente las está generando para las futuras. Con un razonamiento similar, se plantea un problema con el futuro: no hay certeza o forma de saber si los estilos de vida actuales son aceptables o no, y si hay razón para transmitirlos a generaciones

siguientes (Arreola y Saldívar, 2017). En este mismo sentido Gasparatos (2010), expresa que los promotores del desarrollo sostenible defienden una gran cantidad de perspectivas, diversas y legítimas. Algunas de ellas pueden encontrarse en conflicto: los intereses del presente versus los de las generaciones futuras o los intereses locales versus los globales, entre algunos ejemplos. La demanda, y necesidad, de balancear muchas perspectivas diferentes y tenerlas en cuenta de forma significativa, complica aún más los procesos de toma de decisiones en relación a la sostenibilidad.

Por otro lado, aunque la definición de la WCED fue universalmente aceptada, implicó necesariamente la búsqueda de formas de llevar su significado a una dimensión más concreta. La poca especificidad del concepto llevó a que varios autores trabajaran sobre esta problemática. Como explicita Sarandón (2002b), esta definición aporta muy poco sobre las herramientas o criterios necesarios para evaluar la sostenibilidad. Se entiende que la complejidad de este concepto proviene en parte de que el mismo pretende cumplir con varios objetivos que involucran dimensiones distintas (productiva, ambiental, económica, social, etc.). El autor afirma, además, que el enfoque reduccionista normalmente adoptado para analizar problemas en cada dimensión individualmente es el que dificulta a los investigadores poder entender problemas complejos que requieren de un abordaje holístico. Para esta complejidad, no pueden plantearse parámetros o criterios universales de evaluación. En el mismo sentido, Pretty (1995), defiende la construcción de "sostenibilidades" desde una perspectiva social, y remarcando que no existe una sola. Éstas deben provenir, a la vez, de una perspectiva local, en contraposición a la definición planteada al inicio, de carácter fuertemente internacional, globalizadora. Para ello, se plantean cinco principios que permiten guiar esta construcción y que resultan de gran utilidad en este trabajo para definir desde qué percepción se debe evaluar la sostenibilidad en los sistemas a analizar:

- la sostenibilidad no puede definirse de manera precisa.
- cada problema debe estar constantemente abierto a su interpretación.
- la solución de un problema genera otros.
- los actores deben tener la capacidad de aprender en condiciones de cambio permanente para poder interpretar y trabajar sobre los problemas.
- son necesarios sistemas de interacción, negociación y aprendizaje para hacer coincidir intereses diversos.

Reiche y Carls (1996), refuerzan esta idea afirmando que la palabra "sostenibilidad", en forma aislada, carece de sentido si no se le relaciona con un esfuerzo determinado o con el uso de un recurso específico. Según los autores,

se puede especificar de mejor manera el concepto cuando se lo vincula a objetivos particulares o consistentes como: desarrollo humano, sociedad sostenible, programas sostenibles, desarrollo regional sostenible y agricultura sostenible.

En el mismo sentido, vinculado a la complejidad contenida en el estudio de la sostenibilidad, y las posibles formas de enfocar el análisis para que el abordaje y las herramientas que se utilicen no pierdan de vista la riqueza contenida en el concepto, es interesante destacar lo expresado por Roe (1998). Este autor afirma que el enfoque apropiado debe adoptar y aceptar la complejidad, y su resultante incertidumbre, y centrarse en el análisis de diferentes subgrupos de interacciones, que parezcan relevantes desde perspectivas operacionales y filosóficas diferentes. La complejidad de los sistemas integrados por el ser humano y la naturaleza no parece deberse a la asociación de un gran número de factores interactuando al azar, sino que podría estar determinada por una pequeña cantidad de procesos de control. Los sistemas poseen, entonces, una auto-organización, que es creada y mantenida por un pequeño grupo de procesos críticos (Holling, 2001). Los primeros requerimientos para abordar la temática, según este autor, serían empezar a integrar las esencias de las teorías científicas de la ecología, economía y las ciencias sociales, citando a Einstein, de forma “tan sencilla como sea posible, pero no más simple”. Esto implica que si no se puede explicar o describir la problemática usando al menos un puñado de causas, entonces el entendimiento de la misma es demasiado simple. De la misma forma, si se requiere mucho más que un puñado de causas para explicarlo, entonces el entendimiento es innecesariamente complejo.

Se entiende, a partir de estas reflexiones, que es difícil abarcar la generalidad del estudio de la sostenibilidad en un solo análisis, a menos que se trate de un trabajo de gran extensión y profundidad. Podría empezarse entonces por tomar una porción del entramado de procesos y factores, pudiendo posteriormente integrar este análisis a otros paralelos o similares que completen la renombrada complejidad del concepto.

2.1.3. Desarrollo sostenible y su evaluación

Si bien hasta ahora se ha mencionado en mayor medida el concepto de sostenibilidad y no el de desarrollo sostenible, resulta importante destacar que ambos conceptos están obligatoriamente ligados. Puede considerarse que el desarrollo sostenible representa la herramienta o el camino para alcanzar o mantener la sostenibilidad, ya que implica el proceso de avance, progreso o crecimiento, pero de forma que no se comprometan los recursos a futuro. Según Reiche y Carls (1996), el desarrollo sostenible es un proceso dinámico. Los autores plantean que existen instrumentos para implementar este desarrollo como la tecnología, las políticas, la legislación y las instituciones, y que estos

deberían estar destinados a fomentar y a orientar el equilibrio entre las tres dimensiones de la sostenibilidad. Para la definición de WECD (1987), que podría considerarse que abre el debate en este sentido, el desarrollo sostenible es considerado un medio para preservar el desarrollo de su “contradicción con el ambiente y los recursos naturales”, con el foco puesto en que el ambiente no resulte una limitante para el desarrollo económico (Demo et al., 1999). En este caso existe un énfasis importante sobre el eje económico y productivo, en contraposición con lo planteado por otras corrientes más abocadas a la preservación de los recursos naturales y la preocupación por el eje ambiental. En este sentido, Arreola y Saldívar (2017), consideran que Giglo en 1997 fue uno de los primeros en plantear la posibilidad de generar y mantener un sistema socio-ambiental cuya estrategia básica sea minimizar o neutralizar los efectos antrópicos en el ambiente. A partir de este momento comienzan a generarse diferentes lineamientos, indicadores y estrategias para implementar y evaluar el desarrollo buscado. El uso de indicadores, por ejemplo, permite ilustrar cuán cerca o lejos se está de “ser sostenible”, transformando la complejidad y multidimensionalidad del concepto en valores simples, claros y objetivos. Estos indicadores deben permitir comprender claramente cuáles son los puntos críticos de la sostenibilidad de un agroecosistema, además de visualizar tendencias y tomar decisiones al respecto (Sarandón, 2002b).

Puede considerarse que la sostenibilidad depende de interacciones entre factores internos y externos. Los factores internos pueden ser sociales, políticos, ecológicos o económicos mientras que los externos incluyen los problemas ambientales globales, la deuda externa, la pobreza estructural y conflictos sociales/políticos/económicos (Holling, 2001). Los indicadores son útiles para identificar los factores internos. Los externos, en cambio, pueden denominarse como “asuntos preocupantes” o de interés, y refieren a escalas regionales o nacionales cuyo análisis excede los objetivos de este trabajo. Pensando, entonces, en métodos y formas de pensar la sostenibilidad y los indicadores que la evaluarían, es interesante mencionar que según Holling (2001), la sostenibilidad requiere tanto de cambio como de persistencia. Esta afirmación sugiere que transitar el camino hacia sistemas más sostenibles, no implica cambiar todas las formas, métodos y herramientas ya utilizadas, sino que al evaluarlas desde otra mirada más crítica es posible dilucidar cuáles deben modificarse y qué otras aportan positivamente a esta construcción y pueden ser mantenidas o modificadas para adaptarse a los nuevos modelos. En este caso, no todo lo proveniente del pasado es sinónimo de negativo, sino que pueden existir aspectos a rescatar e incorporar. De esta idea, surge la importancia de generar buenos indicadores que permitan evaluar la pertinencia de algunas prácticas y tecnologías ya utilizadas, además de la evidente importancia de invertir recursos en investigación para generar nuevas alternativas.

2.2. AGRICULTURA SOSTENIBLE

2.2.1. Los problemas de la agricultura moderna

Globalmente, alrededor de la mitad de la tierra utilizable del planeta se encuentra ya empleada para pastoreo o agricultura intensiva. Además de implicar la pérdida de ecosistemas naturales, la agricultura, por ejemplo, aumenta significativamente, la cantidad de nitrógeno y fósforo de los ecosistemas en tasas que podrían triplicarse en caso de que las prácticas utilizadas hasta ahora para producir se empleen para alcanzar las demandas de alimento del futuro. Los impactos perjudiciales para el ambiente causados por las prácticas agrícolas, tienen costos que generalmente no son medidos y usualmente no influyen en las decisiones de los productores o de la sociedad en general, respecto a los métodos que se emplean para producir. Es necesaria una evaluación profunda de los costos y beneficios de las prácticas agrícolas alternativas y esto debe convertirse en la base para la construcción de las políticas, ética y acción por parte de los organismos decisores para cada país y región. Además, el desarrollo de una agricultura sostenible debe ir acompañado de avances en la sostenibilidad en el uso de la energía, la industria, el transporte y otros sectores económicos que también tienen impactos ambientales significativos (Tilman et al., 2002).

Son muchos los científicos que afirman que la agricultura “convencional” moderna está enfrentando una crisis ambiental. Esto se debe a que muchas de las prácticas y tecnologías utilizadas y promovidas por este tipo de modelo implican o desencadenan impactos negativos para el ambiente, especialmente sobre los recursos más vinculados a la producción: agua y suelo, y la comunidad biótica que coexiste en zonas dedicadas a la actividad agropecuaria. La degradación del suelo, la salinización, la contaminación con pesticidas de los suelos, el agua y las cadenas alimentarias, el agotamiento de las reservas de agua del suelo, las emisiones de gases de efecto invernadero, la homogeneidad genética, y la vulnerabilidad asociada a ésta, son algunos de los aspectos que originan cuestionamientos serios en torno a la sostenibilidad de la agricultura (Altieri y Rosset, 1996).

Según Altieri y Rosset (1996), es la propia estructura de la agricultura y las políticas predominantes, las mismas fuerzas sociales y económicas que guiaron el cambio tecnológico, las que han provocado la crisis ambiental, debido a que favorecen los emprendimientos productivos de grandes dimensiones, la producción muy especializada, que se vincula también con la problemática asociada a los monocultivos y un alto grado de mecanización. Los agricultores están generalmente integrados a las economías internacionales que promueven este tipo de modelo. La falta de rotación y diversificación que conlleva este tipo de modelo, disminuyen los mecanismos de autoregulación de los ecosistemas transformándolos en sistemas altamente vulnerables y

dependientes en gran medida de insumos externos, principalmente de origen químico. En muchas partes del mundo, la intensificación en la agricultura ya ha resultado en pérdidas en la biodiversidad amenazando la provisión de servicios ecosistémicos, y finalmente la sostenibilidad de la agricultura (Landis, 2017).

La polémica alrededor de la sostenibilidad de la agricultura creció mayormente hacia finales del siglo XX dado que en la segunda mitad del mismo, el modelo de producción cambió drásticamente luego de la Revolución Verde (en la década del '60), que le otorgó una identidad basada en la utilización de insumos externos, fuertemente mecanizada y que aceleró el deterioro de los recursos utilizados, evidenciando la necesidad de generar alternativas para las tecnologías y métodos utilizados. Altieri y Nicholls (2005), remarcan esta idea expresando que previo a la Revolución Verde el rendimiento de los cultivos dependía de los "recursos internos" del sistema, el reciclaje de la materia orgánica, mecanismos de control biológico incorporados y los patrones de precipitaciones. Se instalaba más de un cultivo, en el tiempo o en el espacio como mecanismo para protegerse de brotes de plagas y enfermedades y condiciones climáticas extremas. Los aportes de nitrógeno provenían principalmente de la rotación con leguminosas y las rotaciones cumplían, además, la función de romper los ciclos de plagas, enfermedades y malezas. Si bien estos modelos de producción eran menos dependientes de insumos externos de origen sintético, no podrían considerarse sostenibles si se evaluaran en base a los atributos de los sistemas sostenibles.

El proceso de transformación hacia lo que se denominó "agricultura convencional moderna" implicó la apropiación por parte de quienes impartieron este modelo, de elementos del proceso productivo, reemplazando el mencionado control "natural" de los problemas sanitarios por pesticidas, la fertilización orgánica del suelo por fertilizantes químicos, reduciendo la producción a un cultivo (o un número menor de cultivos) y a una sola variedad del mismo, entre algunas modificaciones. Las inversiones monetarias requeridas para mantener este modelo de producción aumentaron considerablemente por la naturaleza fuertemente dependiente del capital de esta nueva agricultura, lo que provocó como consecuencia el crecimiento de la dependencia de los productores, y países, de los proveedores de insumos (Goodman y Redclift, 1991). Este modelo de producción implicó que bajo estas condiciones de manejo intensivo el tratamiento de los problemas sanitarios, por ejemplo, requiriera de incrementar los costos externos de tal manera que si se analiza desde el punto de vista energético, en algunos sistemas de producción la cantidad de energía invertida en producir con determinados rendimientos deseados, sobrepasa la energía finalmente cosechada. La intervención humana en los agroecosistemas ha alterado en gran medida el flujo de energía de los mismos. Los insumos, generalmente provienen de fuentes antrópicas y no son renovables. Estos ecosistemas se vuelven sistemas abiertos en donde gran

parte de la energía es dirigida hacia afuera de los mismos, al momento de la cosecha, en lugar de ser almacenada en la biomasa, para que permanezca dentro del sistema (Gliessman, 1990). En términos energéticos, la agricultura basada en el uso intensivo de insumos, consiste en sustituir servicios ecosistémicos (protección de cultivos, provisión de nutrientes) y trabajo humano por insumos generados a partir de energía proveniente de combustibles fósiles. Esta energía que tardó millones de años en acumularse se está consumiendo de forma acelerada (Sarandón y Flores, 2014). Sin ir más lejos, esta única característica denota el problema en cuanto a la sostenibilidad de la agricultura moderna convencional y ya debería conducir a la necesidad de generar formas de producir alternativas, menos dependientes del petróleo (no solo en la mecanización dentro del sistema, sino para la producción de los insumos utilizados).

Estas tecnologías basadas en el uso de insumos, tuvieron efectos aún más catastróficos al ser exportadas al “tercer mundo”. Para Rosset y Altieri (1997), las mismas fueron diseñadas para maximizar la producción al suplantar un recurso especialmente escaso en el primer mundo: la mano de obra. Por lo tanto, estos paquetes tecnológicos han resultado ser un desperdicio de la tierra y el capital, en cierto sentido. Cuando fueron exportados a países con problemas de desempleo crónico y poco capital, el resultado casi inmediato fue una migración importante desde el medio rural al urbano, problemas sociales y la introducción del capital extranjero en la agricultura.

En resumen, algunas de las características de los modelos de producción impulsados por la “agricultura moderna convencional” fueron enumeradas por Sarandón (2002a):

- la producción es altamente dependiente de combustibles fósiles e ineficiente desde el punto de vista energético
- en cuanto a los suelos, pierden productividad producto de la erosión y degradación. Además, existe una disminución de nutrientes debida al desbalance entre los aportes y extracciones, la lixiviación y la baja eficiencia en el uso de los fertilizantes
- puede disminuir el nivel de los acuíferos por mal uso del agua para riego.
- los sistemas de producción son fuertemente dependientes de agroquímicos (insecticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes, etc.)
- algunas plagas y patógenos desarrollan resistencia por el uso excesivo de pesticidas
- se da un proceso de erosión genética a través del que se pierde la variabilidad genética de los cultivos

- existe una pérdida de los conocimientos y técnicas de cultivo “tradicionales” de los agricultores que son sustituidas por las técnicas “modernas” generando una erosión cultural

2.2.2. La amplitud de la definición de agricultura sostenible

La agricultura sostenible *“es aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan”* (Flores y Sarandón, 2006).

La agricultura sostenible, contrario a lo mencionado en la sección anterior, debe asegurar “rendimientos sostenibles” a partir del balance adecuado de un conjunto de factores entre los que se encuentran los cultivos, los suelos, nutrientes, radiación, humedad y otros organismos que coexisten con los cultivos. Según Altieri y Nicholls (1999), un agroecosistema es productivo y sano cuando este balance y enriquecimiento prevalecen, y cuando las plantas son lo suficientemente resilientes como para tolerar el estrés y la adversidad. Ante disturbios ocasionales, sólo un agroecosistema que sea vigoroso, con capacidad de adaptarse y suficientemente diverso, será capaz de recuperarse. Para promover este equilibrio interno de los ecosistemas es necesario, en primer lugar, generar conocimiento profundo sobre la naturaleza de los mismos y los principios en los que se basan para funcionar.

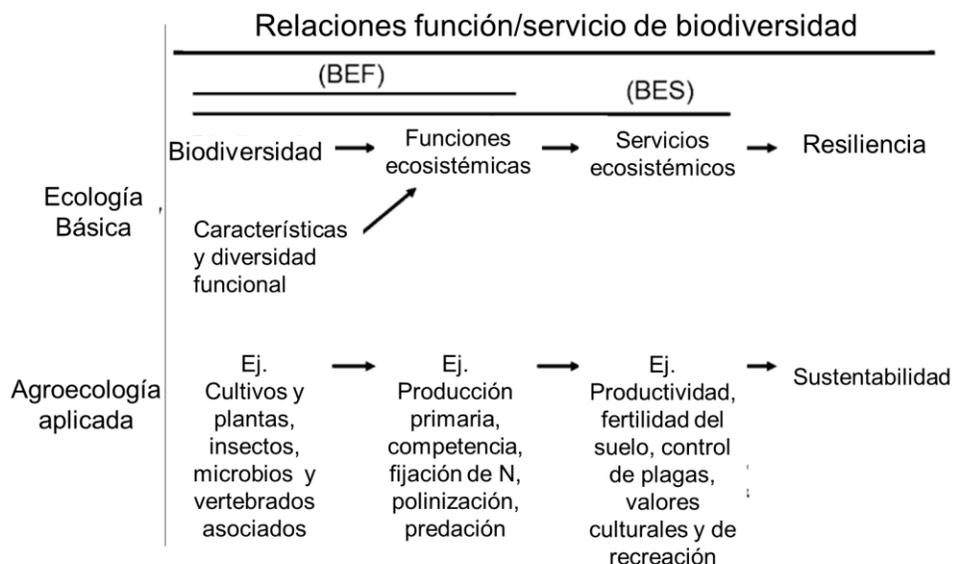
Para otros autores, como Allen et al. (1991), la agricultura sostenible debe equilibrar un balance entre la calidad ambiental, lo económicamente viable y lo socialmente justo, para todos los sectores de la sociedad. Esto introduce otra idea importante: la forma de producir alimento debe asegurar que la sostenibilidad no considere sólo el bienestar de generaciones futuras sino que debe extenderse a nivel mundial, alcanzando a todas las personas y seres vivos de la biósfera.

Para Chiappe (2002), debe necesariamente adoptarse un enfoque amplio de agricultura sostenible que contemple los aspectos ambientales o ecológicos pero también los sociales y económicos para poder generar un abordaje adecuado para plantear estrategias alternativas que conduzcan a la agricultura hacia un plano de mayor sostenibilidad.

Es en este mismo sentido que Altieri y Rosset (1996), afirman que el concepto de sostenibilidad en la agricultura surgió como una respuesta relativamente reciente al deterioro de los recursos naturales asociado a la agricultura moderna. Actualmente, la búsqueda en torno a esta temática evolucionó de ser exclusivamente técnica a una más compleja caracterizada también por las dimensiones social, cultural, política y económica. El concepto

de sostenibilidad, aunque difuso y complejo, aporta positivamente a esta búsqueda dado que concibe a la agricultura como una co-evolución de los sistemas socioeconómicos y naturales. Un estudio más amplio del contexto agrícola requiere de la investigación en agricultura, ambiente y los sistemas sociales, dado que el desarrollo de la primera surge de la interacción compleja de múltiples factores, como fue mencionado anteriormente. Según estos últimos autores, a través del entendimiento más profundo de la ecología de los sistemas agrícolas es que se abrirán las puertas para nuevas alternativas de gestión y manejo que coincidan con los objetivos de una verdadera agricultura sostenible.

En la figura 1, puede observarse el paralelismo entre la ecología básica y la agroecología aplicada en relación al aspecto de la biodiversidad de los sistemas. Esto constituye un ejemplo de la utilidad y necesidad de conocer en profundidad el funcionamiento y las interacciones en los ecosistemas como base para diseñar agroecosistemas más sostenibles (Altieri, 2000). Lo que puede ser entendido como servicios ecosistémicos en términos ecológicos, resulta en términos productivos, equivalente a las variables que pueden manejarse para llevar adelante un cultivo. Si estos servicios están equilibrados y son promovidos, el ecosistema será resiliente, y en el caso del agroecosistema podrá hablarse de sostenibilidad.



Relaciones (arriba) y ejemplos (abajo) entre la biodiversidad- funciones ecosistémicas (BEF) y biodiversidad-servicios ecosistémicos (BES).

Figura No. 1. Relaciones función - servicio de la biodiversidad
Fuente: adaptado de Landis (2017).

Es claro entonces, que como la agricultura sostenible resulta un concepto tan amplio, que abarca variados aspectos vinculados al estado y gestión de los recursos, naturales y humanos, y a la tecnología o prácticas utilizadas para la obtención de los alimentos, y partiendo de un concepto de sostenibilidad cuya complejidad es ampliamente discutida, sería dificultoso generar una sola definición de agricultura sostenible que englobara todas estas características y permitiera ser aplicada para cualquier rubro de producción. Las formas de alcanzar sistemas de producción más sostenibles variarán dependiendo de cada rubro, de los manejos asociados al mismo, ya existentes o que vayan surgiendo, y de la historia y características intrínsecas que ese tipo de producción posea en cada región o país. En este sentido, Tiftonell et al. (2016), plantean que el 50% del alimento consumido mundialmente proviene de sistemas de producción familiar de pequeña escala (ocupan aproximadamente el 20% de la tierra cultivable en el mundo) que poseen baja o nula dependencia de insumos externos y se basan en los recursos genéticos locales, las prácticas tradicionales, muchas veces con muchos años de antigüedad, o las promovidas institucionalmente. En estos casos puede hablarse de sistemas “orgánicos por defecto”. Un ejemplo de esto surge al comparar la dependencia de insumos externos que puede tener la ganadería realizada en Uruguay sobre campo natural con la horticultura en este país. La base productiva de la que se parte y lo “lejos” que se esté de un modelo más sostenible será distinto, implicará diferentes evaluaciones y modificaciones. Otro aspecto que podrá hacer variar el concepto de “agricultura sostenible” es la base ideológica o teórica, particularmente vinculada a la sostenibilidad, de la que se parte. Algunos caminos estarán basados en mayor medida en la sustitución de los insumos de origen sintético por insumos de origen biológico, otros se basarán en el fortalecimiento de la biodiversidad y las relaciones dentro del ecosistema para sustituir la necesidad de insumos, otros pondrán el foco en mayor medida en la eficiencia económica o en la equidad desde el punto de vista social o de género, entre algunos ejemplos. Algunas de estas vías para llegar a la sostenibilidad serán mencionadas más adelante.

Lo que sí resulta evidente, es que es necesario que exista alguna forma de evaluar el desempeño de los sistemas o el grado de avance hacia los objetivos planteados, de disminuir los impactos de la producción agropecuaria. Según Sarandón (2002b), por ejemplo, para que el concepto de sostenibilidad se volviera más operativo, cualquier cambio tecnológico debería pasar por el filtro de la misma. Es decir, debería de evaluarse si la nueva tecnología es más sostenible que la anterior, y en ese caso se promovería su adopción. Si bien parece un razonamiento lógico, no es éste el procedimiento que ha regido el desarrollo tecnológico en la agricultura, desde la Revolución Verde en la década del '60 hasta la actualidad. Este tipo de evaluación tiene la dificultad de implicar una pregunta a futuro, y por lo tanto requiere de una predicción.

2.2.3. Distintos caminos para llegar al desarrollo sostenible en la agricultura

Se han propuesto varias posibles soluciones a los problemas ambientales generados por los sistemas de producción intensivos en el uso del capital y la tecnología, promovidos durante la segunda mitad del siglo XX, y se ha progresado en la evaluación de sistemas alternativos. El foco principal, en la mayor parte de las alternativas, se encuentra en la reducción o eliminación de los insumos químicos a través de cambios en el manejo que aseguren una nutrición y protección adecuada de las plantas a través de fuentes orgánicas de nutrición y el manejo integrado de las plagas, respectivamente (Altieri y Rosset, 1996). Esto se debe a que estos dos aspectos representan los principales problemas en el manejo de los cultivos, y son también aquellos que han demandado mayormente la introducción de insumos externos a los agroecosistemas. Las dificultades en la nutrición y en la incidencia de plagas y enfermedades en un cultivo, pueden constituir también un reflejo de desbalances o problemas en otros niveles más profundos del funcionamiento de los ecosistemas (Altieri y Rosset, 1996). Los caminos planteados para llegar al objetivo de producir de formas más sostenibles se distribuyen en un amplio espectro que incluye desde cambios de base importantes en los sistemas de producción, por ejemplo la eliminación completa de los insumos químicos, hasta opciones intermedias que se enfoquen solamente en un aspecto o unos pocos, por ejemplo el manejo integrado de plagas.

2.2.3.1. Agroecología

Entre las alternativas para alcanzar la sostenibilidad en la agricultura se encuentra la agroecología, que surgió como una disciplina que provee de principios ecológicos básicos que permitan estudiar, diseñar y manejar los agroecosistemas, para que sean tanto productivos como conservadores de los recursos. Esta corriente pretende trascender la idea de “únicamente” sustituir las prácticas convencionales por “alternativas” como forma de cambio sino que plantea el desarrollo de agroecosistemas cuya dependencia de los agroquímicos y de los insumos energéticos sea mínima, enfatizando en la construcción de sistemas de producción más complejos en los que las interacciones ecológicas y las sinergias entre los componentes biológicos provean de los mecanismos necesarios para promover a los sistemas de su propia fertilidad de suelo, productividad y protección de los cultivos (Altieri y Rosset 1996, Altieri y Nicholls 1999). En este caso, la visión debe ser más completa que aquellas que de forma unidimensional podrían profundizar sólo en la genética de los cultivos, el manejo del suelo, el manejo de las plagas, etc.

Para la conversión de un sistema convencional basado en tecnología de uso de insumos al modelo agroecológico, según Altieri y Rosset (1996) pueden definirse cuatro etapas (figura 2). La primera consiste en la eliminación progresiva de los insumos, especialmente de origen químico y de carácter

externo al sistema. El segundo paso consiste en el uso eficiente y racional de los insumos químicos. Esto se logra, en parte, a través de la introducción del manejo integrado de las plagas (MIP) y la nutrición. Este esfuerzo de reducción de los insumos y reacomodo del sistema muy probablemente implique una pérdida momentánea de la productividad, y tiene necesariamente que incluir un incremento en la biodiversidad que colabore a la estabilización del agroecosistema y sus relaciones e interacciones que sustituyan las funciones de los insumos. El tercer paso es el de sustitución de insumos. En este caso las funciones de los mismos pueden reemplazarse por las interacciones o relaciones entre componentes de los ecosistema, cambiarse por insumos de origen alternativo o tecnologías de bajo consumo energético. La productividad en este momento se ve fuertemente resentida, y este período es la etapa más avanzada del proceso de “transición”. El cuarto paso requiere del rediseño hacia sistemas agrícolas diversificados, donde se fomenten las sinergias que permitan al propio agroecosistema sostener y regular su fertilidad de suelo, control de plagas y productividad de los cultivos, idealmente integrando la producción vegetal y animal. Cuando la estabilidad en el agroecosistema vuelve a alcanzarse en este nuevo escenario de equilibrio la productividad también vuelve a ascender. Este proceso con cuatro etapas es una simplificación de la realidad, en la medida en que la transición hacia agroecosistemas más sostenibles no es un proceso lineal ni unidireccional, y, por lo tanto, no implica necesariamente que todo proceso de transición deba darse en ese orden o cumplir necesariamente esas cuatro etapas.

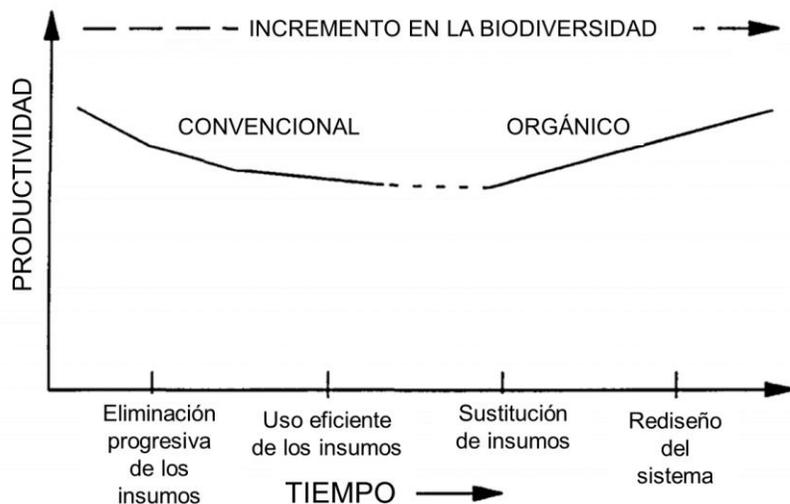


Figura No. 2. Etapas de la conversión agroecológica de sistemas convencionales

Fuente: adaptado de Altieri y Rosset (1996).

Durante las cuatro fases, el manejo debe ser dirigido de forma de asegurar los procesos de incremento en la biodiversidad en el suelo y el ecosistema en general, y de la producción de biomasa y el contenido de materia orgánica del suelo. Además debe asegurarse la reducción en los niveles de residuo de pesticidas y pérdidas de nutrientes. Deben establecerse relaciones funcionales entre las diversas plantas y animales. Por último, resulta esencial la planificación óptima de las secuencias de cultivos y las combinaciones, para realizar un uso eficiente de los recursos disponibles localmente (Atieri y Rosset, 1996). Los procesos de transición pueden durar, según los autores, entre 1 y 5 años dependiendo del nivel de artificialización y/o degradación del sistema original, altamente dependiente de insumos.

2.2.3.2. Caminos intermedios que conducen a sistemas de producción más sostenibles

Como pueden diferenciarse varias etapas en la transición hacia sistemas más sostenibles puede decirse también, que existen pasos intermedios a la conversión total de los sistemas, que también configuran escenarios de producción más sostenible que la efectuada desde los sistemas de producción “convencionales”. Pueden describirse diferentes caminos que se han desarrollado, siguiendo con la lógica de las cuatro etapas de la sustitución de insumos, que se ubican entre las etapas 2 y 3 (de la figura 2) con diferentes énfasis y características.

Una de las más desarrolladas, tiene que ver con la diversidad de cultivos o especies vegetales en los agroecosistemas. Recientemente cada vez más investigadores han demostrado que es posible generar un ambiente balanceado, con rendimientos sostenidos, fertilidad de los suelos manejada de forma orgánica, regulación natural de las plagas a través del diseño diversificado de los agroecosistemas y con tecnologías basadas en el bajo uso de insumos. En este sentido, se han probado varios sistemas de cultivo que introducen manejos como el doble cultivo, los cultivos de cobertura o el intercalado de cultivos y el cultivo en fajas, como formas alternativas al monocultivo, por ejemplo (Sarandón 2002a, Altieri y Nicholls 2005, Tiftonell et al. 2016).

La diversificación es una de las estrategias más difundidas para aumentar la adaptabilidad o resiliencia de los sistemas de producción. Además del impacto que la diversidad tiene sobre el ambiente biótico, la misma tiene importante influencia en la reducción de riesgos asociados al clima y al mercado, y permite el mejor aprovechamiento de los recursos utilizados para la producción (Dogliotti et al., 2010). Es interesante pensar en los beneficios implícitos en el aumento de la diversidad: además de hacer más eficiente el uso de la mano de obra, por repartirse las tareas en distintas épocas del año, o

evitar que se concentre todo el trabajo en un período corto, se aprovecha de forma más eficiente la maquinaria, amortizando sus costos en más actividades que generan más ingresos, y de más diversas fuentes. En adición, se ejercen presiones diferentes y más variables sobre los recursos naturales, lo que colabora a utilizarlos de forma más sostenible, variando las demandas nutricionales de los cultivos, los órganos cultivados, los ciclos, las familias botánicas y las comunidades de insectos asociadas, entre otros aspectos.

Pueden mencionarse también, entre otros ejemplos, los sistemas en los que el manejo de la fertilización se realiza sólo en base a fertilizantes orgánicos u otros donde el manejo sanitario se realiza en base a productos de origen biológico, entre otros ejemplos. Lo más importante es que estas alternativas han sido probadas por productores en sistemas de producción “reales” en los que se ha podido comprobar que estas prácticas conducen al reciclaje óptimo de los nutrientes y al aumento de la materia orgánica, al cierre de los flujos energéticos, la conservación del suelo y el agua, y el balance de las poblaciones de enemigos naturales de las plagas. Además, la diversidad que puede fomentarse dentro de los sistemas de producción permite promover las complementariedades que resultan de las múltiples combinaciones que pueden realizarse incluyendo cultivos, árboles y animales, en arreglos espaciales y temporales variados (Altieri y Rosset, 1996).

Otro camino, vinculado a los principios agroecológicos, es el que estudia los efectos de la diversidad a nivel de paisaje. Esto resulta necesario ya que además de los problemas a nivel predio, que ha desencadenado el modelo de producción actual (agricultura convencional moderna), como el mismo fue ampliamente adoptado trasciende los límites del sistema, y debe ser estudiado de forma regional o zonal. Es decir, que también puede estudiarse su efecto en comunidades más extensas que las presentes en un solo sistema de producción. La simplificación de los sistemas bajo un modelo que promueve la producción en monocultivos, como fue mencionado, empobrece las comunidades de plantas presentes respecto a un policultivo, y aún más si se considera el control total y muy eficiente de las malezas. Es interesante destacar en este sentido, que con la predominancia de sistemas con múltiples cultivos, los límites entre predios y cuadros resultan en hábitats más diversos, en cambio, al aumentar las áreas de un mismo cultivo en un paisaje determinado, se encuentra mayor cantidad de cultivos iguales adyacentes y la diversidad se pierde. En adición, las áreas no cultivadas remanentes preservan cada vez menor biodiversidad dado que se encuentran inmersas en un paisaje mayormente fragmentado, y por lo tanto más aisladas, además de ser objeto “indirecto” de las aplicaciones de pesticidas que reducen la diversidad de plantas y animales (Landis, 2017).

La diversidad en el paisaje tiene un efecto sobre el control de plagas. Cuando la complejidad del paisaje es mayor, usualmente evaluada como “áreas no cultivadas”, la abundancia y diversidad de enemigos naturales aumenta. La abundancia de plagas y enfermedades tiende a decaer o mantenerse intacta, mientras que la diversidad puede aumentar. Las tasas de depredación y parasitismo generalmente incrementan mientras que el crecimiento de las poblaciones de plagas y enfermedades disminuye. Esto pudo comprobarse efectivamente luego de un estudio realizado por Rusch et al. (2016), que evidenció que la simplificación del paisaje redujo los niveles de control de las plagas, independientemente de las interacciones, positivas o negativas, entre los enemigos naturales de estas plagas. Esto permitió afirmar que conservar hábitats “naturales” sin perturbar o re-diversificar los paisajes agrícolas (dejando zonas naturales o semi-naturales) supone un control viable de las plagas de los cultivos que puede ser luego complementado con otras medidas de control más directas.

El uso sostenido del modelo “convencional”, simplifica la estructura de los paisajes en múltiples escalas espaciales. Otra opción es el intercalado de cultivos, que implica que coexistan en el predio plantas de dos o más especies al mismo tiempo. Esta idea también se vincula con el principio de tomar a la naturaleza como ejemplo e imitar las estructuras y funciones de los ecosistemas locales para diseñar los agroecosistemas. La selección llevada a cabo por tantos años por los seres humanos redujo el número de especies animales y vegetales en los ecosistemas, lo que además de generar desbalances en la regulación natural de las distintas poblaciones contribuye a la ineficiencia energética, y el desaprovechamiento de productos de deshecho. La estabilidad en una comunidad se alcanza cuando el nivel de diversidad es alto. Si se tiene en cuenta que si se deja sin perturbar un ecosistema primero será colonizado por unas pocas especies y a medida que pase el tiempo la comunidad se volverá más biodiversa, tiene sentido pensar que para que esto suceda en los agroecosistemas, también es necesario generar procesos que contemplen los tiempos de transición (Gliessman 1990, Altieri 2002, Ouma y Jeruto 2010).

Los programas de manejo integrado de plagas (MIP), son otro ejemplo de situaciones intermedias que mejoran en alguna de las dimensiones la sostenibilidad de los sistemas, para contrarrestar el impacto de la agricultura moderna. Estos manejos pretenden mantener los niveles de plagas bajo el umbral económico establecido para cada cultivo, contemplando todos los métodos de control disponibles y promoviendo la utilización de aquellos de origen alternativo al químico. Aunque en muchos casos no se ha logrado el objetivo original, de encontrar métodos para complementar el efecto de los agentes de control biológico naturales, el MIP ha contribuido a la racionalización del uso de pesticidas, particularmente por el énfasis otorgado a las aplicaciones de producto oportunas (decididas a partir del monitoreo) y el uso de materiales

selectivos. Esto ha permitido que en muchos sistemas de cultivo, como el de tomate, se dé lugar a la recuperación de fauna beneficiosa (Altieri y Rosset, 1996). Según Altieri y Nicholls (1999), si bien el MIP resulta una aproximación útil para aumentar la sostenibilidad, en este enfoque prevalece aún una visión estrecha que supone que existe una causa específica afectando la productividad, por lo que puede caerse en que las nuevas tecnologías se dirijan a enmendar un único factor limitante. Esto se comprueba al observar que en muchos programas de MIP el enfoque principal ha sido sustituir los insecticidas por productos menos nocivos, pero haciendo uso de los mismos con la misma lógica que se usaban los productos convencionales, restringiendo el cambio en la forma de producir únicamente a la sustitución de un insumo, contrario a lo previamente planteado, de que la sustitución debe acompañarse de otros cambios y estrategias.

Por otro lado, podría considerarse a la producción orgánica como otra alternativa en la búsqueda de sostenibilidad, aunque a veces se utiliza como sinónimo de agroecología. Puede realizarse la diferenciación de que la producción orgánica refiere simplemente al aspecto ambiental de la eliminación de los insumos químicos de la producción pudiendo sustituir los mismos por productos alternativos, aunque también se promueve el incremento de las relaciones y funciones ecosistémicas que los sustituyan. Una certificación orgánica podría obtenerse, por ejemplo, sustituyendo insumos químicos por alternativos (provenientes de otro tipo de proveedor, “Green suppliers” para Lampkin, 1990) y no implicaría cambios de base en la dinámica del agroecosistema o la valorización del conocimiento local, como sí demandaría la agroecología. Para Gomiero et al. (2011), basándose en las definiciones de IFOAM, la agricultura orgánica refiere a un sistema de producción en el que se prohíbe el uso de agroquímicos como los fertilizantes sintéticos y pesticidas y el uso de organismos genéticamente modificados (OGM). La producción orgánica es regulada por instituciones u organismos nacionales e internacionales que certifican los productos desde su producción hasta la manipulación y procesamiento.

2.2.3.3. Principios generales para lograr sistemas de producción más sostenibles

Más allá de los matices y variabilidad existentes en los caminos para llegar a la sostenibilidad, en líneas generales, los principios básicos de un agroecosistema sostenible (que podrán ser más o menos cumplidos según el cambio o enfoque que se adopte) son la conservación de los recursos renovables, la adaptación del cultivo al ambiente y el mantenimiento de un nivel moderado pero sostenible de productividad. Según Altieri y Rosset (1996), un sistema de producción debe:

- reducir el uso de energía y recursos, especialmente regular las entradas de energía para que la relación salidas/entradas sea alta.
- reducir las pérdidas de nutrientes controlando efectivamente la lixiviación, lavado y erosión y mejorando el reciclaje de nutrientes a través del cultivo de leguminosas, el aporte de abono orgánico, compost y otros mecanismos de reciclaje eficientes.
- alentar la producción local de productos adaptados al entorno natural y socioeconómico.
- mantener la producción neta deseada a través de la preservación de los recursos naturales (al minimizar la degradación del suelo).
- reducir costos e incrementar la eficiencia y viabilidad económica de los emprendimientos pequeños y medianos, promoviendo de este modo un sistema agrícola diverso y potencialmente resiliente.

Si se intenta traducir esto a términos de manejo del agroecosistema, los componentes básicos con los que debería contar serían:

- cobertura vegetal como una medida efectiva de conservación del suelo y el agua, que puede cumplirse a través de la disminución del laboreo, el uso de mulch, abonos verdes y otras medidas apropiadas.
- suministro regular de materia orgánica mediante aportes de abonos y/o compost y la promoción de la actividad biológica del suelo.
- mecanismos de reciclaje de nutrientes mediante rotaciones de cultivos, sistemas de cultivo o ganaderos con uso de leguminosas, entre otras medidas.
- regulación de plagas a través de la mejora de la actividad de los agentes de control biológico, por la introducción y/o conservación de los enemigos naturales.

Con el objetivo de desarrollar sistemas agrícolas que puedan sostener la producción en el largo plazo sin degradar los recursos, se abre un amplio espectro de opciones que incluyen una variedad de tecnologías de bajo uso de insumos, que mejoran la fertilidad y la conservación del suelo, maximizan el reciclaje, mejoran el control biológico, diversifican la producción, etc. (Altieri, 1989). En la figura 3 puede observarse el modelo de un agroecosistema sostenible en el que se distinguen algunos de los objetivos principales que se debe perseguir y tener en cuenta la hora de planificar el sistema, los procesos involucrados para cumplir con los objetivos y los métodos o prácticas de manejo a través de las que se pueden promover o alcanzar estos procesos.

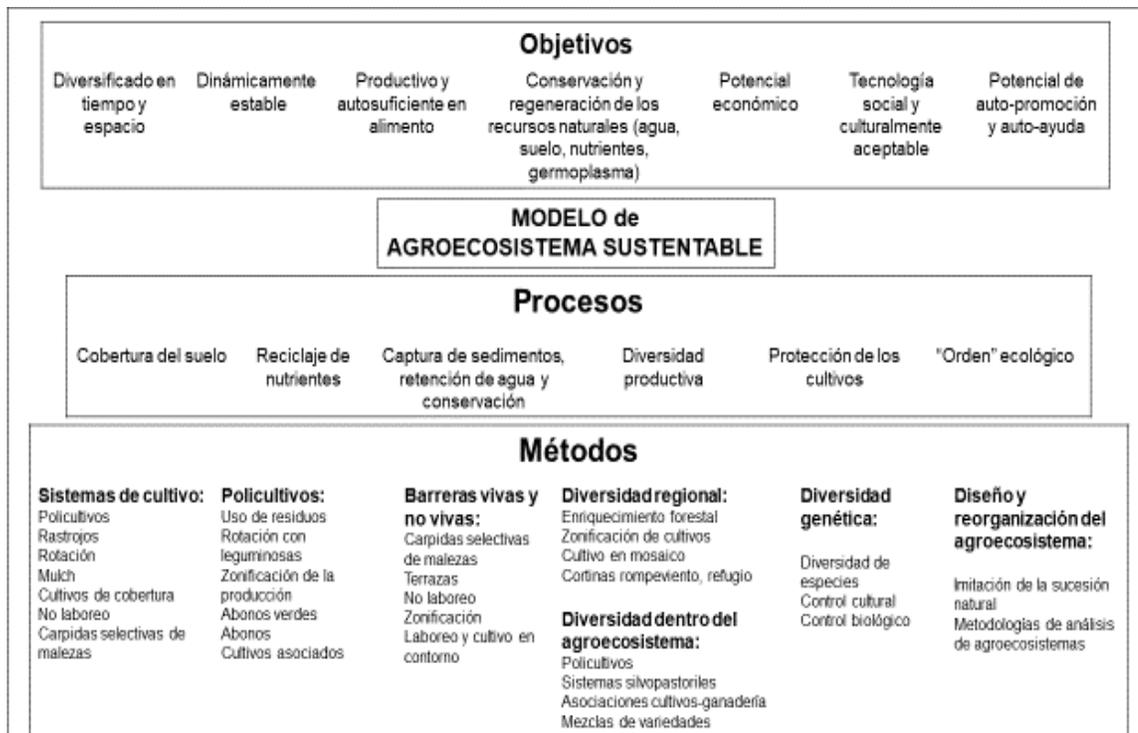


Figura No. 3. Modelo de agroecosistema sostenible
Fuente: adaptado de Altieri (1989).

En el caso del diseño agroecológico, el objetivo final es integrar los componentes del sistema de forma de que se mejore la eficiencia biológica, se preserve la biodiversidad y se mantenga la productividad del agroecosistema y su capacidad de autoregularse.

Para Tiftonell et al. (2016), la agroecología, la producción orgánica, la permacultura, etc. constituyen movimientos o corrientes de intensificación ecológica. El concepto de intensificación ecológica (IE) se basa en el uso inteligente e intensivo de las funcionalidades naturales que ofrecen los ecosistemas. Es un término especialmente útil porque permite agrupar diferentes aproximaciones de intensificación de la agricultura que se basan en las funciones ecosistémicas (Doré et al., 2011). Como comprende enfoques y alternativas tan variadas, la IE toma distintas formas dependiendo del lugar y no existe un conjunto de pautas aplicables universalmente sobre cómo cultivar de forma sostenible. Los autores plantean que se requiere de innovación generada de forma local, adaptación de las tecnologías o herramientas a la realidad local y la creación de regímenes socio-técnicos que permitan la diversidad local.

Desde la perspectiva del modelo de nichos, las formas alternativas de practicar la agricultura comienzan en “nichos”, donde las novedades se desarrollan en competencia con el régimen “socio-técnico” existente (también llamado en el presente trabajo “modelo de agricultura moderna convencional”). Aunque originalmente se consideraba que los nichos desplazarían al régimen actual, se comprobó posteriormente que el nicho estimula cambios en el régimen, por lo que éste comienza a cambiar desde adentro. Un ejemplo es lo sucedido con la producción orgánica, parcialmente absorbida y “convencionalizada” por el modelo de agricultura moderno ya existente. En muchas ocasiones, estos nichos surgen de la insatisfacción que generan las prácticas actuales y de la necesidad de organizarse para generar alternativas, pero también puede estimularse su desarrollo a través de políticas de apoyo especialmente dirigidas a esto. Esto implica ir más allá de solamente mejorar los sistemas de producción, sino que debe invertirse en generar sistemas de provisión de insumos favorables, cadenas de valor y políticas ambientales, entre otras cosas, que pueden favorecer la construcción de un cambio más complejo (Tittonell et al., 2016). Para que nuevos modelos y alternativas puedan llevarse a cabo definitivamente, deben generarse tres tipos de anclaje que aseguren la intensificación ecológica: el “anclaje cognitivo”, vinculado al cambio de mentalidad y capacidades para la producción, el “anclaje de red”, que incluye la creación de redes de apoyo y el cambio en las configuraciones de producción y mercado existentes, y el “anclaje institucional”, que implica un cambio en las reglamentaciones y regulaciones para favorecer este tipo de producción. El “anclaje” es un concepto planteado por Elzen et al. (2012), que pretenden reflejar que las nuevas alternativas para generar modelos más sostenibles poseen en sus inicios enlaces muy débiles que pueden romperse con facilidad en caso de no existir garantías en su entorno que promuevan su asentamiento y desarrollo.

Resulta interesante remarcar que las alternativas para la IE pueden inspirarse por las interacciones entre las estructuras y funciones que pueden observarse en la naturaleza, por la experiencia práctica de las poblaciones locales indígenas u otras históricamente dedicadas a la agricultura, y por la combinación de esto con el conocimiento científico y tecnología generados recientemente. Requiere del diálogo constante entre el conocimiento práctico de los productores y el conocimiento científico. Para que todo esto pueda configurarse de forma efectiva, el sector público debería invertir en la creación y apoyo de nuevos nichos, en lugar de apoyar “soluciones” tecnológicas que ya se encuentran integradas y embebidas del régimen actual. Además debería asumir los posibles costos asociados a los programas de innovación o co-innovación. Esto sirve, parcialmente, para combatir la estrategia del sector privado, que invierte en muchos casos en tecnologías patentables para reafirmar su posición en el régimen socio-técnico actual (Tittonell et al., 2016).

2.3. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD

2.3.1. La evaluación del avance hacia una agricultura más sostenible

Según Sarandón (2002b), existe actualmente una gran velocidad en los cambios en las prácticas agropecuarias y en la incorporación de nuevas tecnologías. En concordancia con lo planteado también por Tillman (2002), existe la necesidad de generar criterios y metodologías que permitan evaluar el impacto que estas prácticas y tecnologías podrían tener en términos de la sostenibilidad de un agroecosistema, tanto a nivel de los agricultores como de una región determinada. Esto requiere la transformación del concepto abstracto de sostenibilidad a términos operativos que permitan la evaluación y planificación, por lo menos a mediano plazo, de las actividades productivas.

La sostenibilidad en la producción agropecuaria resulta una idea subjetiva ya que depende de los valores y objetivos de aquellos que poseen influencia sobre los sistemas de producción, los consumidores de los productos y los que sufren los impactos o consecuencias de la misma (Dogliotti et al., 2010). Los valores y objetivos se modifican con los años, con la investigación, las políticas regionales y globales, la aparición de nuevas tecnologías, etc. Como se encuentran en permanente cambio y reestructuración, la forma de evaluación también debería contemplar y adaptarse a la dinámica característica de este concepto y ser lo suficientemente flexible como para aplicarse o modificarse dependiendo de las características que guarde la temática en cada circunstancia o instancia diferente, lo que configura sin dudas un gran desafío. Según Dogliotti et al. (2010), para realizar la evaluación y rediseño de sistemas para lograr mayor sostenibilidad, se necesitan establecer criterios e indicadores que permitan evaluar el efecto de los cambios que se introducen respecto a la situación inicial, lo que denominan “evaluación vertical” y también poder comparar los avances logrados entre los distintos sistemas productivos, lo que implica una “evaluación horizontal”.

En la búsqueda de alternativas para la evaluación, Sarandón (2002b) plantea que existen dos formas de evaluar concretamente la sostenibilidad en la agricultura. La primera manera, sería evaluar la sostenibilidad *per se*. El análisis se origina en preguntas “abiertas” como: ¿Es sostenible la producción de tomate en invernáculo? En este caso no existe punto de comparación y las respuestas que se pueden obtener son más bien del tipo categóricas: sí o no y una definición de un valor absoluto de sostenibilidad. Para esta forma de evaluación, el factor temporal juega un rol muy importante, ya que los sistemas de producción o rubros son evaluados contra sí mismos, en un período de tiempo determinado, que muchos autores se han dedicado a definir, pero debería ubicarse entre los 7 y los 25 años, teniendo en cuenta que la propia definición del concepto plantea que la comparación debe ser del presente contra el “futuro”. La segunda forma es la evaluación comparativa. En este caso

se deben comparar por lo menos dos tecnologías, sistemas, rubros, etc. Y las preguntas a realizar son del tipo: ¿Cuál de estos dos sistemas o tecnologías es más sostenible? ¿Es más sostenible la siembra directa que la labranza convencional? La respuesta a obtener entonces es “esto es más sostenible que esto otro”, y en este caso ya no es necesario definir valores absolutos, lo que simplifica el planteo de la metodología de evaluación y es por lo tanto un método más sencillo y comúnmente más utilizado. Para esta forma de evaluación se abren dos posibilidades: la comparación retrospectiva, que es guiada por la pregunta ¿Qué pasó? Y la comparación prospectiva, basada en la pregunta: ¿Qué va a pasar?

De todos modos, para poder realizar cualquier tipo de evaluación, resulta necesario identificar todos los tipos de variables que se ponen en juego al momento de analizar un agroecosistema. Sarandón (2002b) define tres tipos:

- variables de estado: son aquellas que definen o aportan información sobre la situación actual, como puede ser el porcentaje de materia orgánica del suelo.
- variables de manejo o de presión: refieren al funcionamiento del sistema e indican el efecto de diferentes prácticas de manejo sobre las variables de estado. En el ejemplo planteado esta variable sería el exceso de laboreo.
- variables de respuesta: representan lo que se está haciendo para modificar o remediar el problema, para este ejemplo podría mencionarse el laboreo reducido.

2.3.2. Antecedentes en el uso de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad

De forma más concreta, para habilitar y evaluar la transición hacia una producción más sostenible, se han desarrollado numerosas herramientas para obtener información sobre el desempeño sostenible de los sistemas agrícolas que permiten analizar y evaluar si los cambios, las tecnologías o el funcionamiento de un determinado sistema de producción es sostenible o no, o más sostenible que otros casos con los que se compara. Para esto, muchos autores han optado por la utilización de indicadores. Las herramientas para la evaluación de la sostenibilidad basada en indicadores varían en su alcance (geográfico y sectorial), su grupo objetivo (productores, creadores de políticas públicas), la selección de los indicadores, el método para combinarlos o darles peso y el tiempo requerido para la evaluación (Schader et al., 2014). Si bien ya se ha discutido la complejidad e integralidad del concepto de sostenibilidad, es interesante destacar que De Olde et al. (2016), señalan que usualmente aunque se insista en integrar temas ambientales, sociales y económicos en el análisis,

generalmente se le otorga más peso al aspecto ambiental y las herramientas vinculadas a la evaluación del mismo, como sucede en el presente trabajo.

Se pueden distinguir cuatro fases en la estructura de una herramienta, según estos autores. La primera es la definición de la dimensión o pilar de la sostenibilidad a tratar, y es la que mayor contenido abarcará. En segundo lugar, deben traducirse los objetivos globales de la sostenibilidad a temas concretos, y en algunos casos incluso, estos se dividen en subtemas aún más explícitos. Los indicadores aparecen en la cuarta fase como una forma de medir el desempeño de un sistema para los temas (o subtemas) elegidos. El valor de los indicadores puede obtenerse a través de mediciones, opiniones de expertos, estimación con modelos, etc. (De Olde et al., 2016).

Para la evaluación de la sostenibilidad, deben distinguirse dos términos: el de “marcos de referencia” y el de “herramienta para la evaluación”. Los marcos de referencia consisten en procedimientos estructurados, similares a un protocolo, que contienen distintas etapas o pasos que deben seguirse para alcanzar un objetivo determinado. Los marcos no especifican las herramientas analíticas que deben utilizarse para evaluar las diferentes alternativas. Las herramientas, en cambio, pueden ser entendidas como las diferentes técnicas de análisis que pueden utilizarse para realizar análisis o comparaciones dentro de algún marco de referencia (Gasparatos, 2010). Para este trabajo, se profundizará en mayor medida en las herramientas que pueden utilizarse para la evaluación del aspecto ambiental de la sostenibilidad.

Las herramientas para la evaluación de la sostenibilidad resultan de gran importancia ya que pueden apoyar la toma de decisiones en los predios, y por lo tanto generar un impacto en el manejo (y por tanto en la sostenibilidad) de los sistemas. Sin embargo, es importante resaltar que en la construcción de las herramientas, los desarrolladores realizan juicios de valor y asunciones sobre, por ejemplo, qué es la sostenibilidad, cuál es un nivel sostenible de producción, qué indicadores seleccionar y cómo medirlos, darles peso y combinarlos (Gasparatos, 2010). Es necesario tener presente la subjetividad de la que está cargada una herramienta de evaluación al momento de analizar su viabilidad, efectividad y adopción, ya que estas variables “intangibles” también pueden influir o condicionar la herramienta, más allá de lo estrictamente “técnico”.

De Olde et al. (2016), realizaron una revisión y análisis exhaustivo de las herramientas para la evaluación de la sostenibilidad, seleccionando luego cuatro herramientas para evaluarlas de forma práctica, utilizándolas para evaluar sistemas de producción. Las cuatro herramientas en las que se profundizó en ese trabajo se caracterizaron por la amplitud en cuanto a las áreas que permiten evaluar (las tres dimensiones de la sostenibilidad), su flexibilidad para ser utilizadas en distintos rubros de producción y que estaban

referidas en publicaciones científicas. Las herramientas evaluadas fueron: RISE (Response Inducing Sustainability Evaluation), SAFA (Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems), PG (Public Good tools) y IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles). Para la comparación de las herramientas se tomó en cuenta un criterio de clasificación que divide las herramientas en Rapid Sustainability Assessment (RSA) y Full Sustainability Assessment (FSA), en donde las RSA requieren una inversión de tiempo limitada y si bien son consideradas altamente transparentes, la precisión de la información obtenida suele ser menor. Las herramientas del grupo FSA, requieren de una mayor inversión de tiempo (semanas), la información obtenida se encuentra en general mayormente fundada científicamente. Son herramientas menos transparentes, más complejas y más precisas (Marchand et al., 2014). Según esta clasificación, de las cuatro herramientas RISE se ubicó en el medio entre las RSA y las FSA, IDEA y PG se consideraron RSA y la posición de SAFA en este continuo entre los dos extremos dependerá del enfoque elegido y la calidad de la información deseada.

Lo interesante a destacar de este estudio, es que luego de la evaluación “a campo” de las cuatro herramientas, los productores consideraron RISE como la herramienta más relevante, a pesar de requerir de mayor inversión de tiempo y ser menos transparente. Esto se debió en parte a que esta herramienta, que requirió de mayor contextualización, se adaptó mejor a la realidad de los predios en esa región, por lo que resultó más cercana y específica para los involucrados. Los resultados obtenidos a través de la misma fueron considerados más precisos, comprensibles y reconocibles. En este caso, puede concluirse que la especificidad de la herramienta utilizada, y su adaptación al medio local en el que se pretende utilizarla, parecen aspectos prioritarios para asegurar la aceptación de la herramienta por parte de los productores, actores centrales de la evaluación de la sostenibilidad en la agricultura. De la misma forma, al considerar qué cosas tener en cuenta para elaborar una herramienta que permita evaluar la sostenibilidad ambiental a nivel local, también puede tomarse en cuenta lo sucedido en los casos de IDEA y PG. Ambas herramientas poseían una naturaleza más subjetiva, en la que se denotaban algunos juicios de valor realizados por los desarrolladores como por ejemplo el supuesto de que la agricultura orgánica es más sostenible, lo que afectó negativamente la aceptación por parte de los productores. Cuando los juicios de valor implícitos en una herramienta no representan los de los productores, los resultados obtenidos pueden resultar irrelevantes y el conocimiento producido puede considerarse inútil. A partir de esto puede concluirse también, la importancia de generar herramientas que conjuguen los juicios de valor de los desarrolladores y de los productores, para asegurar su apropiación por parte de los últimos y por consiguiente, su utilidad para la

construcción de una agricultura más sostenible desde los sistemas de producción y no únicamente desde la academia y la producción científica.

Como ya se mencionó, son muchos los autores que señalan la necesidad de transformar la complejidad de la sostenibilidad a valores claros, objetivos y generales que permitan comprender verdaderamente el estado de la sostenibilidad de un agroecosistema. Esto se logra a través del uso de indicadores, pero resulta imposible generar un conjunto único de éstos que puedan utilizarse en todas las circunstancias ya que variarán dependiendo del objetivo planteado o las preguntas que se busquen responder. La elaboración o selección de un conjunto adecuado de indicadores permitiría al inicio de un proceso de evaluación, detectar los puntos críticos vinculados a la sostenibilidad que precisen abordarse para lograr el desarrollo sostenible, y posteriormente servirían para monitorear las acciones emprendidas y comprobar si han resultado en mejoras en la sostenibilidad de los sistemas (Flores y Sarandón, 2015).

Un marco metodológico para la construcción de indicadores y evaluación de la sostenibilidad muy difundido y utilizado por autores citados a lo largo de este trabajo (Sarandón y Flores 2009, Dogliotti et al. 2010, Flores y Sarandón 2015, De Olde et al. 2016) es el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS). Este marco se guía por algunos elementos generales:

- delimitación de los atributos básicos de un sistema de manejo de recursos sostenible como la productividad, estabilidad, resiliencia, adaptabilidad, confiabilidad, equidad y autodependencia.
- delimitación del objeto de estudio (objetivos y características del sistema, tiempo de evaluación).
- definición de criterios de diagnóstico e indicadores concretos relacionados con los atributos de sostenibilidad.
- medición y monitoreo de los indicadores
- análisis e integración de los resultados de la evaluación
- propuestas y recomendaciones para el sistema de manejo y de evaluación.

(Matera et al., 2000)

La forma de plantear los indicadores en relación a los atributos, el tipo de variables, áreas y características que pueden considerarse para evaluar la sostenibilidad pueden observarse, por ejemplo, en el esquema de indicadores genéricos para el área ambiental (figura 4) propuesto por el MESMIS (Matera et al., 2000)

ATRIBUTO	CRITERIO DE DIAGNÓSTICO	INDICADOR	MÉTODO DE MEDICIÓN
Productividad	Eficiencia	Rendimiento	Distribución de biomasa total según número de sistemas, arreglos y especies utilizadas Rendimientos por producto y subproducto
		Eficiencia energética	Unidad de producto por unidad de insumo crítico Salidas energéticas / Entradas energéticas
Estabilidad; resiliencia; confiabilidad	Diversidad en el tiempo y en el espacio	Evolución y variación de rendimientos	Tendencia y coeficiente de variación de rendimientos
		Patrón de uso del suelo	Tasa de cambio de uso del suelo
		Índice de diversidad	Número de especies manejadas, Índice de Shannon
		Índice de complementariedad	Relaciones insumo-producto entre los sistemas de la unidad de producción
	Conservación de recursos	Calidad de suelo y agua	Porcentaje de materia orgánica; estabilidad de agregados; niveles de agroquímicos en el agua y suelos
		Degradación de suelos	Tasa de infiltración del agua en el suelo, compactación, erosión (tipos, nivel y porcentaje)
Fragilidad del sistema	Incidencia de plagas, enfermedades y siniestros	Evolución de daños por plagas, granizo, heladas, etc. Frecuencia de ocurrencia de siniestros	
Autogestión	Autosuficiencia	Subsidio energético	Entradas de energía fósil / Salidas de energía en producto
		Grado de dependencia externa	Insumos externos / Unidad de producto Proporción de necesidades básicas cubiertas con la producción propia

Figura No. 4. Indicadores de sostenibilidad genéricos, con especial énfasis en el área ambiental

Fuente: tomado de Masera et al. (2000).

Utilizando como base este marco, para evaluar la sostenibilidad de predios hortícolas familiares en Argentina, Flores y Sarandón (2015), seleccionaron para cada dimensión, categorías de análisis y descriptores y se construyó un conjunto de indicadores para evaluar la presión que ejercían algunas prácticas de manejo sobre las categorías de análisis seleccionadas. Con los resultados de los distintos ensayos lograron reconocer las tecnologías apropiadas para la resolución de los problemas que fueron aplicadas, avanzando en el proceso de reconversión agroecológica, que constituía un objetivo del trabajo. Estas mismas observaciones sirvieron de insumo para planificar las siguientes etapas y modificar las herramientas utilizadas, en caso de ser necesario. La dinámica de trabajo utilizada por los autores deja en claro, de forma similar a lo planteado por Marchand et al. (2014), De Olde et al. (2016), que para realizar una evaluación efectiva de los sistemas, no solo es necesario definir de forma clara las áreas a trabajar y los indicadores, sino también efectuar una evaluación continua del método de trabajo y los

indicadores utilizados para ajustarlos a la realidad del lugar en el que se busca desarrollar la evaluación. En el mismo sentido, según Masera et al. (2000), el MESMIS no consiste solamente en la caracterización de los sistemas y la adjudicación de un nivel de sostenibilidad, sino que tiene un carácter cíclico que contempla la retroalimentación a partir de la información obtenida, la planificación de los cambios o modificaciones que deben hacerse para avanzar hacia mayor sostenibilidad y la consiguiente evaluación, luego de incorporados los cambios.

2.4. PRODUCCIÓN HORTÍCOLA Y SOSTENIBILIDAD EN URUGUAY

2.4.1. Marcos regulatorios, planes e investigación en la búsqueda de sistemas de producción más sostenibles

En Uruguay se han desarrollado varias herramientas y recomendaciones con el objetivo de promover sistemas de producción más sostenibles. Existen actualmente marcos regulatorios y planes impartidos desde los organismos estatales con el fin de promoverlos. Estas normativas se encuentran enmarcadas también por un contexto internacional que se enfoca cada vez más en profundizar, exigir y garantizar la búsqueda de alternativas para promover la agricultura sostenible. Además, existen en Uruguay, varios antecedentes de investigación sobre prácticas que mitigan los impactos ambientales o colaboran a conservar los recursos, generadas para las condiciones locales, al igual que investigación que permite caracterizar a los sistemas de producción, y específicamente los dedicados principalmente a la horticultura, y las dificultades principales que enfrentan para transitar hacia una producción más sostenible. Se presentan algunos ejemplos a continuación.

2.4.1.1. Marco legal nacional y normativas internacionales que promueven la agricultura sostenible

En Uruguay pueden destacarse particularmente el decreto 557/008 del 17 de noviembre de 2008, por el que se crea el sistema nacional de certificación de la producción orgánica, a partir del mandato legislativo que figura en el artículo 215 de la ley 17.296 que llama al Poder Ejecutivo a reglamentar la certificación de productos agrícolas orgánicos y/o provenientes de sistemas de producción de agricultura integrada, y la ley 19.717 que establece la elaboración del plan nacional para el fomento de la producción con bases agroecológicas, aprobada recientemente, a inicios del 2019.

Deben tenerse en cuenta, también, las herramientas normativas internacionales vigentes, que proporcionan un marco general para la elaboración de políticas para la construcción de sistemas de producción más sostenible (FAO, 2015):

- Convenio sobre seguridad y salud en la agricultura. OIT, adoptado en 2001, en vigor desde 2003
- Convenio sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo, adoptado en 1990, en vigor desde 1993
- Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo, proclamada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo en 1992
- Programa 21 – programa de acción mundial para el desarrollo sostenible, capítulo 14 (fomento de la agricultura y del desarrollo rural sostenibles) y capítulo 19 (gestión ecológicamente racional de los productos químicos tóxicos, incluida la prevención del tráfico internacional ilícito de productos tóxicos y peligrosos), adoptado en 1992
- Convenio sobre la diversidad biológica, adoptado en 1992, en vigor desde 1993
- Declaración de Roma sobre la seguridad alimentaria mundial y Plan de acción de la cumbre mundial sobre la alimentación, adoptados en 1996
- Declaración mundial de la salud y la salud para todos en el siglo XXI, adoptados en 1998
- Enfoque estratégico para la gestión de productos químicos a nivel internacional, adoptado por la Conferencia internacional sobre gestión de sustancias químicas
- Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA).

2.4.1.2. Plan de buenas prácticas agrícolas

Se le encomendó a MGAP. DIGEGRA en 2012 la elaboración y promoción de un Plan de buenas prácticas agrícolas, con el objetivo de mejorar la calidad y competitividad en el mercado nacional e internacional de los productos de origen granjero, amparándose en el decreto 480 de la ley 18.827 del Fondo de Fomento de la Granja). En 2014 fue elaborada la guía de buenas prácticas agrícolas para la producción de frutas y hortalizas frescas en Uruguay. Al mismo tiempo, se encomendó a MGAP. DIGEGRA la elaboración de un plan de exigencia gradual de aplicación de la guía, dirigido a los productores hortofrutícolas nacionales (MGAP. DIGEGRA, 2014).

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) son un conjunto de principios normas y recomendaciones técnicas que aplican a los procesos de producción, procesamiento y transporte de los alimentos. Los objetivos de las mismas son asegurar la protección de la higiene, la salud humana y el ambiente utilizando métodos que sean seguros desde el punto de vista ecológico, higiénicos y económicamente factibles. La producción debe llevarse a cabo protegiendo el ambiente, conservando los recursos naturales y la biodiversidad. Además, se

busca minimizar el riesgo de que las frutas y hortalizas se contaminen durante la producción, asegurando el bienestar y la seguridad de las familias productoras y los trabajadores.

En esta guía se plantean obligaciones, que refieren a prácticas contempladas en la reglamentación vigente, y recomendaciones que incluyen prácticas y acciones voluntarias que resultan imprescindibles para lograr los objetivos planteados.

En cuanto a las prácticas y acciones vinculadas a la producción se destacan algunas a continuación.

Para el manejo de suelos y aguas, como criterio general, se deben aplicar prácticas de manejo que mejoren la disponibilidad de agua, nutrientes, materia orgánica y aire en el suelo para maximizar su capacidad productiva. Además se deben aplicar medidas preventivas para evitar la degradación y erosión.

Algunas medidas se relacionan, por ejemplo, con la sistematización de los cuadros. Se debe evitar que los sistemas de drenaje conduzcan el agua de escurrimiento a velocidades erosivas, además de facilitar su salida de los canchales a los caminos secundarios. También debe considerarse que el nivel de la pendiente de las filas se encuentre en función del grado de infiltración de agua en el suelo. Entre las recomendaciones se destacan mantener los caminos empastados y hacer caminos secundarios rebajados que faciliten la salida de agua hacia los desagües naturales.

En cuanto a la cobertura de los suelos, entre las obligaciones, no se debe roturar, quemar con fuego, ni usar herbicidas no selectivos en caminos y otro tipo de desagües que encaucen agua de escurrimiento. En este sentido se recomienda, entre otras cosas, utilizar abonos verdes y mantener un nivel adecuado de materia orgánica por la incorporación de los mismos o de enmiendas (cama de pollo, estiércol, compost, etc.).

Al momento de decidir la fertilización, la guía recomienda realizar un análisis químico previo a la instalación de los cultivos para ajustar la dosis de fertilizante. Particularmente, en cuanto a los fertilizantes químicos, se recomienda evitar el uso excesivo de los nitrogenados. Esto responde a que, más allá del impacto ambiental ya mencionado, el exceso de nitrógeno estimula el crecimiento vegetativo lo que puede volver al cultivo más susceptible al ataque de plagas y enfermedades y en cultivos de hoja, especialmente, puede provocar toxicidad por nitratos en el producto final. Para aquellos predios que se encuentran dentro de la denominada zona A de la cuenca del Río Santa Lucía, existen además reglamentaciones que controlan la aplicación de nutrientes y pesticidas en conjunto con la exigencia de presentar los “Planes de uso, manejo y conservación de suelos” ante el MGAP. Por ejemplo, para el caso del fósforo,

debe fertilizarse en base a los resultados de los análisis de suelos y mantener las concentraciones debajo de 31 ppm de fósforo Bray.

Para el uso de abono orgánico se recomienda utilizar abono compostado. Para el estiércol que se utilice para la elaboración de humus la guía recomienda apilarlo para que fermente y se asegure la eliminación de microorganismos patógenos y semillas de malezas. Por otro lado para favorecer la captación de nutrientes y evitar pérdidas por lixiviación y volatilización es conveniente incorporar el abono junto con los restos más ricos en carbono que pueden ser abonos verdes, restos de cosecha o vegetación natural. Esto colabora a disminuir la potencial contaminación ambiental. Vinculado a la sanidad de los cultivos, la recomendación es evitar el contacto del abono orgánico con las frutas y hortalizas próximas a la cosecha.

En cuanto al control de malezas, también se recomienda integrar abonos verdes en la rotación de cultivos y realizar solarización y biofumigación. Se recomienda, además realizar el control de malezas y su floración en los alrededores del cultivo en una faja de al menos 20 metros utilizando control mecánico (azada, pastera, etc.).

Vinculado a las plagas y enfermedades, el control debe realizarse en el marco de un plan de manejo integrado de plagas. Se recomienda efectuar un adecuado monitoreo de plagas y enfermedades, registrándolo y determinando los umbrales de intervención correspondientes. En coherencia con esto, no se recomienda realizar aplicaciones químicas de tipo calendario. Al momento de realizar una aplicación química, considerar las condiciones ambientales, y si estas son adecuadas para realizarla. Además de este tipo de producto, se recomienda incluir métodos no químicos para el control, como la solarización de los suelos, las cortinas vivas, las mallas anti-insectos, entre otras. Como otras medidas de manejo cultural se sugiere realizar rotaciones y no plantar cultivos de la misma familia en el mismo cuadro por más de dos años.

2.4.1.3. Manejo integrado de plagas (MIP)

La FAO define que para el manejo integrado de plagas deben considerarse cuidadosamente todas las técnicas disponibles para combatir las plagas, además de integrar al manejo medidas apropiadas que disminuyen el desarrollo de poblaciones de plagas y mantienen el empleo de plaguicidas y otras intervenciones a niveles económicamente justificados. Esto tiene, además, la importante función de disminuir al mínimo los riesgos para la salud humana, la salud animal o el medio ambiente. A través del MIP se fomenta el crecimiento de cultivos sanos, intentando perturbar lo menos posible los ecosistemas agrícolas y fomentando los mecanismos naturales de control de plagas (FAO, 2015).

En Uruguay existen múltiples trabajos acerca del MIP, las técnicas y herramientas que deben incluirse y las formas de implementarlo.

En el caso de la producción hortícola, un ejemplo es el proyecto FPTA 344 (MGAP. DIGEGRA et al., 2018), en el que se buscó capacitar a los productores en el uso de controladores biológicos y otras herramientas alternativas al control químico. La producción de los agentes de control biológico fue realizada de manera regional en SFR Los Arenales y cooperativa Punto Verde. Esto cumple además con el objetivo de volver la provisión de este tipo de insumos alternativos, por lo menos parcialmente, soberana e independiente en términos regionales, como plantean Altieri et al. (1997). A partir del proyecto, se capacitó a los participantes en el monitoreo de plagas y enfermedades, que constituye una forma de disminuir las aplicaciones químicas a lo racionalmente necesario respondiendo a la observación del cultivo. Además se fomentó la disminución en el uso de productos con principios activos de amplio espectro a cambio de productos de mayor especificidad que configuren menor riesgo para los enemigos naturales.

En el marco de un proyecto de FAO en Uruguay (GCP/URU/031/GFF-Fortalecimiento de las capacidades para la gestión ambientalmente adecuada de plaguicidas, Galván et al., 2018), se realizó para la cuenca del Santa Lucía la “Evaluación de agentes de control biológico en sistemas de producción de tomate en invernadero”. Para la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), plaga de importancia para el cultivo de tomate, se evaluó la introducción de enemigos naturales como los parasitoides *Encarsia formosa* y *Eretmocerus mundus* y el depredador *Orius laevigatus* (también muy eficiente en el control de trips). En el proyecto se evaluó también la influencia del entorno de los invernaderos para la aparición de enemigos naturales y mosca blanca. Se concluyó que cuando el entorno poseía vegetación de alta riqueza la presencia de enemigos naturales superaba ampliamente la de la mosca blanca. En el caso de un entorno con vegetación de baja riqueza la mosca blanca superaba a los enemigos naturales.

En la misma línea, proyectos e investigación llevadas adelante por el INIA en conjunto con LAGE y Cía S.A, permitieron la incorporación de otra herramienta para el control biológico de la mosca blanca: hongos entomopatógenos (*Lecanicillium lecanii*) eficientes tanto en el control de larvas como de adultos de la plaga (Paullier y Folch, 2012).

2.4.1.4. Normas para la Producción Integrada (PI) de tomate bajo invernáculo

Para el cultivo de tomate bajo invernáculo específicamente, como para otros cultivos hortícolas importantes, fueron elaboradas por FAGRO, INIA y MGAP. DIGEGRA normas de producción integradas, que se actualizan con cierta regularidad en base a las normas originales. La última actualización disponible es del año 2018. Además es interesante destacar que se encuentran diferenciadas para la zona Norte y Sur (MGAP. DIGEGRA et al. 2007, 2018).

Las normas consisten en un conjunto de especificaciones y recomendaciones técnicas que fueron consensuadas entre técnicos y productores desde 1997, cuando inició el programa. En el documento para cada cultivo, se recopilan todos los aspectos técnicos para realizar la producción, además de aspectos de manejo de los recursos naturales y organización del predio. La producción integrada como modelo de producción tiene como pilares básicos la seguridad alimentaria, la conservación de los recursos naturales, la protección de los operarios y la rentabilidad. Si bien guarda similitudes con las funciones de la guía de BPA, según la guía, ésta última constituye la base sobre la que se asienten los sistemas de producción, entre ellos, el de producción integrada.

El cumplimiento de la totalidad, o la mayor parte de las normas estipuladas en el documento (los requerimientos se establecen para cada aspecto) habilita a la certificación de la producción, aunque las mismas constituyen un paquete de prácticas y recomendaciones para la producción que pueden utilizarse independientemente de la certificación.

Algunas de las obligaciones y recomendaciones planteadas por la PI se mencionan a continuación.

- Para la rotación de cultivos, como recomendaciones generales, se sugiere la rotación con cultivos de familias botánicas diferentes, la realización de abonos verdes, al menos cada 2 años, de verano (sorgo, maíz, moha) y de invierno (avena, avena negra, triticale) y el picado y enterrado de los mismos por lo menos 40 días previo a la instalación del cultivo. Además se recomienda no repetir cultivos por más de un ciclo consecutivo. En caso de constatar problemas sanitarios con patógenos del suelo se plantea como obligatorio rotar con especies no solanáceas, utilizar cultivares resistentes al patógeno y la solarización.
- Para la preparación del suelo, que debe realizarse por lo menos 15 días antes del trasplante, se recomienda utilizar herramientas de laboreo vertical y evitar la utilización de arados de reja y de disco.

- En cuanto a la fertilización, es obligatorio realizar análisis de suelo cada 2 años, no fertilizar de base con fósforo si las cantidades en el análisis de suelo superan las 100 ppm, y en caso de utilizar abono orgánico aplicarlo 30 días antes del trasplante. En caso de agregar estiércol en la fertilización de base, se recomienda que los aportes no superen las 5 ton/ha. Además el material debe estar totalmente fermentado (mínimo 6 meses) y aplicarse antes de levantar los canteros.
- La eliminación de malezas debe realizarse previo a la instalación del cultivo y de utilizarse herbicidas, únicamente está permitido el glifosato. Durante el cultivo, deben mantenerse controladas las malezas dentro del invernáculo mediante mulch o carpidas.
- Para el manejo sanitario, las recomendaciones técnicas deben realizarse en base al registro semanal del monitoreo de plagas y enfermedades. Deben utilizarse productos selectivos que no perjudiquen a la entomofauna benéfica, priorizando el uso de agentes de control biológico o productos alternativos al el control químico. Por otro lado, de constatarse problemas de murchera (*Ralstonia solanacearum*) en el invernáculo, no podrán plantarse tomate u otras solanáceas por tres años en ese invernáculo.
- En cuanto a las recomendaciones sanitarias, se sugiere el uso preventivo de oxiclورو de cobre, caldo bordelés o yodo luego del desbrotado, deshojado o heridas. Al realizar tareas de conducción o poda es recomendado lavarse las manos y desinfectar herramientas al finalizar cada fila. Para realizar las tareas en los cultivos es conveniente trabajar por último con los cultivos más viejos o los que presenten peores problemas sanitarios. De utilizar productos químicos, se recomienda alternar productos con diferentes grupos químicos para mejorar el control y evitar la generación de resistencia.

2.4.1.5. Investigación y manejos específicos asociados a la conservación y mejora del suelo

Una práctica muy relevante asociada a la mejora y la conservación del suelo, como fue mencionado previamente, es el uso de cultivos de cobertura o de servicio. En términos generales estos cultivos son descriptos como plantas herbáceas que se utilizan alternadamente con los cultivos comerciales, en los períodos de barbecho para promover un microclima de suelo favorable, minimizar la erosión, controlar malezas y mejorar la fertilidad natural del suelo. Específicamente, pueden distinguirse dentro de este gran grupo los abonos verdes, que son cultivos de cobertura utilizados para enmendar el suelo y oficiar de fuente de nutrientes para cultivos posteriores y los “mulch vivos” que crecen, en cambio, en simultáneo con los cultivos comerciales con el fin de proveer de

una capa o mantillo durante toda la temporada (Scholberg et al., 2010). Según expresan estos autores, históricamente los cultivos de cobertura han sido eficientes en cerrar los ciclos de nutrientes y se consideraban una parte integral de los sistemas de producción. Durante la segunda mitad del siglo XX, con la Revolución Verde, se provocó el desacoplamiento de los ciclos de carbono y nitrógeno. Como característica de esta modificación en el modelo de producción, como ya fue mencionado, se incrementó fuertemente el uso de fertilizantes de fuentes inorgánicas debido a que ofrecen una fuente de nutrientes concentrada y diseñada a medida del sistema y se desestimuló, por lo tanto, el uso de cultivos de cobertura.

Los abonos verdes tienen un efecto positivo sobre la recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, colaboran con el control de enfermedades, plagas y malezas, evita la erosión y el escurrimiento, y desde un punto de vista energético disminuyen el uso de combustibles fósiles, entre otros beneficios. Generalmente las especies se clasifican en abonos verdes de verano e invierno. El primer grupo incluye cultivos como el sorgo, moha, maíz, girasol y poroto y el segundo grupo está integrado por cultivos como la avena, trigo, cebada, triticale, raigrás, trébol rojo, vicia villosa, nabo forrajero, entre otros. Algunos de estos pueden combinarse para mejorar los efectos positivos en el suelo, dependiendo de las características que aporte cada planta. Se ha comprobado que la complementariedad puede mejorar el control de malezas y la cobertura, mejorar la calidad del residuo producido en términos de relaciones de C:N y velocidad de descomposición, y mejorar el reciclado de nutrientes, especialmente al combinar especies con diferente desarrollo radicular, entre otros beneficios (Gilsanz, 2012).

Otra práctica recomendada para mejorar la sanidad del suelo a través del control de plagas, enfermedades y malezas es la solarización (INIA, 2018). Esta práctica consiste en la cobertura hermética del suelo húmedo con nylon, durante un tiempo determinado, dando lugar a un proceso hidrotérmico por el que la acumulación de temperatura elimina semillas de malezas, estructuras de propagación de hongos (como los esclerotos), nematodos, insectos en diferentes estadios (larvas, huevos), entre otros. Esta práctica debe realizarse durante los meses más cálidos del año (mediados de diciembre a febrero) y el tiempo por el que deba mantenerse cubierto para conseguir el efecto deseado depende del momento en el que se realice. En enero por ejemplo, una solarización de 20 días de duración proporciona la desinfección esperada.

Los factores más importantes a considerar para implementar correctamente esta práctica están vinculados a la cantidad de radiación, por lo que es deseable realizarla en fechas donde ésta sea mayor (verano), la

humedad del suelo, que incrementa la sensibilidad térmica de los organismos objetivo y mejora la conductividad térmica del suelo. Además, las características del material de cobertura, que debe ser transparente para permitir el pasaje de luz y la germinación, además de ser resistente. El ancho de los canteros (80-90 cm), cuanto más ancho menor será el efecto de la práctica, y su orientación norte-sur preferentemente. Por último, debe considerarse que la temperatura alcanzada disminuye en profundidad, y el mayor efecto se da en la capa superior del suelo, por lo que no debe laborearse el mismo luego de solarizado (Arboleya, 2018).

Por otro lado, en cuanto a trabajos de investigación, es interesante mencionar el realizado por Alliaume et al. (2014) relacionado a la mejora y conservación de suelos utilizados para la horticultura en el Sur de Uruguay. Se comprobó que el laboreo reducido con cobertura contribuye a conservar el agua en el suelo y disminuir el riesgo de erosión y el escurrimiento y aumentar la capacidad de retención de agua en suelos degradados. Se constató que el laboreo reducido combinado con mulch orgánico para el cultivo en camellones resulta una buena alternativa para mejorar la infiltración y disminuir el escurrimiento, especialmente en el caso de productores de pequeña escala, que no podrían incluir rotaciones con pasturas en su esquema de manejo. En este trabajo se destaca también la necesidad de generar alternativas de manejo que colaboren a disminuir el uso excesivo de abono de pollo que puede implicar impactos ambientales negativos, entre otras cosas por las altas concentraciones de algunos elementos como el fósforo.

2.4.1.6. Proyectos de investigación y diagnóstico de la sostenibilidad de los predios hortícolas

Además de las recomendaciones técnicas y herramientas desarrolladas, es necesario conocer efectivamente la realidad de los predios hortícolas en Uruguay. Un ejemplo de esto lo constituye el proyecto FPTA 209: Diseño, implementación y evaluación de sistemas de producción intensivos sostenibles en la zona Sur del Uruguay (Dogliotti et al., 2010). En este proyecto se trabajó con 16 predios hortícolas y hortícola-ganaderos de Canelones y Montevideo en la evaluación y desarrollo de sistemas más sostenibles, a través de la co-innovación y el rediseño de los predios. A raíz de esta evaluación, se identificó que los tres problemas centrales que afectaban la sostenibilidad eran el bajo ingreso familiar, la carga de trabajo excesiva y el deterioro de la calidad del suelo. Este último problema, además de constituir una dificultad desde el punto de vista ambiental y de la conservación de los recursos naturales, es causante de la baja productividad y los bajos ingresos percibidos por las familias. Los puntos débiles más importantes estuvieron vinculados a la muy

baja eficiencia productiva y económica de los sistemas y al deterioro de los recursos naturales.

Para la evaluación de la sostenibilidad se utilizó como herramienta el MESMIS, mencionado previamente en la revisión, y los criterios de diagnóstico se definieron en base a cuatro atributos de la sostenibilidad: productividad, que representa la capacidad de producir los bienes necesarios para cumplir determinados objetivos o metas, la estabilidad que refleja la existencia, y nivel, de retroalimentaciones negativas o positivas que lleven al deterioro o mejoramiento de la productividad, la adaptabilidad, resiliencia y confiabilidad entendidas como la capacidad de soportar y adaptarse a distintos cambios provenientes del ambiente, y la autogestión y autodependencia que representa la capacidad del sistema para regular o controlar sus interacciones con el exterior.

A partir de esta evaluación pudieron definirse los puntos críticos. En la mayor parte de los casos se constató una baja eficiencia productiva, con rendimientos de los principales cultivos hortícolas más bajos a los alcanzables para las condiciones de producción del sur del país. En los 16 predios evaluados se detectaron evidencias de deterioro significativo de la calidad del suelo debido a altas tasas de erosión y/o balances negativos de materia orgánica. La caracterización mostró, desde el punto de vista ambiental, que las fuentes de agua utilizadas presentaban frecuentemente problemas de potabilidad por la presencia de coliformes fecales y exceso de nitratos y posible riesgo de eutrofización. Por otra parte, la calidad del suelo se vio muy deteriorada, evidenciándose pérdidas de estructura, permeabilidad y capacidad de suministro de agua a los cultivos. Esto se debió principalmente al alto riesgo de erosión asociado a un manejo inadecuado que involucraba alta intensidad de uso del suelo, bajos aportes de materia orgánica, baja cobertura del suelo a lo largo del año y problemas graves de sistematización del terreno.

Este proyecto guarda especial importancia como antecedente, debido a que la zona de trabajo del mismo coincide con la del presente trabajo. Además, algunos de los aspectos evaluados también serán tenidos en cuenta en esta caracterización y análisis, por lo que configura una base de datos que habilita la comparación “temporal” de la situación de los predios hortícolas en el Sur del país, desde el punto de vista de las tecnologías y herramientas adoptadas y el estado de los recursos.

Dentro del atributo estabilidad, para evaluar el punto crítico vinculado al deterioro de la calidad física, química y biológica del suelo, se utilizaron los indicadores de balance anual estimado de materia orgánica del suelo, tasa

anual de erosión promedio estimada y deterioro del contenido de carbono orgánico del suelo respecto al contenido original. Para la productividad, y teniendo en cuenta que un punto crítico eran los bajos rendimientos de los cultivos principales se tomó como indicador el rendimiento comercial por hectárea de los cultivos principales (y el rendimiento de carne por hectárea en el caso de la ganadería). Para los atributos de confiabilidad, resiliencia y adaptabilidad se utilizó como uno de los indicadores la diversidad de cultivos en base al área cultivada.

2.4.2. Caracterización de la zona Sur de producción y de los sistemas de producción de tomate en invernáculo

En Uruguay, según MGAP. DIEA, en los años 2014/2015 (cuando se relevaron los datos utilizados en este estudio) existían 2523 productores hortícolas declarados, de los cuales 2015 se encontraban en la zona sur y 508 en la zona norte. De las 9954 hectáreas de horticultura totales, el sur concentraba 7407 ha y 58% de la producción, en Canelones, Montevideo y San José. De los productores de la zona sur 1826 producían a campo y 431 de forma protegida, categoría en la que se encuentran los productores analizados en este estudio.

Según MGAP. DIEA (2015), se registraron 289 productores de tomate de mesa bajo la modalidad de cultivo protegido en la zona sur que ocupaban una superficie de 75 ha con una producción de 7970 toneladas y un rendimiento promedio de 10,6 kg de tomate/m². Es importante destacar que la producción de tomate en invernáculo se concentra en mayor medida en la zona norte con una cantidad de productores muy similar (219) pero con una superficie mayor, de 196 hectáreas, una producción de 26195 toneladas y un rendimiento promedio de 13,4 kg de tomate/m².

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ESTRATEGIA GENERAL

El trabajo se dividió en tres etapas (figura 5). En una primera etapa se trabajó sobre una base de datos generada en un proyecto anterior (Berrueta et al., 2019), de 109 cultivos de tomate evaluados en 23 predios representativos de la zona Sur del Uruguay. Se definieron y aplicaron indicadores para evaluar la sostenibilidad ambiental y económico-productiva del cultivo definiendo tres áreas: uso de pesticidas, estado y manejo del suelo y productividad. Posteriormente, en la segunda etapa, se construyó un índice integrador de los indicadores definidos, a partir del cual, considerando los datos de todos los cultivos de tomate evaluados en cada predio, se identificaron predios con distintos niveles de sostenibilidad ambiental. En la tercera etapa se tomaron tres predios pertenecientes al grupo con valores más altos en el índice construido, y se profundizó en su estudio a nivel predial, buscando ver la relación entre el resultado a nivel del cultivo estudiado en primera instancia, el resultado a nivel predial y la lógica de gestión del predio.

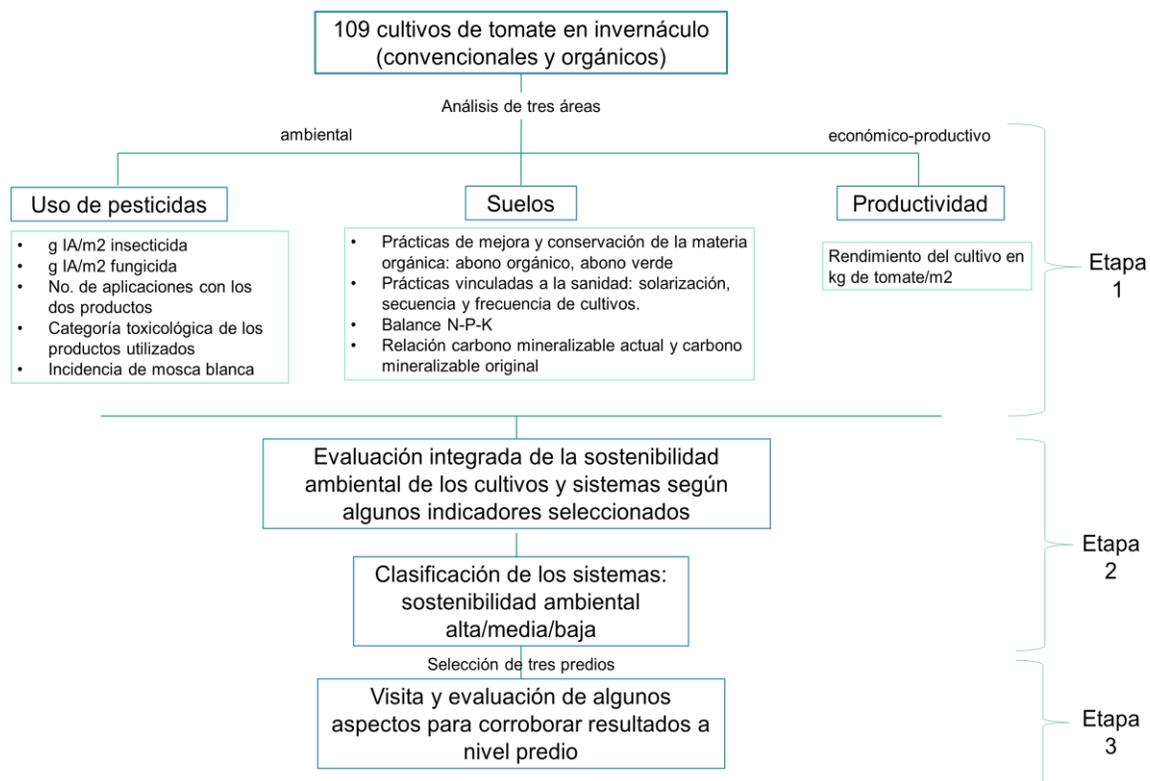


Figura No. 5. Esquema representativo de la estrategia de trabajo

3.1.1. Enfoque adoptado para el análisis de la sostenibilidad

Para realizar este trabajo, se adoptó un enfoque que comprendió particularmente el aspecto ambiental de la sostenibilidad. Esta decisión estuvo basada en el énfasis que se le quería otorgar al análisis, en conjunción con la disponibilidad y tipo de datos con los que se contaba. Las herramientas utilizadas para el análisis surgieron de la modificación y adaptación de algunas de las ideas presentadas en la revisión bibliográfica. Lo presentado en la revisión, permitió concluir que para la adecuada evaluación de los sistemas de producción hortícolas en Uruguay, era necesario realizar una evaluación del estado del recurso suelo, y las prácticas de manejo, particularmente las asociadas a la conservación y mejora del mismo, o aquellas que pudieran tener impacto negativo sobre el ambiente (por ejemplo, exceso de fertilización con nitrógeno). Además, que debían incluirse indicadores que reflejaran el manejo sanitario de los cultivos, el control de plagas y la utilización de pesticidas con este fin, y la diversidad de cultivos en el sistema de producción, que se correspondieron con los atributos de estabilidad, resiliencia y adaptabilidad. Estos indicadores ofrecieron un panorama más completo de los mecanismos de control de plagas presentes en el predio y la complejidad de los agroecosistemas, en cuanto a la biodiversidad que los componen. Algunos indicadores utilizados ya fueron propuestos y evaluados por proyectos de investigación a nivel nacional y constituyeron antecedentes de gran importancia, teniendo en cuenta debía considerarse que los mismos fueran elaborados o seleccionados en función de la realidad local y de los productores, para que los resultados fueran más representativos, y aceptados por los actores involucrados. Por último, el conjunto de indicadores debía cumplir con los objetivos planteados de caracterizar la producción en cuanto a la sostenibilidad desde el punto de vista ambiental.

El marco de evaluación, se construyó a partir de los datos recolectados, por lo que la comparación se realizó entre sistemas, pero se tomó además la referencia definida en base a los antecedentes y publicaciones que discuten cuáles son las prácticas más deseables para alcanzar mayor sostenibilidad. Aquellos sistemas que resultaron “más sostenibles” son aquellos que combinaron la mayor cantidad de prácticas o características consideradas positivas para este foco de análisis y a su vez fueron “mejores” que los otros predios evaluados, para estos aspectos. Esto se relacionó con lo planteado por Sarandón (2002b), ya que se combinaron las dos formas de evaluación sugeridas, existiendo un determinado valor de referencia teórico, y un ejercicio comparativo. En cuanto a la comparación retrospectiva o prospectiva, en el análisis se utilizaron ambas. Por un lado, los datos relevados permitieron preguntarse y analizar lo que pasó, por lo tanto hubo un elemento de análisis vinculado al pasado. Por otro lado, la tercera etapa de visita a los predios implicó agregar información del presente, además de las visiones y planes a

futuro de los productores, lo que permitió predecir, en parte, una trayectoria de estos sistemas de aquí hacia el futuro.

3.2. ZONA DE ESTUDIO Y BASE DE DATOS

El área de estudio estuvo localizada en la zona donde se concentra la producción hortícola del Sur del Uruguay, en Canelones, Montevideo y San José (entre las latitudes 34°20'S y 34°40'S y las longitudes 55°41'W y 56°38'W). La temperatura media promedio en esta zona es de 17°C con una mínima de 11°C y una máxima de 23°C. En cuanto a las precipitaciones, el promedio anual es de 1200 mm y se distribuye equitativamente a lo largo del año (Castaño et al., 2011).

Para la primer etapa de análisis se utilizó una base de datos generada en el marco del proyecto "Brechas de rendimiento - FPTA 288: tomate bajo invernadero en la zona Sur" (Berrueta et al., 2019). La base de datos fue generada estudiando una muestra representativa de 23 predios familiares donde se evaluaron 109 cultivos de tomate en invernáculo, durante dos zafas de cultivos (años 2014/2015 y 2015/2016). La muestra de predios fue definida en función de una tipología de predios hortícolas de productores de tomate de la región (considerando el área de tomate, nivel de rendimiento y ubicación), y el tamaño de la muestra fue del 10% de la población de los productores de tomate en invernáculo de la región en el año 2013 (cuando inició el proyecto), según MGAP. DIEA (2014). En cada predio entre uno y tres cultivos fueron monitoreados y evaluados cada año, durante las dos zafas de cultivos. En cada cultivo se evaluó el crecimiento y desarrollo, las prácticas de manejo, calidad de suelo y agua, y el rendimiento.

Los datos relevados pertenecían a cultivos de distinta duración y desarrollados en distintas épocas del año. Para el presente estudio se dividieron los ciclos de tomate en 4 tipos de acuerdo al largo y época del ciclo (cuadro 1). Fueron considerados ciclos cortos aquellos que duraron menos de 200 días. Dentro de esta primera división, los ciclos que se trasplantaron entre julio y diciembre fueron denominados ciclos de primavera-verano, y los trasplantados entre enero y febrero ciclos de otoño. Los ciclos que duraron más de 200 días fueron considerados ciclos largos. Los instalados entre agosto y diciembre fueron considerados largos y los trasplantados entre enero y marzo se denominaron largos invernales.

Cuadro No. 1. Determinación de los ciclos de cultivo de acuerdo a su duración y época

	Largo del ciclo (No. de días)	Fecha de trasplante	Denominación del ciclo
Corto	≤ 200	jul. – dic.	Corto primavera-verano
	≤ 200	ene. – feb.	Corto otoño
Largo	> 200	ago. – dic.	Largo
	> 200	ene. – mar.	Largo invernal

3.3. ÁREAS DE EVALUACIÓN E INDICADORES ANALIZADOS

3.3.1. Productividad

Considerando que para describir esta variable debe reflejarse el nivel de eficiencia logrado con una determinada combinación de factores (recursos naturales y humanos), se seleccionó el rendimiento del cultivo (kg de tomate total cosechado por unidad de superficie, kg/m²) como forma de estimar el desempeño productivo de los cultivos.

3.3.2. Uso de pesticidas para el control de plagas y enfermedades

Para el cálculo de los indicadores relacionados al uso de pesticidas en los cultivos se consideraron todas las aplicaciones de fungicidas e insecticidas realizadas durante el ciclo de cultivo. No se consideraron herbicidas, dado que por el sistema de manejo del cultivo (mulch de nylon en la mayoría de los casos) no es un pesticida de uso frecuente. Las aplicaciones fueron realizadas principalmente con pulverizadoras de enganche de tres puntos y punteros, nebulizadoras o pulverizadoras de mochila, y en algunos casos mediante riego a la base de las plantas.

Los indicadores seleccionados para evaluar el uso de pesticidas fueron:

- la cantidad de insecticida y fungicida por unidad de superficie (en g IA/m²)
- la cantidad de insecticidas y fungicidas (en g IA/m²) por categoría toxicológica
- el número de aplicaciones de insecticidas y fungicidas

Además, se consideró la incidencia de mosca blanca para evaluar si existía relación entre el uso de insecticidas y la aparición de esta plaga.

3.3.2.1. Cantidad de insecticida y fungicida utilizados para el manejo sanitario del cultivo por unidad de superficie

Todos los registros de aplicaciones se convirtieron a unidades de gramos de ingrediente activo por unidad de superficie (g IA/m²). Para esto se utilizó la información brindada por los productores durante el seguimiento del cultivo en relación a todas las aplicaciones realizadas: nombre de producto comercial, dosis aplicada y concentraciones de ingrediente activo de cada formulado comercial.

La información de los productos químicos utilizados fue extraída de las Guías SATA (varias ediciones) y de las etiquetas oficiales de los productos cuando los mismos no se encontraban en la guía. No fueron tenidos en cuenta para el cálculo los productos estimuladores del crecimiento, que pueden tener acción preventiva para enfermedades o plagas, agentes de control biológico, a base de bacterias u hongos entomopatógenos, o productos alternativos que no tienen efecto insecticida o acaricida con efecto similar a los pesticidas de síntesis química (ejemplo: leche y suero). Esto implica que en casos donde el indicador tenga un valor cercano a cero no se traduce directamente como ausencia de uso de productos sino que el manejo sanitario puede estar basado en productos alternativos.

3.3.2.2. Número de aplicaciones

Es la cantidad de veces que se realizaban intervenciones con pesticidas durante el ciclo de cultivo (independientemente de las dosis aplicadas) que se definió como: número de aplicaciones o intervenciones con insecticidas y/o fungicidas. Es importante aclarar que en caso en que se aplicaran productos insecticidas y fungicidas conjuntamente, se contabilizaba solo la aplicación como "1". Este indicador permite estimar la intensidad con la que se interviene el cultivo.

3.3.2.3. Cantidad de producto (en g IA/m²) según la categoría toxicológica

Los productos se clasificaron según su categoría toxicológica. La utilización de productos de naturaleza más tóxica puede tener mayores impactos a nivel ambiental, en relación a la biodiversidad presente en ese ecosistema y a los riesgos para la salud humana, además de que las precauciones al utilizarlos deben ser mayores.

En Uruguay, según el decreto MGAP No. 294 (11 de agosto de 2004) todos los productos químicos deben contener en su etiqueta entre otras cosas, información sobre "precauciones y advertencias" y debe figurar en la misma la "clase toxicológica" del producto basada en la clasificación de peligrosidad realizada por el Programa Internacional de Seguridad Química (PISQ) de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta clasificación está basada en la

peligrosidad del producto, su capacidad de producir daño agudo a la salud cuando se da una o múltiples exposiciones en un tiempo relativamente corto. La clasificación se basa en la dosis letal media (DL 50) aguda, por vía oral o dérmica de las ratas, dependiendo de la forma en la que se comercializa el producto: líquida o sólida, según lo expresado por la Dirección General de Servicios Agrícolas del MGAP.

Los productos se dividen en 4 clases toxicológicas:

- clase Ia y Ib: productos sumamente peligrosos y muy peligrosos, respectivamente
- clase II: productos moderadamente peligrosos
- clase III: productos poco peligrosos
- clase IV: productos que normalmente no ofrecen peligro

3.3.2.4. Incidencia de mosca blanca

Para completar el análisis relacionado al uso de pesticidas y el manejo sanitario en los diferentes cultivos se seleccionó la incidencia de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood y *Bemisia tabaci*) al inicio de la cosecha, como medida de eficiencia del control de esta plaga. Para esta decisión se tuvo en cuenta que, según la investigación previamente realizada por Berrueta et al. (2019), la incidencia de mosca blanca fue una de las variables jerarquizadas, responsable de las brechas relativas al rendimiento alcanzable en la zafra 2014/15 – 2015/16 para los ciclos largos de verano y cortos de primavera y verano.

La incidencia de mosca blanca fue dividida por Berrueta et al. (2019) en cuatro niveles: 0 = no hay presencia, 1 = limitada a pocos lugares (focos), 2 = distribuida por todo el espacio del invernadero, 3 = distribuida en todo el invernadero y con presencia de mielecilla y fumagina sobre las hojas y los frutos.

3.3.3. Estado y manejo del suelo

3.3.3.1. Prácticas de manejo

Para evaluar el manejo de suelos se tuvieron en cuenta las prácticas que se considera favorecen la conservación y mejoramiento del suelo. Las prácticas fueron divididas en dos grupos para facilitar el análisis: uno con aquellas que tienen un aporte mayormente relacionado a la conservación e incremento de la materia orgánica del suelo, y otro que incluye aquellas prácticas mayormente vinculadas a la sanidad del suelo en cuanto a la incidencia de plagas, enfermedades o malezas que puedan afectar al cultivo de tomate (disminución de fuente de inóculo, huevos o larvas, entre otros). Aunque se dividieron en estos dos grupos, todas las prácticas tienen efectos sobre ambos aspectos del suelo y el cultivo.

El primer grupo incluyó las prácticas de instalación de abonos verdes y aporte de abono orgánico, y el segundo grupo incluyó la realización de solarización, la secuencia de cultivos, y la frecuencia de cultivos de tomate.

Prácticas relacionadas a la materia orgánica del suelo:

- 1) realización de abonos verdes: en todos los casos en los que esta práctica fue llevada a cabo, las especies utilizadas fueron avena o la combinación de avena y nabo forrajero, y el abono verde fue incorporado durante el laboreo del suelo previo al cultivo. Se consideraron los abonos verdes instalados en un período igual o menor a un año antes de la instalación del cultivo evaluado.
- 2) aportes de abono de origen orgánico: entre los que se incluyeron cama de pollo, abono de gallina, abono de oveja, abono de cerdo y vaca, compost de rumen, y compost de origen vegetal (en algunos casos combinaciones de abono y compost). Se tuvieron en cuenta los aportes realizados previo a la instalación del cultivo evaluado.

Prácticas relacionadas a la sanidad del cultivo:

- 3) solarización: Se consideraron las solarizaciones realizadas hasta dos años antes de la instalación del cultivo evaluado. No se consideró la duración de la solarización.
- 4) la secuencia de cultivos de tomate: fue medida como el período de tiempo transcurrido entre el trasplante del cultivo en estudio y el trasplante del tomate previo. La unidad de tiempo fue años, tomando como 0,5 la medida de un semestre. Esta medida expresa cuan seguido se cultivó tomate en un mismo invernáculo: cuanto menor fue el valor más intensivo menos variedad de otras especies separa un cultivo de tomate del otro.
- 5) la frecuencia de cultivos: se midió como número de cultivos de tomate/número de años evaluados (mínima medida semestres), considerando entre 2 y 4 años dependiendo de la información disponible. Este valor expresa qué proporción del tiempo total evaluado para cada productor fue ocupado por cultivos de tomate. Cuanto mayor sea el valor, mayor fue la proporción de tomate en el período.

En ambos grupos se consideró que todas las prácticas poseían el mismo peso relativo y para cada cultivo se registró presencia o ausencia de cada práctica como 1 o 0, respectivamente. Para el primer grupo de prácticas relacionadas al contenido de materia orgánica del suelo se dividió a los 109 cultivos en tres categorías dependiendo de la cantidad de prácticas realizadas: la categoría 3 incluyó los casos en los que se realizaban dos prácticas, la 2 aquellos que realizaban una práctica y la 1 los casos en los que no se realizaba ninguna práctica (cuadro 2).

Cuadro No. 2. Categorías según No. de prácticas realizadas relacionadas a la materia orgánica del suelo

Categoría	Descripción	Criterio/valoración
3	2 prácticas	bueno
2	1 práctica	medio
1	0 práctica	malo

Para el grupo de prácticas vinculadas a la sanidad del suelo, en primer lugar se transformaron los resultados de los indicadores de secuencia y frecuencia de cultivos, que poseían valores continuos, a dos valores que se corresponden a presencia y ausencia: cero y uno. El criterio para dividir los valores en el caso de la secuencia fue: 1 y 0,5 (1 año o un semestre entre el trasplante de tomate actual y el anterior) se correspondieron con cero y valores mayores a 1,5 equivalieron a 1. Para la frecuencia, los valores iguales o mayores a 1 equivalieron a cero y los menores a uno se correspondieron con el valor 1, que indica la “presencia” de esa práctica o manejo. Algunos de los cultivos en estudio se encontraban en invernáculos nuevos por lo que la frecuencia y secuencia no traducían en estos casos la información que se requería. Aquellos donde los datos que se poseían sobre los cultivos anteriores no superaban los dos años fueron dejados en un grupo aparte bajo la etiqueta de “nuevos” (n). Seguidamente se dividieron los casos en tres categorías, con el mismo criterio del grupo anterior: la categoría 3 estuvo integrada por todos los cultivos en los que se registraron entre tres y dos prácticas, la categoría 2 con los que tenían una práctica y la 1 con aquellos casos donde no se realizaba ninguna práctica (cuadro 3).

Cuadro No. 3. Categorías según No. de prácticas realizadas relacionadas a la sanidad

Categoría	Descripción	Criterio/valoración
3	2 o 3 prácticas	bueno
2	1 práctica	medio
1	0 práctica	malo
n	Invernáculo nuevo	nuevo

3.3.3.2. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio

Otro indicador tenido en cuenta para caracterizar el manejo del suelo, enfocado específicamente en el contenido de nutrientes, fue el balance de los tres macronutrientes de mayor absorción por parte del cultivo y en los que se concentra principalmente la fertilización: nitrógeno, fósforo y potasio.

Para el cálculo del balance se tuvieron en cuenta los aportes realizados por fertilización y la absorción del cultivo de tomate por tonelada de producto cosechada según Ciampitti y García (2007). Se tomaron en cuenta los valores de absorción y no de extracción dado que el cultivo de tomate es generalmente retirado en su totalidad del invernáculo, por lo que no permanecen restos que retornen al suelo. No se consideraron los aportes provenientes del suelo, de este modo, un balance negativo implica que se extrajeron nutrientes del suelo, en un balance positivo se acumularon nutrientes en el suelo o perdieron en el ambiente. Se incluyó la fertilización realizada con enmienda orgánica y fertilizante químico de base aplicado al suelo y la realizada por fertirriego. En las enmiendas orgánicas los aportes fueron calculados considerando el porcentaje de materia seca del tipo de abono (70% para el abono de pollo) y los porcentajes de aporte de los tres nutrientes: 2% para N, 1% para P y 0,05% para K. Debido a que el foco del análisis fue el estado del suelo, y no del cultivo, se incluyó el aporte total de nutrientes y no se consideró el porcentaje de mineralización anual (Barbazán et al., 2011). El valor presentado para el indicador de balance (en kg nutriente/ha) surge de la diferencia entre la absorción del cultivo y lo aportado por medio de la fertilización.

3.3.3.3. Estado del suelo

Se seleccionó un indicador que representa la relación entre el carbono mineralizable actual y el carbono mineralizable original. Este cálculo permite estimar cuánto del carbono original (estimado para ese tipo de suelo) permanece o fue restaurado actualmente, sin tener en cuenta el carbono mínimo, no mineralizable presente en el suelo. Este indicador representa cuán deteriorado se encuentra el suelo en relación a su estado original, es decir, si no estuviera perturbado por la agricultura (Dogliotti et al., 2010). Un valor equivalente a 1 implicaría que el suelo tiene un contenido de carbono mineralizable igual al que tenía originalmente. Cuanto más cercano a cero es el valor del indicador, mayor habrá sido la pérdida de carbono mineralizable respecto al original y por lo tanto mayor su estado de deterioro.

Para su cálculo se tuvieron en cuenta el contenido de carbono orgánico actual del suelo, el contenido mínimo de carbono de cada suelo y el contenido original de carbono.

El carbono actual fue obtenido mediante el análisis de una muestra compuesta de suelo por invernáculo, para los primeros 20 cm de suelo,

realizado previo a la instalación del cultivo evaluado. El contenido mínimo de carbono fue calculado a través de la fórmula de Rühlmann (1999) que tiene en cuenta el contenido de arcilla y limo de cada suelo, los cuales fueron obtenidos también del análisis de suelo:

$$0,017*(\% \text{ arcilla} + \% \text{ limo}) - 0,001*EXP (0,075*(\% \text{ arcilla} + \% \text{ limo}))$$

El contenido de carbono original del suelo fue tomado de los datos de Durán (2007) que dependen del tipo de suelo sobre el que se instalaron los cultivos, que varió entre Brunosoles, Vertisoles y algunos Argisoles, atribuyéndoles valores de carbono original de 3,3, 3,7 y 3%, respectivamente.

El indicador fue calculado como:

relación entre el carbono actual mineralizable y el carbono mineralizable original = (carbono orgánico actual en el suelo - carbono mínimo) / (contenido de carbono original – carbono mínimo)

3.3.4. Resumen de los indicadores utilizados por área de evaluación

Para visualizar en conjunto los indicadores utilizados se presenta el cuadro 4 donde se organizan los mismos por área de evaluación, detallando la unidad de medida y/o forma de cálculo, y si corresponden también a un indicador “combinado” como es el caso de algunos de los pertenecientes a las áreas uso de pesticidas y suelo.

Cuadro No. 4. Resumen de los indicadores utilizados para la evaluación

Área	Indicador	Unidad/cálculo	Indicador combinado
Pesticidas e incidencia de plagas	Cantidad de insecticida aplicado	g IA/m ²	
	Cantidad de fungicida aplicado	g IA/m ²	
	No. de aplicaciones con fungicidas e insecticidas durante el ciclo	Número de aplicaciones	Uso de pesticidas
	Categoría toxicológica de los agroquímicos aplicados	g IA cat. I y II - cat. III y IV	
	Incidencia de mosca blanca	escala de incidencia 0-3	
Suelo y nutrientes	Abono verde	presencia o ausencia	Suelos materia
	Aporte de abono orgánico	presencia o ausencia	orgánica
	Solarización	presencia o ausencia	Suelos sanidad

	Secuencia de cultivos	tiempo transcurrido (años) entre el trasplante de tomate actual y el anterior	
	Frecuencia de cultivos	n° de cultivos de tomate/años evaluados	
	Balance de nitrógeno (N)	Kg N/ha	
	Balance de fósforo (P)	Kg P/ha	
	Balance de potasio (K)	Kg K/ha	
	Relación entre carbono mineralizable actual y carbono mineralizable original	C. minerliz. actual - C. min. / C. mineraliz. original - C. min.	
Productividad	Rendimiento en kg de fruto por unidad de superficie	Kg de tomate/m ²	

3.4. SEGUNDA ETAPA: EVALUACIÓN INTEGRADA DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL POR CULTIVOS Y PREDIOS

3.4.1. Selección de los datos para la clasificación

Para integrar los datos analizados desde la dimensión ambiental de la sostenibilidad a nivel de cada predio, se tomaron en cuenta los indicadores más relevantes que referían a las prácticas vinculadas al manejo del suelo (relacionado a la materia orgánica y la sanidad de los cultivos) y al uso de pesticidas. No se incluyeron en esta sección los indicadores descriptivos del estado de los recursos, en el entendido de que la clasificación debía responder particularmente a la lógica de los productores para llevar a cabo los cultivos, las tecnologías y manejos incorporados y utilizados, ya que estos aspectos son los primeros que pueden modificarse, que implican la toma de decisiones y son los que explicarían los indicadores de estado de los recursos.

Los indicadores tenidos en cuenta para realizar la clasificación fueron:

- Uso de pesticidas: la cantidad de fungicidas e insecticidas, el número de aplicaciones de ambos productos y la cantidad de productos de categoría I y II utilizados
- Suelo, vinculado a sanidad: rotación y secuencia de cultivos y solarización
- Suelo, vinculado a materia orgánica: abono verde y aporte de abono orgánico

Mientras para las últimas dos categorías se realizó una clasificación de los cultivos dependiendo de la cantidad de prácticas adoptadas, que se presentó previamente en este capítulo, para el caso de los pesticidas debió realizarse un análisis de conglomerados que permitiera otorgarle a los distintos casos una valoración: bueno, medio o malo, como se había realizado con los indicadores vinculados al suelo. Los cultivos se agruparon según cantidad de pesticidas, número de aplicaciones y cantidad de pesticida de las categorías más tóxicas (I y II), y se formaron tres grupos según la combinación de estas características.

Se construyeron índices para los tres grupos de indicadores y un índice total para cada predio a partir del total de cultivos analizados en cada caso.

La proporción de cultivos en cada categoría (bueno, medio, malo) para los tres grupos de indicadores (uso de pesticidas, suelos-sanidad, suelos-materia orgánica) fue calculada como: no. de cultivos en esa categoría / no. total de cultivos evaluados para ese predio.

Índice por grupo de indicadores

El índice para cada grupo de indicadores fue calculado como: proporción de cultivos en categoría bueno *3 + proporción categoría medio *2 + proporción categoría malo *1 (el valor máximo del índice es 3 y el valor mínimo 1)

Índice total

El índice total se compone de la suma de los índices para cada grupo de indicadores por predio: índice suelos-sanidad + índice suelos-materia orgánica + índice uso de pesticidas (el valor máximo del índice es 9 y el valor mínimo 3).

3.5. TERCERA ETAPA: VISITA A PREDIOS Y ENTREVISTAS

Para llevar a cabo esta instancia del trabajo, luego de analizar los resultados arrojados por la evaluación de la primera y segunda etapa, se planteó la hipótesis de que todos los predios (y productores) que tuvieron buen desempeño en la evaluación a nivel del cultivo de tomate, eran buenos en la generalidad del sistema, “sostenibles” en todos los aspectos. En esta hipótesis, el desempeño de estos productores habría sido consistente porque respondió a una lógica determinada que define su forma de producir y las prácticas y tecnologías implementadas.

Para verificar la hipótesis se elaboró una entrevista y pauta de observaciones para revelar la existencia de esta relación entre los resultados obtenidos a nivel del cultivo de tomate, y vinculados a las prácticas evaluadas, y la lógica del productor y funcionamiento del sistema en general.

La elección de los predios, como se mencionó, se realizó entre los que poseían un valor del índice general que se ubicó en la franja superior de la lista, “los más sostenibles”. Para el estudio se tomaron tres productores, que se posicionaron en los tres primeros lugares de la lista, con un puntaje igual o mayor a 7 (siendo 9 el máximo alcanzable). En este grupo se ubicaron dos sistemas del tipo “convencional” y uno orgánico.

Los resultados presentados en este trabajo surgieron a raíz de una visita al predio y entrevista al productor responsable de la gestión y manejo del predio (ver formulario de entrevista en anexo 1) a los tres predios seleccionados.

3.6. ANÁLISIS DE LOS DATOS

En primer lugar se analizaron los datos por separado según indicador y áreas de evaluación, realizando estadísticas descriptivas para todas las variables para conocer su comportamiento (promedios, desvíos, mínimos y máximos en el caso de variables cuantitativas; moda, mínimos y máximos en variables cualitativas o categóricas). El análisis se complementó con la realización de gráficos de dispersión, de puntos y de cajas o box-plot.

En segundo lugar, se analizaron las relaciones entre variables: para esto se utilizó el análisis de componentes principales con las variables: no. de aplicaciones con fungicidas e insecticidas, cantidad de fungicidas e insecticidas aplicados (g IA/ m^2) y rendimiento, con los datos clasificados por ciclo de cultivo.

Para los resultados globales a nivel de uso de pesticidas, la división entre grupos se realizó mediante el análisis de conglomerados. Se utilizaron las variables cantidad de pesticida (g IA/m^2), cantidad de pesticida categoría 1 y 2 (g IA/m^2) y número de aplicaciones para los ciclos largos y cortos por separado. El método de agrupamiento utilizado fue el de Ward y la distancia Euclídea.

Los análisis estadísticos y las representaciones gráficas de los datos se realizaron utilizando el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

4. RESULTADOS

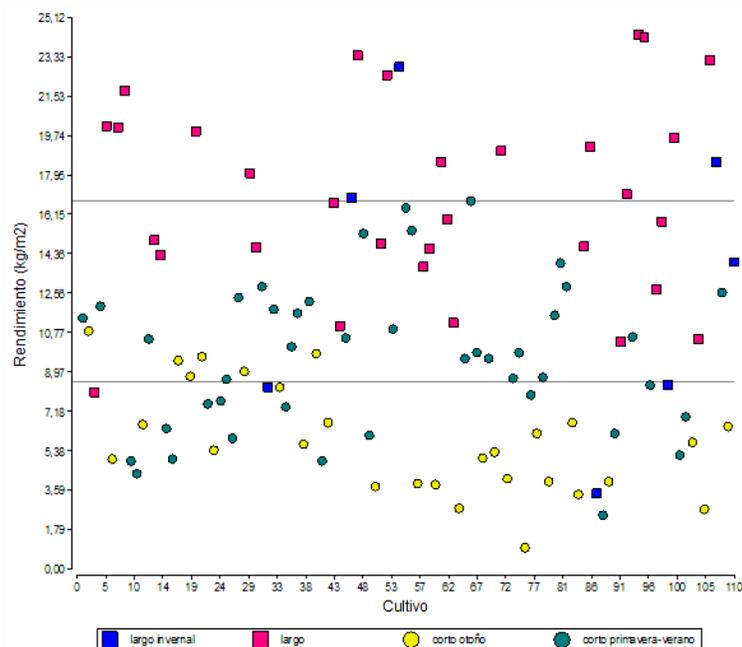
4.1. INDICADORES DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL CULTIVO DE TOMATE

4.1.1. Productividad

4.1.1.1. Rendimiento en kg de tomate/m² según tipo de ciclo

Existió gran variabilidad en los rendimientos entre los cultivos .A pesar de esta gran variabilidad, se identificaron diferencias según el tipo de ciclos (figura 6). Los ciclos largos tuvieron un promedio de $16,2 \pm 5,1$ kg/m², mientras que los ciclos cortos tuvieron un promedio de $8,1 \pm 3,6$ kg/m². El 50% de los ciclos largos se ubicaron por encima de la media calculada para este tipo de ciclo. Los ciclos largos invernales, tuvieron rendimientos más variables, algunos inferiores a la media de los ciclos largos y en tres de los casos incluso menores a la media de ciclos cortos, mientras que sólo dos cultivos se ubicaron por encima de la media de ciclos largos.

Los ciclos cortos tuvieron rendimientos menores, y existieron también diferencias entre los ciclos de otoño y primavera. Los ciclos de otoño se ubicaron en su mayoría por debajo de la media. Los de primavera-verano, a pesar de la variación, se concentraron mayormente por encima de la media.

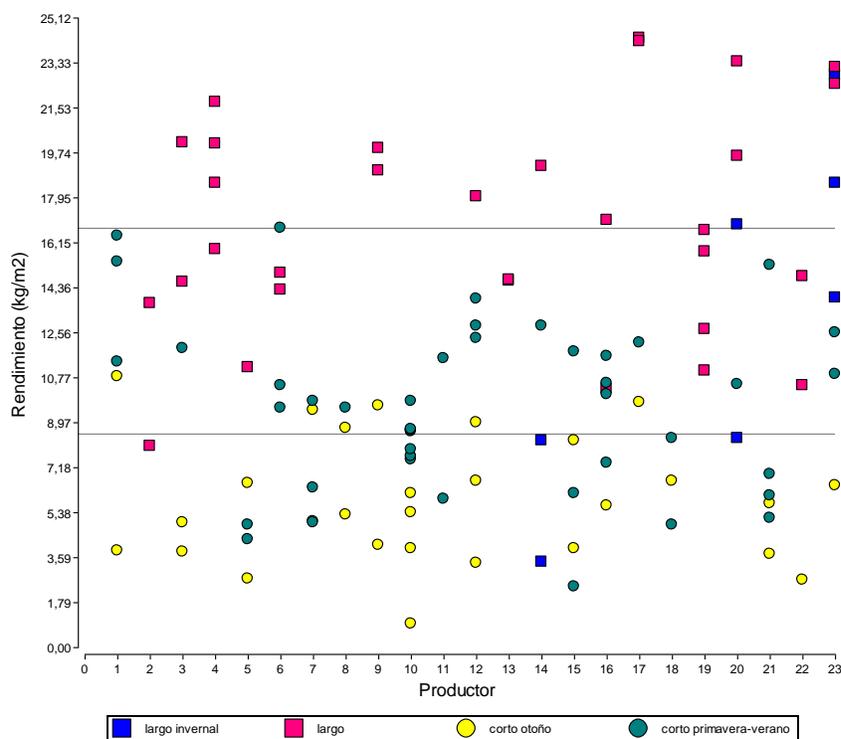


Rendimiento medido como kg de tomate cosechados por m². Cada punto corresponde a un cultivo. Las líneas horizontales corresponden a las medias de rendimiento para ciclos largos y cortos.

Figura No. 6 Rendimiento según tipo de ciclo (kg/m²)

4.1.1.2. Rendimiento según predio y tipo de ciclo

Los cultivos de ciclo corto de otoño tuvieron bajos rendimientos independientemente del predio, donde en varios casos se realizaban además, ciclos largos o de primavera-verano que se posicionaban por encima de las medias para cada tipo de ciclo (figura 7). Puede destacarse también que mientras algunos productores optaron por realizar sólo ciclos largos y obtuvieron buenos rendimientos, como es el caso del predio 4, otros productores eligiendo el mismo tipo de ciclo obtuvieron rendimientos que en ningún caso superaban la media, como el caso del predio 19.



Rendimiento medido como kg de tomate cosechados por m². Cada punto corresponde a un cultivo. Las líneas horizontales corresponden a las medias de rendimiento para ciclos largos y cortos.

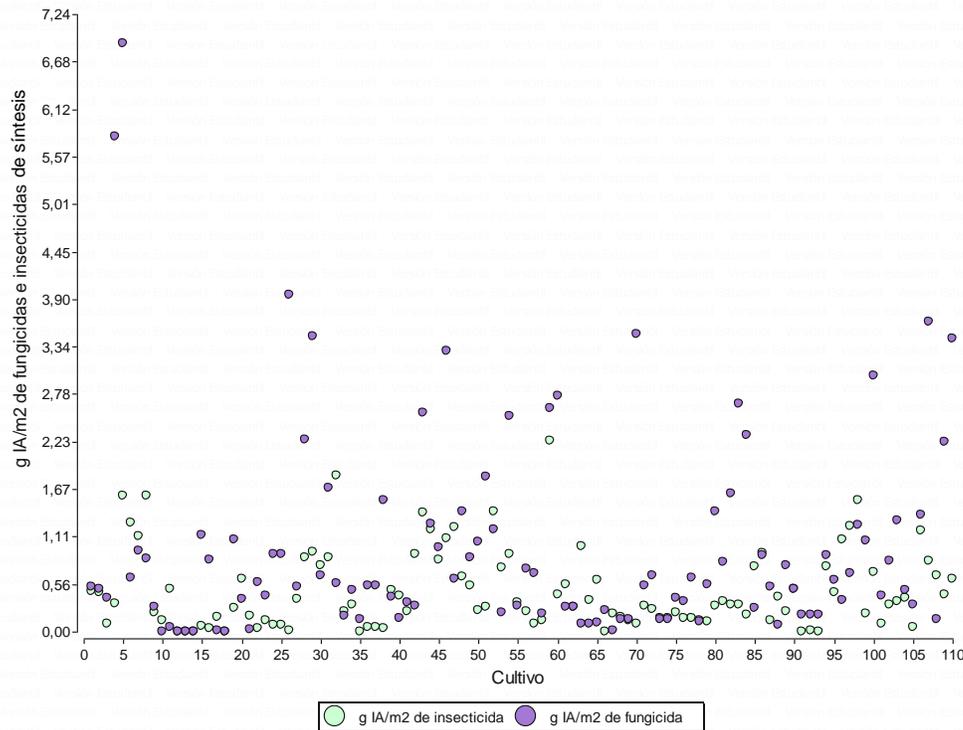
Figura No. 7. Rendimiento según predio y tipo de ciclo (kg/m²)

4.1.2. Uso de pesticidas para el control de plagas y enfermedades

4.1.2.1. Cantidad de pesticidas utilizados por cultivo

El valor promedio de uso de fungicidas e insecticidas considerando todos los cultivos fue de $0,99 \pm 1,19$ y $0,48 \pm 0,46$ g IA/m², respectivamente. Existió gran variabilidad en la cantidad de ingrediente activo utilizado para los

dos tipos de productos (figura 8). La cantidad de fungicida varió de 0 a 6,89 g IA/m² y la de insecticida de 0 a 2,24 g IA/m².



Cantidad de fungicidas e insecticidas expresada como gramos de ingrediente activo (IA) aplicados por superficie (m²).

Figura No. 8. Cantidad de ingrediente activo por superficie de fungicidas e insecticidas aplicados por cultivo (g IA/m²)

Si bien hubo gran variabilidad en la cantidad de insecticidas utilizado, la mayoría de los cultivos se concentró en una franja entre 0 y 1 g/m². Los valores más cercanos a cero correspondieron, en muchos casos, a cultivos pertenecientes a sistemas orgánicos o a sistemas donde se realiza un manejo integrado de las plagas utilizando también productos de origen biológico.

Para el uso de insecticidas, 42 cultivos se encontraron sobre la media (0,477 g IA/mm²) y 16 de los 109 cultivos evaluados se ubicaron por encima de 1 g/m², con un máximo de 2,24 g de IA/m².

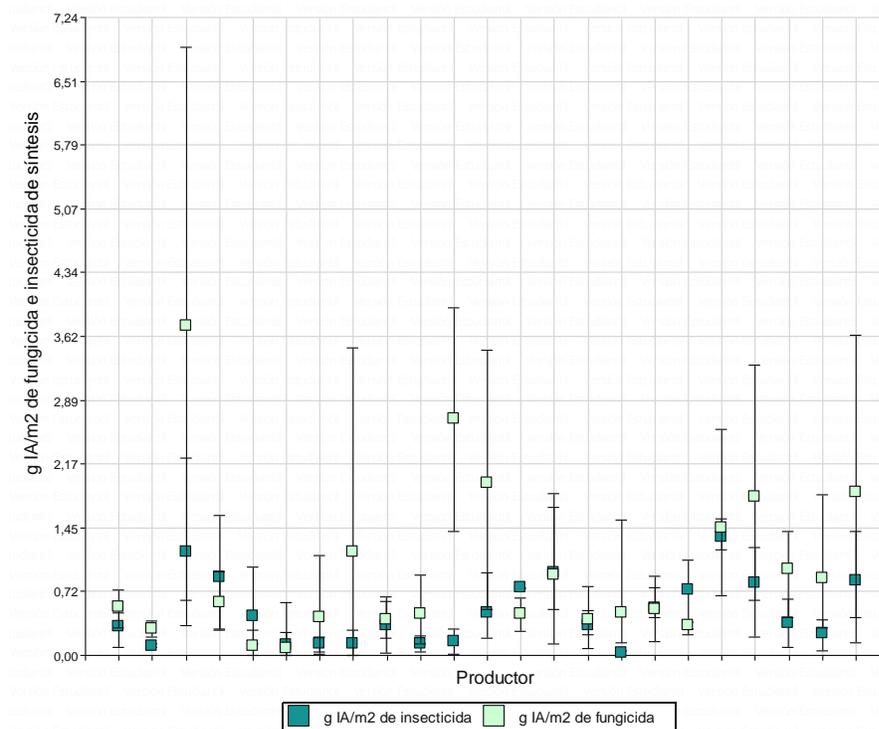
En el caso de los fungicidas, se observan máximos de cantidad de ingrediente activo de hasta 6,89 g/m². Mientras que 31 casos se encontraron por encima de la media (0,991 g IA/m²), la mayor concentración de los cultivos se ubicó en una franja donde los valores oscilaron entre los 0 y 1,90 g/m² (con

el mismo criterio que en el caso de los insecticidas 17 de 109 cultivos se ubicaron por encima de esta línea), si bien existieron cultivos cuyos registros ascendieron a cantidades en torno a los 6 g IA/m².

Los casos con valores más cercanos a cero correspondieron a cultivos orgánicos aunque debe destacarse la presencia de cultivos pertenecientes a sistemas convencionales donde se realizó un uso reducido de los productos químicos o se los complementó con productos alternativos, que no se contabilizaron dentro de este indicador. En el caso de los cultivos orgánicos los valores registrados en cuanto a fungicidas correspondieron principalmente al uso de azufre.

4.1.2.2. Cantidad de ingrediente activo de fungicidas e insecticidas utilizado según predio

Al observar los datos agrupados según los 23 predios, existió una gran variabilidad, desde valores cercanos a cero hasta valores que alcanzan los 6 g de IA/m² (figura 9).



Las cajas representan los valores medios y las líneas y barras horizontales los máximos y mínimos. Cantidad de pesticidas expresada en gramos de ingrediente activo por superficie (m²).

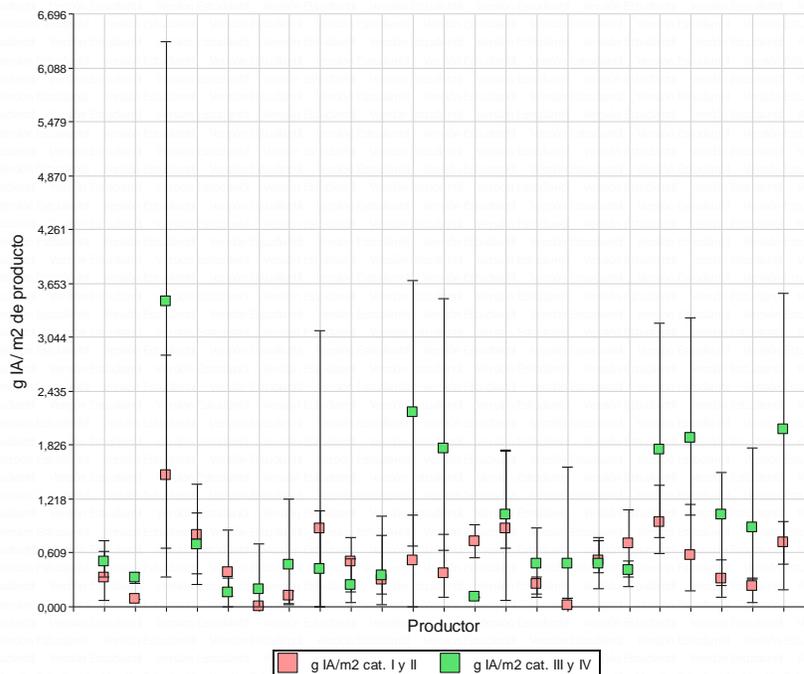
Figura No. 9. Cantidad de pesticidas aplicados por predio

Se observó gran variabilidad dentro de cada predio. Un mismo productor utilizó cantidades muy variables de productos para el manejo sanitario de sus diferentes cultivos. Al observarse los máximos y mínimos para cada sistema, en algunos casos fueron muy similares a la media del conjunto de datos, mientras que en otros casos se alejaron en gran medida de la media. Este fue el caso de los predios 3, 8, 12 y 23.

Es importante destacar aquí que la cantidad de cultivos evaluados por sistema varió entre dos y once, por lo que en algunos casos la falta de variabilidad pudo estar vinculada a que se evaluó un número menor de cultivos en ese predio. El tipo de ciclos que se realizó en cada sistema también es una causante de una mayor variabilidad, aspecto que será discutido más adelante.

4.1.2.3. Cantidad de ingrediente activo de fungicidas e insecticidas utilizado según categoría toxicológica

Hubo gran variabilidad en el nivel toxicológico de los productos utilizados (figura 10). Mientras algunos sistemas prácticamente no utilizaban productos de categoría I y II, otros realizaban mayor uso de los mismos, o en algunos casos los de todas las categorías eran utilizados casi en igual medida.



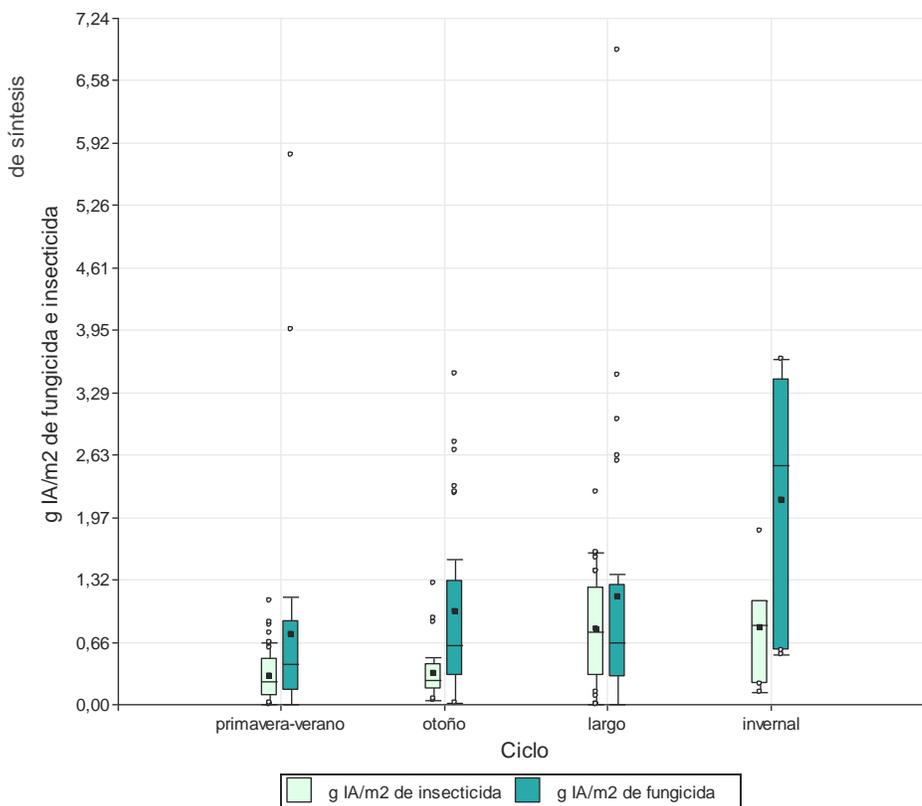
Las cajas representan los valores medios y las líneas y barras horizontales los máximos y mínimos. Cantidad de pesticidas expresada en gramos de ingrediente activo por superficie (m²). Categoría toxicológica según clasificación del PISQ, divididas en categoría I y II (rojo) y III y IV (verde).

Figura No. 10. Cantidad de pesticidas según categoría toxicológica por predio

Debe destacarse que en la mayor parte de los casos la media de aplicaciones con productos de las categorías menos tóxicas fue mayor que la de las categorías más peligrosas. En algunos sistemas donde se constató un uso importante de pesticidas, los valores correspondieron a productos de las categorías menos peligrosas como fue el caso del predio 3 o el 11.

4.1.2.4. Cantidad de ingrediente activo de fungicidas e insecticidas según tipo de ciclo

Si bien existió una gran variabilidad dentro de cada tipo de ciclo: largo, corto primavera-verano, corto otoño y largo invernial, la cantidad de ingrediente activo aplicado varió en las distintas épocas del año (figura 11).



Punto dentro de cada caja indica la media, barra horizontal dentro de la caja corresponde a la mediana. Barras horizontales (lados superior e inferior de la caja) cuantiles 0,25 y 0,75. Líneas con barra horizontal indican un desvío. Cantidad de pesticidas expresada en gramos de ingrediente activo por superficie (m²).

Figura No. 11. Cantidad de insecticida y fungicida según tipo de ciclo

Los ciclos largos fueron los más variables, especialmente los inverniales. Los valores de fungicidas utilizados en ciclos largos se asemejaron a lo presentado para los ciclos de otoño, presentando medias muy similares.

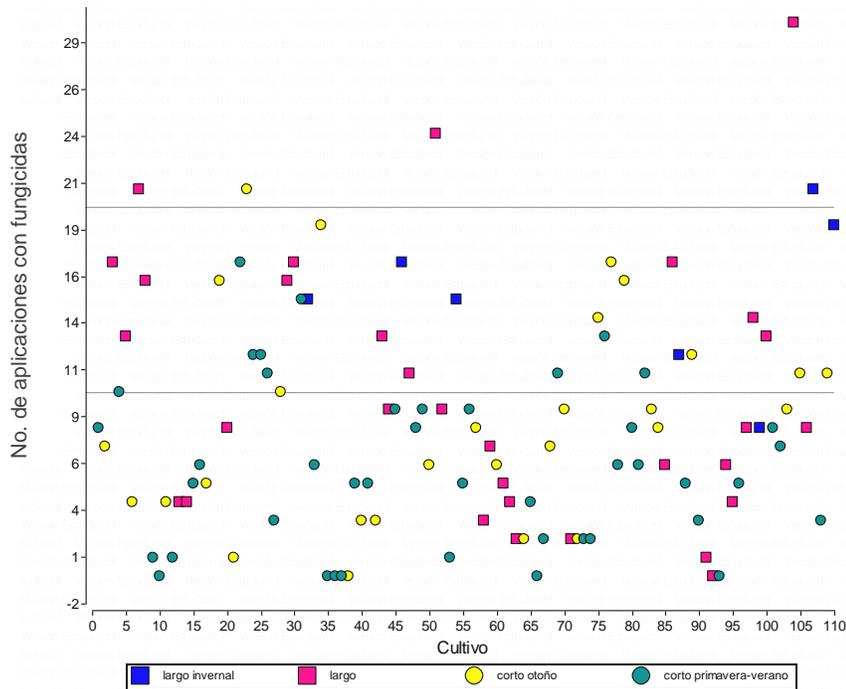
Sin embargo, al observar la cantidad de insecticida en los ciclos largos, los datos alcanzaron los valores más altos de toda la gráfica y tuvieron aún más variabilidad.

Aunque los ciclos de primavera y verano se unificaron en una sola categoría, resulta interesante destacar que para los casos en los que los períodos de cultivo se desarrollaban mayormente en verano el uso de insecticidas fue en general mayor al de los ciclos instalados más temprano, en primavera.

Si bien se poseen menos datos de cultivos invernales, el uso de fungicidas fue mayor, y los mínimos fueron más altos que en otros ciclos. En el caso de los insecticidas, las cantidades utilizadas también fueron más elevadas aunque no superaron las de los ciclos largos.

4.1.2.5. Número de aplicaciones con insecticidas y fungicidas

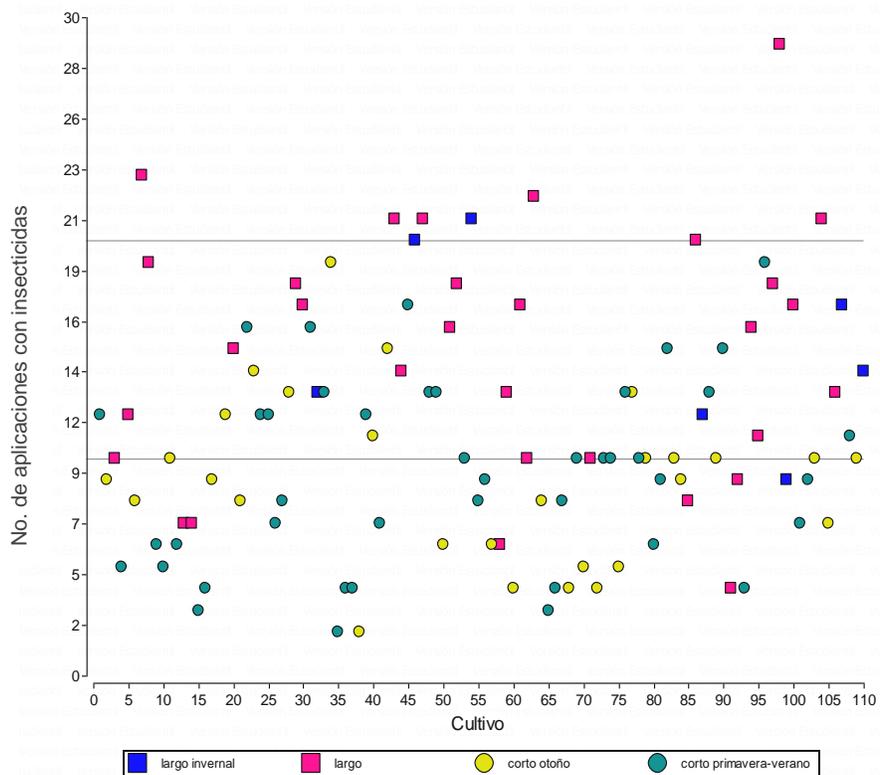
En el caso de los fungicidas, la mayoría de los cultivos se concentraron en la franja de hasta 10 aplicaciones en total (figura 12). Si bien podría pensarse que la franja de menos aplicaciones estaría ocupada solo por cultivos de ciclos cortos, se encontraron en esta área varios de ciclo largo (18) y uno largo invernal. Esto no significó que en este caso se aplicara menos producto, sino que la cadencia con la que se ingresó a realizar las aplicaciones, o se intervino el cultivo, fue menor. De todos modos, la mayor parte de los casos encontrados en la franja de menor número de aplicaciones correspondieron a ciclos cortos: la mayoría de los de primavera-verano y de otoño. El resto de los cultivos de estos ciclos cortos se encontraron dentro del grupo intermedio, que comprendió un número de aplicaciones de entre 10 y 20. En el grupo con mayor número de aplicaciones (más de 20) se encontraron solamente 5 cultivos, uno de otoño y el resto ciclo largo (uno de ellos invernal).



Cada punto corresponde a un cultivo. Número de aplicaciones con fungicidas se contabiliza como la cantidad de aplicaciones durante el ciclo de cultivo en las que figura algún producto de este tipo.

Figura No. 12. Número de aplicaciones con fungicidas por cultivo según tipo de ciclo

Para los insecticidas la mayor parte de los cultivos de ciclo largo se ubicó en la franja intermedia (figura 13). Los cultivos de ciclo corto, en cambio, se mantuvieron, como en la gráfica de fungicidas, repartidos entre la zona de menor número de aplicaciones y la intermedia. En la franja de 20 o más aplicaciones se encontraron más casos, todos pertenecientes a cultivos de ciclo largo.



Cada punto corresponde a un cultivo. Número de aplicaciones con insecticidas se contabiliza como la cantidad de aplicaciones durante el ciclo de cultivo en las que figura algún producto de este tipo.

Figura No. 13. Número de aplicaciones con insecticidas por cultivo según tipo de ciclo

4.1.2.6. Análisis de componentes principales para las variables relacionadas al uso de pesticidas

Del análisis de componentes principales de la cantidad de ingrediente activo de insecticidas y fungicidas por unidad de superficie, número de aplicaciones de fungicidas e insecticidas, y rendimiento según tipo de ciclo (figura 14) se observó que existieron diferencias entre los ciclos. En función de esto el análisis se continuó considerando dos grupos o tipos de cultivos: “ciclo corto” de primavera y verano, y ciclo corto de otoño y “ciclo largo” y largo invernial. La mayor duración del ciclo condicionó que los rendimientos fueran, en general, más altos que los de los ciclos cortos, y las aplicaciones de productos fueran en general mayores. Los cultivos de ciclo largo invernial se consideraron otra categoría debido a que tuvieron un comportamiento distinto a los restantes.

Dos componentes explicaron casi la totalidad de la variabilidad. El CP1 explicó la mayor variabilidad y estuvo asociado a todos los indicadores relacionados con las aplicaciones, cantidad de ingrediente activo y número de aplicaciones. El CP2 estuvo más relacionado al rendimiento. La cantidad de ingrediente activo de fungicida e insecticida y el número de aplicaciones estuvieron muy asociadas. Por este motivo, para los siguientes análisis se seleccionó la variable “cantidad de ingrediente activo”.

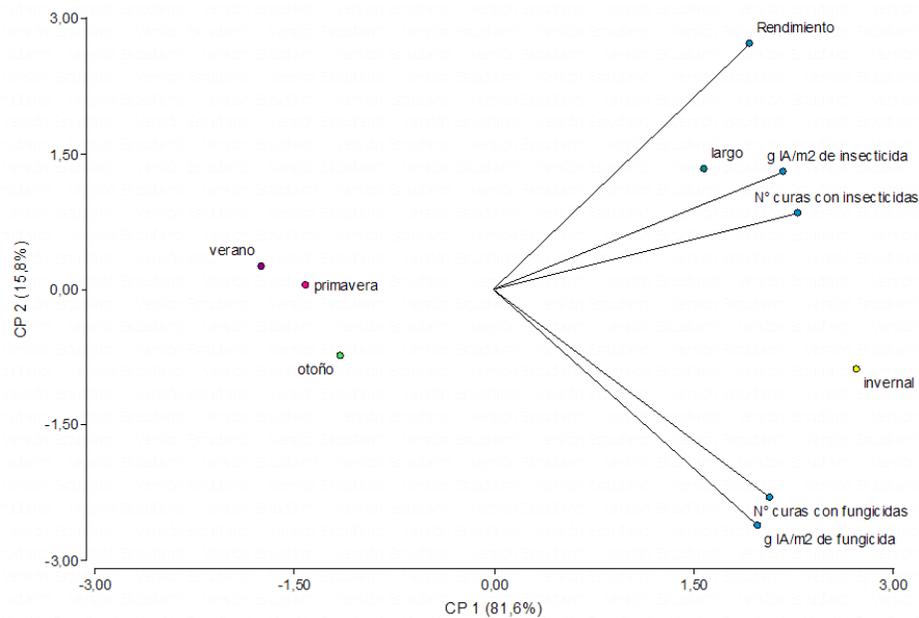


Figura No. 14. Análisis de componentes principales para las variables vinculadas al uso de pesticidas y ciclo de cultivo

4.1.2.7. Relación entre aplicaciones de fungicidas e insecticidas y el rendimiento

Se analizaron los cultivos en función de sus desvíos respecto a la media para las variables rendimiento y uso de fungicidas e insecticidas (g IA/m²). Como se observó en el análisis de componentes principales, el comportamiento de los cultivos de ciclo largo e invernal difirió en gran medida de los cultivos de ciclo corto por lo que la corrección por las medias se realizó de manera independiente entre estos dos grupos, aunque los datos se presentaron también en conjunto.

En las figuras 15 y 16 pueden visualizarse los cuatro cuadrantes que surgen de la combinación entre el uso de pesticidas y el rendimiento obtenido. En el cuadrante inferior derecho se ubicaron aquellos cultivos donde el rendimiento fue superior a la media y el uso de pesticidas inferior a la misma.

En el cuadrante inferior izquierdo se encuentran aquellos que obtuvieron bajos rendimientos y además utilizaron bajas cantidades de agroquímicos. En los dos cuadrantes superiores se ubicaron, a la derecha los cultivos que a pesar de obtener altos rendimientos utilizaron altas cantidades de agroquímicos y en el cuadrante izquierdo aquellos que con altas cantidades de fungicidas e insecticidas obtuvieron bajos rendimientos.

De todos los cuadrantes mencionados el primero resulta el más favorable y al que se debe analizar con especial profundidad si se busca encontrar formas de producir más sostenibles. Es por eso, que se observó con especial detenimiento el número de cultivos en proporción al total que se ubicaron dentro de esta área positiva.

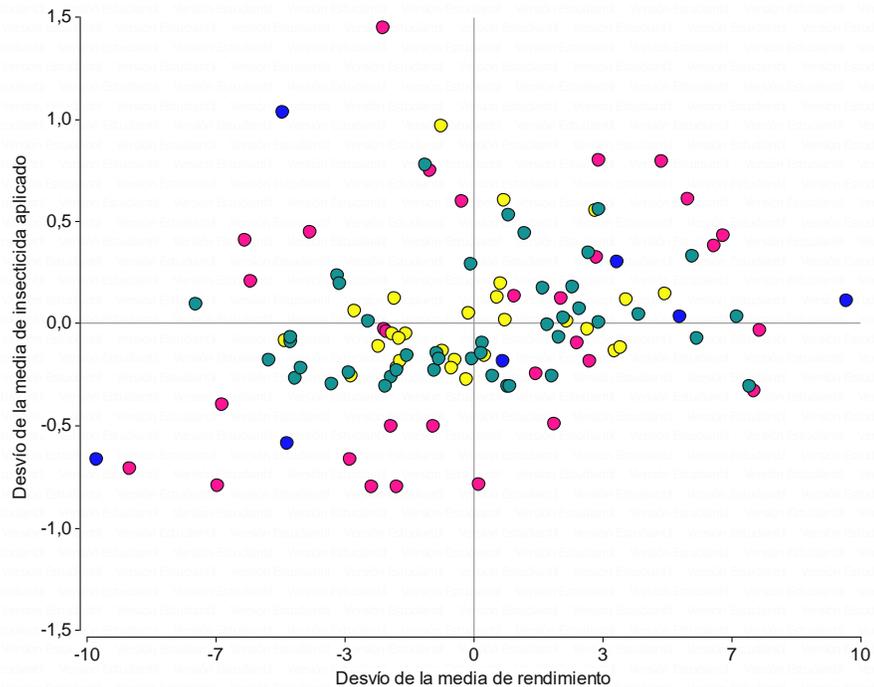
En el cuadrante superior izquierdo se ubicaron, en cambio, los casos más desfavorables desde el punto de vista económico y ambiental: cultivos que a pesar del alto uso de pesticidas obtuvieron rendimientos inferiores a la media por lo que el costo ambiental de utilizar productos químicos en exceso, con el fin de mantener la sanidad del cultivo y obtener mayores rendimientos económicos, no fue redituable. Bajo esta misma línea se encuentran aquellos cultivos que sí fueron exitosos desde una mirada económica aunque se haya constatado un alto uso de productos químicos.

Insecticidas

Al observar los cultivos discriminando los casos por tipo de ciclo (figura 15), pudo observarse que aquellos que se ubicaron en el cuadrante más favorable: de altos rendimientos y bajo uso de insecticida son cultivos pertenecientes principalmente a ciclos de primavera-verano, largos y con presencia solo de algunos de otoño. En esta situación favorable se pudo englobar a 26 de los 109 cultivos evaluados, que representa aproximadamente $\frac{1}{4}$ del total de los casos.

El cuadrante que engloba a aquellos cultivos con bajos rendimientos y bajo uso de insecticidas incluyó a cultivos de todos los ciclos. Sí puede resaltarse que en este cuadrante se encuentra la mayor proporción de cultivos de otoño del total evaluado.

Resulta interesante destacar también que dentro del cuadrante menos favorable: bajos rendimientos y alto uso de insecticidas, aunque no fueron muchos casos, se encontraron cultivos de todos los tipos de ciclos. Si bien la mayor parte de los cultivos ubicados en este cuadrante se posicionaron cercanos a la media de alguna de las dos variables pudieron observarse algunos casos (cultivos principalmente de ciclo largo, uno de primavera-verano y uno invernal) que se alejaron de los valores promedio debido a altas aplicaciones de producto o por tener rendimientos muy bajos.



Cantidad de insecticida (medido en g IA/m²) y rendimiento (medido en kg de tomate/m²) expresados como desvíos de la media para cada tipo de ciclo. Línea vertical y horizontal representan cero (la media) para cada variable. Los colores representan largo de ciclo: rojo-largo, azul-largo invernial, amarillo-otoño, verde-primavera.verano.

Figura No. 15. Relación entre cantidad de insecticida y rendimiento según tipo de ciclo

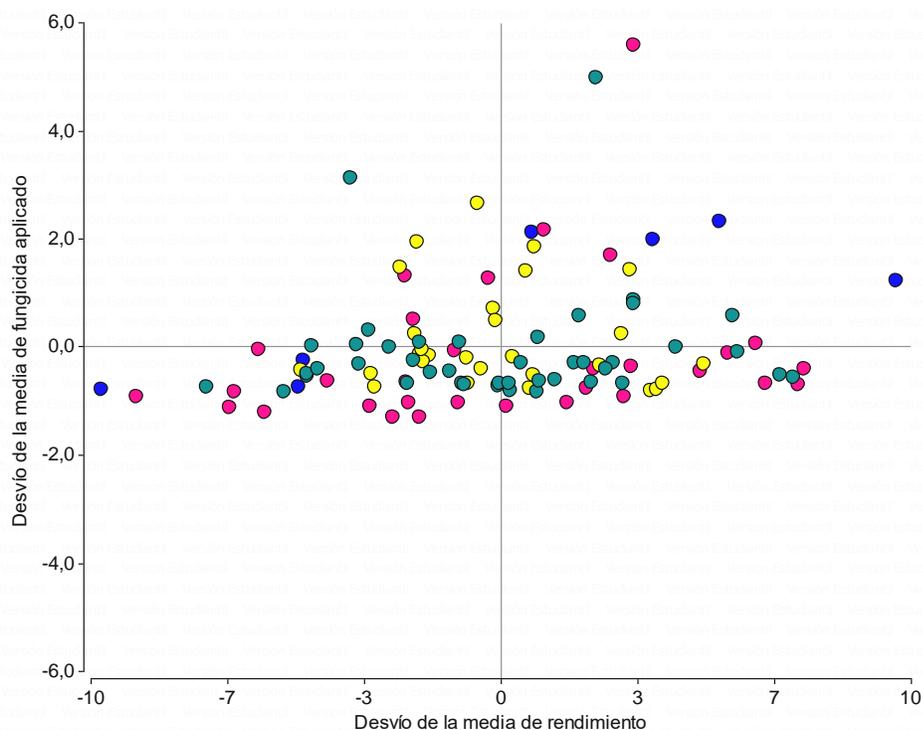
Fungicidas

El comportamiento observado para el uso de fungicidas fue similar al descrito para los insecticidas (figura 16). La mayor parte de los cultivos se concentraron en la franja de bajo uso, con excepción de algunos que se encontraron en la zona de mayor uso, con diferencias en los rendimientos: mientras algunos obtuvieron buenos rendimientos, con el costo ambiental y económico de un uso intensivo de fungicidas, otros con esta misma intensidad de uso obtuvieron, además, rendimientos inferiores al promedio. Dentro de los cultivos que se ubicaron en la franja de bajo uso, existió también variabilidad en los rendimientos obtenidos: algunos se localizaron en el cuadrante de rendimientos superiores al promedio y otros (algunos casos orgánicos) si bien no hicieron un uso excesivo de esta forma de control sanitario, no obtuvieron buenos rendimientos.

En cuanto al tipo de ciclo que se posicionó en el cuadrante más favorable, en su mayoría se trató de cultivos de ciclo corto, de primavera-verano y algunos de ciclo de otoño. En cuanto a los cultivos de ciclo largo, se

encontraron varios (7) en este cuadrante, y solo uno del tipo invernal. En total, 36 de los 109 cultivos, aproximadamente 1/3, se ubicaron en la zona más favorable, un número superior al registrado para los insecticidas.

Es interesante destacar que los casos ubicados en la franja de mayor uso de fungicidas fueron pertenecientes a cultivos principalmente de ciclo de otoño, algunos de ciclo largo y la mayor parte de los casos invernales (4 de 7). Sólo se contabilizaron 4 cultivos (de 43) pertenecientes a ciclos de primavera-verano dentro del cuadrante más desfavorable, si bien se registraron algunos casos más en la franja antes mencionada, pero que presentaban rendimientos mejores y por lo tanto se ubicaron en el cuadrante superior derecho.



Cantidad de fungicida (medido en g IA/m²) y rendimiento (medido en kg de tomate/m²) expresados como desvíos de la media para cada tipo de ciclo. Línea vertical y horizontal representan cero (la media) para cada variable. Los colores representan largo de ciclo: rojo-largo, azul-largo invernal, amarillo-otoño, verde-primavera.verano.

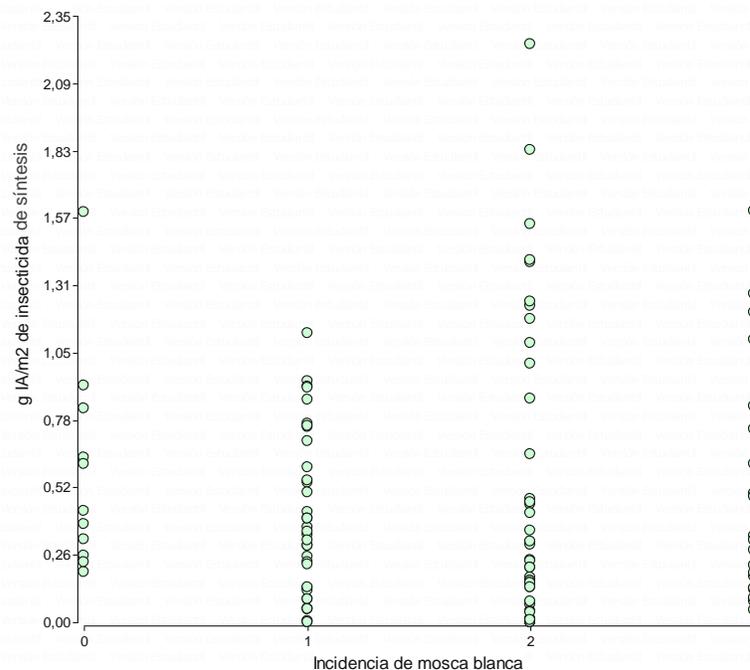
Figura No. 16. Relación entre cantidad de fungicida y rendimiento según ciclo

Finalmente, tanto para los insecticidas como fungicidas, se observó que la mayoría de los cultivos tuvo un uso menor a la media. En el caso de los fungicidas este comportamiento fue más marcado, mientras que para el uso de insecticidas los cultivos variaron más y hubo mayor cantidad de casos en la franja que implicaba un alto uso de pesticidas. Dentro de los cultivos de ciclo

invernal, generalmente tuvieron mayor uso de pesticidas, y existieron sólo dos cultivos que se posicionaron por debajo de la media de uso de pesticidas.

4.1.2.8. Incidencia de mosca blanca

No existió una relación entre la cantidad de insecticidas aplicada y la cantidad de mosca blanca en el cultivo (figura 17). En los cultivos que presentaron muy baja o nula incidencia de mosca blanca, hubo un amplio rango de aplicaciones, aunque predominaron los cultivos con niveles bajos de aplicación de insecticida (8 de 11 cultivos tuvieron mmenos de 0,64 g IA/m²). Los cultivos con mayor incidencia de mosca blanca, categoría 2 y 3, también tuvieron variabilidad de cantidades de ingrediente activo aplicado.



Cantidad de insecticidas expresado como gramos de ingrediente activo por superficie (m²). Escala de incidencia de la plaga: 0 no hay presencia, 1 limitada a pocos lugares (focos), 2 distribuida por todo el espacio del invernadero, 3 distribuida en todo el invernadero y con presencia de mielecilla y fumagina sobre las hojas y los frutos.

Figura No. 17. Incidencia de mosca blanca y aplicación de insecticidas

4.1.2.9. Agrupación de los cultivos según uso de pesticidas

Se agruparon los cultivos en tres categorías según el uso de pesticidas, para la posterior integración de los resultados. Se utilizó el análisis de conglomerados, se tuvieron en cuenta las cantidades de fungicidas e insecticidas, la cantidad de pesticidas de categorías I y II y el número de aplicaciones (figura 18). Se conformaron los grupos que figuran en el cuadro 5.

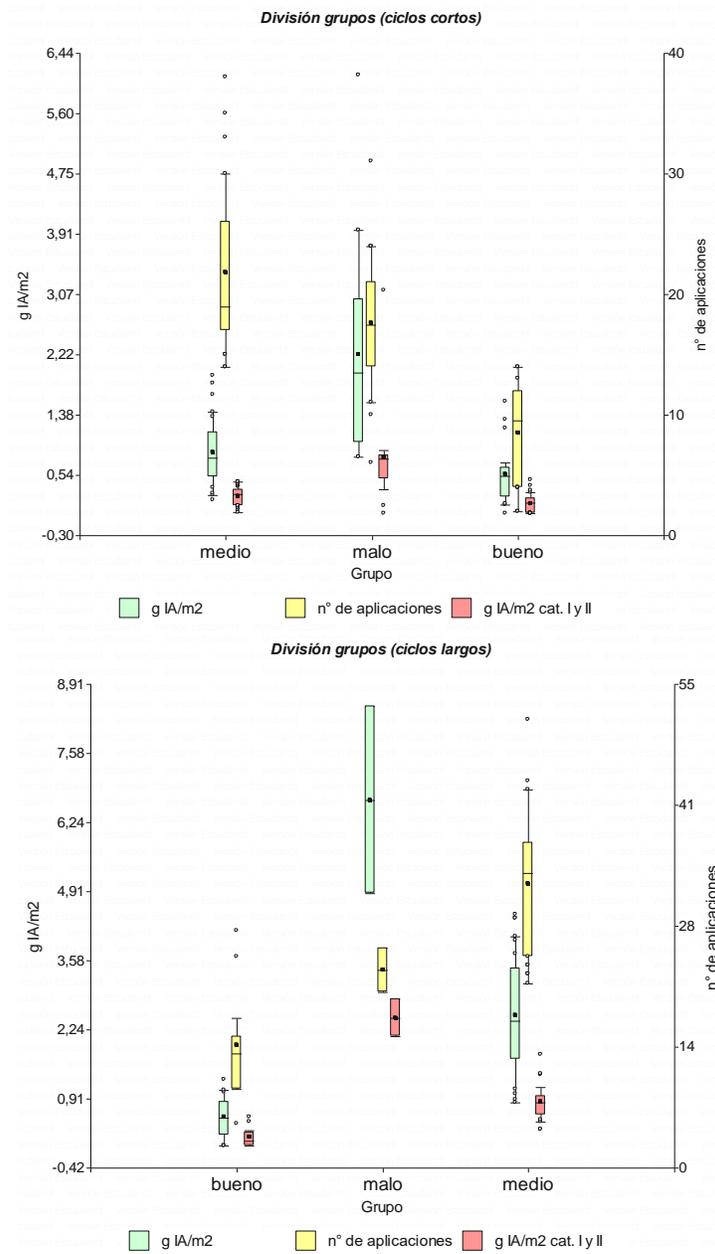


Figura No. 18. Agrupación según uso de pesticidas (para ciclos cortos y largos)

Cuadro No. 5. Agrupación de cultivos según uso de pesticidas para ciclos largos y cortos

Ciclos cortos

Criterio	No. de cultivos	No. de aplicaciones	g IA/m ²	g IA/m ² de cat. I y II
bueno	24	bajo	bajo	bajo
medio	27	alto	medio	medio
malo	20	medio	alto	alto

Ciclos largos

Criterio	No. de cultivos	No. de aplicaciones	g IA/m ²	g IA/m ² de cat. I y II
bueno	12	bajo	bajo	bajo
medio	24	alto	medio	medio
malo	2	medio	alto	alto

4.1.3. Estado y manejo del suelo

4.1.3.1. Prácticas de mejoramiento y conservación del suelo

Prácticas vinculadas al mantenimiento o mejora de la materia orgánica del suelo (área “suelos-materia orgánica”)

Solo 3 de los 109 cultivos evaluados tuvo abono verde e incorporación de enmienda orgánica (categoría 3, cuadro 6). La mayor parte de los cultivos se ubicaron dentro de la categoría 2, realizaron abono verde (16 casos) ó aporte de enmienda orgánica (42 casos). Dentro de la categoría 1, correspondiente a cultivos donde no se realizó ninguna de las dos prácticas, se encontraron 48 cultivos (casi la mitad de los casos evaluados).

Cuadro No. 6. No. de cultivos en las tres categorías del grupo de prácticas de “suelos-materia orgánica”

Categoría	No. cultivos	Descripción
3	3	2 prácticas
2	58	1 práctica
1	48	ninguna práctica

Prácticas de suelo vinculadas a la sanidad del cultivo (área “suelos-sanidad”)

En la categoría 3, se ubicaron 21 de los 109 cultivos, aunque solo tres de estos casos implementaron las tres prácticas: solarización, menor frecuencia de tomate, y mayor distancia al último tomate (cuadro 7). En la categoría 2 hubo 29 cultivos. La categoría 1, donde no realizaban ninguna de las prácticas, concentró el mayor número de cultivos (40).

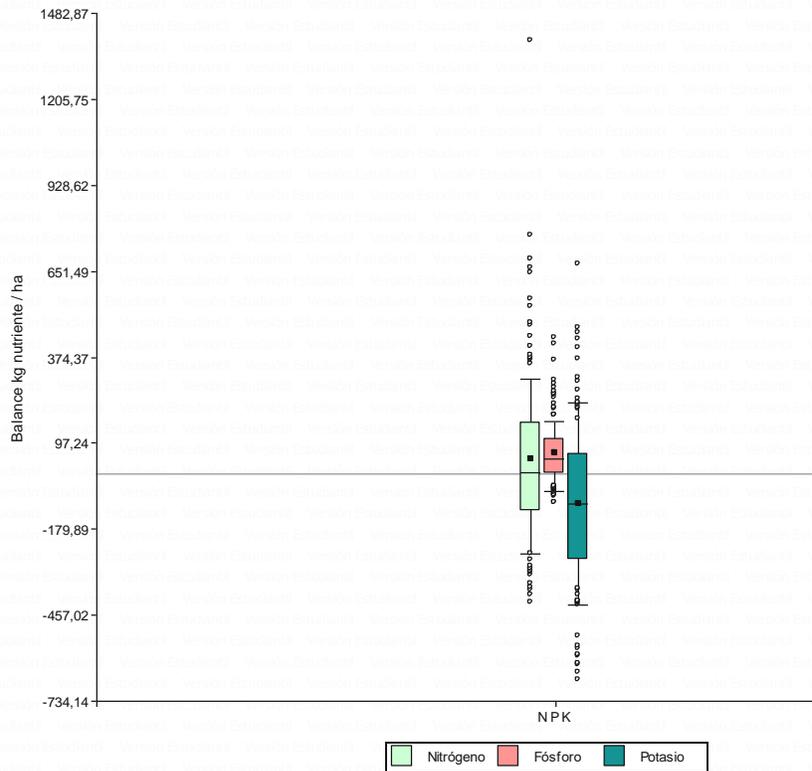
Cuadro No. 7. No. de cultivos en las tres categorías del grupo de prácticas de “suelos-sanidad”

Categoría	No. cultivos	Descripción
3	3	3 prácticas
3	18	2 prácticas
2	29	1 práctica
1	40	cero práctica
n	19	invernáculo nuevo

4.1.3.2. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio

Se observó una gran variabilidad en los balances de nutrientes (figura 19). Fueron pocos los cultivos que tuvieron balances cercanos a cero para los tres nutrientes principales. Para el caso del nitrógeno, los balances estuvieron distribuidos de forma homogénea entre quienes tuvieron excesos y déficit. Si bien la media se encontraba por encima de cero los datos se distribuyeron entre un mínimo de -415 kg N/ha hasta un máximo de 1392,5 kg N/ha. Para el balance de fósforo, los valores se encontraron en su mayoría por encima del

cero, con menores magnitudes que las de los otros dos nutrientes y menor variabilidad. El valor mínimo observado fue de -93,5 kg P/ha y el máximo de 434,8 kg P/ha. Para el potasio, en cambio, los balances fueron en su mayoría, deficitarios siendo el único nutriente en el que la media se ubicó debajo de cero. Si bien la mayor parte de los datos tuvieron este comportamiento, se registró un valor mínimo de -667 kg K/ha y un máximo de 675,7 kg K/ha.



Nitrógeno, fósforo y potasio expresados en kg por hectárea. El balance surge de la diferencia entre los requerimientos del cultivo y los aportes realizados por medio de la fertilización. Punto dentro de cada caja indica la media, barra horizontal dentro de la caja corresponde a la mediana. Barras horizontales (lados superior e inferior de la caja) cuantiles 0,25 y 0,75. Líneas con barra horizontal indican un desvío.

Figura No. 19. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio (kg/ha)

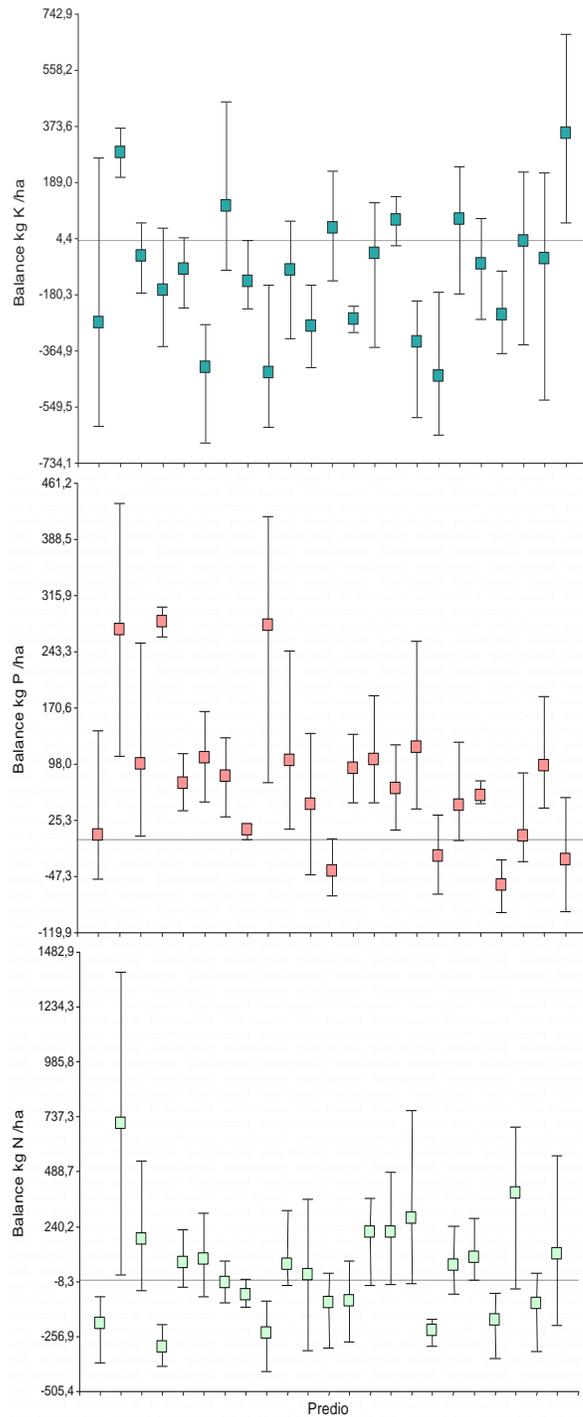
Cuando se observaron los balances de cada nutriente por predio (figura 20) pudo constatar que en el caso del fósforo las medias fueron mayores a cero en casi todos los predios, a excepción de cuatro casos. En algunos predios se observaron balances excesivamente positivos que superaban los 250 kg/ha. Para el potasio los balances fueron mayoritariamente negativos. El nitrógeno fue el nutriente que presentó balances más equilibrados entre los predios con 14 casos donde la media excedió cero y 9 en los que fue negativa. Además, fueron más los casos en los que los predios se ubicaron cercanos a cero, si

bien se observaron algunos con valores muy excesivos, como es el caso del predio 2, y mínimos y máximos muy distantes.

Además, se observaron en conjunto los balances y el contenido de los tres nutrientes en el suelo para cada cultivo. En el cuadro 8 se observan los contenidos en suelo de materia orgánica (MO), por considerarse un valor más estable que el de N en suelo como NO₃, fósforo y potasio. 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. En el caso del fósforo se identificó que a mayor contenido de P-Bray en el suelo, mayor fertilización con fósforo, y por tanto también balance más positivo.

Cuadro No. 8. Contenido de materia orgánica, fósforo y potasio en los suelos

	Media	Desvío estándar	Mín.	Máx.
MO (%)	3,63	1,23	1,97	7,53
P (ppm)	203,63	114,44	31,6	574,9
K (meq/100 g suelo)	1,60	0,96	0,24	4,76



Nitrógeno, fósforo y potasio expresados en kg por hectárea. El balance surge de la diferencia entre los requerimientos del cultivo y los aportes realizados por medio de la fertilización. Cada caja indica la media, Barras horizontales indican máximos y mínimos.

Figura No. 20. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio (kg/ha) por predio

4.1.3.3. Estado del suelo a partir del indicador de carbono actual mineralizable/carbono mineralizable original

Los cultivos fueron divididos en tres de acuerdo a su estado respecto a la relación entre el carbono original mineralizable y el carbono actual mineralizable (figura 21). Los grupos se dividieron en: mayor a 0,70, de 0,70 a 0,30 y menor 0,30. El 56% de los casos se ubicó en la franja entre 0,30 y 0,70, es decir que conservan entre el 30 y 70% del carbono mineralizable original. Sólo 23 cultivos se ubicaron por encima de 0,70, considerándose ésta la situación ideal en cuanto a la preservación y mejoramiento del suelo. Una cifra similar, 25 cultivos, se ubicaron por debajo de 0,30, evidenciando una pérdida importante de carbono en el suelo y por lo tanto un deterioro considerable de este recurso.

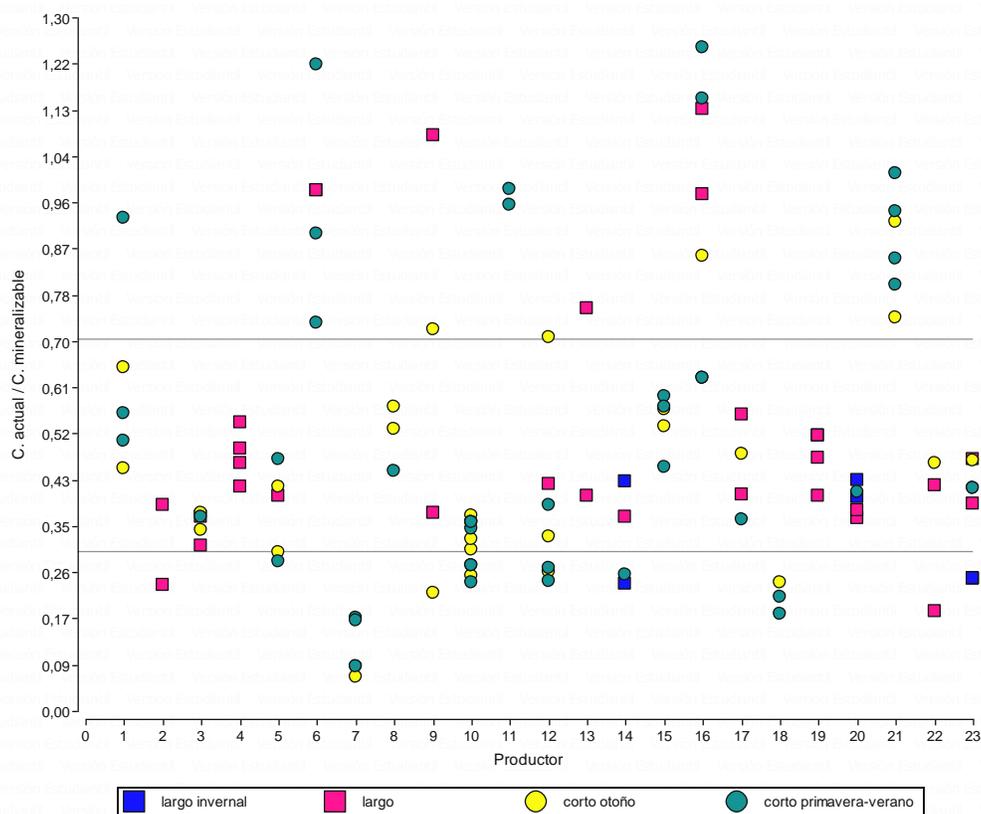


Figura No. 21. Carbono actual mineralizable/carbono mineralizable original por predio

Los cultivos pertenecientes a un mismo predio se mantuvieron juntos, y dentro de la misma franja. En el grupo donde la relación fue mayor a 0,70 se encontraron la mayor parte de los cultivos y predios orgánicos. En relación a

esto, es interesante destacar que para este tipo de cultivos, en algunos casos, el valor fue superior a 1 por lo que el contenido de carbono era incluso mayor al que tendría originalmente ese suelo.

4.2. SEGUNDA ETAPA: EVALUACIÓN INTEGRADA DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL POR CULTIVOS Y PREDIOS

4.2.1. Clasificación por cultivos y predios

En primer lugar, se realizó la integración de las tres áreas evaluadas en la primera etapa a nivel de cultivos. En el cuadro 9 se presentan los datos por cultivo con la información de cada indicador según el criterio “bueno, medio o malo” para cada uno. Además se agregaron los rendimientos de los cultivos, expresados como desvíos respecto a la media para cada tipo de ciclo (primavera-verano, otoño, largo y largo invernal).

No se observó asociación entre las tres áreas evaluadas: uso de pesticidas, materia orgánica del suelo y sanidad de suelo (cuadro 10). Los números de casos con la misma valoración en los indicadores, ubicados en las diagonales de cada cuadrante, fueron similares a los casos en las otras combinaciones. Por ejemplo, para las combinaciones de sanidad y agroquímicos, los cultivos en la categoría “bueno” para ambas áreas representan casi la misma cantidad de casos que los que combinan las categorías “bueno-medio”. Sí se identificaron pocos casos con la combinación de las categorías “bueno-malo”, generalmente aquellos cultivos que obtuvieron buen desempeño en un área no se comportaron de forma opuesta en la otra y, la mayoría de los casos se concentraron en la valoración “medio”.

Al no existir una correlación entre las áreas evaluadas, se optó por ordenar los cultivos según su desempeño en cada área.

Cuadro No. 9. Presentación de los resultados de la evaluación en las tres áreas seleccionadas, por cultivo

Cultivo	Uso de pesticidas	Suelo - materia orgánica	Suelo - sanidad	Tipo de ciclo	Rendimiento	Desvío del rendimiento
1	medio	medio	bueno-medio	prim-ver	11,39	0,19
2	malo	malo	medio	otoño	10,80	0,85
3	bueno	malo	nuevo	largo	8,05	-0,52
4	malo	medio	medio	prim-ver	11,92	0,24
5	malo	medio	medio	largo	20,15	0,19
6	malo	malo	medio	otoño	5,00	-0,14
7	medio	medio	bueno-medio	largo	20,10	0,19
8	medio	medio	bueno-medio	largo	21,78	0,29
9	bueno	malo	nuevo	prim-ver	4,89	-0,49
10	bueno	malo	malo	prim-ver	4,32	-0,55
11	bueno	medio	medio	otoño	6,54	0,12
12	bueno	medio	malo	prim-ver	10,47	0,09
13	bueno	medio	bueno-medio	largo	14,95	-0,12
14	bueno	medio	bueno-medio	largo	14,29	-0,16
15	bueno	malo	bueno-medio	prim-ver	6,39	-0,33
16	bueno	malo	nuevo	prim-ver	5,00	-0,48
17	medio	malo	medio	otoño	9,48	0,62
18	medio	malo	medio	otoño	8,77	0,50
19	medio	malo	bueno-medio	largo	19,93	0,18
20	bueno	malo	nuevo	otoño	9,65	0,65
21	medio	malo	nuevo	prim-ver	7,48	-0,22
22	medio	malo	nuevo	otoño	5,37	-0,08
23	malo	medio	malo	prim-ver	7,61	-0,21
24	malo	medio	malo	prim-ver	8,60	-0,10
25	malo	bueno	malo	prim-ver	5,94	-0,38
26	bueno	malo	malo	prim-ver	12,33	0,28
27	malo	malo	malo	otoño	8,99	0,54
28	medio	malo	nuevo	largo	17,98	0,06
29	medio	medio	bueno-medio	largo	14,61	-0,14
30	malo	medio	malo	prim-ver	12,85	0,34
31	medio	medio	malo	invernal	8,23	-0,37
32	medio	medio	malo	prim-ver	11,81	0,23
33	medio	malo	malo	otoño	8,24	0,41
34	bueno	medio	malo	prim-ver	7,34	-0,24
35	bueno	medio	nuevo	prim-ver	10,11	0,05
36	bueno	medio	nuevo	prim-ver	11,64	0,21
37	bueno	medio	bueno-medio	otoño	5,65	-0,03
38	medio	malo	malo	prim-ver	12,16	0,27
39	bueno	malo	malo	otoño	9,77	0,68
40	bueno	malo	medio	prim-ver	4,87	-0,49
41	malo	malo	bueno-medio	otoño	6,63	0,14
42	medio	medio	malo	largo	16,64	-0,02
43	medio	medio	malo	largo	11,03	-0,35
44	medio	malo	malo	prim-ver	10,50	0,09
45	medio	malo	medio	invernal	16,89	0,28
46	medio	malo	nuevo	largo	23,38	0,38
47	malo	medio	nuevo	prim-ver	15,26	0,59
48	medio	malo	medio	prim-ver	6,08	-0,37
49	bueno	medio	bueno-medio	otoño	3,73	-0,36
50	medio	medio	bueno	largo	14,81	-0,12
51	medio	medio	nuevo	largo	22,46	0,33
52	malo	medio	nuevo	prim-ver	10,92	0,14
53	medio	medio	medio	invernal	22,83	0,73
54	bueno	malo	medio	prim-ver	16,42	0,71

55	medio	medio	medio	prim-ver	15,38	0,60
56	medio	malo	medio	otoño	3,85	-0,34
57	bueno	medio	medio	largo	13,72	-0,19
58	malo	malo	malo	largo	14,59	-0,14
59	malo	medio	medio	otoño	3,81	-0,35
60	medio	medio	bueno-medio	largo	18,54	0,10
61	bueno	medio	bueno-medio	largo	15,88	-0,06
62	medio	medio	medio	largo	11,17	-0,34
63	bueno	medio	malo	otoño	2,75	-0,53
64	bueno	medio	nuevo	prim-ver	9,54	-0,01
65	bueno	medio	bueno-medio	prim-ver	16,74	0,74
66	bueno	medio	medio	prim-ver	9,83	0,02
67	bueno	malo	malo	otoño	5,04	-0,14
68	medio	malo	medio	prim-ver	9,56	0,00
69	malo	malo	medio	otoño	5,28	-0,10
70	bueno	medio	nuevo	largo	19,00	0,12
71	malo	malo	bueno-medio	otoño	4,10	-0,30
72	bueno	medio	malo	prim-ver	8,65	-0,10
73	bueno	medio	malo	prim-ver	9,80	0,02
74	medio	medio	malo	otoño	0,96	-0,83
75	medio	bueno	malo	prim-ver	7,89	-0,18
76	medio	medio	medio	otoño	6,13	0,05
77	medio	medio	malo	prim-ver	8,71	-0,09
78	medio	medio	malo	otoño	3,93	-0,33
79	malo	malo	malo	prim-ver	11,52	0,20
80	medio	malo	malo	prim-ver	13,89	0,45
81	medio	malo	malo	prim-ver	12,85	0,34
82	malo	malo	malo	otoño	6,66	0,14
83	malo	malo	malo	otoño	3,38	-0,42
84	bueno	bueno	medio	largo	14,69	-0,13
85	medio	medio	malo	largo	19,20	0,13
86	bueno	medio	malo	invernal	3,43	-0,74
87	medio	malo	malo	prim-ver	2,43	-0,75
88	medio	medio	malo	otoño	3,93	-0,33
89	medio	medio	nuevo	prim-ver	6,16	-0,36
90	bueno	medio	medio	largo	10,32	-0,39
91	bueno	medio	nuevo	largo	17,07	0,01
92	bueno	medio	bueno-medio	prim-ver	10,53	0,10
93	medio	malo	medio	largo	24,31	0,44
94	bueno	medio	malo	largo	24,17	0,43
95	malo	medio	medio	prim-ver	8,35	-0,13
96	medio	medio	malo	largo	12,69	-0,25
97	medio	medio	malo	largo	15,81	-0,07
98	bueno	malo	medio	invernal	8,35	-0,37
99	medio	medio	medio	largo	19,61	0,16
100	medio	malo	nuevo	prim-ver	5,14	-0,46
101	medio	malo	bueno-medio	prim-ver	6,89	-0,28
102	medio	malo	bueno-medio	otoño	5,73	-0,02
103	medio	medio	bueno	largo	10,44	-0,38
104	medio	medio	bueno	otoño	2,67	-0,54
105	medio	malo	nuevo	largo	23,13	0,37
106	medio	malo	medio	invernal	18,51	0,41
107	malo	malo	malo	prim-ver	12,57	0,31
108	malo	malo	malo	otoño	6,46	0,11
109	medio	malo	medio	invernal	13,95	0,06

Resultados en las tres áreas seleccionadas: uso de agroquímicos, suelo vinculado a materia orgánica, suelo vinculado a la sanidad, tipo de ciclo, rendimiento y desvío respecto al rendimiento promedio para cada tipo de ciclo. *Desvío respecto al rendimiento promedio calculado como: (rendimiento del cultivo - rendimiento promedio para ese tipo de ciclo) / rendimiento promedio para ese tipo de ciclo

Cuadro No. 10. Interacción entre los resultados de los diferentes grupos de indicadores: número de cultivos que se encuentran simultáneamente en la misma categoría para dos áreas diferentes

		Sanidad			Materia orgánica		
		bueno	medio	malo	bueno	medio	malo
Uso de pesticidas	bueno	8*	8	11	1	23	12
	medio	11	14	18	1	26	24
	malo	2	7	11	1	9	12
Materia orgánica	bueno	0	1	2			
	medio	15	13	21			
	malo	6	15	17			

No. de cultivos que se encuentran en las dos categorías simultáneamente

Para analizar el comportamiento a nivel predial, se ordenaron los cultivos por predio, y se generó un valor resumen por predio para cada una de las tres áreas, que correspondió a la proporción de cultivos (del total de cada predio) que se ubicaron en cada una de las categorías (bueno, medio, malo) (cuadro 11). Se le otorgó el valor más alto, tres, a los de categoría “bueno”, dos a los “medios” y uno a los “malos”. De la multiplicación de estos coeficientes por la proporción de cultivos encontrados en cada categoría se obtuvo el valor del índice de cada área a nivel de cada predio, y la suma de los tres índices corresponde al índice total. Se eliminó de este cálculo a los cultivos etiquetados como “nuevos” en el entendido que las características base de las que partía el ambiente en estos casos pudo modificar levemente el manejo o prácticas adoptadas, no siendo representativos de las acciones y comportamiento habitual de cada productor.

De este modo fue posible ordenar los predios de acuerdo al manejo de sus cultivos. Se identificaron algunos casos con categorías dominantes medio y buenas, mientras que otros fueron medio y malo, muy pocos casos combinaron valores extremos (bueno y malo).

Si se observa solamente la columna de materia orgánica puede destacarse que solo tres productores tuvieron cultivos en la categoría “bueno”.

Cuadro No. 11. Proporción de cultivos que pertenecen a cada categoría por predio e índices por área evaluada y total

Predio	no. de cultivos	Suelos - sanidad			Suelos - materia orgánica			Uso de pesticidas			Índices			
		bueno	medio	malo	bueno	medio	malo	bueno	medio	malo	índice sanidad	índice mo	índice pest	índice total***
A	5	0,20*	0,80	0,00	0,00	0,40	0,60	0,20	0,60	0,20	2,20**	1,40	2,00	5,60
B	1	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	2,00	2,00	3,00	7,00
C	5	0,00	0,80	0,20	0,00	0,60	0,40	0,00	0,00	1,00	1,80	1,60	1,00	4,40
D	4	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,25	0,75	0,00	3,00	2,00	2,25	7,25
E	4	0,00	0,50	0,50	0,00	0,75	0,25	0,75	0,25	0,00	1,50	1,75	2,75	6,00
F	4	0,75	0,00	0,25	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	2,50	2,00	3,00	7,50
G	4	0,25	0,50	0,25	0,00	0,25	0,75	0,75	0,25	0,00	2,00	1,25	2,75	6,00
H	3	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,67	0,33	2,00	1,00	1,67	4,67
I	2	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50	0,50	3,00	1,00	1,50	5,50
J	9	0,00	0,11	0,89	0,11	0,89	0,00	0,22	0,56	0,22	1,11	2,11	2,00	5,22
K	2	0,00	0,00	1,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	1,00	2,00	1,00	4,00
L	6	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,17	0,33	0,50	1,00	1,00	1,67	3,67
M	2	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,00	2,50	2,50	2,50	7,50
N	4	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,25	0,50	0,25	1,00	2,00	2,00	5,00
O	4	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50	0,50	0,00	1,00	0,00	1,00	1,50	2,00	4,50
P	4	0,50	0,25	0,25	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	2,25	2,00	3,00	7,25
Q	4	0,00	0,25	0,75	0,00	0,25	0,75	0,50	0,50	0,00	1,25	1,25	2,50	5,00
R	3	0,33	0,67	0,00	0,00	0,33	0,67	0,33	0,00	0,67	2,33	1,33	1,67	5,33
S	4	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	2,00	2,00	5,00
T	4	0,00	0,75	0,25	0,00	0,25	0,75	0,25	0,75	0,00	1,75	1,25	2,25	5,25
U	4	0,75	0,25	0,00	0,00	0,25	0,75	0,25	0,75	0,00	2,75	1,25	2,25	6,25
V	3	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	3,00	2,00	2,00	7,00
W	5	0,00	0,60	0,40	0,00	0,20	0,80	0,00	0,60	0,40	1,60	1,20	1,60	4,40

*proporción de cultivos en cada categoría calculada como: no. de cultivos en esa categoría / no. total de cultivos evaluados para ese predio

**índice de cada área evaluada calculado como: proporción de cultivos en categoría bueno *3 + proporción categoría medio *2 + proporción categoría malo *1 (valor máximo del índice 3, valor mínimo 1)

***índice total: suma de los índices para cada área por sistema, índice sanidad + índice materia orgánica + índice uso de pesticidas (valor máximo del índice 9, valor mínimo 3)

4.2.2. Clasificación final por sistema

Los productores que obtuvieron los números más altos son aquellos que tuvieron más proporción de cultivos en categorías buenas o medias, y aquellos con menores puntajes tenían mayor proporción de cultivos con malas valoraciones.

La obtención de este valor final permitió ordenar los predios según su nivel de sostenibilidad, considerando todos sus cultivos y según las variables consideradas (cuadro 12). Debido a la gran variabilidad, no fue posible dividir a los sistemas en tres grupos como se propuso inicialmente, a menos que la división se realizara de forma arbitraria ya que no existieron límites claros entre categorías marcadas por la división de los datos *per se*. Se optó, entonces, por realizar una escala en la que se observan los sistemas de acuerdo a su desempeño a nivel de la sostenibilidad ambiental, pudiéndose destacar fácilmente los extremos con mejor y peor desempeño, y las situaciones intermedias con más cercanía a los puntajes altos o bajos. Se agregó también el desvío promedio del rendimiento de todos los cultivos para cada sistema con el fin de visualizar si existía una relación entre un buen desempeño en las áreas evaluadas y un buen rendimiento, que configuraría la situación “ideal”.

Cuadro No. 12. Índice total por sistema, integrando las tres áreas

Predio	No. de cultivos	índice sanidad	índice materia orgánica	índice uso de pesticidas	índice total	Desvío promedio del rendimiento
F	4	2,50	2,00	3,00	7,50	0,11
M	2	2,50	2,50	2,50	7,50	-0,13
D	4	3,00	2,00	2,25	7,25	0,13
P	4	2,25	2,00	3,00	7,25	-0,04
B	1	2,00	2,00	3,00	7,00	-0,36
V	3	3,00	2,00	2,00	7,00	-0,35
U	4	2,75	1,25	2,25	6,25	-0,15
E	4	1,50	1,75	2,75	6,00	-0,36
G	4	2,00	1,25	2,75	6,00	-0,06
A	5	2,20	1,40	2,00	5,60	0,40
I	2	3,00	1,00	1,50	5,50	0,16
R	3	2,33	1,33	1,67	5,33	-0,16
T	4	1,75	1,25	2,25	5,25	0,11
J	9	1,11	2,11	2,00	5,22	-0,19
N	4	1,00	2,00	2,00	5,00	-0,16
Q	4	1,25	1,25	2,50	5,00	0,45
S	4	1,00	2,00	2,00	5,00	-0,17
H	3	2,00	1,00	1,67	4,67	0,13
O	4	1,00	1,50	2,00	4,50	-0,16
C	5	1,80	1,60	1,00	4,40	-0,04
W	5	1,60	1,20	1,60	4,40	0,31
K	2	1,00	2,00	1,00	4,00	-0,09
L	6	1,00	1,00	1,67	3,67	0,20

Índice de cada área evaluada calculado como: proporción de cultivos en categoría bueno *3 + proporción categoría medio *2 + proporción categoría malo *1 (valor máximo del índice 3, valor mínimo 1)

Índice total: suma de los índices para cada área por sistema, índice sanidad + índice materia orgánica + índice uso de pesticidas (valor máximo del índice 9, valor mínimo 3)

Desvío promedio del rendimiento calculado como se describe en el cuadro 9.

Aquellos predios que se encuentran en la mitad inferior del cuadro (valores de 5,33 a 3,67) poseen un bajo puntaje en las tres áreas evaluadas. En el caso de la porción de los sistemas con desempeño más positivo (de 7,50 a 5,50), los sistemas son generalmente “buenos” en las tres áreas, los puntajes más bajos se encuentran en estos casos asociados al área de suelos vinculada a la materia orgánica.

En cuanto a la relación entre los valores del índice total y los rendimientos promedio de los sistemas, pudo constatarse que no existe una asociación entre ambos. Los casos que poseen la combinación más deseable: desvío positivo en el rendimiento y un valor alto en la evaluación de sostenibilidad ambiental son solo tres sistemas. Dentro de los sistemas con valores más bajos en cuanto al aspecto ambiental se encuentran aquellos con desvíos más positivos para el rendimiento.

4.3. TERCERA ETAPA: ENTREVISTA Y ANÁLISIS DE LOS TRES PREDIOS CON MAYOR ÍNDICE TOTAL

4.3.1. Diversidad productiva

En cuanto a la diversidad productiva, pudo comprobarse que en el caso del sistema orgánico (predio F) la diversidad de cultivos ascendía a alrededor de 36 especies por año, entre cultivos de hoja, aromáticas, nabo, remolacha, tomate, morrón y berenjena, entre otros. En el predio D, desde el relevamiento de los datos durante el proyecto hasta la actualidad la superficie de tomate se redujo considerablemente, aumentando la producción de morrón como cultivo principal, debido a que demanda menos mano de obra durante su ciclo y cosecha. Existe, sin embargo, cierta diversidad dado que también cultivan perejil, albahaca, sandía, melón (y en ocasiones papa del aire, papaya y ananá) en las cabeceras de los canteros y en el centro de los invernáculos, principalmente para autoconsumo. La situación en el predio M fue similar: desde que se relevaron los datos para el proyecto hasta la actualidad se dejó de cultivar tomate por las mismas razones. En este caso se sustituyó completamente al tomate por morrón, siendo ésta la única especie cultivada en el sistema actualmente.

En cuanto a las razones de la elección de estos cultivos, en los predios D y M la respuesta estuvo vinculada, como se mencionó, a la disponibilidad de mano de obra. En el predio F, la elección de los cultivos no estuvo vinculada a la demanda de mano de obra de cada uno (esto no es una limitante principal en el predio ya que trabajan varios miembros de la familia y varios trabajadores permanentes) sino a la necesidad de poseer variedad de especies, por razones de mercado y comercialización, así como también respondiendo a la necesidad de generar un sistema diverso. La diversidad se observó también dentro de los invernáculos donde se cultivan varias especies en simultáneo.

4.3.2. Uso de pesticidas

En relación a la forma en la que se decide realizar aplicaciones, en los tres casos los productores afirmaron basarse en el monitoreo para decidir si era necesaria o no una aplicación.

En el predio F, el monitoreo era realizado por los productores, y tres empleadas que tienen esta actividad como una de sus tareas, y respaldado por la visita técnica cada 15-20 días. En el caso del predio D, las aplicaciones se realizaban también basándose en el monitoreo como una actividad rutinaria que luego se combinaba con la tarea de cosechar cuando llegaba ese momento del ciclo. Para este predio, debe destacarse que existía por parte del hijo de los productores, especial preocupación por conocer las plagas y enfermedades e insectos benéficos vinculados a los cultivos. A partir de capacitaciones y búsqueda en internet había profundizado su conocimiento acerca de estos temas. En el predio M, las decisiones se tomaban también en base al monitoreo, que no tenía una cadencia estricta.

Vinculado al uso de productos que no fueran de síntesis química, en el predio F debido a que la producción es orgánica éstos son los que predominaban. El sistema es orgánico desde 1996 y a partir de ese año se han incorporado varios productos alternativos y de control biológico. Desde que realiza control alternativo al químico el productor manifestó que observaba menor incidencia de insectos plaga. Es importante mencionar que, según comentó, desde que disminuyó el uso de azufre y cobre la aparición de mosca blanca se redujo considerablemente hasta el punto de que actualmente prácticamente no había problemas con este insecto en el predio.

Los principales problemas sanitarios expresados por el productor del predio F fueron el oidio (*Leveillula taurica*) que controla con leche y bicarbonato, y el pulgón, para el cual utiliza un hongo entomopatógeno aislado por el grupo de productores al que pertenece. Para el control de los otros problemas sanitarios utilizaba principalmente Bactur (*Bacillus thuringiensis*) y trampas de feromonas para la polilla del tomate (*Tuta absoluta*), el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* para las hormigas, *Paecilomyces fumosoroseos* para la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), y Baicen (Matrine) y Ecotrol (aceite de romero, Geraniol y aceite de menta) que controlan pulgón, mosca blanca y polilla pero también ácaros, coleópteros, algunas orugas y trips. Además, intentan realizar no más de una aplicación de azufre y aceite mineral durante el ciclo a menos que se constate la necesidad de más aplicaciones durante el monitoreo.

En el caso del predio D, el manejo sanitario constituye una mezcla entre productos de síntesis química y productos de origen biológico. Se han incorporado al manejo sanitario productos como *Trichoderma sp.*, *Beauveria bassiana*, *Bacillus thuringiensis* y Microgeo (probiótico natural, para mejora de la calidad del suelo, no control sanitario específicamente). Varios de los agentes de control biológico son aislados localmente por la sociedad de fomento rural de la zona. La utilización de estos productos alternativos estuvo vinculada con producir hortalizas cuyo origen sea más saludable tanto para los consumidores

como para ellos mismos, que se alimentan de los mismos cultivos y que deben realizar las aplicaciones de los productos. La sustitución de los productos de síntesis química por alternativas biológicas, las aplicaciones racionalizadas y el respeto por los tiempos de espera y residualidad de los productos, además de la utilización de agroquímicos de alta especificidad (y no de amplio espectro, para preservar los insectos benéficos) son los principios que rigen la lógica del manejo sanitario en este sistema.

Los principales problemas sanitarios identificados por los productores fueron similares a los mencionados para el predio F en relación al pulgón y oidio, pero también mencionaron mosca blanca. Para controlar mosca blanca y pulgón se utilizaban insecticidas a base de Pymetrozine y Spirotetramat, ambos de alta especificidad y sistémicos.

En el caso del predio M, el control se basaba principalmente en productos de síntesis química, aunque se utilizaban en baja frecuencia, al observar problemas sanitarios durante el monitoreo. Anteriormente se utilizó control biológico para el manejo de la mosca blanca, pero ya no se utilizaba. Los principales problemas sanitarios manifestados por el productor fueron el oidio y los nematodos. Para el primero, implementó variedades de morrón resistentes a este hongo, para el segundo planeaba organizarse para realizar solarizaciones. Además, el productor comenzó a preparar EM (microorganismos eficientes) en su predio, que incorporará en los próximos cultivos, a raíz de comentar sobre sus beneficios con un vecino, productor orgánico y técnico con el que se informaba sobre este tipo de productos y tecnologías.

4.3.3. Prácticas vinculadas a la mejora y conservación de la materia orgánica del suelo

Relacionado a la utilización de la práctica de los abonos verdes, en el predio F era ampliamente utilizada, realizándose a campo en la mayor parte de la superficie y en dos invernáculos por año. Las especies utilizadas eran avena y nabo forrajero al tratarse de un abono verde invernal, que se siembra en mayo y se corta e incorpora en agosto. Si bien existe la intención de realizar la práctica en más invernáculos en simultáneo, la demanda productiva no lo permite. Existen en este sistema muchos trabajadores permanentes porque ha aumentado la escala y no puede disminuirse el trabajo de manera abrupta en esta época del año.

En el predio D se realizan abonos verdes desde hace 12 años. La práctica se implementaba en todos los invernáculos utilizando avena y nabo forrajero. Además se enterraban los restos de los cultivos en el invernáculo al terminar el ciclo. Si bien dejar restos de cultivos viejos es una práctica que podría considerarse un tanto controversial, los productores afirmaron que desde que entierran los restos del cultivo perciben el crecimiento de un hongo que

parece controlar la *Botrytis cinerea*, con la que no han tenido más dificultad desde que incorporaron esta práctica. Por la observación del hongo en los restos de cultivo y la búsqueda bibliográfica puede sugerirse que el hongo al que se refieren es *Trichoderma harzianum*.

En el predio M, no se realizaban actualmente abonos verdes, debido a algunos inconvenientes en la planificación de este tipo de manejo, aunque sí se realizaban cuando se relevaron los datos entre los años 2014 y 2016. En ese momento se utilizaba avena para llevar a cabo la práctica y en una ocasión maíz dulce.

Relacionado al aporte de abono orgánico, en el predio F se utilizaba abono de gallina por lo menos desde que el predio se convirtió a la producción orgánica (1996) aunque desde hace 10-15 años la cantidad utilizada ha disminuido. El abono de gallina se dejaba estacionar un año antes de ser utilizado y se lo combinaba con compost al aplicarlo al suelo. En el predio D también se utilizaba abono de gallina (antes se utilizaba abono de pollo) aplicándose una vez por año, aunque se ha decidido en los últimos ejercicios espaciar las aplicaciones aún más. En el predio M, en el que se combinaba la producción hortícola con la de cerdos, se utilizaba el abono de cerdo como aporte de fertilizante orgánico a los cultivos. Para esto, se instaló en el predio una bomba con una manguera que extrae el excremento de la zona de cría de cerdos y lo transporta a los invernáculos o a la pradera, según dónde se quiera aplicar.

Los tres sistemas manifestaron haber notado ciertos cambios positivos a partir de la implementación de los abonos verdes y el abono orgánico: en el predio F la producción más uniforme y menor pérdida de plantas. Especialmente con la implementación de los abonos verdes la sanidad de los cultivos mejoró. En el predio D, los productores manifestaron que el suelo era muy duro antes y que especialmente luego de la implementación de los abonos verdes el suelo tiene mejor estructura, menor compactación, y que en conjunto con el uso del mulch conserva mejor la humedad. En el predio M, el productor percibió que la cosecha era mejor desde que empleaba estas prácticas. Desde el punto de vista económico también constataba beneficios ya que compraban menos fertilizante.

En los últimos tres años, desde el relevamiento de los datos hasta la actualidad, se realizaron modificaciones a las prácticas evaluadas. En predio F, se agregó nabo forrajero a las especies utilizadas como abonos verdes. Además se comenzó a estacionar el abono de gallina antes de utilizarlo y a combinarlo con compost. En el predio D se cambió de abono de pollo a abono de gallina y se disminuyeron las cantidades utilizadas. En el predio M se compró la bomba que permite una extracción más eficiente del abono de cerdo.

4.3.4. Prácticas y manejos del suelo que se relacionan con la sanidad

Se consultó sobre la existencia de enfermedades que asociaran al suelo, en el sistema. En el predio F los mayores problemas sanitarios relacionados con el suelo eran los nematodos formadores de agallas (del género *Meloidogyne*) que actualmente son controlados con la rotación y la biofumigación con restos de repollo u otras crucíferas. Además se utiliza *Trichoderma* agregada junto con el estiércol y el compost y en primavera se aplican EM todas las semanas. Hace 20 años el control de este tipo de problema se basaba principalmente en aplicaciones de cobre. En el predio D también se mencionaron los nematodos como el problema sanitario principal asociado al suelo. Sin embargo, los productores manifestaron que su presencia ha disminuido notoriamente desde la realización de abonos verdes. En el predio M, en cambio, los nematodos sí resultan un problema para la producción. Se observa una disminución en el crecimiento de las plantas y presencia de agallas en las raíces.

Se relevó de qué forma se realizaba la planificación de la instalación de los cultivos. En el caso del predio F, la planificación se realizaba en invierno, teniendo en cuenta lo plantado en años anteriores en cada lugar, y para los cultivos de otoño-invierno la organización se realizaba entre fines de enero y principios de marzo. En el predio D, la alternancia de cultivos estaba integrada solo por morrón y avena, por lo que, la organización que se lleva a cabo tiene que ver con la coordinación de las fechas de cosecha, para que se desfasen o solapen distintos cultivos. En el predio M, en cambio, como se cultivaba sólo morrón no había una planificación estricta, aunque el productor planeaba agregar otros cultivos en este año, que le permitieran liberar los invernáculos en verano para solarizar.

En cuanto a la práctica de solarización, en el predio F se realiza aproximadamente cada dos años pero no es una práctica permanente o regular. El productor expresó que les resultaba complicado encontrar el tiempo para ejecutarlo porque implicaba tener el suelo libre durante 30 días en la época pico de producción. En el predio D, actualmente no se llevaba a cabo esta práctica debido a que el ciclo del morrón condiciona que los invernáculos estén ocupados desde setiembre durante todo el verano. En adición a esto, no existían problemas sanitarios que justifiquen la realización urgente de la práctica. En el predio M, también se realizaba la práctica aunque no regularmente. La solarización se realiza cada 2 o 3 años (en este predio resulta más necesaria la realización de esta práctica debido al problema de nematodos constatado).

En los tres casos, al ser consultados sobre la influencia o fuente de información que originaba la implementación de las prácticas evaluadas, los

productores afirmaron que las mayores influencias eran otros productores que las realizaban, las jornadas de difusión, el asesoramiento técnico y la radio.

4.3.5. Observación de aspectos generales del predio y percepciones de los productores sobre la sostenibilidad

Se observó el estado de la vegetación en los alrededores de los invernáculos y el predio en general. En el predio F dentro del invernáculo se realizan solo carpidas a mano para desmalezar (no se utilizan herbicidas en ningún momento por ser un sistema orgánico certificado). En la zona de los alrededores de los invernáculos se deja crecer la vegetación y se controlaba la altura y que no avance hacia adentro de los invernáculos, con bordeadora. En esta vegetación no predominaba ninguna maleza en particular sino que se generaba una población variada de especies. Además, existía una zona de monte de eucaliptus, y se estaban implantando árboles, principalmente nativos, en los caminos y en las zonas cercanas a la cabecera de los invernáculos. En el predio D los caminos estaban empastados pero la vegetación se mantenía más corta. Además, entre los invernáculos se encontraban algunos árboles frutales para consumo de la familia. En el predio M existían zonas de pradera donde se crían los cerdos. Se observaron zonas de pradera, más alejadas, donde se vertía el excedente de abono de cerdo que no era aplicado a los cultivos, en esta zona se observaban parches de vegetación de mayor altura.

Por último, se les preguntó a los productores si identificaban algún aspecto que hubieran mejorado en el sistema en los últimos años que implicara una disminución del impacto de la producción sobre los recursos (como el suelo y el agua). También se consultó si consideraban que alguna de las prácticas o manejos que realizaban favorecía la conservación de la biodiversidad. En el predio F el productor consideró que algunas medidas con impacto positivo eran las franjas empastadas naturales y la diversidad de cultivos dentro del invernáculo para atraer insectos benéficos, polinizadores y generar mayor diversidad. Además resaltó la instalación de los árboles principalmente nativos. Con esto se busca generar un refugio para insectos benéficos e intentar que haya plantas florecidas durante todo el año, para atraer polinizadores en el momento del año que se encuentran instalados los cultivos de ciclo más largo pero también para oficiar de refugio cuando no hay tantos cultivos en el predio. En cuanto al cuidado directo de los recursos agua y suelo, recientemente se modificó el procedimiento de armado de canteros para evitar el arrastre de suelo hacia atrás de los invernáculos y evitar que queden muy bajos.

En el predio D, los productores resaltaron la incorporación de otros cultivos diferentes, principalmente para el consumo personal pero que generaban variedad dentro del invernáculo. Además destacaron la combinación con la producción ganadera: 20 animales que cumplían la función de pastorear

las zonas que no son utilizadas para la horticultura y además constituían una inversión.

En el predio M el productor destacó la incorporación de algunos hongos para el control biológico de enfermedades y plagas, y la utilización del abono de cerdo, producido en el sistema, como abono de los cultivos hortícolas.

La última pregunta pretendió relevar qué aspectos sabían que deberían realizar de otra manera pero les resultaban difíciles de manejar, y por qué no habían podido modificarlos.

El productor del predio F expresó su preocupación vinculada al uso del nylon (para mulch, solarización e invernáculos), ya que era difícil saber cómo tratar los residuos de este material. En este sentido, planeaba probar el mulch de otros materiales como paja o papel en el cultivo de tomate. Otra dificultad expresada fue cómo compostar, utilizar los restos de los cultivos.

En el caso del predio D el aspecto a modificar según los productores era seguir reduciendo el control químico. Para esto, la dificultad según expresaron era que *“faltan herramientas e insumos de productos alternativos o enemigos naturales que sean compatibles con ciertos productos o ambientes, y poder contar con esta información. Un lugar donde se centralice la venta de productos alternativos y se proporcione la información necesaria para utilizarlos”*. Además de esto, expresaron que los productos químicos más específicos, que prefieren utilizar para no dañar poblaciones de otros hongos o insectos benéficos, son muy difíciles de conseguir en Uruguay.

En el predio M, el productor manifestó que querría realizar solarizaciones de forma más sistemática ya que ayudaría a disminuir los problemas sanitarios vinculados al suelo, como la presencia importante de nematodos, pero no lo había logrado aún porque esto implicaba sacrificar tiempo de cultivo. Otro aspecto que quería modificar era la incorporación de microorganismos eficientes.

Cuadro No. 13. Resumen de las entrevistas y observaciones realizadas en los tres predios

	Predio F	Predio D	Predio M
Diversidad de cultivos	36 por año - cultivos de hoja, morrón, tomate, berenjena, aromáticas, nabo, remolacha	Tomate y morrón - perejil, albahaca, sandía, melón en cabeceras y centro de invernáculos para consumo personal principalmente	Tomate y morrón (actualmente solo tomate)
Uso de pesticidas	Utiliza sólo los habilitados para la producción orgánica sólo en caso necesario, ya no usa cobre ni azufre habitualmente. Principalmente productos alternativos y agentes de control biológico	Utiliza de forma racional, basa el control en productos con alta especificidad. Combina con agentes de control biológico y productos alternativos	Utiliza de forma reducida. Realiza aplicaciones sólo cuando observa problemas sanitarios. Anteriormente utilizaba control biológico para la mosca blanca
Toma de decisiones para aplicar productos	Monitoreo	Monitoreo	Monitoreo
Principales problemas sanitarios	Oído y pulgón. También chinche verde y mosca blanca (actualmente ya no)	Mosca blanca, pulgón y oídio	Oídio y nemátodos
Control para los principales problemas	Leche y bicarbonato para oído, hongo para el control de pulgón aislado localmente	Pymetrozine y Spirotetramat para el control de pulgón y mosca blanca, ambos de alta especificidad	Control químico aunque planean utilizar variedades de morrón resistentes al oído y solarizar para controlar nemátodos
Realización de abonos verdes (AV)	A campo en la mayor parte de la superficie y en dos invernáculos por año. Avena y nabo forrajero	En todos los invernáculos, hace 12 años que se utiliza esta práctica. Avena y nabo forrajero. Además se dejan los restos del cultivo anterior en el invernáculo	Actualmente no. Entre 2014 y 2016 se utilizaba avena y en una ocasión maíz dulce
Aporte de abono orgánico (AO)	Abono de gallina desde 1996. Desde hace 10-15 años se disminuyó la cantidad. Actualmente se estaciona por un año y se aplica combinado con compost de origen vegetal	Abono de gallina, una vez por año aunque cada vez se espacia más las aplicaciones	Abono de cerdo, proveniente de la producción de cerdos del predio

(cont. cuadro No. 13)

Cambios observados a partir de la implementación de AV y AO	Producción es más uniforme, hay menor pérdida de plantas. Con los abonos verdes la sanidad de los cultivos mejoró	A partir de los abonos verdes el suelo tiene mejor estructura, menor compactación, y que en conjunto con el uso del mulch conserva mejor la humedad	La cosecha es mejor desde que emplea estas prácticas. Desde el punto de vista económico se compra menos fertilizante
Principales problemas sanitarios vinculados al suelo	Nematodos. Controlados con rotación y biofumigación. Se utiliza Trichoderma junto con el estiércol y el compost y en primavera se aplican microorganismos eficientes (EM) todas las semanas.	Nematodos. Su presencia ha disminuido notoriamente desde la realización de abonos verdes. Además el morrón, especie más cultivada actualmente, no es tan susceptible a esta enfermedad	Nematodos. Se observa una disminución en el crecimiento de las plantas y presencia de quistes en las raíces.
Planificación de secuencia de cultivos	Se realiza en invierno. Se tiene en cuenta lo plantado en años anteriores en cada lugar. Para los cultivos de otoño-invierno la organización se realiza entre fines de enero y principios de marzo	La alternancia de cultivos está integrada solo por morrón y avena. La planificación tiene que ver con las fechas de cosecha, para que se desfasen o solapen dependiendo de los tipos de morrón	Actualmente se cultiva sólo morrón no hay una planificación estricta. Se planea agregar otros cultivos como pepino o lechuga, que liberen los invernáculos en verano para solarizar
Realización de solarización	Se realiza aproximadamente cada dos años en cada invernáculo. Resulta complicado encontrar el tiempo porque implica tener el suelo libre la época pico de producción	Actualmente no se realiza. El ciclo del morrón condiciona que los invernáculos estén ocupados durante todo el verano. No existen problemas sanitarios que justifiquen la realización urgente de la práctica	Se realiza aunque no regularmente, cada 2 o 3 años. Se pretende comenzar a solarizar dos invernáculos por año ebido al problema de nemátodos constatado
Fuentes de información principales para la incorporación de prácticas	Otros productores que las realizaban, jornadas de información, asesoramiento técnico y radio	Otros productores que las realizaban, jornadas de información, asesoramiento técnico y radio	Otros productores que las realizaban, jornadas de información, asesoramiento técnico y radio
Estado de vegetación	Cerca de los invernáculos se deja crecer la vegetación y se controla altura y avance con bordeadora. Zona de monte de eucaliptos. Se están implantando árboles nativos en las zonas cercanas a los invernáculos	Caminos empastados, la vegetación se mantiene más corta. Entre los invernáculos hay algunos árboles frutales para consumo interno de la familia	Zonas de pradera donde se crían los cerdos, algunas al lado de los invernáculos. Otras zonas donde se vierte el excedente de abono de cerdo. Se observan parches de vegetación de mayor altura
Cambios adoptados para disminuir el impacto ambiental según autopercepción de productores	Las franjas empastadas naturales y la diversidad de cultivos dentro del invernáculo. La instalación de los árboles nativos para generar un refugio para insectos benéficos y atraer polinizadores	Incorporación de otros cultivos, principalmente para el consumo personal pero que generan variedad dentro del invernáculo y la combinación con la producción ganadera	Incorporación de algunos hongos para el control biológico de enfermedades y plagas y utilización del abono de cerdo para los cultivos hortícolas
Aspectos que les gustaría modificar pero les resulta difícil	Disminuir el uso del nylon (para invernáculos). Es difícil saber cómo tratar los residuos de este material. Resolver cómo compostar o utilizar los restos de los cultivos	Seguir reduciendo el control químico. Además, los productos químicos más específicos que utilizan para no dañar poblaciones de hongos o insectos benéficos, son muy difíciles de conseguir	Realizar solarizaciones de forma más sistemática. Incorporar microorganismos eficientes (EM)

5. DISCUSIÓN

5.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNÁCULO EN EL SUR DEL PAÍS CON ESPECIAL ÉNFASIS EN SU SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

Uno de los objetivos de este trabajo fue caracterizar los sistemas de producción de tomate en invernáculo del sur del Uruguay, con énfasis en el área ambiental, teniendo en cuenta también algún aspecto económico-productivo. Existen en el país varios trabajos y publicaciones que refieren a los tipos de producción, el estado de los recursos naturales, los insumos utilizados para producir hortalizas, los manejos adoptados y recomendados, a nivel nacional y específicamente en esta zona (Dogliotti et al. 2010, Aguerre 2011, Álvarez et al. 2011, Ackermann 2014, Alliaume et al. 2014, MGAP 2014, Barreto et al. 2017, Taschdijan 2017, MGAP. DIGEGRA et al. 2018), pero no es tan frecuente encontrar información cuantitativa sobre estos aspectos, o el análisis de varios predios en simultáneo.

Como principal resultado, se constató una gran variabilidad entre los sistemas de producción, y cultivos evaluados, tanto en el aspecto productivo, a través de los rendimientos, como en el estado del recurso suelo, las prácticas de manejo implementadas, y el tipo y cantidad de pesticidas y fertilizante utilizados para la producción.

La productividad, evaluada a través del rendimiento de los cultivos, es un indicador del resultado productivo-biofísico del agroecosistema. Esto es producto de la combinación entre recursos y manejo, y por lo tanto es útil para analizar la sostenibilidad. Además, debe tenerse en cuenta que la consideración de la variable rendimiento es importante ya que un objetivo central de las familias productoras, es generar suficiente producción para comercializar y obtener una ganancia que permita cubrir costos de vida, de producción o futuras inversiones.

El rendimiento promedio de los cultivos fue de 10,94 kg/m², lo que se condice con lo documentado en la Encuesta Hortícola Sur (MGAP. DIEA, 2014) que reporta un rendimiento promedio de 10,6 kg/m². Pero los resultados resaltan que un 56% de los cultivos se encontraron por debajo de la media, y que existe una gran variabilidad. Los cultivos de ciclo largo tuvieron un promedio de 16,2 kg/m² (entre 3,4 y 24,3 kg/m²), y los cultivos de ciclo corto tuvieron un promedio de 8,1 kg/m² (entre 1 y 16,7 kg/m²).

Si bien la productividad solo constituye una parte de la amplia gama de beneficios ambientales, sociales y ecológicos que ofrecen los sistemas productivos, se encuentra ampliamente aceptado que los buenos rendimientos son un objetivo central a alcanzar para construir una seguridad alimentaria sostenible, considerando que la tierra cultivable es finita (Seufert et al., 2012).

Estos rendimientos se alcanzaron con diferentes costos ambientales, lógicas de producción y tecnologías, algunas evaluadas en este análisis.

En cuanto a las otras áreas de evaluación vinculadas directamente a los recursos utilizados para la producción y las prácticas realizadas. Aunque existe variabilidad, puede afirmarse en primer lugar, que la mayor parte de los sistemas analizados son dependientes del uso de pesticidas. El 52% de los predios (12 de 23) se basó únicamente en el uso de pesticidas. Puede decirse que existe una fuerte dependencia de los insumos químicos para el manejo de plagas y enfermedades, dado que de 109 cultivos evaluados sólo 24 (22%) alternaron su uso con otros productos “alternativos” o biológicos (12 cultivos pertenecientes a predios orgánicos y 12 a predios con manejo integrado).

Si bien la mayoría de los predios utilizan el control químico como base para el manejo de las plagas y enfermedades, existieron algunos casos, que bajo sistemas orgánicos, realizan un uso muy restringido de este tipo de productos. Además debe destacarse la existencia de sistemas “convencionales”, donde los pesticidas están habilitados, pero se realizaba un uso racional y más reducido de los pesticidas, sustituyendo algunos productos de síntesis química por productos alternativos, disminuyendo así los valores obtenidos para el indicador de cantidad de pesticidas aplicados. De los 23 predios evaluados, 2 realizaban producción orgánica, representando 11% del total de cultivos analizados. En estos casos el manejo se basó en el uso de productos de origen biológico o alternativo y algunos productos químicos habilitados (como cobre y azufre). De los predios restantes, 9 utilizaron en alguno de sus cultivos productos de origen alternativo para complementar el control químico, totalizando 12 cultivos en los que el manejo sanitario era combinado o “integrado” (no se evaluaron en este trabajo otros aspectos del manejo integrado).

Si bien el uso de pesticidas fue una herramienta central en el manejo sanitario en la mayor parte de los sistemas, los productos mayormente empleados fueron los de menor categoría toxicológica, en sólo 6 de los 23 predios evaluados el promedio de utilización de productos de categorías más tóxicas (I y II) fue mayor al de las categorías III y IV, lo que se condice con lo recomendado en las normas de producción integrada para este rubro (MGAP. DIGEGRA et al., 2018).

En relación a la variabilidad en el uso de pesticidas, fue importante la diferencia encontrada entre los tipos de ciclos. Los distintos tipos de ciclos se desarrollan con diferentes condiciones ambientales que influyen sobre el desarrollo diferencial de los cultivos y las condiciones predisponentes para enfermedades y plagas, y los rendimientos alcanzables (Berrueta et al., 2019). La temperatura posee una influencia significativa en varios aspectos del crecimiento y desarrollo del tomate, con una temperatura óptima para la

producción que puede variar entre 21 y 25°C (Araki et al. 2000, Islam 2011). Además, esta variable influye en el desarrollo y la dinámica de plagas y enfermedades.

Si bien los datos analizados no permiten concluir diferencias estadísticas, existe una tendencia, a que los ciclos que se desarrollan en las épocas del año con condiciones ambientales más adversas para el cultivo de tomate y más favorables para los patógenos, menor temperatura y radiación y mayor humedad, se apoyan en mayor medida en el uso de pesticidas para el manejo sanitario, especialmente en el caso de los cultivos invernales. De manera inversa, los cultivos de ciclo de primavera-verano tuvieron las medias más bajas especialmente para el uso de fungicidas. Si bien los ciclos de otoño presentaron valores promedio similares para los insecticidas, tuvieron una media más elevada en cuanto a los fungicidas, consecuente con las condiciones de mayor humedad (para la diseminación y germinación de los patógenos) y menor luminosidad presentes en esa estación, además de temperaturas moderadas por tratarse de cultivos en invernáculo, que favorecen a muchos hongos y bacterias (Agrios, 1995).

Los cultivos de ciclo largo, en los que las plantas permanecen más tiempo en el invernáculo y enfrentan condiciones ambientales más diversas, fueron los que tuvieron mayor variabilidad en la cantidad de pesticida utilizado. Sin embargo, al constatar la existencia de cultivos de ciclo largo que obtienen buenos resultados productivos con baja utilización de pesticidas, puede sugerirse que existen aspectos a explorar en este sentido para ajustar las medidas, que complementan al control químico, que permitan llevar a cabo ciclos largos con un uso de pesticidas más reducido.

Un aspecto vinculado a la reducción en el uso de pesticidas, comprobado durante la tercera etapa del trabajo, es la importancia del monitoreo constante como fuente de información para decidir sobre las aplicaciones químicas o manejos a realizar. En los tres casos visitados, que presentaban valores bajos de uso de pesticidas, el monitoreo de plagas y enfermedades constituía la principal herramienta para decidir sobre el manejo sanitario, aspecto que también coincide con lo planteado por las normas de producción integrada (MGAP. DIGEGRA et al., 2018), y las publicaciones que refieren al manejo integrado de plagas como una alternativa para aumentar la sostenibilidad en la agricultura. Altieri y Rosset (1996), por ejemplo, enfatizan en la racionalización en el uso de pesticidas con especial énfasis en las aplicaciones oportunas de producto. Barzman et al. (2015), afirman que para poder referirse a la existencia de una lógica de manejo integrado, la realización del monitoreo es una actividad esencial. La decisión de aplicar o no, y cuánto o cómo, debe provenir de la información detallada del estado del cultivo y el problema sanitario y, de ser posible, apoyado en las alertas o proyecciones que

existan para esa enfermedad o plaga. Este último aspecto se encuentra aún en desarrollo en Uruguay, existiendo únicamente servicio de alertas fitosanitarias en línea para botrytis y peronospora en el cultivo de cebolla en la horticultura (Maeso et al., 2012), si bien el sistema de alertas se encuentra más desarrollado para la fruticultura.

Este comportamiento diferencial en las cantidades de pesticida aplicadas según el tipo de ciclo no se repite en todos los cultivos, indicando que posiblemente en algunos sistemas la decisión de cuánto aplicar no esté tan vinculada a las condiciones ambientales, ni a lo observado durante el monitoreo, sino que responda a una lógica de manejo sanitario más asociada a aplicaciones calendario o rutinarias, preventivas o establecidas, independientemente del ciclo de cultivo.

Vinculado al manejo integrado de plagas y enfermedades, algunos otros aspectos son mencionados por varios autores para la prevención y supresión de problemas sanitarios. Algunos aspectos hacen a la diversificación del paisaje a través de la rotación, el intercalado y/o la asociación de cultivos, los parches o zonas sin cultivo, donde predomine otro tipo de vegetación (Rosset y Altieri 1997, Altieri y Nicholls 2005, Landis 2017). Otros aspectos están vinculados al manejo específico del cultivo, como la fertilización ajustada, la fecha de siembra (que determina el tipo de ciclo a realizar) y la densidad de plantación, el uso de variedades resistentes, el laboreo mínimo, entre otros (Sarandón 2002a, Alliaume et al. 2014) Todas estas prácticas determinan un ambiente más favorable para que se desarrolle un cultivo sano y menos favorable para el desarrollo o incidencia de problemas sanitarios (Altieri y Nicholls 1999, Altieri 2002). Algunas de estas prácticas como la fertilización, los tipos de ciclo y la rotación de cultivos fueron evaluadas durante este trabajo. Sin embargo, para construir un panorama más completo de la existencia o el avance hacia un manejo más integrado, sería necesario agregar al análisis, indicadores que reflejen mejor la diversidad de cultivos y vegetación presente en el predio y la zona.

Otra medida sugerida en el marco del MIP, es la sustitución de insumos de origen químico por agentes de control biológico u otros productos de origen alternativo. Idealmente, esta sustitución constituye una etapa intermedia, segunda y tercera fase (figura 2) para Altieri y Rosset (1996), en el proceso de transición hacia agroecosistemas más sostenibles. En este sentido, como ya se mencionó, 9 de los 23 predios evaluados utilizaban algún producto alternativo. En algunos casos se trataba solamente de un producto y en otros existía un esquema de manejo que integraba consistentemente ambos tipos de productos.

Dentro de la categoría de productos alternativos, si bien existió cierta variedad, algunos productos fueron los de uso más reiterado: Baicen (insecticida a base de algas, de venta más difundida y empaque comercial),

bicarbonato, leche, y agentes de control biológico (*Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*, *Trichoderma* spp.) para el control de hongos fitopatógenos, o plagas como hormigas, pulgones, mosca blanca, y larvas de lepidópteros (productos utilizados en el manejo orgánico e integrado). Es interesante mencionar que algunos de los predios que realizaban un manejo integrado de plagas y enfermedades se encontraban en zonas donde organizaciones de productores elaboran insumos de origen biológico (Los Arenales, Sociedad de Fomento Rural y San Bautista, cooperativa de productores orgánicos). Esto sugiere que la cercanía a proveedores de este tipo de insumos, la difusión por parte de las organizaciones de referencia en la zona y la apropiación de este tipo de tecnologías por predios vecinos pueden ser determinantes de su utilización por parte de los productores. Esto se comprobó durante la tercera etapa, en la que los productores entrevistados afirmaron que la incorporación de tecnologías o prácticas alternativas había provenido en muchos casos de la sugerencia o el ejemplo de algún predio de la zona, o sugerido en charlas técnicas o reuniones en las organizaciones a las que pertenecían.

Por otra parte, si bien el cambiar de utilizar insumos de origen químico a insumos de origen biológico constituye una de las medidas a adoptar para transitar hacia modelos más sostenibles (Altieri y Rosset 1996, Rosset y Altieri 1997, Gliessman 2016), la estrategia sigue apoyándose en “la ley del mínimo”, en el dogma de que en cada momento existe un solo factor limitando la producción y que puede corregirse con el uso de un insumo, una lógica que debería modificarse para pensar un sistema sostenible (Altieri y Nicholls, 1999). Por lo tanto, estas medidas deben ir acompañadas de otras ya mencionadas, como ser, el aumento de la diversidad en el sistema, la mejora de la calidad de los suelos, promover las poblaciones de enemigos naturales, entre otras, para que el avance hacia sistemas más sostenibles no consista en la repetición de la lógica del modelo convencional. Es decir: seguir siendo dependientes de insumos externos, de origen biológico, manteniendo la dependencia de los productores, ahora con un nuevo tipo de proveedor (“greensuppliers” para Lampkin, 1990) sin la promoción y estabilización de procesos intrínsecos al agroecosistema que puedan, a mediano plazo, sustituir por lo menos parte de estos insumos (Altieri et al., 1997).

A pesar del amplio uso de pesticidas, se identificaron cultivos donde se obtuvieron buenos rendimientos con menor uso de pesticidas. Para el uso de fungicidas 38% de los cultivos presentó esta relación favorable, mientras que para el uso de insecticidas el 24% de los cultivos presentó esta relación (figuras 15 y 16). Es interesante destacar que predominan en el cuadrante de bajo uso de pesticidas y alto rendimiento cultivos de ciclo de primavera-verano y ciclos largos. Acompasar el ciclo de cultivo con condiciones más similares a las ideales para la especie, con el fin de reducir al máximo la necesidad de insumos externos y mejorar la eficiencia del cultivo, es una medida que aumenta la

sostenibilidad ambiental de la producción. Según expresan algunos autores, es sabido que la fecha de siembra afecta el nivel de daño causado por ataques de plagas e incidencia de enfermedades, y la habilidad de las plantas para compensar el daño (Rusch et al., 2010). De la misma forma, Berrueta et al. (2019), afirman que una medida para disminuir la brecha entre el rendimiento obtenido por los cultivos analizados y el alcanzable, aunque esto no implica necesariamente una disminución en el uso de pesticidas, es mejorar la radiación interceptada por el cultivo de tomate, y eso puede lograrse entre otras formas, mediante el ajuste de los ciclos de cultivo con los momentos del año de mayor radiación, por ejemplo a través del trasplante más temprano de los ciclos de otoño.

Este concepto guarda una estrecha relación con los principios establecidos para la agroecología, manejados por algunos autores como Altieri y Nicholls (2004). Los autores sugieren, que asemejar lo más posible el agroecosistema, sus componentes y condiciones a los ecosistemas naturales o con menor grado de perturbación, conlleva a un mayor aprovechamiento de la energía solar, de las poblaciones de enemigos naturales para el cultivo de tomate, entre otros factores. Esto, entre otros beneficios, implicaría la consecuente reducción de los insumos externos que sustituyen estas funciones (Altieri y Rosset 1996, Sarandón y Flores 2014).

El estado del suelo y las prácticas y manejo vinculados a este recurso, fueron el tercer eje tenido en cuenta para la evaluación de la sostenibilidad desde el punto de vista ambiental de los predios. Las prácticas para el manejo sostenible del suelo y la conservación de su calidad son asuntos centrales para la búsqueda de una agricultura más sostenible. Los efectos positivos a largo plazo de la incorporación continua de materiales que incrementen el contenido de materia orgánica del suelo y mejoren sus condiciones físicas, químicas y biológicas son factores importantes, aunque muchas veces descuidados, que deben considerarse al pensar en la sostenibilidad de un sistema de producción (Haynes y Naidu, 1998). De hecho, se constató durante la revisión que el manejo del suelo y su conservación eran temas ampliamente discutidos tanto en la literatura internacional, como desde la perspectiva nacional (Altieri y Rosset 1996, Altieri 2002, Sarandón 2002a, Dogliotti et al. 2010, Alliaume et al. 2014). Para esta área, se consideraba probable encontrar diversidad de prácticas adoptadas y diferencias en el estado del recurso, que aportarían a caracterizar la sostenibilidad de los predios evaluados. En este sentido, se constató efectivamente una importante variabilidad en todos los sistemas.

El estado del recurso suelo, que fue evaluado a través de la relación entre el contenido de carbono mineralizable actual y el original para ese tipo de suelo (figura 21), mostró que 23 de los 109 cultivos tenían una relación mayor a 0,70 para este indicador, y que algunos incluso superaban el valor 1, indicando

que ese suelo tenía ahora un contenido de carbono mineralizable mayor que el original. Teniendo en cuenta que el valor de carbono original es estimado (Durán, 1999), puede decirse de todos modos, que en estos casos las medidas para aumentar el contenido de materia orgánica del suelo han tenido un impacto altamente positivo, recuperando suelos que se encontraban probablemente deteriorados por el uso intensivo asociado a la producción hortícola. Aquellos sistemas que obtuvieron valores mayores a 1 producían bajo un modelo orgánico en el que las prácticas de conservación y mejoramiento de la materia orgánica tienen mucho peso, debido a que no podrían apoyarse en fertilizantes u otros productos de origen sintético para compensar un posible deterioro (Flores y Sarandón 2004, Raviv 2010, Gomiero 2011).

Por el contrario, 25 de los 109 cultivos se ubicaron por debajo de 0,30, lo que implica un importante deterioro del suelo. Estos cultivos pertenecían a 8 sistemas diferentes y es interesante destacar que sólo en dos casos existían para un mismo predio valores tanto en la franja más baja como en la más alta para este indicador, sugiriendo que esta característica se encuentra más asociada a la realidad y funcionamiento del predio en general, que a la de cada cultivo evaluado.

Cuando se comparan los resultados con lo obtenido por Dogliotti et al. (2010) para predios hortícolas en el Sur del país, es destacable observar que durante ese trabajo, sólo un cultivo de los 61 evaluados obtuvo un valor mayor o igual a 0,70 y solamente 3 superaron 0,50. Del total, 50 cultivos se encontraron por debajo de 0,33. Esto difiere con lo analizado en este trabajo, donde los cultivos se dividieron de forma más homogénea entre las tres franjas, con mayor concentración en la franja media entre 0,30 y 0,70. Esto podría indicar que desde el año 2010 hasta 2016, la preocupación y las prácticas dirigidas a mejorar la calidad del suelo y su contenido de materia orgánica fueron en incremento al igual que la difusión y disponibilidad de tecnologías dirigidas hacia estos aspectos. De hecho, las actividades de difusión de instituciones como el INIA en referencia a abonos verdes y mínimo laboreo, por ejemplo, datan de los años 2006-2008 (Gilsanz y Arboleda 2006, Gilsanz 2008, 2012, 2015, Gilsanz y Aranda 2014). Las diferencias observadas podrían deberse, también, al tipo de cultivo evaluado en ambos trabajos. Mientras que en el presente trabajo se evaluaron sólo cultivos de invernáculo, Dogliotti et al. (2010) evaluaron principalmente cultivos a campo, por lo que seguramente el manejo y prácticas asociadas varían, en cierta medida, dependiendo del tipo de producción.

Para evaluar el comportamiento de los predios en cuanto a la fertilización y balance de nutrientes, debe tenerse en cuenta lo recomendado por el manual de buenas prácticas agrícolas (BPA), que exhorta especialmente a evitar las fertilizaciones nitrogenadas excesivas. Esta precaución guarda

relación con la sanidad y desarrollo del cultivo, ya que excesos de nitrógeno en las plantas estimulan el crecimiento vegetativo, retrasan la entrada en producción de frutos y predisponen al cultivo a una mayor susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades (Flores et al. 2007, MGAP 2014). Bajo esta misma línea, es interesante destacar lo expresado por Altieri y Nicholls (1999) sobre la importancia de una nutrición balanceada que ayuda a las plantas a mantenerse más vigorosas, aumenta la tasa de crecimiento, mejora el aprovechamiento del agua en el suelo y mejora características anatómicas e histológicas. Estos factores habilitan que las plantas produzcan mayor número de raíces, aumentando el área y la absorción de nutrientes y posiblemente acortan las etapas de susceptibilidad durante el crecimiento de la planta.

Además de las razones anteriormente mencionadas vinculadas al cultivo y su desarrollo, la utilización excesiva de fertilizantes comerciales es ineficiente en términos económicos para el sistema. Esto se relaciona con lo planteado por Gliessman (2016), sobre los niveles que pueden diferenciarse en el cambio de los sistemas de producción de alimento hacia mayor sostenibilidad. En el nivel 1, debe incrementarse la eficiencia en el uso de las prácticas convencionales para reducir el uso y consumo de insumos costosos, escasos (en muchos casos principalmente los vinculados a combustibles fósiles) y que poseen efectos dañinos sobre el ambiente.

Es importante aclarar que los cultivos analizados se llevan a cabo dentro de invernáculos, por lo que las dinámicas de lavado, lixiviado y acumulación de nutrientes no son tan claras como para el caso de los cultivos a campo, a los que se refieren la mayor parte de los trabajos citados en este capítulo. Sí debe reconocerse que generalmente existe (en mayor o menor medida) arrastre de agua y suelo desde los invernáculos hacia afuera, especialmente en los bordes, y que las estructuras permanecen sin techar cuando se realizan cambios de nylon, ante eventualidades climáticas que puedan romperlos o cuando se detiene la producción para “descansar” el suelo, es decir: bajar la presión de inóculo de enfermedades y presencia de plagas o el contenido de sales en el suelo.

De todos modos, en cuanto a los balances de nutrientes presentados (figuras 19 y 20), cabe destacar en primer lugar los valores obtenidos en relación al fósforo: en casi todos los casos se observaron balances positivos, y niveles elevados de P en suelo. Esto implica que existe una acumulación de este nutriente en el suelo, y un mayor riesgo de lavado del mismo a cursos de agua o infiltración a la napa subterránea, que será discutido a continuación.

Para el potasio, cuyo balance fue deficitario en la mayor parte de los predios, es interesante comentar que según Berrueta et al. (2019) el bajo contenido del mismo analizado en hoja, explica en algunos casos las brechas de rendimiento del cultivo, por lo que los balances deficitarios encontrados

podrían estar limitando el rendimiento, si es que el nutriente no se encuentra disponible en el suelo. En ese sentido, a pesar del déficit observado, cuando se observa la media registrada para su contenido en suelo, la misma presenta un valor alto, de 1,6 meq/100 g suelo, lo que se traduce en una historia de acumulación esperable de este nutriente en los suelos, que normalmente deberían presentar valores más bajos de 0,5 a 0,9 meq/100 g de suelo, en el caso de los suelos pesados.

Por otro lado, si bien se encontró importante variabilidad en las medias para el balance de nitrógeno, como los valores no fueron acompañados de la evolución de la materia orgánica del suelo no fue posible distinguir si un exceso de este nutriente podía considerarse como un aspecto positivo o negativo. En caso de que el balance excesivo estuviera acompañado de una evolución positiva de la materia orgánica, sería posible que existiera una mejora de su contenido en el suelo. Si el exceso, en cambio, estaba acompañado de una disminución o un estancamiento del contenido de materia orgánica, esto configuraría un escenario negativo desde el punto de vista ambiental. Los excesos de nitrógeno tienen importantes consecuencias sobre los recursos acuáticos, encontrándose nitratos en las aguas subterráneas y lixiviándose o escurriendo también a las reservas y cursos de agua superficiales. Para los primeros reservorios, cuando el riego es excesivo y las napas son superficiales, el riesgo de contaminación es mayor (los suelos más arenosos profundizan aún más el problema, Yepis Vargas et al. 1999, Altieri y Nicholls 2005). De hecho, durante la etapa de caracterización del proyecto (EULACIAS) realizado por Dogliotti et al. en el año 2010, se estudió la calidad del agua de pozo en los predios, midiéndose cantidad de nitratos y coliformes, y se encontró que de 14 fuentes de agua, 5 presentaron problemas de potabilidad. Es interesante realizar esta observación dado que no se poseen datos de los predios evaluados en este trabajo, pero ésta sería una información interesante para complementar el análisis de los potenciales riesgos que conlleva la fertilización excesiva. En este sentido, sí resulta importante destacar que sólo 5 de la totalidad de los sistemas evaluados presentaron medias para el balance de nitrógeno excesivamente positivas, es decir, de 200 o más kg/ha.

Un balance deficitario en nitrógeno, por otro lado, puede considerarse siempre como un aspecto negativo desde el punto de vista de la sostenibilidad del suelo. En estos casos el nitrógeno es extraído del suelo y siendo la relación C:N 10:1, esto implica que se pierda aún más carbono, y por lo tanto, más materia orgánica.

Siguiendo con el foco en el impacto ambiental que genera el exceso de nutrientes, en cuanto a las aguas superficiales, tanto el nitrógeno (sales de nitrato y amonio) como el fósforo (fosfatos), en cantidades que superan las del equilibrio para los ecosistemas acuáticos, son causantes de los procesos de

eutrofización cultural (al provenir de la fertilización) que provocan un aumento de la biomasa y una pérdida de diversidad por aumento de algas unicelulares. Este fenómeno es especialmente problemático en Uruguay en la cuenca del Río Santa Lucía, en la que se encuentran concentrados los sistemas relevados en este trabajo. Dado que en esta cuenca se encuentran los mayores reservorios de agua potable del área metropolitana, el estado estas aguas incide en el costo de potabilización (RAP-AL, 2010). En cuanto al proyecto de Dogliotti et al. (2010), previamente mencionado, de las 26 fuentes de agua estudiadas 15 presentaron riesgo probable de eutrofización, por lo que este fenómeno parece ser más frecuente que los problemas de potabilización para los predios hortícolas.

Dado que la mayor parte de los sistemas se encuentran en la cuenca del Río Santa Lucía debe referenciarse también lo expresado en el informe sobre esta cuenca realizado por MVOTMA, donde se afirma que el principal problema de este río en 2017 fue la elevada concentración de fósforo total, que incumplió la normativa en todos los sitios y muestreos. Este problema se ha observado desde el 2004 y se registra en informes anteriores del mismo organismo (MVOTMA. DINAMA 2015, 2017, 2018). En relación a esto, Barreto et al. (2017) constataron un incremento del fósforo soluble en el agua (88% del fósforo total) que atribuyen, como explicación más posible, a la intensificación de la agricultura en el área de la cuenca. Según los autores, una de las causas del aumento del P soluble es la fertilización con este nutriente de forma superficial, sin incorporarlo al suelo. Es claro, como señalan Baccaro et al. (2006), que deben abordarse aspectos como la precisión en la dosificación de los fertilizantes, el manejo adecuado de los mismos, además de la optimización de los sistemas de riego, para minimizar los procesos de lixiviación de nutrientes hacia las reservas de agua.

Volviendo a los datos obtenidos para los balances, especialmente en los casos del nitrógeno y el potasio, para poder afirmar si los valores observados son “buenos o malos” debería contarse, como ya se mencionó, con información complementaria que explique la trayectoria del suelo, las rotaciones, la tendencia en el cambio del contenido de materia orgánica (particularmente para el nitrógeno), entre otros datos.

A raíz de lo discutido en este sentido, puede afirmarse que para tener certeza sobre el estado real del suelo en cuanto a la caracterización referente al contenido de los nutrientes, y de la materia orgánica, es necesario contar con más información que la referente únicamente a los balances. Si bien esta permite tener un panorama general, no puede decidirse si los valores observados para el balance de algunos nutrientes se traducen en mayor o menor sostenibilidad del recurso en este aspecto.

Las prácticas vinculadas al mejoramiento y la conservación de la materia orgánica del suelo, la sanidad del suelo y del cultivo, se seleccionaron por considerarse que, como fue desarrollado en la revisión, son algunas de las medidas necesarias para promover la sostenibilidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas del recurso. Varios autores señalan que en los sistemas hortícolas en el Sur del Uruguay la calidad de los suelos se ve deteriorada particularmente por la baja cobertura, el bajo aporte de materia orgánica y entrada de carbono al suelo, la alta frecuencia de cultivos y el intenso laboreo (Alliaume et al., 2014). Estos mismos autores, afirman que es necesario el desarrollo de sistemas de producción que disminuyan el deterioro y mejoren la calidad de los suelos para lograr sistemas hortícolas más sostenibles. El mismo problema respecto a la calidad de los suelos fue manifestado por Dogliotti et al. (2010), luego de la caracterización de los predios en su trabajo, constatándose pérdidas de estructura, permeabilidad y capacidad de suministro de agua a las plantas por parte de los suelos, principalmente debido al alto riesgo de erosión asociado a manejos inadecuados.

Los resultados del presente trabajo muestran que en sólo 3 de 109 cultivos analizados se realizaron las dos prácticas, abonos verdes y enmiendas orgánicas, en simultáneo. Fueron pocos los sistemas que se vieron mejor posicionados en cuanto a este aspecto de la evaluación, cuando se generaron los índices finales. Esto lleva a reflexionar también sobre cuáles podrían ser las mayores dificultades a la hora de llevar a cabo producciones con base en prácticas más sostenibles ambientalmente. Se puede afirmar que la mejora de la materia orgánica es un aspecto que aún se encuentra en implementación y desarrollo, y que requiere de un esfuerzo más profundo para que se incorpore de forma más generalizada. En 58 cultivos se realizaba una de las dos prácticas, y en 42 de estos casos la práctica consistía en la incorporación de una enmienda orgánica. Esto permite detallar mejor cuáles son las dificultades en esta área. Desde el punto de vista de la planificación y el esfuerzo requerido para realizarlas, el abono orgánico resulta de más fácil implementación que el abono verde.

Cuando se comparan los datos con los obtenidos por Dogliotti et al. (2010), cuando se inició el proyecto de coinnovación, la tendencia era similar: se encontraron más predios donde se realizaban enmiendas orgánicas que abonos verdes y se registraron muy pocos casos que realizaban ambas prácticas en simultáneo. Sin embargo, el total de casos que realizaban alguna de las dos prácticas fue mucho menor a las proporciones encontradas en el presente trabajo, lo que podría sugerir que la adopción de estas medidas ha aumentado considerablemente en los últimos años o que es más frecuente en la producción protegida. En este trabajo, los únicos tres predios (sólo un cultivo por cada predio) que realizaron en simultáneo, para el cultivo de tomate, ambas prácticas fueron sistemas convencionales (uno de ellos seleccionado en la

tercera etapa). Sin embargo, es importante destacar que entre todos los cultivos evaluados, los sistemas orgánicos utilizaban ambas prácticas alternadamente (el aporte de abono orgánico sí era constante en todos los cultivos), coincidiendo con lo encontrado en el proyecto antes citado. Además, debe resaltarse que durante la visita realizada, se constató que en el sistema orgánico visitado se realizaban abonos verdes a campo todos los inviernos, aspecto que no fue evaluado en la elaboración del índice total de sostenibilidad, que fue realizado en base a lo registrado para el cultivo de tomate en invernáculo únicamente. Resulta interesante realizar esta aclaración dado que, si el índice hubiera estado integrado por los resultados de indicadores que reflejaran los cultivos a campo y de invernáculo, es probable que para algunos predios el valor del índice total hubiera sido otro.

Para las prácticas vinculadas al manejo de suelos con foco en la sanidad, se tuvieron en cuenta la solarización, la secuencia de cultivos y la frecuencia del cultivo de tomate, por su efecto en el control de plagas y de agentes patógenos que sobreviven, en alguna de sus etapas en el suelo, así como en el control de malezas. Este concepto está íntimamente relacionado con lo planteado por algunos autores, que expresan que la diversidad a través de la rotación de cultivos, el uso de cortinas de viento, la provisión de mayor cantidad de hábitats para los microorganismos, la alternancia e intercalado de cultivos y la integración de producción animal al sistema, tanto en el tiempo como en el espacio, constituye un principio importante de la “agricultura sostenible” (Altieri y Nicholls 1999, Tittonell 2013, Gliessman 2016, Landis 2017, Arboleya 2018). Estas prácticas buscan utilizar a la naturaleza como modelo para diseñar los sistemas de producción, imitando las interacciones entre estructuras y funciones ecosistémicas, integrando especies vegetales y animales en un paisaje diverso, lo que mejoraría la eficiencia y estabilidad del agroecosistema (Altieri y Rosset 1996, Tittonell et al. 2016).

Los tres sistemas que obtuvieron los valores más altos en el índice de sostenibilidad y que fueron visitados en la tercera etapa, se cumplían alguna o varias de las características mencionadas en el párrafo anterior. En el predio F existió una diversidad de alrededor de 36 cultivos. Se intercalaban en un mismo invernáculo distintas especies y aromáticas o florales en los invernáculos de tomate y morrón. Además, existía un área de monte de eucaliptus cercana a los invernáculos, y se había iniciado un proceso de instalación de árboles, principalmente nativos, como refugio para enemigos naturales y atractivo para polinizadores. En el predio D, la horticultura estaba combinada con la producción ganadera y se asociaba el tomate y morrón con plantas de otras especies (en centro y cabeceras del invernáculo) para el consumo doméstico. Existía un monte de frutales y otros árboles ornamentales entre los invernáculos y galpones. En el predio M, si bien la diversidad de cultivos era más baja, la producción se combinaba con la de suinos, y se constató la existencia de un

área importante de “pradera” aunque sin un manejo específico. Es importante destacar la presencia de estas prácticas en los tres predios seleccionados, ya que como plantea Gliessman (1990), existe generalmente una pérdida de diversidad de nichos y reducción de las interacciones tróficas en los agroecosistemas, por lo que las poblaciones de plantas de cultivo o animales raramente pueden auto-reproducirse o auto-regularse. Cuando no existen relaciones entre los componentes del agroecosistema, el tamaño de las poblaciones está generalmente determinado por los insumos antrópicos, muchas veces dependientes de grandes subsidios energéticos. Si la diversidad biológica es reducida, las estructuras tróficas tienden a simplificarse, muchos nichos quedan desocupados y el peligro de un brote de plagas o enfermedades es alto, a menudo a pesar de la posibilidad de una intensiva interferencia humana. Por lo tanto, la constatación de la existencia de interacciones entre componentes diversos, por lo menos algunas, indica en teoría, la posibilidad de estar frente a sistemas de producción más estables, con mayor resiliencia.

En general, para todos los cultivos evaluados, los resultados en el área “suelos-sanidad” también mostraron variabilidad. La mayor parte de los cultivos se encontraron en la categoría 1, es decir, que no realizaban ninguna de las tres prácticas. Resulta pertinente mencionar que para la frecuencia de tomate y secuencia de cultivos era necesario que en el sistema existiera diversidad de especies cultivadas, abonos verdes u otros cultivos de servicio, para obtener altos valores para estos indicadores. Como muchos de los sistemas evaluados son altamente especializados en el cultivo de tomate, éste predomina en las secuencias y la frecuencia de este cultivo es muy alta, por lo que en estos casos se obtuvieron valores de índice bajos, que concentraron los cultivos en la categoría 1. Sin embargo, debe destacarse que 21 cultivos se encontraron en la categoría 3 que incluía la mayor cantidad de prácticas realizadas. En esta categoría, 3 cultivos cumplieron con emplear las tres prácticas en simultáneo. Cuando se observaron los dos grupos de prácticas asociadas al manejo de suelo combinadas, es interesante destacar que los 3 cultivos que pertenecieron a la categoría más deseable para la materia orgánica no coincidieron con los que se posicionaron mejor para la sanidad. En algunos casos incluso las valoraciones son opuestas (combinaciones de bueno y malo), lo que se observa en el cuadro 8.

Los grupos de cultivos de acuerdo a su comportamiento “bueno”, “medio” y “malo” para cada una de las tres áreas evaluadas, uso de pesticidas, prácticas “suelo-materia orgánica” y “suelo-sanidad” no estuvieron relacionados. Las combinaciones fueron muy variadas, la cualidad de un cultivo de ser “bueno” para un área de evaluación no implicó necesariamente que fuera bueno también para otra de las áreas, y en algunos casos, los resultados fueron incluso opuestos. El área de evaluación que tuvo más cultivos con valoración “buena” fue la de uso de pesticidas con 36 cultivos, seguida de “suelos-sanidad”

con 21 y “suelos-materia orgánica” con sólo 3 cultivos. Si bien la exigencia o dificultad de adopción de las prácticas evaluadas puede estar implícitamente reflejada en estos números, esto también parece indicar que en el área de uso de pesticidas las prácticas consideradas más sostenibles, en este trabajo, se encuentran mejor adoptadas. Un aspecto positivo a destacar es que aunque la mayor parte de los cultivos no se concentren en la categoría “bueno”, como sería deseable, para las áreas de uso de pesticidas y suelo-materia orgánica la mayoría de los cultivos se encuentran en la categoría media, es decir que existe un camino más corto a recorrer o menos aspectos que modificar para alcanzar un buen resultado respecto a la sostenibilidad ambiental. En el caso de “suelos-sanidad” la mayor parte de los cultivos se concentraron en la categoría “malo” lo que devela una mayor dificultad para llevar a cabo las prácticas evaluadas y para avanzar en sostenibilidad en el aspecto vinculado a los suelos, como se había constatado en la revisión (Dogliotti et al. 2010, Alliaume et al. 2013, 2014). Esto podría sugerir que en perspectiva de seguir trabajando para ajustar las medidas que promuevan una mayor sostenibilidad de los sistemas desde el punto de vista ambiental, esta área requeriría de especial profundización. Debe recordarse que en esta categoría varios cultivos no pudieron ser evaluados por haber pocos datos del historial de cultivos, por lo que fueron eliminados para las evaluaciones siguientes.

Todos los cultivos fueron agrupados por predio, ponderando en cada caso por la categoría en la que se había ubicado el cultivo en los tres aspectos evaluados (cuadro 10). Esto permitió lograr otro de los objetivos principales, de ordenar a los predios según su desempeño desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental. Los tres aspectos seleccionados buscaron representar áreas clave tanto por la importancia y el peso dentro de los esquemas de manejo de los cultivos y tecnologías de producción, como por los potenciales impactos ambientales que puede ocasionar una mala gestión de estas áreas. Se encontró, que existe una gran variabilidad entre los predios para las características evaluadas. Dentro de cada predio, los cultivos se encontraron en una sola categoría o repartiéndose entre la categoría “medio” y una de los dos extremos, pero no se encontraron muchos casos en los que los cultivos se presenten homogéneamente en las tres categorías, por lo que parece existir una coherencia entre el nivel cultivo y el nivel predio.

Los predios tuvieron valores muy diversos desde 3,67 a los 7,50, siendo 3 el mínimo y 9 el máximo alcanzable (cuadro 11). No existió una concentración de los predios en ninguna de las categorías, y no fue posible armar “tres grupos” claros de predios que se diferencien por su sostenibilidad ambiental, como se pretendió inicialmente, ya que los resultados se distribuyeron en un gradiente continuo. La variabilidad observada refuerza la idea de que existe en el medio una combinación de realidades tan diversa que justifica no dividirlos en grupos, borrando estas individualidades. Cada sistema mostró una situación

diferente respecto a las combinaciones en los desempeños en las tres áreas seleccionadas y por lo tanto son diferentes los caminos que los separan de un desempeño más sostenible.

Aquellos predios que se encuentran mejor posicionados suelen tener índices parejos para las tres áreas, lo que sugiere que los buenos desempeños reflejan una coherencia en el manejo y gestión del predio en general. Esto último, fue uno de los objetivos a corroborar durante la tercera etapa de visitas. Pudo comprobarse que por lo menos en dos de los tres predios visitados los resultados observados en el índice eran el reflejo claro de una gestión de la producción consciente de los posibles impactos que podrían generar en el ambiente y los recursos naturales algunos manejos e insumos utilizados (la falta de diversidad, el uso excesivo de pesticidas, etc.). Para el predio M podría decirse que la transición hacia un sistema de producción sostenible se encontraba en una etapa más temprana, habiéndose constatado la incorporación de manejos adecuados que habían sido abandonados o sustituidos por diversas causas.

5.1.1. La complejidad y dinamismo del concepto de sostenibilidad en la práctica

Durante la caracterización pudo constatarse la naturaleza compleja y cambiante de la “agricultura sostenible” y su dependencia del contexto temporal, ideológico y cultural en el que se está empleando el concepto, como se adelantaba en la revisión. Esto se observó particularmente con dos ejemplos vinculados al cambio en la percepción de algunas prácticas, antes consideradas “más sostenibles” o menos perjudiciales para el ambiente y que con el conocimiento generado científicamente y por la experiencia de los productores se ha ido modificando. Dentro de los pesticidas utilizados por todos los sistemas evaluados se encuentra el cobre, con acción fungicida y bactericida. Como se discute en proyectos anteriores de caracterización de predios hortícolas, el uso de este producto posee un impacto negativo sobre la biología del suelo, según reportan algunos índices desarrollados en Europa (Dogliotti et al., 2010). Durante la tercera etapa de este trabajo pudo comprobarse que uno de los productores entrevistados había reducido el uso de este producto (ahora prácticamente a cero) desde el relevamiento de los datos hasta la actualidad, asegurando que desde la disminución en el uso de cobre se observaban mejores resultados en el control de algunos problemas sanitarios importantes en el cultivo de tomate, como la mosca blanca. Además, del interés de resaltar puntualmente el efecto de la reducción en el uso de cobre, este aspecto sirve para remarcar la idea de que las prácticas “más sostenibles” y la reducción de los impactos ambientales de la producción constituyen un camino largo y de constante dinamismo. Esta idea es manifestada por varios autores (Pretty 1995, Darnhofer et al. 2010, Gasparatos 2010). Dourojeanni (1999) expresa, por

ejemplo, que el desarrollo sostenible es la resultante de un conjunto de decisiones y procesos que llevan a cabo distintas generaciones bajo condiciones que son siempre cambiantes. La incertidumbre y la complejidad para lograr este desarrollo devienen de la existencia de múltiples variables controlables y no controlables por el ser humano que configuran un conocimiento parcial de la “realidad”, sobre todo la ambiental, que es la que determina la toma de decisiones.

El otro ejemplo tiene que ver con la utilización de enmiendas orgánicas, particularmente abono de pollo, ampliamente difundida y utilizada por los sistemas evaluados (45 de 109 cultivos con esta práctica) que posee beneficios claros relacionados a la recuperación de la materia orgánica del suelo, fertilización, reciclaje de nutrientes, estabilidad estructural y mejoramiento de la absorción de agua, entre otros (Altieri y Rosset 1996, Haynes y Naidu 1998, Hernández-Rodríguez et al. 2010). Sin embargo, el uso excesivo de abono orgánico, en particular de pollo, podría implicar la contaminación de fuentes de agua subterránea con la presencia de nitratos o coliformes y la eutrofización de aguas superficiales por lixiviación de fósforo y nitrógeno (Altieri y Nicholls, 2005). Para el cultivo en particular, grandes cantidades de abono pueden generar desbalances nutricionales, principalmente por exceso de los dos nutrientes mencionados, lo que también implica una alteración de su contenido en los suelos, generando modificaciones en las propiedades químicas y biológicas del mismo. Como lo relatado para el cobre, en dos de los tres predios visitados el uso de abono de pollo fue reducido en los últimos tres años. Si bien sigue siendo una fuente valiosa de fertilización, las cantidades han sido ajustadas. En el predio F incluso, el abono de pollo se estaciona por alrededor de un año previo a aplicarlo al cultivo y se combina con compost de origen vegetal al momento de fertilizar. Vinculado a este aspecto Tiftonell (2013) afirma que la rehabilitación o mantenimiento de la fertilidad del suelo no puede depender sólo del aporte de abono orgánico o estiércoles. De hecho, ninguna tecnología aislada puede funcionar sino que deben combinarse diferentes herramientas y prácticas de manejo que provengan tanto del conocimiento científico como de los saberes locales.

5.2. LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

Es necesario reflexionar específicamente sobre la metodología utilizada para evaluar la sostenibilidad ambiental en los sistemas de producción analizados. Se destaca positivamente que la misma permitió sintetizar de manera efectiva el uso de pesticidas para el control sanitario y las prácticas de manejo del suelo vinculadas a la conservación y mejora de la materia orgánica y la sanidad del mismo, que podrían considerarse la base para el manejo y la producción de cualquier cultivo hortícola (no sólo el tomate). Esto permitió

seleccionar aspectos puntuales dentro de cada área, que fueran relativamente fáciles de relevar, pero de gran peso para evaluar los posibles impactos ambientales y el potencial deterioro de los recursos ocasionado por la producción. También permite destacar los sistemas en los que la producción está siendo adaptada a modelos más sostenibles, que no comprometan los recursos a futuro, como sucedía con los llamados modelos “convencionales”, basados principalmente en insumos externos de origen sintético y con beneficios de corto plazo (Altieri y Nicholls 2005, Parra-López et al. 2007, Sarandón y Flores 2014). Ambos casos resultan visibles de forma práctica al construir el índice, al igual que los puntos débiles a profundizar en cada sistema evaluado.

Con el análisis de los datos, y la visita a los tres predios se evidenció que el método es dependiente de la calidad de la información que se posee. Es decir que, cuando la información pertenece a más años de observaciones o más repeticiones dentro de cada sistema, el método refleja mejor la realidad del predio en general. Dentro de los datos utilizados, para algunos sistemas se habían relevado hasta 11 cultivos mientras que en otros sólo se contaba con los datos de 2 cultivos. Las conclusiones obtenidas en base a menor cantidad de datos muestran mayor fragilidad, siendo evidente que no puede asegurarse que lo que se está observando es consistente para el predio en general. En los casos donde se habían relevado más cultivos fue más coherente señalar que aquello que se concluyó se repite consistentemente en el manejo de todos los cultivos. Para algunos casos, la cantidad de cultivos por sistema disminuyó en el momento de evaluar las tres áreas seleccionadas, ya que para “suelos-sanidad” eran necesarios por lo menos dos años de historial de cultivo. Resulta coherente pensar que para evaluar la “sostenibilidad ambiental” de un sistema es necesario que el mismo tenga un cierto grado de estabilidad tanto a nivel de las comunidades que componen el agroecosistema, como en la constancia en el manejo y la realización de ciertas prácticas. Esto se logra luego de algunos años de producción, como expresan Altieri y Rosset (1996, figura 2 de la revisión). Lo evaluado en un sistema “nuevo” podría no ser representativo de su desempeño a mediano plazo, además de que el estado de los recursos al inicio de un emprendimiento productivo difiere en gran medida de los desafíos enfrentados cuando estos recursos están sometidos a la producción hortícola por varios años consecutivos.

Por otro lado, puede concluirse también que la efectividad de este método de evaluación está vinculada a las características del predio, es decir: si es muy diversificado o especializado en el cultivo para el que se realizó la evaluación, en este caso tomate. Si el sistema es muy diversificado puede que el método no resulte muy representativo (especialmente si la diversificación incluye otros rubros de producción, como el animal). Si el sistema es muy especializado, lo relevado para el cultivo de tomate tiende a ser un reflejo de la

realidad del predio y la lógica de gestión y producción de los productores. Esto se confirmó con la visita a los predios, en la que se comprobó que para los predios F y D, con importante producción de tomate, especializados en este rubro, lo concluido durante la etapa anterior que los posicionó en los primeros dos lugares de la tabla final de los sistemas, coincidió con lo observado en el campo. El conjunto de medidas de manejo y prácticas que se realizaban eran generalizadas para todo el predio y provenían de una lógica de gestión particularmente consciente de producir de forma más sostenible. Esto se reflejó especialmente en lo contestado en relación al último bloque de preguntas, vinculadas a la autopercepción 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 el predio F medidas reconocidas por el productor como la presencia de vegetación espontánea alrededor de las zonas de cultivo, efectivamente son destacadas por autores de referencia como Altieri y Nicholls (1999), para aumentar la diversidad y abundancia de enemigos naturales en los agroecosistemas. Según los autores, está comprobado que existe un mejoramiento de los enemigos naturales y la efectividad del control biológico en aquellos sistemas donde se mantiene vegetación espontánea en los bordes, en cercanía de los cultivos.

La consciencia por una producción más sostenible se evidenció aún más al contestar la pregunta vinculada a las dificultades encontradas para alcanzar este fin. En el predio F la preocupación estuvo vinculada al uso del nylon y como tratar o reciclar este material. Existían incluso planes de probar el mulch de otros materiales para el cultivo de tomate. Además se planteó la preocupación de resolver cómo compostar o utilizar los restos de los cultivos. En el predio D las dificultades estaban vinculadas a seguir reduciendo el control químico. En este sentido, como ya se comentó en los resultados, se visualizaba una falta de herramientas para la obtención y utilización de los productos alternativos, y complicaciones a la hora de adquirir productos químicos más específicos que son más difíciles de conseguir en el país, predominando la venta de productos de amplio espectro.

Es interesante resaltar estas declaraciones por parte de los productores porque, si bien están en cierta forma relacionadas con lo evaluado (especialmente algún aspecto vinculado a la diversidad y el uso de pesticidas), el resto de las preocupaciones y avances percibidos, se vinculan con otras temáticas, como el uso de materiales no reutilizables y de difícil descomposición, como el nylon, el manejo de los restos de cultivo o el acceso a productos químicos selectivos, cuyo uso es especialmente alentado en el manejo integrado de plagas (Altieri y Rosset 1996, Altieri et al. 1997) que no se pusieron en tela de juicio en este trabajo y que requerirían de atención para seguir construyendo alternativas más sostenibles. Además, estas inquietudes denotan una clara actitud por parte de quienes gestionan los establecimientos

de cuestionamiento constante 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.

En el predio M, en cambio, aunque existía también una preocupación por disminuir los impactos ambientales, se pudo comprobar lo que se mencionaba anteriormente: cuando el cultivo evaluado con este método (en este caso tomate) no constituye la actividad principal del sistema, los resultados no resultan tan representativos como en los otros casos. Las prácticas y manejo registrados para los cultivos (pocos cultivos evaluados) no son constantes en el funcionamiento general del predio sino que se realizan de forma más esporádica, especialmente porque la actividad no es la que representa el mayor ingreso económico. La utilización de abono orgánico, que posicionó al sistema entre los mejores para “suelo-materia orgánica” está vinculado con la disponibilidad de este material y no tanto con la decisión premeditada de adoptar esta práctica. La baja utilización de pesticidas, por su parte, está vinculada a la forma en la que se decide aplicar: cuando se monitorea el cultivo o se está cosechando, aunque se observaron algunos problemas sanitarios durante la visita, entre ellos la presencia bastante problemática de nematodos. Esto podría relacionarse con el concepto de Tifton et al. (2016), acerca de la existencia de sistemas “orgánicos por defecto”, en los que la condición de bajo uso de insumos externos o químicos puede tener más relación con el contexto en el que está inmerso el predio, los recursos disponibles o el tipo de producción más que con un deseo u objetivo profeso de producir bajo un sistema orgánico. Sin embargo debe destacarse que existen intenciones de ajustar algunas prácticas para realizarlas de forma constante y como se mencionó se está incorporando la utilización de microorganismos eficientes.

Varios trabajos fueron consultados para decidir qué indicadores, herramientas y metodología podían utilizarse para la evaluación. En la mayoría se repitieron las áreas seleccionadas en este trabajo (importancia de evaluar aspectos vinculados al suelo y al uso de insumos externos), con las variaciones que los distintos enfoques requerían: algunos más dirigidos a lo económico, al suelo, al modelo orgánico en particular, etc. o a la realidad de la región o rubro a evaluar (Matera et al. 2000, Sarandón 2002b, Flores y Sarandón 2004, Acs et al. 2007, Parra-López et al. 2007, Sarandón y Flores 2009, Dogliotti et al. 2010, Campanelli y Canali 2012, Schader et al. 2014, Flores y Sarandón 2015, Padel 2015, De Olde et al. 2016).

Lo distintivo del enfoque construido para esta evaluación, es el uso de la información cuantitativa del manejo real para varios de los indicadores, la agrupación de algunos de los indicadores seleccionados en tres áreas, y la elaboración de un índice ponderado para cada sistema en estas tres áreas,

además de uno general. Esto habilita a visualizar los grupos de prácticas y tecnologías por separado, y por lo tanto el desempeño de los sistemas en cada una de ellas independientemente. De este modo, es posible decir si un sistema es sostenible o no desde el punto de vista ambiental y especificar también en qué área es más o menos sostenible, registrando sus fortalezas y debilidades que permitan elaborar una recomendación específica para mejorar la sostenibilidad para cada caso en particular. De esta forma, esta herramienta mantiene las individualidades de cada sistema, si bien otorga la posibilidad de comparar pocos valores (u optar por comparar uno solo) y permite construir caminos individuales ajustados a las necesidades de cada sistema.

No debe perderse de vista lo expresado por Gasparatos (2010), que expresa que en la construcción de herramientas para la evaluación de la sostenibilidad, los desarrolladores realizan juicios de valor y asunciones sobre, por ejemplo, qué es la sostenibilidad, cuál es un nivel sostenible de producción, qué indicadores seleccionar y cómo medirlos, darles peso y combinarlos. Más allá de los aspectos “técnicos”, al analizar la viabilidad y representatividad de la metodología utilizada debe recordarse la subjetividad con la que está cargada. En perspectiva, podría proponerse una siguiente etapa de evaluación de la herramienta que incluyera la opinión y valoración de los productores hortícolas y asesores técnicos de la zona en la que fue realizado el trabajo, además de otros actores como generadores de políticas públicas, organizaciones, etc.

6. CONCLUSIONES

Referido al concepto de sostenibilidad y su amplitud, puede concluirse que resultó una buena decisión, a los efectos de los objetivos de este trabajo, enfatizar solamente en uno de los pilares, siguiendo la estructura mencionada por De Olde et al. (2016): se abarcaron los aspectos especialmente vinculados a lo ambiental y se logró relacionarlos con las prácticas y tecnologías utilizadas para la producción de tomate en el sur del país, que pudieran tener impacto sobre el ambiente, el agroecosistema en el que está inmersa la producción, y los recursos naturales utilizados para la misma, particularmente el suelo. De esta forma se realizó una caracterización cualitativa y cuantitativa de los sistemas de producción con este enfoque, y constatando la gran variabilidad existente en cuanto a la dependencia de insumos externos, calidad de los recursos, resultados productivos y prácticas utilizadas. Además pudo compararse y relacionar esta información con lo planteado por diferentes autores respecto a qué tecnologías o prácticas configuran un mejor escenario para la agricultura sostenible y cuán cerca están los predios evaluados de este objetivo.

Es interesante mencionar, que la mayor parte de la variabilidad encontrada estuvo asociada a diferencias de manejo entre los sistemas, que dependen en última instancia de quienes gestionan estos predios, es decir, de las decisiones de los productores. Esto se relaciona con lo planteado por Darnhofer et al. (2010), que expresan que un obstáculo o elemento esencial para construir agroecosistemas sostenibles es el “componente humano”. La interacción entre la familia productora y su predio es crucial para construir resiliencia. Desde esta perspectiva, es menos decisiva la estructura del predio (las actividades que se desarrollan, la organización de la producción, sus activos), que lo que los productores hacen de ella.

Por otra parte, dentro de la variabilidad, los sistemas difirieron en sus desempeños en las distintas áreas de evaluación por lo que en muchos casos, a excepción de los que obtuvieron los mejores valores de índice general, el hecho de obtener un buen valor en un área no aseguró que así fuera en las otras. Parece necesario entonces, en el caso de querer generar lineamientos hacia una producción más sostenible, que se consideren todos los aspectos evaluados para mejorar sinérgicamente en todas las áreas, teniendo en cuenta que algunas prácticas resultaron, sin dudas, más fáciles de adoptar que otras, a juzgar por los resultados obtenidos.

El rendimiento no tuvo relación con el valor del índice total. Es importante destacar esto, porque como fue analizado por Berrueta et al. (2019), las brechas entre el rendimiento real y el potencial de estos cultivos están vinculadas a aspectos como la radiación interceptada durante el ciclo de cultivo (por tanto a las fechas de trasplante o tipo de ciclo y transmisividad de los

invernáculos) y dependiendo de en qué grupo se encuentren para este primer aspecto, también de la fertilización potásica, incidencia de mosca blanca, tamaño del plantín al trasplante, bienestar hídrico, cantidad de sodio intercambiable en suelo y fertirrigación nitrogenada. Estas variables no parecen estar directamente relacionadas con lo finalmente considerado en este trabajo para evaluar la sostenibilidad ambiental. Esto quiere decir que en los casos donde los desempeños en cuanto a sostenibilidad son buenos, existe oportunidad de mejorar aquellos manejos o condiciones que limitan el rendimiento sin afectar los buenos valores ya constatados. Para los casos opuestos, donde el valor para la evaluación de sostenibilidad ambiental es malo, pero los rendimientos son buenos, es posible modificar algunas prácticas y adoptar nuevos manejos o tecnologías que mitiguen el posible impacto ambiental, sin afectar los buenos rendimientos ya obtenidos.

A raíz de esta caracterización de los sistemas, puede afirmarse que hay perspectivas, para producir tomate de forma más sostenible desde el punto de vista ambiental. De hecho, ya se encontraron sistemas que a través del uso racional de los insumos externos y los recursos naturales obtienen, en simultáneo, buenos resultados productivos y ambientales. Dentro de este grupo, se distinguieron sistemas que producían bajo un modelo orgánico y algunos comúnmente llamados “convencionales”. Es importante destacar estos últimos, ya que en estos casos, aun estando habilitada la utilización de insumos externos de origen sintético, los productores optan por usarlos de forma reducida, e incluso evitan la utilización de algunos de estos insumos, favoreciendo otras prácticas que sustituyan su necesidad. Pensando en una posible transición hacia modelos más sostenibles, es importante tener en cuenta que estos ejemplos podrían constituir el “modelo a seguir” para aquellos predios que aún basan su producción en modelos más dependientes del uso de insumos externos y de tecnologías menos conservadoras de la calidad de los recursos, más lejanos de la producción orgánica o agroecológica. La producción que podría denominarse “integrada”, es un punto medio alcanzable con la modificación de algunas prácticas y manejos, sin implicar una conversión abrupta a otro modelo. En adición, para la evaluación realizada, estos sistemas de producción “integrada” alcanzaron iguales desempeños en cuanto a la sostenibilidad ambiental que los sistemas orgánicos. Para este punto vale destacar la importancia de la comunicación entre productores, jornadas técnicas, de capacitación e intercambio, que en el caso de los predios visitados en la última etapa constituyeron las fuentes de inspiración para la adopción de nuevas prácticas o incluso el cuestionamiento de ciertos manejos o tecnologías.

Habiéndose comprobado que el estudio y el avance hacia la sostenibilidad implica una dinámica compleja, que involucra diferentes dimensiones espaciales, temporales y de conocimiento, así como interacciones entre aspectos ambientales, sociales, económicos y culturales, queda claro que

es necesario un cambio en el enfoque tradicionalmente usado para evaluar y predecir el desempeño de los sistemas. En este sentido, Darnhofer et al. (2010), afirman que deben desarrollarse métodos que permitan comprender de forma más completa los sistemas socio-ecológicos, y que ayuden a los productores, y sistemas de producción, a hacerle frente al cambio continuo. Por lo tanto, debe haber un desplazamiento de un enfoque únicamente productivista y de eficiencia, hacia uno que promueva también el aprendizaje y la adaptabilidad. La idea de que existe una forma correcta o un camino óptimo para llegar a la agricultura sostenible debe ser despojada, como quedó claro durante la revisión. Para completar esta mirada, es interesante mencionar lo que expresan estos autores: para que un sistema alcance la sostenibilidad, debe ser capaz de aprovechar las oportunidades actuales, al tiempo que gestiona las condiciones que le permitan ampliar las posibilidades futuras. En este marco debe pensarse al agroecosistema “co-evolucionando” con su contexto y entorno y de esta manera pueden identificarse nuevos factores del sistema socio-ecológico que puedan estar influyendo, o puedan influir potencialmente, en el desarrollo sostenible.

Este cambio en la forma de pensar la producción agropecuaria tiene que combinarse con un objetivo central en términos de sostenibilidad ambiental, que es diseñar agroecosistemas que imiten la estructura y funciones de los ecosistemas naturales locales. Para esto, debe promoverse la alta diversidad de especies, un suelo biológicamente activo, un sistema que promueva el control natural de las plagas, el reciclaje de nutrientes y medidas que prevengan la degradación del suelo (Altieri, 2000), como ya fue discutido a lo largo de este trabajo.

El camino hacia sistemas más sostenibles puede construirse, entonces, tomando un poco de cada alternativa planteada (agroecología, MIP, producción orgánica, sustitución de insumos, etc.), y adaptando las prácticas y tecnologías nuevas y tradicionales, en tanto contribuyan a aumentar la sostenibilidad de los modelos de producción, a la realidad de cada sistema y región. Este proceso debe transcurrir con la promoción del diálogo constante, y la sinergia, entre la comunidad científica, los productores y los saberes locales.

7. RESUMEN

La horticultura en Uruguay comprende alrededor de 2900 predios que se concentran principalmente en los departamentos de Montevideo, Canelones y San José y Salto. Estos establecimientos abastecen casi la totalidad de hortalizas frescas consumidas en el país. Desde la década del '80 la preocupación por la conservación de los recursos naturales y la promoción de sistemas de producción más sostenibles, que generen menor impacto ambiental, sean económicamente rentables y socialmente justos, se ha convertido en uno de los ejes centrales de discusión a nivel mundial. Este trabajo analiza desde el punto de vista de la sostenibilidad, los sistemas de producción de tomate en el Sur del país, a través de indicadores seleccionados y contruidos para la realidad nacional, haciendo énfasis en las áreas ambiental y económica-productiva: estado del recurso suelo, productividad, tipo de prácticas y tecnologías utilizadas para el manejo del suelo y la sanidad de los cultivos. Se analizaron 109 cultivos pertenecientes a 23 predios, se seleccionaron indicadores considerados más relevantes y se construyen tres índices que se relacionan con la materia orgánica del suelo, la sanidad del cultivo vinculada a la condición del suelo y el uso de pesticidas, con los que se compone un índice total. Cuando se observan los índices se comprueba que, exceptuando los que tienen mejores valores, el resto de los predios se distribuyen en una amplia gama con diferentes combinaciones demostrando que las dificultades para alcanzar mayor sostenibilidad son variadas. A pesar de esto, el índice vinculado a la materia orgánica del suelo es el que presenta peores resultados. En general, se constata una gran variabilidad en los valores de los indicadores, con sistemas que realizan un uso reducido de pesticidas e incorporan prácticas conservacionistas de la materia orgánica del suelo y de su sanidad, entre los que se encuentran predios orgánicos y "convencionales", y otros donde el uso de pesticidas es más elevado y/o están ausentes las prácticas vinculadas a la mejora del suelo. La mayor parte de los predios presentan valores "bueno" o "medio" por lo menos en uno de los índices, evidenciando que ya se ha iniciado un camino de incorporación de algunas prácticas que apuntan hacia la producción más sostenible. Una visita y entrevista a los tres predios con mejores índices permitió contrastar la validez del índice construido. Las prácticas y tecnologías evaluadas desde este enfoque no se relacionan directamente con los factores que limitan el rendimiento del cultivo, por lo que puede trabajarse de forma complementaria para mejorar los sistemas de producción desde el punto de vista productivo y ambiental. La construcción de un modelo más sostenible puede realizarse a través de la combinación de prácticas y tecnologías provenientes de diferentes corrientes, enfoques y propuestas, combinando los saberes locales y científicos.

Palabras clave: Sostenibilidad ambiental; Producción familiar; Tomate; Indicadores.

8. SUMMARY

Vegetable production in Uruguay includes around 2900 farms that are located mainly in Montevideo, Canelones, San José and Salto. These farms supply the whole country with almost all the fresh vegetables consumed. Since the 80's decade the concern for the conservation of natural resources and the promotion of sustainable farm systems, which cause less environmental damage, and are also economically rentable and socially fair, has become one of the main matters of discussion worldwide. This thesis analyses tomato farm systems in the south of Uruguay from a sustainability point of view, using indicators built and selected for the local reality, emphasizing in the environmental and economically-productive areas: soil, productivity, type of practices and technologies used for managing the soil and crops' health. 109 crops belonging to 23 farms were analyzed, some indicators, considered more relevant, were selected and three indexes related to organic matter in soils, health at soil level and pesticides' use, that integrate in one total index, were built. The indexes show that, except for the ones with the best marks, the rest of the farms are located in a wide range of combinations, proving that difficulties to reach greater sustainability are diverse. Despite this, the index related to soils' organic matter presents the worst results. Overall, an important variability in the indicators' values is confirmed, with farm systems that make a minimal use of pesticides and include practices that preserve organic matter and soil health, including organic and "conventional" farms, and others where pesticides' use is higher and/or practices related to improving the quality of soils are absent. The big majority of farms presents "good" or "medium" scores for at least one of the indexes, showing that a path of incorporating some practices that aim for a more sustainable production has already begun. A visit and interview with the three farms that got the best indexes allows contrasting the validity of the index built. The practices and technologies assessed from this approach aren't directly related to yield limitation factors for this crop, which suggests it is possible to work complementary to improve farm systems from both productive and environmental point of view. The development of a more sustainable model can arise from the combination of practices and technologies proposed by different movements, approaches and proposals, blending local and scientific knowledge.

Key words: Environmental sustainability; Family farmers; Tomato; Indicators.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Ackermann, M. N. 2014. Horticultura: situación y perspectivas. Anuario OPYPA: 193-207.
2. Acs, S.; Berentsen, P. B. M.; de Wolf, M.; Huirne, R. B. M. 2007. Comparison of conventional and organic arable farming systems in the netherlands by means of bio-economic modelling. *Biological Agriculture and Horticulture*.24(4): 341–361.
3. Agrios, G. N. 1995. *Fitopatología*. 2a.ed. México, UTHEA. 838 p.
4. Aguerre, V. 2011. Exploración de alternativas para el desarrollo sostenible de sistemas de producción hortícola-ganaderos en predios familiares de Canelones-Uruguay. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 76 p.
5. Allen, P.; Van Dusen, D.; Lundy, J.; Gliessman, S. 1991. Integrating social , environmental , and economic issues in sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*. 6(01): 34–39.
6. Alliaume, F.; Rossing, W. A. H.; García, M., Giller, K. E.; Dogliotti, S. 2013. Changes in soil quality and plant available water capacity following systems re-design on commercial vegetable farms. *European Journal of Agronomy*. 46: 10–19.
7. _____; Jorge, G.; Dogliotti, S. 2014. Laboreo reducido y manejo de residuos en sistemas hortícolas: impacto en propiedades físicas del suelo. (en línea). In: Congreso Uruguayo de Suelos (1º., 2014, Colonia, Uruguay). Intensificando el conocimiento del suelo y medioambiente para producir más y mejor. Montevideo, Sociedad Uruguaya de Ciencias del Suelo (SUCS). s.p. Consultado set. 2019. Disponible en <http://www.suelos.com.uy/pdf/08.pdf>
8. Altieri, M. 1989. Agroecology: a new research and development paradigm for world agriculture. *Agricultural Ecosystems Environment*. 27: 37–46.
9. _____; Rosset, P. 1996. Agroecology and the conversion of large - scale conventional systems to sustainable management. *International Journal of Environmental Studies*. 50: 165–185.
10. _____; _____; Nicholls, C. 1997. Biological control and agricultural modernization: towards resolution of some contradictions. *Agriculture and Human Values*. 14(3): 303–310.
11. _____; Nicholls, C. 1999. Ecologically based pest management: a key pathway to achieving agroecosystem health. In: *International*

Congress on Managing for Healthy Ecosystems (1st, 1999, Davis, California). Proceedings. Boca Raton, FL, Lewis. pp. 999–1010.

12. _____. 2002. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sostenibles. In: Sarandón, S. ed. Agroecología: el camino hacia una agricultura sostenible. La Plata, Ediciones Científicas Americanas. cap. 2, pp. 49–56.
13. _____.; Nicholls, C. 2004. Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el Trópico. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 73: 8–20.
14. _____.; _____. 2005. Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture. Berkeley, California, USA, UN. 290 p.
15. Álvarez, J.; Pedemonte, A.; Abedala, C.; Marisquirena, G. 2011. Sistemas de gestión de horticultura familiar del Sur de Uruguay : un estudio de caso. Agrociencia (Uruguay). 15(1): 125–136.
16. Araki, T.; Kitano, M.; Eguchi, H. 2000. Dynamics of fruit growth and photoassimilate translocation in tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under controlled environment. Acta Horticulturae. no. 534: 85–92.
17. Arboleya, J. ed. 2018. Solarización: una técnica de manejo integrado de malezas y plagas en horticultura. Montevideo, INIA. 84 p. (Serie Técnica no. 245).
18. Arreola, A.; Saldívar, A. 2017. De Reclus a Harvey , la resignificación del territorio en la construcción de la sostenibilidad. Región y Sociedad. 29(68): 223-257.
19. Baccaro, K.; Degorgue, M.; Lucca, M.; Picone, L.; Zamuner, E.; Andreoli, Y. 2006. Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 35: 95–110.
20. Barbazán, M.; del Pino, A.; Moltini, C.; Hernández, J.; Rodríguez, J. 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. Agrociencia (Uruguay). 15: 82–92.
21. Barreto, P.; Dogliotti, S.; Perdomo, C. 2017. Surface water quality of intensive farming areas within the Santa Lucia River basin of Uruguay. Air, Soil and Water Research. 10: 1-8
22. Barzman, M.; Bárberi, P.; Birch, A. N. E.; Boonekamp, P.; Dachbrodt-Saaydeh, S.; Graf, B.; Sattin, M. 2015. Eight principles of integrated pest management. Agronomy for Sustainable

Development. 35(4): 1199–1215.

23. Berrueta, C.; Borges, A.; Giménez, G.; Dogliotti, S. 2019. On-farm diagnosis for greenhouse tomato in south Uruguay : explaining yield variability and ranking of determining factors. *European Journal of Agronomy*. 110: s.p.
24. Campanelli, G.; Canali, S. 2012. Crop production and environmental effects in conventional and organic vegetable farming systems: the case of a long-term experiment in mediterranean conditions (Central Italy). *Journal of Sustainable Agriculture*. 36(6): 599–619.
25. Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R.; Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 33 p. (Serie Técnica no.193).
26. Chiappe, M. B. 2002. Dimensiones sociales de la agricultura sostenible. In: Sarandón, S. ed. *Agroecología: el camino hacia una agricultura sostenible*. La Plata, Ediciones Científicas Americanas. cap. 4, pp. 83–98.
27. Ciampitti, I.; García, F. 2007. Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios: II hortalizas, frutales y forrajeras. *Archivo Agronómico*. 12: 1-4.
28. Darnhofer, I.; Fairweather, J.; Moller, H. 2010. Assessing a farm's sustainability : insights from resilience thinking. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 8(3): 186–198.
29. De Olde, E. M.; Oudshoorn, F. W.; Sørensen, C. A. G.; Bokkers, E. A. M.; De Boer, I. J. M. 2016. Assessing sustainability at farm-level: lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators*. 66: 391–404.
30. Demo Tuñon, C.; Montoya Gómez, G.; García Barrios, L.; Morón Ríos, A. 1999. El Banco Mundial y el desarrollo sostenible. Algunas reflexiones sobre su perspectiva. *Problemas Del Desarrollo*. 30(118): 9-34.
31. Dillon, E. J.; Hennessy, T.; Buckley, C.; Donnellan, T.; Hanrahan, K.; Moran, B.; Ryan, M. 2015. Measuring progress in agricultural sustainability to support policy-making. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 14(1): 31-44.
32. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. *InfoStat versión 2018*. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. FCA. Grupo InfoStat. s.p. Consultado oct. 2019. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>

33. Dogliotti, S.; Abedala, C.; Aguerre, V.; Alliaume, F.; Álvarez, J.; Barreto, M.; Chiappe, M.; Corral, J.; Dieste, J. P.; García de Souza, M. C.; Guerra, S.; Leoni, C.; Malán, I.; Mancassola, V.; Pedemonte, A.; Peluffo, S.; Pombo, C.; Salvo, G.; Scarlato, M. 2010. Diseño, implementación y evaluación de sistemas de producción intensivos sostenibles en la zona Sur del Uruguay. Montevideo, INIA. 106 p. (FPTA no. 209).
34. Doré, T.; Makowski, D.; Malézieux, E.; Munier-Jolain, N.; Tchamitchian, M.; Tiftonell, P. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*. 34(4): 197–210.
35. Dourojeanni, A. 1999. La dinámica del desarrollo sostenible y sostenible. Barquisimeto, Venezuela, CEPAL. 26 p.
36. Elzen, B.; Mierlo, B.; Van Leeuwis, C. 2012. Anchoring of innovations: Assessing Dutch efforts to harvest energy from glasshouses. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 5: 1–18.
37. FAO; OMS (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT; Organización Mundial de la Salud, DK). 2015. Código internacional de conducta para la gestión de plaguicidas. Roma. 41 p.
38. Flores, C.; Sarandón, S. 2004. Limitations of Neoclassical Economics for Evaluating Sustainability of Agricultural Systems: Comparing Organic and Conventional Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*. 24(2): 77–91.
39. _____.; _____. 2006. Desarrollo de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad de agroecosistemas a escala regional. *Revista Brasileira de Agroecologia*. 1(1): 241–245.
40. _____.; _____. 2015. Evaluación de la sostenibilidad de un proceso de transición agroecológica en sistemas de producción hortícolas familiares del Partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Facultad de Agronomía (La Plata)*. 114(1): 52–66.
41. _____.; _____.; Gargoloff, N. A. 2007. El balance simplificado de nutrientes como indicador de la sostenibilidad en sistemas hortícolas familiares del partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecologia*. 2(1): 1065–1068.
42. Gasparatos, A. 2010. Embedded value systems in sustainability assessment tools and their implications. *Journal of Environmental Management*. 91(8): 1613–1622.

43. Gilsanz, J.; Arboleya, J. 2006. Mínimo laboreo en la producción hortícola. *Revista INIA*. no. 6: 22–25.
44. _____. 2008. Abonos verdes. *In: Jornada de Abonos Verdes (2008, Las Brujas, Canelones). Jardín de abonos verdes de invierno.* Montevideo, INIA. s.p. (Actividades de Difusión no. 546).
45. _____. 2012. Abonos verdes en la producción hortícola: uso y manejo. Montevideo, INIA. 64 p. (Serie Técnica no. 201).
46. _____.; Aranda, S. 2014. Abonos verdes de verano. *In: Día de Campo: abonos Verdes de Verano (2014, Las Brujas, Canelones). Trabajos presentados.* Montevideo, INIA. pp. 5-10 (Actividades de Difusión no. 730).
47. _____. 2015. Mínimo laboreo. INIA. Cartilla no. 64. 2 p.
48. Gliessman, S. 1990. Agroecology: researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture. *Agroecology. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. 78:3-10.
49. Gliessman, S. 2016. Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 40(3): 187-189.
50. Gomiero, T.; Pimentel, D.; Paoletti, M. 2011. Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 30(1–2): 95–124.
51. Goodman, D.; Redcliff, M. 1991. *Environment and development in Latin America: the politics of sustainability.* Manchester, Manchester University Press. 239 p.
52. Haynes, R. J.; Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 51(123): 123–137.
53. Hernández-Rodríguez, O. A.; Ojeda-Barríos, D. L.; López Díaz, J. C.; Arras Vota, A. M. 2010. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia Chihuahua*. 4(1): 1–6.
54. Holling, C. S. 2001. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*. 4: 390–405.
55. Islam, M. T. 2011. Effect of temperature on photosynthesis, yield attributes and yield of tomato genotypes. *International Journal of Experimental Agriculture*. 2(1): 8–11.

56. Landis, D. 2017. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*.18: 1–12.
57. Maeso, D.; Campelo, E.; Arboleya, J. 2012. Sistemas de pronóstico para el manejo de enfermedades de follaje en cebolla. *Revista INIA*. no. 30: 43–47.
58. Marchand, F.; Debruyne, L.; Triste, L.; Gerrard, C.; Padel, S.; Lauwers, L. 2014. Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. *Ecology and Society*.19(3): 46-55.
59. Masera, O.; Astier, M.; López-Ridaura, S. 2000. Sostenibilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. México D. F., Mundi-Prensa México. 101 p.
60. MGAP. DIGEGRA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY; Dirección General de la Granja, UY). 2014. Guía de buenas prácticas agrícolas para la producción de frutas y hortalizas frescas en Uruguay. Montevideo. 73 p.
61. _____. DIEA; MGAP. DIGEGRA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY; Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de la Granja, UY). 2017. Encuestas hortícolas 2015-2016: zona Sur y litoral Norte. 15 p. (Serie Encuestas no. 344).
62. _____. DIGEGRA; FAGRO; INIA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de la Granja, UY; Facultad de Agronomía, UY; Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2007. Normas generales de producción integrada para horticultura. Programa de Producción Integrada. Montevideo.12 p.
63. _____. _____.; _____.; _____. 2018. Normas de producción integrada. tomate bajo invernáculo: zona Sur – Uruguay. Programa de Producción Integrada. Montevideo. 24 p.
64. MVOTMA. DINAMA (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Dirección Nacional de Medio Ambiente, UY). 2018. Informe monitoreo de calidad del agua de la Cuenca del Río Santa Lucía año 2017. Montevideo. 64 p.
65. Ouma, G.; Jeruto, P. 2010. Sustainable horticultural crop production through intercropping: The case of fruits and vegetable crops: a review. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 1(5): 1098–1105.

66. Padel, S.; Gerrard, C.; Smith, L. Schader, C.; Baumgart, L.; Stolze, M.; Pearce, B. 2015. Further development of methodologies for sustainability assessment and monitoring in organic/ecological agriculture: final project report. Newbury, The Organic Research Centre. 54 p.
67. Parra-López, C.; Calatrava-Requena, J.; de-Haro-Giménez, T. 2007. A multi-criteria evaluation of the environmental performances of conventional, organic and integrated olive-growing systems in the south of Spain based on experts' knowledge. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 22(3): 189–203.
68. Paullier, J.; Folch, C. 2012. Primer insecticida biológico formulado en Uruguay. Nueva herramienta de control de la mosca blanca. *Revista INIA*. no. 30: 36–38.
69. Pretty, J. 1995. Participatory learning for sustainable agriculture. *World Development*. 23(8): 1247–1263.
70. RAP-AL (Red de Acción en Plaguicidas y sus alternativas para América Latina, UY). 2010. Contaminación y eutrofización del agua: impactos del modelo de agricultura industrial. Montevideo, Uruguay. 36 p.
71. Raviv, M. 2010. Sustainability of organic horticulture. *Horticultural Reviews*.36: 289–333.
72. Reiche, C.; Carls, J. 1996. Modelos para el desarrollo de una agricultura sostenible. *Comuniica*. 1(3): 29–33.
73. Roe, E. 1998. Taking complexity seriously: policy analysis, triangulation and sustainable development. New York, Springer. 138 p.
74. Rosset, P.; Altieri, M. 1997. Agroecology versus input substitution: a fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources: an International Journal*. 10(3): 283–295.
75. Rühlmann, J. 1999. A new approach to estimating the pool of stable organic matter in soil using data from long-term field experiments. *Plant and Soil*. 213(1–2): 149–160.
76. Rusch, A.; Valantin-Morison, M.; Sarthou, J.; Roger-Estrade, J. 2010. Biological control of insect pests in agroecosystems. Effects of crop management, farming systems and seminatural habitats at the landscape scale: a review. *Advances in Agronomy*. 109: 219-249.
77. _____; Chaplin-kramer, R.; Gardiner, M. M.; Hawro, V.; Holland, J.; Landis, D.; Thiesi, C.; Tscharrntkei, T.; Weisserj, W.; Winqvistk, C.;

- Woltz, M.; Bommarco, R. 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: a quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 221: 198–204.
78. Ryan, M.; Buckley, C.; Dillon, E. J.; Donnellan, T.; Hennessy, T.; Moran, B. 2014. The development of farm-level sustainability indicators for Ireland using the Teagasc National Farm Survey. *In: Annual Conference of the Agricultural Economics Society (88th, 2014, Paris)*. Proceedings. Paris, AgroParisTech. pp. 1-19.
79. Sarandón, S. 2002a. La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El impacto de la agricultura intensiva de la revolución verde. *In: Sarandón, S. ed. Agroecología: el camino hacia una agricultura sostenible*. La Plata, Ediciones Científicas Americanas. cap. 1, pp. 23–47.
80. _____. 2002b. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas. *In: Sarandón, S. ed. Agroecología: el camino hacia una agricultura sostenible*. La Plata, Ediciones Científicas Americanas. cap. 20, pp. 393–414.
81. _____.; Flores, C. 2009. Evaluación de la sostenibilidad en agroecosistemas : una propuesta metodológica. *Agroecología*. 4: 19–28.
82. _____.; _____. 2014. *Agroecología : bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles*. La Plata, Universidad de La Plata. 466 p.
83. Schader, C.; Drapela, T.; Markut, T.; Meier, M. S.; Lindenthal, T.; Hörtenhuber, S.; Pfiffner, L. 2014. Farm- and product-level biodiversity assessment of conventional and organic dairy production in Austria. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*. 10(1): 20–39.
84. Scholberg, J. M. S.; Dogliotti, S.; Leoni, C.; Cherr, C. M.; Zotarelli, L.; Rossing, W. A. H. 2010. Cover crops for sustainable agrosystems in the Americas. *In: Lichtfouse, E. ed. Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming*. New York, Springer. pp. 23-58 (Sustainable Agriculture Reviews no. 4).
85. Seufert, V.; Ramankutty, N.; Foley, J. A. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*. 485(7397): 229–232.
86. Taschdjian, M. 2017. Diseño y evaluación de sistemas de producción hortícola-ganaderos en la zona Sur del Uruguay. Establecimiento de la familia Duque- De León. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 87

p.

87. Tilman, D.; Cassman, K.; Matson, P.; Naylor, R.; Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418: 671–677.
88. Tiftonell, P. 2013. *Farming Systems Ecology: towards ecological intensification of world agriculture*. Wageningen, Wageningen University. 39 p.
89. _____; Klerkx, L.; Baudron, F.; Félix, G. F.; Ruggia, A.; Van Apeldoorn, D.; Dogliotti, S.; Mapfumo, P.; Rossing, W. A. H. 2016. Ecological Intensification: local innovation to address global challenges. *In*: Lichtfouse, E. ed. *Sustainable Agriculture Reviews*. Basel, Springer. pp. 1-34 (Sustainable Agriculture Reviews no. 19).
90. WCED (World Commission on Environment and Development, NO). 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development: our Common Future*. Oslo. 136 p. (United Nations Documents no. A/42/427).
91. Yepis Vargas, O.; Fundora Herrera, O.; Pereira Marin, C.; Crespo Borges, T. 1999. La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate. *Scientia Gerundensis*. 24: 5–12.

10. ANEXOS

ANEXO 1. Entrevista a productores

Tema 1

Otros cultivos

- 1- ¿Realiza otros cultivos además de tomate?
- 2- ¿Varían según el año, o la variedad se mantiene estable?
- 3- ¿Qué superficie de cada uno cultiva generalmente?
- 4- ¿Por qué elige estos cultivos?

Tema 2

Pesticidas

- 1- ¿Cómo decide cuándo aplicar? ¿Técnico, calendario, a partir del monitoreo?
- 2- ¿Con qué frecuencia realiza aplicaciones?
- 3- ¿Utiliza algún producto alternativo para el control de plagas y enfermedades? ¿Algún agente de control biológico? ¿Cuál/es?
- 4- Si utiliza, ¿Cuándo incorporó este tipo de productos? ¿Por qué, de dónde surgió la idea? ¿Percibió algún cambio a raíz de su utilización? (positivo o negativo)
- 5- ¿Cuáles son los principales problemas sanitarios en el predio?
- 6- ¿Cuáles son los principales productos que utiliza para el control?

Tema 3

Suelos materia orgánica

- 1- ¿Realiza abonos verdes? ¿Con qué frecuencia los realiza? ¿Con qué manejo los realiza? ¿Qué tipo de abono verde? ¿Por qué decidió incorporar esta práctica? ¿De dónde surge o quién se la propuso?
- 2- ¿Realiza aporte de abono orgánico? ¿Con qué frecuencia realiza aportes? ¿Con qué manejo? ¿Qué tipo de abono, de qué origen? ¿De dónde surge la idea?
- 3- ¿Ha notado cambios desde la incorporación de estas dos prácticas?
- 4- ¿Realizó alguna modificación a estas prácticas en los últimos tres años? ¿Cuál/es? ¿Por qué?
- 5- ¿Cómo realiza la preparación del suelo para la instalación del cultivo? ¿Qué tipo de herramientas de laboreo utiliza? ¿Repite el mismo procedimiento cada vez que instala un cultivo nuevo? ¿Cuántas veces interviene el cultivo? ¿Cuántas veces al año interviene el suelo?

Tema 4

Suelos sanidad

- 1- ¿Tiene enfermedades “de suelo”? ¿Las identifica como problemas que quedan “en el suelo”? ¿Las localiza o asocia a determinadas áreas o por determinados manejos? ¿Realiza algún manejo específico y explícito al respecto? ¿Cuál/es? ¿Por qué? ¿Qué resultados ve?
- 2- Para todos los cultivos que se instalan en el predio: ¿Cómo organiza la instalación? ¿Tiene en cuenta la secuencia con la que los instala? ¿Realiza una planificación de la rotación? ¿Cómo y cuándo se decide? ¿Qué aspectos tiene en cuenta para definir donde plantar (o no plantar) cada cosa en cada año?
- 3- ¿Realiza solarización? ¿De qué forma la realiza y qué duración tiene usualmente? ¿Con qué frecuencia repite esta práctica? ¿De dónde surge la idea de implementarla? ¿Desde cuándo la realiza? ¿Para qué cultivos la realiza? ¿Identifica cambios desde que la realiza? ¿Qué repercusiones o implicancias positivas o negativas le ve?

Observación y preguntas generales:

- Estado sanitario de los cultivos en general
- Vegetación en general, en donde está el cultivo y alrededores: ¿qué vegetación espontánea predomina? ¿Existen parches de vegetación, de qué tipo? Zonas no dedicadas al cultivo: ¿están arboladas, qué vegetación predomina? Existencia, tipo y manejo en general.
- Organización de los productos químicos utilizados: ¿cómo se realiza el almacenamiento? ¿En qué lugar? ¿Qué medidas de protección utilizan para manipularlos y aplicarlos?
- Estado del predio en general (e inmediatamente en torno a los invernáculos donde se produce tomate): zonas de encharcamiento o arrastre de suelo, suelo descubierto, áreas con problemas de enmalezamiento y manejo del mismo.
- ¿Identifica algún aspecto que haya mejorado en su predio en los últimos años para disminuir los impactos que podría generar la producción sobre los recursos, como el suelo y el agua? ¿Considera que alguna de las prácticas o manejos que realiza favorecen la conservación de la biodiversidad?
- ¿Qué aspectos que sabe que debería realizar de otra manera le parecen difíciles de manejar? ¿Por qué no ha podido modificarlos?