

SISTEMAS DE POLICULTIVOS CON ESPECIES ENDÉMICAS: ESTRATEGIA SOSTENIBLE PARA MEJORAR EL APORTE NUTRICIO A LA DIETA REGIONAL

POLY CULTURE SYSTEMS WITH ENDEMIC SPECIES: SUSTAINABLE
STRATEGY TO IMPROVE THE NUTRITIONAL CONTRIBUTION TO THE
REGIONAL DIET

Ana Patricia Arenas Salazar
Mark Schoor
Claudia Gutiérrez Antonio
Ana Angélica Feregrino Pérez*

Universidad Autónoma de Querétaro, México

* feregrino.angge@gmail.com

Resumen

Los sistemas intensivos agrícolas han permitido satisfacer la demanda de alimentos a nivel mundial con un empleo cada vez menor de especies endémicas. No obstante, a pesar de los beneficios, estos métodos acarrear impactos perjudiciales tanto para el medio ambiente como la biodiversidad. Asimismo, las afecciones socioeconómicas como la pérdida de costumbres culinarias y culturales, han ocasionado cambios en la dieta y hábitos alimenticios en diferentes regiones, lo cual incrementa las enfermedades crónicas degenerativas en la población. Ante estos aspectos negativos, se ha iniciado la búsqueda de soluciones desde la agroecología y la agrobiodiversidad en un intento por mitigar los daños. En este contexto, el presente trabajo se enfoca en la implementación de sistemas de policultivo con especies endémicas como una solución para lograr una agricultura sostenible.

Palabras clave: agrobiodiversidad, agroecología, dieta regional, especies endémicas, sistemas de policultivo.

Abstract

Intensive agricultural systems have made it possible to meet the global food demand with a decreasing use of endemic species. However, despite the benefits, these methods have certain impacts that are detrimental to the environment and biodiversity. Likewise, socioeconomic conditions, such as the loss of culinary and cultural customs, have led to changes in diet and eating habits in different regions, increasing chronic degenerative diseases in the population. In view of these negative aspects, the search for solutions from agroecology and agrobiodiversity has begun in an attempt to mitigate the damage. In this context, the present work focuses on the implementation of polyculture systems with endemic species as a solution to achieve sustainable agriculture.

Keywords: agrobiodiversity, agroecology, regional diet, endemic species, polyculture systems.

Introducción

Paralelo al incremento de la población mundial, la demanda de alimentos acarrea la necesidad de recurrir a sistemas de producción agrícola intensiva [1], técnica que acapara cada vez más hectáreas de espacios verdes. Actualmente, el sistema preponderante en la agricultura es el monocultivo; no obstante, es poco eficiente, ya que además de permitir el cultivo de una especie a la vez, la energía, agua, fertilizantes y agroquímicos necesarios para un rendimiento óptimo son excesivos [2]. Por otra parte, la práctica de monocultivos también ha contribuido a la erosión de los suelos, así como a la degradación y contaminación de los ecosistemas [3]; estos problemas ambientales afectan la disponibilidad de los nutrientes requeridos por los cultivos [4] y pueden escalar hasta causar daño a la microbiota del suelo y afectar la interacción entre este y las plantas [5], [6]. En cuanto a los cultivos, estos sistemas emplean cultivares genéticamente mejorados para adaptar la planta a un hábitat diferente; sin embargo, tal sustitución trae como consecuencia la pérdida del hábitat natural de muchas especies, lo que afecta la biodiversidad de las plantas en un ecosistema [3], [7]. En otro orden de ideas, la maquinaria pesada empleada en la agricultura intensiva para la producción y transporte de productos requiere combustibles fósiles que liberan dióxido de carbono a la atmósfera; tales emisiones se reflejan en el 20-35 % de la contaminación global [8].

En aras de adaptar los sistemas agrícolas a la era sustentable se debe restaurar la diversidad de los ecosistemas agrícolas, así como optimizar la gestión de los cultivos y limitar los efectos adversos sobre el medio am-

biente [2], [10], [11]. Tales mejoras son posibles mediante la integración de más de un genotipo para los cultivos, ya que de la interconexión de especies se generan diferentes servicios ecosistémicos. Dicha relación de dependencia funciona sólo si las especies poseen condiciones compatibles en cuanto a la dispersión de semillas y polen, la capacidad de retención de carbono y el ciclo de uso e intercambio de nutrientes; del mismo modo, sus requerimientos como la cantidad y calidad del agua, composición del suelo, la regulación de plagas y clima, manejo y aprovechamiento de desechos y servicios culturales para una región deben ser similares [12], [13], [14], [15].

En otras instancias, el policultivo, también conocido como multicultivo, es un sistema de producción que funciona mediante la inclusión de dos o más especies en una misma parcela con diferentes acomodos topológicos. Esta fuente de alimentos alternativa sostenible goza del potencial para mejorar la diversidad de los ecosistemas agrícolas, debido a que promueve una interacción positiva entre las plantas utilizadas. En específico, confiere a los ecosistemas servicios de regulación [8] como:

- Control de la erosión y fertilidad de suelos: el uso de policultivo mejora la estructura física de los suelos mediante la heterogeneidad de los nutrientes químicos, lo que beneficia a los microorganismos funcionales en diferentes escalas espaciales [9], [16].
- Aumento de la biodiversidad y conservación de hábitats naturales: en un policultivo se pueden encontrar diferentes familias de plantas dentro de una misma área, lo que ayuda a la biodiversidad y al hábitat de origen de muchas especies.
- Regulación conjunta de plagas, enfermedades y malezas de manera biológica: los multicultivos adquieren recursos del medio y se regulan de manera natural [67]; debido a la variedad de sus flores, atraen enemigos naturales, lo que evita que especies invasoras se instalen.
- Disminución del uso de fertilizantes artificiales y agroquímicos: en los policultivos existe una limitada cantidad de patógenos, malezas y plagas, por lo que el uso de agroquímicos es menor o, en ocasiones, llega a ser innecesario.



Es de vital importancia restaurar la diversidad de los ecosistemas agrícolas, así como optimizar la gestión de cultivos y limitar los efectos adversos al medio ambiente. El presente trabajo se enfoca en implementar sistemas de policultivo con especies endémicas a favor de lograr una agricultura sostenible.



Adicionalmente, la interacción intraespecífica en los policultivos también ofrece ventajas a los agricultores [17], [18], [19], [20] y a la salud de los consumidores. A los primeros les brinda beneficios socioeconómicos, ya que a la par del rendimiento mejorado de los cultivos, la venta de productos se incrementa [21]. Asimismo, la inversión de capital de producción es menor, debido a que los policultivos requieren de menos insumos. Por otra parte, la independencia de la producción de un solo cultivo es una ventaja para la seguridad económica de los agricultores, quienes suelen verse afectados por las fluctuaciones en los precios de los productos [6].

En otro sentido, se ha encontrado que mediante el uso de multicultivos es posible cambiar la estructura química de algunos compuestos bioactivos y macronutrientes. Dicha reacción puede causar un efecto nutracéutico en los productos, así como sucede con la fibra soluble e insoluble, los fenoles y flavonoides, los aminoácidos y otras sustancias encontradas en los frutos y flores del cultivo [5], [22]. Esta transformación favorece la salud del consumidor al aportarle una mayor cantidad y calidad de nutrientes, y a gran escala podría resarcir la seguridad alimentaria y el estado de salud comprometidos en las comunidades marginales [23]. Cabe agregar que los beneficios mencionados hasta el momento se pueden potenciar si en lugar de incluir cultivos genéticamente mejorados se opta por recurrir a endémicos.

Lo *endémico* se define como aquello que es propio y exclusivo de una determinada localidad o región [24]; en términos de flora y fauna, se refiere al origen y diversidad biológica de las plantas [25]. La relevancia en el empleo de este tipo de especies radica en que constituyen un pilar en el desarrollo de las culturas milenarias [27]. Por otra parte, cada país debe aprovechar su diversidad de especies en sus sistemas de producción; así, el endemismo puede fungir como instrumento para conseguir los objetivos y prioridades en las estrategias para la conservación de las especies. A tal efecto, algunos de los atributos aprovechables de esta clase de genotipos son la tolerancia a plagas y enfermedades, adaptación a las condiciones climáticas adversas y bajo requerimiento de fertilizantes y agroquímicos [7], [9], [26]. En este sentido, el presente artículo tiene por objetivo revisar la importancia de implementar policultivos con especies endémicas, como una propuesta ajustada a los pilares de la agricultura sostenible; es decir, que cumple con las cuestiones de cuidado al medio ambiente, recuperación de la biodiversidad e

impacto positivo en los aspectos socioeconómicos y en la salud de la comunidad [28].

Policultivos como un sistema implementado desde la agroecología y la agrobiodiversidad

Desde el inicio de la agricultura con la explotación de granos criollos en el neolítico, el ser humano ha buscado mejorar los sistemas de producción primaria para la generación de recursos alimenticios frescos y crudos. En tiempos remotos, el agricultor buscaba la domesticación y selección de cultivos para obtener una mayor productividad agrícola y, así, garantizar el abastecimiento de su comunidad [29]. Por ejemplo, las culturas antiguas empleaban las semillas pertenecientes a la región donde habitaban y manejaban los cultivos de acuerdo al clima, las estaciones y los recursos naturales a su disposición. A raíz de lo anterior es que surgieron diferentes técnicas agrícolas como los policultivos y las chinampas, entre otros. Este manejo integral de la agricultura permitía la regeneración de los recursos naturales, manteniendo intacto el equilibrio en los ecosistemas. No obstante, con el crecimiento progresivo de la población, la producción de alimentos en los sistemas dejó de ser suficiente, por lo que el manejo de los cultivos tuvo que modificarse [30].

Un acontecimiento que cambió el rumbo de los sistemas de producción primaria fue la Revolución Verde. Dicho movimiento tenía por objetivo garantizar la seguridad alimentaria a nivel mundial, para lo cual se suscitaron grandes avances en la agricultura, como la generación de altas tasas de rendimiento agrícola y mejor productividad. La implementación de tecnologías competitivas de producción a gran escala posibilitó mayores rendimientos, gracias al uso de ingeniería genética (selección de variedades de cultivos). No obstante, en aquellos tiempos se desconocía el impacto negativo que generarían en el medio ambiente el abuso de los agroquímicos (pesticidas y fertilizantes minerales) y el arduo trabajo mecánico (arados regulares y profundos); también se pasaron por alto las afecciones en la economía de los pequeños productores.

El deterioro del medio ambiente se ha visto reflejado en la simplicidad de los paisajes, la reducción de la diversidad de cultivos y la pérdida de hábitats naturales y suelos fértiles [32], [30]. En este contexto, surge la agro-



ecología, definida por la FAO como la ciencia que estudia la interacción de los componentes del agroecosistema [33]. Tal conjunto de prácticas y movimientos sociales busca optimizar y estabilizar la producción en aras de la conformación de sistemas agrícolas sostenibles. Así, la agroecología propone retomar el tipo de agricultura que se practicaba previa a la Revolución Verde y adaptarlo a un enfoque de bien común que permita resolver los problemas antes mencionados [34]. Posteriormente, nace el concepto de la agrobiodiversidad, derivado de la interacción de la diversidad biológica (alimentos, plantas medicinales y ornamentales, etc.) con las sociedades humanas (cultura) y el ambiente de convivencia. De tal forma, la agrobiodiversidad es parte de un contexto interdisciplinario que incluye diversas ciencias como agronomía, antropología, ecología, botánica, genética y biología de la conservación. Por consiguiente, el impacto del fenómeno abarca las políticas de conservación de los ecosistemas cultivados, la promoción de la seguridad alimentaria, la inclusión social y el desarrollo local sostenible [35].

Para el restablecimiento de los sistemas de producción primaria es necesaria la inclusión de las tres herramientas previamente mencionadas: agroecología, agrobiodiversidad y biotecnología. A su vez, los agricultores de todo el mundo han comenzado a optar por los sistemas agrícolas antiguos, en un esfuerzo por restaurar la materia orgánica de la tierra, conservar el agua, regenerar la biodiversidad agrícola, refinar el control biológico de plagas y promover la polinización [34], [31]. A fin de implementar un sistema de cultivo, será necesario cumplir con las normas de los sistemas de producción agroecológicos; además, resulta imprescindible identificar la influencia potencial de cada práctica agrícola: la aplicación de pesticidas, el periodo de siembra y el arado según el tipo de cultivo. De igual forma, competen otros aspectos característicos del paisaje favorables para las especies beneficiosas [36], y la combinación de especies endémicas en un mismo cultivo, proceso que ya ocurre en los ecosistemas de manera natural.

Los policultivos, al integrar la agroecología y la agrobiodiversidad, desarrollan métodos de producción acoplables a los pilares en que se basa la sostenibilidad: el económico, el social y el ambiental [28]. El primero se asegura del rendimiento favorable de la producción [37], que deviene en un impacto positivo en la economía de la población. El segundo pilar sostiene las condiciones adecuadas de trabajo para los

agricultores [38], la preservación cultural [39], y la seguridad alimentaria a los niveles regionales. Por último, el pilar ambiental se instaura en la protección de los suelos, los mantos acuíferos y la conservación de la biodiversidad y hábitats naturales [40]. En aras de mantener la flexibilidad de los policultivos, a nivel mundial se han propuesto sistemas diferenciados por su distribución espacial, los cuales son el cultivo mixto, en franjas, intercalado, de relevo y de cobertura [41]. La implementación dependerá del objetivo del agricultor y los beneficios esperados del mejoramiento de los ecosistemas.

Comparación del uso de especies endémicas y no endémicas en monocultivos y policultivos

Actualmente, el manejo que se le da a las especies tanto endémicas como no endémicas es variado e irregular. Por ejemplo, en algunas regiones se llevan a cabo monocultivos con rotación de especies endémicas, a la vez que policultivos con una mezcla de especies endémicas y no endémicas; mientras tanto en otras se han implementado policultivos con especies exclusivamente endémicas (asociaciones con cultivos leñosos, pastos, hortalizas, etc.) [2], [4], [10], [25], [26], [42].

No obstante, los sistemas de monocultivo con especies no endémicas son los predominantes en la producción global de alimentos. Para ello, diversas especies de hortalizas son transportadas de una región a otra en respuesta a las necesidades del sistema alimentario. Por otra parte, dado que las características edafológicas y climáticas de la región son diferentes a aquellas de origen, se debe adaptar el medio ambiente al nuevo cultivo; en otras palabras, para que las especies introducidas tengan éxito el productor debe condicionar los hábitats de modo que les sean favorables. Es en este punto donde los fertilizantes orgánicos e inorgánicos se vuelven indispensables para el éxito de los monocultivos, no solo por su función primaria, sino también para drenar humedales. Asimismo, debe tomarse en cuenta que los campos agrícolas rara vez son homogéneos con respecto a suelos y topografía, por lo que algunas áreas son más adecuadas y productivas que otras para un monocultivo dado.



Por otra parte, los sistemas de monocultivo con especies endémicas impactan levemente en los agroecosistemas [43], [44]. Los estudios en relación con este sistema consideran la topología, es decir, buscan la siembra de la especie endémica en puntos del paisaje donde el aprovechamiento de los recursos naturales sea óptimo. Así se atenúa el impacto al medio ambiente y se estabiliza el rendimiento del cultivo [26].

Por lo que se refiere a los sistemas de policultivo, su eficiencia depende tanto del acomodo topológico, como del manejo agrícola, de las condiciones climáticas y de las especies empleadas en el cultivo. Adicionalmente, se ha encontrado que las mezclas de cultivos con especies endémicas mejoran la producción de la variedad cuyo valor en el mercado es mayor [10], entre estos, uno de los más empleados es el de cobertura. Dicho sistema tiene por objetivo mejorar los suelos y el aprovechamiento de los nutrientes; además, se puede destinar como vegetación permanente natural, con el uso de plantas nativas que crecen espontáneamente, o como vegetación permanente sembrada por el agricultor.

Una de las formas de aplicar el cultivo de cobertura es por medio de la siembra de especies mixtas de árboles tropicales autóctonos [4]. Por otro lado, en regiones como el mediterráneo es posible emplearlo en sembradíos de árboles leñosos para proteger los suelos, así como se da con los olivos en combinación con malezas propias de la región [42]. Cabe señalar que la fijación de carbono es más efectiva cuando se utiliza este policultivo con especies nativas, en comparación con cuando sólo se cultiva la especie de valor económico [45], [46].

Existen regiones africanas donde tradicionalmente se optaba por el manejo de policultivos con especies no endémicas de rotación. Dicha técnica consiste en sembrar una sola especie a la vez, y rotarla con otras por temporada para evitar la erosión del suelo; un ejemplo de esto es la implementación de cultivos de trigo, cebada y canola, intercaladas con leguminosas de pasto, como la alfalfa para pastoreo de ganado [25]. No obstante, en tiempos recientes la siembra de especies endémicas ha comenzado a posicionarse como una práctica más conveniente. De tal forma, en estas zonas es cada vez es más común el aprovechamiento de las especies nativas de leguminosas, esfuerzo que, además, aporta al rescate de los suelos y a la alimentación regional.

En otro orden de ideas, el policultivo intercalado es un sistema de gran interés debido a que emplea mayor número de especies endémicas. A nivel mundial, es uno de los cultivos más populares, ya que funciona para diversos fines; por ejemplo, el intercalado de maíz con especies del género *Brachiaria* sirve para evitar la erosión del suelo [47]; de igual forma, las combinaciones de árboles frutales con café u otras hortalizas y leguminosas ayudan a obtener mejoras agronómicas [48]; a su vez, en los intercalados de maíz, soya y girasol, este último forma una barrera biológica contra plagas o viento, lo que beneficia al cultivo de interés económico e incrementa el rendimiento [49]. También, respecto al cambio climático, se ha llevado a cabo un cultivo intercalado de maíz con chile jalapeño, bajo el propósito de aprovechar mejor los recursos del suelo y del agua [50].

Por su parte, en el norte y sur de América también se está retomando el uso de sistemas de policultivo con especies endémicas. En este sentido, los cultivos intercalados que se implementan allí se remontan a la práctica tradicional del uso de maíz; a tal efecto, la “milpa” es el cultivo intercalado más utilizado [44], generalmente compuesto de maíz, frijol y calabaza, aunque también se le han agregado chile, tomate, papa y otro tipo de leguminosas. El manejo agrícola de este agroecosistema se fundamenta en la selección de genotipos adaptados al crecimiento en condiciones locales de temperatura, humedad, precipitación y radiación [51]. Más allá de preservar el germoplasma del maíz, este sistema también tiene como fin conservar el conocimiento, las tradiciones y la extensa coevolución del cultivo con las comunidades humanas [52]. Asimismo, la incorporación de la milpa a los sistemas agrícolas ayuda a evitar impactos ambientales negativos como la erosión del suelo y la escorrentía química.

En cuanto a la relevancia de la milpa en comunidades, en muchas de ellas se considera parte de la fuente principal de alimentos [44], dado el significativo valor nutricional que puede aportar a la alimentación. Algunas poblaciones han sufrido repercusiones a la salud (enfermedades crónico-degenerativas) debido a cambios en la dieta derivados del sistema de producción de alimentos globalizado; en esos sitios la milpa aporta valiosos macro y micro nutrimentos, así como nutraceuticos de beneficio fisiológico para prevenir o tratar enfermedades [53], [54]. De ahí que algunas poblaciones indígenas hayan readoptado este sistema de producción con el fin de recuperar la salud de sus integrantes.



Importancia de la dieta regional y su relación con el uso de policultivos

La dieta de las comunidades está estrechamente relacionada con los recursos naturales comestibles provenientes del sistema alimentario regional. Dicho sistema ha ido evolucionando en los últimos años en función del desarrollo tecnológico y a la globalización [8]; cambios a cargo de grandes corporaciones transnacionales que promueven, entre otras cosas, los nuevos mercados, el desarrollo de productos y diferentes formas de conservación y producción de alimentos.

La evolución de la alimentación conlleva ciertas problemáticas, por ejemplo, el consumidor desconoce el origen, obtención y distribución de los productos; esta desvinculación del proceso acarrea consecuencias en los escenarios sociales, económicos, ambientales, culturales y sanitarios [43]:

- Afectaciones a la economía de los pequeños productores regionales, quienes disminuyen sus ingresos económicos.
- Daños al medio ambiente generados por la producción a gran escala y fuera de la temporada de siembra de ciertos cultivos [1], [4], [6], [55].
- Pérdida de tradiciones culinarias.
- Alteración en las conductas alimentarias con un efecto negativo a la salud.

Sobre la alteración en las conductas alimentarias es importante mencionar que la incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles está aumentando (ECNT) [33], producto de la escasa ingesta de ciertos nutrimentos contenidos en verduras y frutas (fibra, vitaminas y minerales). En contraste, se registra un elevado consumo de azúcares (sacarosa) y ácidos grasos saturados y trans [56], [57].

Este panorama refleja que ciertas acciones son necesarias para que la población pueda nutrirse apropiadamente; por tanto, el conocimiento del sistema alimentario regional es de gran importancia, ya que de este depende el repertorio de alimentos que se producen en una comunidad. También es importante recordar que la cocina tradicional regional es

parte del patrimonio intangible de las sociedades, a la vez que un elemento identitario y un punto fundamental de las economías regionales y locales [58], [59], [43].

Cabe mencionar que algunos países ya están llevando a cabo acciones para retomar la dieta regional, mediante la elección de productos frescos orgánicos, locales y de temporada [60], [61], [62]. Lo anterior se debe a la sostenibilidad de la dieta y a que se incluyen todas las dimensiones de la salud y el bienestar de las personas. Por ello, un sistema de policultivo endémico podría ubicarse como un fulcro para impulsar una dieta regional; tal implementación produciría un menor perjuicio al medio ambiente y un impacto positivo socioeconómico. Al mismo tiempo, generaría nutrimentos benéficos a la salud, fomentaría la conservación de especies y resguardaría la identidad cultural de una comunidad.

El policultivo milpa como una fuente adecuada de nutrimentos

Para una comunidad basada principalmente en la agricultura, los cultivos poseen un valor simbólico. La milpa es un antiguo sistema agrario que se extendió a lo largo de Mesoamérica (centro de México hasta Nicaragua), compuesto de alimentos básicos como el maíz, frijol y calabaza. En el multicultivo, la variedad de las especies utilizadas permite que haya amplia disposición de nutrimentos, por lo que favorece la seguridad la inseguridad alimentaria y desnutrición poblacional.

En términos generales, la alimentación conlleva una proporción diaria de macro y micro nutrimentos presentes en diferentes cantidades según el grupo alimenticio: hidratos de carbono (CHO), los cuales suponen un aporte del 55 al 60 % de las calorías totales diarias; otro macronutriente es la grasa, que aporta entre un 25 y 30 %, mientras que las proteínas contribuyen entre un 12 y 15 %. Además, debido a la interacción de las especies en el policultivo también se aportan compuestos bioactivos o nutraceuticos. También hay reportes de propiedades antioxidantes relacionadas con metabolitos fenólicos, los cuales aportan beneficios a la salud que van más allá de la nutrición convencional [53].

El maíz es el alimento que aporta la mayor cantidad de hidratos de carbono y proteínas en forma de aminoácidos esenciales como isoleucina,



metionina y cisteína. También aporta fibra soluble e insoluble (hemicelulosa y lignina), así como vitamina E, A, tiamina y riboflavina; además, dependiendo de su tipo (blanco o amarillo) el maíz puede aportar diferentes proporciones de carotenoides. Por otra parte, el frijol es una fuente rica de proteínas y fibra dietética (celulosa y hemicelulosa), que previene el estreñimiento, y su contenido de hierro es efectivo para combatir la anemia; asimismo, es un alimento de bajo índice glucémico, o sea que su consumo apenas eleva la glucosa en sangre. Su contenido de fibra soluble ayuda a nivelar el colesterol en sangre, y aunque sus azúcares complejos fermentables, rafinosa y estaquiosa, causan efectos indeseables, como flatulencias, se sabe que previenen el cáncer de colon. Los frijoles son ricos en un aminoácido esencial llamado lisina, pero carecen de aminoácidos azufrados esenciales, como la metionina y la cisteína. Se recomienda combinarlos con el grupo de los cereales (en alimentos como la tortilla) para suplir esta carencia y obtener una proteína de alto valor biológico comparable al de la carne. Por último, la cascarilla contiene bioactivos de la familia de los flavonoides conocidos como antocianinas; tales compuestos dan al frijol su color característico y además gozan de propiedades anticancerígenas, antitumorales y antiinflamatorias [63], [64].

Por su parte, la calabacita es una verdura que aporta vitamina C y carotenoides como luteína, β -criptoxantina, β -carotenos y zeaxantina; también aporta ácidos grasos poliinsaturados, fitoesteroles, fibra y minerales [65]. Se le atribuyen propiedades antiinflamatorias y desparasitantes, de buena movilidad intestinal; asimismo, las calabacitas son de bajo índice glucémico, refuerzan al sistema inmune y combaten diferentes tipos de cáncer [66].

Si bien la milpa sigue presente en algunas comunidades, la costumbre se ha perdido en numerosas localidades. Hay que recalcar que la implementación de este multicultivo no sólo promueve la preservación de costumbres y tradiciones; también brinda una alimentación sana, que puede aportar una gran parte de la energía y nutrientes diarios requeridos, al igual que mejora la salud gracias a los compuestos bioactivos. Cabe mencionar que los fundamentos bioquímicos que demuestran estos beneficios no se habían explorado sino hasta hace poco; por lo tanto, se requiere de más investigación para identificar otros bioactivos y documentar el impacto que tienen en la salud.

Discusión

Hasta hace algunos años, la investigación en policultivos se había enfocado a la secuencia de cultivo, la temporada de crecimiento y el área física de cada sistema. De ese modo, los cultivos de rotación, cobertura e intercalados son los que más se han implementado históricamente, debido a sus resultados satisfactorios tanto para el forraje como para la alimentación humana. En contraste, las investigaciones actuales en policultivos persiguen el potencial para aumentar la intensidad de cultivo. La importancia de este concepto yace en que el uso intensificado de la tierra podría impulsar significativamente la producción de cultivos alimentarios, forrajeros y bioenergéticos con resultados económicos y de seguridad alimentaria positivos. Sin embargo, este potencial se ve limitado por circunstancias como la degradación del suelo, el estrés biótico, la escasez de semillas y fertilizantes, la deficiente infraestructura de procesamiento y almacenaje, los magros incentivos de mercado, las tecnologías obsoletas y la impredecible variabilidad en las precipitaciones y cambio climático [67]. En otras palabras, cuando el manejo de un multicultivo no se gestiona correctamente, exige más recursos, ya sea en términos de mano de obra, energía, agua, nutrientes, agroquímicos o todo lo anterior. Tras profundizar la investigación sobre las interacciones de las especies involucradas en estos cultivos, algunos estudios demuestran una relación positiva entre especies endémicas. Tal sinergia parece guardar relación con la similitud de la estructura de las comunidades bacterianas, tanto del microbioma del suelo como del rizobioma de las especies [51]. Este descubrimiento demuestra que la diversidad microbiana de la rizosfera estimula la actividad de microorganismos específicos y da pie para indagar una gama de vías metabólicas. Con estos estudios se podrían encontrar nuevos beneficios a los ecosistemas y también datos relevantes para la producción de alimentos a fin de satisfacer la creciente demanda nutricia de la población.

En relación con la calidad de los productos obtenidos en los sistemas de cultivo (contenido de macro y micronutrientes, nutraceuticos [53], [54], [68]), informes actuales muestran el papel de las agrotécnicas (tecnologías agrícolas) en la producción de bioactivos vegetales. El enfoque de estos reportes está en la nutrición de las plantas mediante técnicas sustentables de cultivo con el objetivo de obtener compuestos de valor farmacéutico. Sin embargo, la investigación de estas técnicas en



policultivos y con el uso de plantas destinadas al consumo humano es prácticamente inexistente [69].

Si bien la implementación de policultivos es común en algunas regiones del mundo, aún quedan muchas interrogantes por atender, tanto en el manejo agrícola como en el uso adecuado de especies en estos sistemas. A futuro habrá que dedicar la investigación a los arreglos topológicos para garantizar la interacción positiva de las especies en cuestiones no sólo de rendimiento, sino también de aprovechamiento de recursos. También es necesario determinar las especies endémicas de una región que comparten condiciones climáticas y edafológicas; posteriormente, caracterizar los géneros bacterianos encontrados en los rizobios de las plantas a utilizar [70] para evaluar su compatibilidad, y así producir y conservar las semillas criollas. En lo que concierne la nutrición de las plantas mediante agrotécnicas, urge desarrollar ensayos en policultivos para determinar cómo mejorar la calidad y cantidad de los compuestos bioactivos benéficos a la salud humana [54].

Conclusiones

La pérdida de la biodiversidad y hábitats naturales, el daño a los suelos fértiles, problemáticas de índole socioeconómica, cultural y sanitaria son algunas de las dificultades que deben solventarse lo antes posible. Por ello es necesario diversificar los cultivos, para devolver la riqueza a los paisajes; así, la oferta alimenticia será más amplia y los aportes nutricionales más valiosos. El policultivo es un sistema agroecológico que respeta la agrobiodiversidad, por lo que podría ser una opción para lidiar con estas problemáticas. Además, el empleo de especies endémicas asegura la integridad de los hábitats y menor o nulo uso de agroquímicos que perturben los recursos naturales de esa zona.

Es imperativo estudiar las interacciones de plantas endémicas, con el fin de implementar sistemas de policultivos adaptados a su región; policultivos que rindan alimentos saludables de mejor calidad nutricia basados en la cultura y características de una región. Estas acciones podrían contribuir al rescate de algunas variedades cuyo abandonado consumo las ha puesto en peligro de extinción. Así, se debe recuperar el vínculo entre la naturaleza y la cultura, ya que perderlo ha ocasionado

estragos en la dieta de la población y, en consecuencia, en el estado de salud. En México, la dieta basada en la milpa constituye un ejemplo bien documentado de que ese vínculo es recuperable en otras partes del mundo: se trata de un modelo de alimentación saludable derivado de la cultura y características regionales de la alimentación mexicana.

Finalmente, en la investigación a futuro será primordial la cooperación interdisciplinaria de científicos y agricultores, para que el intercambio de conocimientos origine sistemas sostenibles de producción alimentaria en beneficio de las generaciones presentes y futuras.



Referencias

- [1] D. Soto-Gómez, and P. Pérez-Rodríguez, "Sustainable agriculture through perennial grains: Wheat, rice, maize, and other species. A review," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 325, p. 107747, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107747>
- [2] A. Kumar, A. Choudhary, H. Kaur, and S. Mehta, "A walk towards Wild grasses to unlock the clandestine of gene pools for wheat improvement: A review," *Plant Stress*, vol. 3, p. 100048, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100048>
- [3] N. Pérez-Méndez, C. Miguel-Rojas, J.A. Jimenez-Berni, D. Gomez-Candon, A. Pérez-de-Luque, E. Fereres, M. Catala-Forner, D. Villegas, and J.C. Sillero, "Plant Breeding and Management Strategies to Minimize the Impact of Water Scarcity and Biotic Stress in Cereal Crops under Mediterranean Conditions," *Agronomy*, vol. 12 (1), p. 75, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010075>
- [4] W. Picado, Evaluating the Green Revolution Dominant Narrative for Latin America: Technology, Geopolitics, and Institutions. In: *Handbook of the Historiography of Latin American Studies on the Life Sciences and Medicine*, A. Barahona, *Historiographies of Science*. Springer, Cham., pp. 1-19, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48616-7_14-2
- [5] S. Shefer, M. Lebendiker, A. Finkelshtein, D.A. Chamovitz, and A. Golberg, "Ulvan crude extract's chemical and biophysical profile and its effect as a biostimulant on *Arabidopsis thaliana*," *Algal Research*, vol. 62, p. 102609, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102609>
- [6] S. Prager, and K. Wiebe, "Strategic foresight for agriculture: Past ghosts, present challenges, and future opportunities," *Global Food Security*, vol. 28, p. 100489, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100489>
- [7] F. Jacquet, M.H. Jeuffroy, J. Jouan, E. Le Cadre, I. Litrico, T. Malausa, X. Reboud, and C. Huyghe, "Pesticide-free agriculture as a new paradigm for research," *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 42 (1), p. 8, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00742-8>
- [8] T.N. Sogang, and Y. Monkouop, "Past, Present and

- Future of Urban Agriculture in Cameroon: Major Contemporary Challenges (1993-2017),” *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, vol. 11 (1), 1-14, Feb. 2022. <https://doi.org/10.4236/jacen.2022.111001>
- [9] M. Gullian Klanian, M. Delgado Diaz, J. Aranda, and C. Rosales Juárez, “Integrated effect of nutrients from a recirculation aquaponic system and foliar nutrition on the yield of tomatoes *Solanum lycopersicum* L. and *Solanum pimpinellifolium*,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25 (18), pp.17807-17819, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1817-5>
- [10] S.M. Pinho, R.M. Valladão Flores, L.H. David, M.G.C. Emerenciano, K.K. Quagraine, and M. Célia Portella, “Economic comparison between conventional aquaponics and FLOCponics systems,” *Aquaculture*, vol. 552, p. 737987, Apr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737987>
- [11] U. Knaus, J. Zimmermann, S. Appelbaum, and H.W. Palm, “Spearmint (*Mentha spicata*) Cultivation in Decoupled Aquaponics with Three Hydro-Components (Grow Pipes, Raft, Gravel) and African Catfish (*Clarias gariepinus*) Production in Northern Germany,” *Sustainability*, vol. 14 (1), p. 305, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14010305>
- [12] M.J. Ibarra, E.W. Alcarraz, O. Tapia, Y. Ponce, H.D. Calderon-Vilca, and C.R. Quispe, A Comparison of Cultivation Techniques NFT-I, FR and Soil: An IoT Monitoring Approach. In: *Proceedings of International Conference on Data Science and Applications*. In: M. Saraswat, S. Roy, C. Chowdhury, and A.H. Gandomi, *Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Vol. 288, pp. 331-347, 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5120-5_26
- [13] G.A. Sarmiento Guevara, “Acuaponía implementación de un modelo acuapónico para el control y monitoreo mediante herramientas TIC’S e IOT en un cultivo modular en Villavicencio,” *Documentos De Trabajo ECBTI*, vol. 1 (2), 2020. <https://doi.org/10.22490/ECBTI.4305>
- [14] K. Inosako, E. Troyo Diéguez, T. Saito, and G. Lucero Vega, *Manual Técnico para Cultivo a Cielo Abierto usando Agua Residual de Acuaponia*, In: J.Á. Larrinaga Mayoral, I. Racotta Dimitrov, and S. Yamada, *Manual Técnico de Acua-*



- ponía Combinada con Cultivo a Cielo Abierto adaptado en Zonas Áridas, SATREPS, pp. 65-89, 2020. https://www.jica.go.jp/mexico/espanol/activities/c8h0vm00007f8s9j-att/manual_sp.pdf
- [15] L.H. David, S.M. Pinho, F. Agostinh, J.I. Costa, M.C. Portella, K.J. Keesman, and F. Garcia, "Sustainability of urban aquaponics farms: An emergy point of view," *Journal of Cleaner Production*. vol. 331, p. 129896, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129896>
- [16] A. Mishra, L. Singh, and D. Singh, "Unboxing the black box—one step forward to understand the soil microbiome: A systematic review," *Microbial Ecology*, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-01962>
- [17] J. Masabni, and G. Niu, Chapter 10 - Aquaponics, In: *Plant Factory Basics, Applications and Advances*, T. Kozai, G. Niu, and J. Masabni, pp. 167-180, 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85152-7.00017-3>
- [18] V. Bogužas, L. Skinulienė, L.M. Butkevičienė, V. Steponavičienė, E. Petrauskas, and N. Maršalkienė, "The Effect of Monoculture, Crop Rotation Combinations, and Continuous Bare Fallow on Soil CO₂ Emissions, Earthworms, and Productivity of Winter Rye after a 50-Year Period," *Plants*, vol. 11 (3), p. 431, Feb. 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11030431>
- [19] H. Rharrhour, W. Fatima, S. Goddek, M. Sadik, A. El Moujtahid, H. Nhhala, and A. Yahyaoui, "Towards sustainable food productions in Morocco: Aquaponics," in *Proc. E3S Web of Conferences*, vol. 337, paper 03004, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233703004>
- [20] V.P. Mohanan, N.R. Mahanta, A. Kushwaha, and L. Goswami, Chapter 3 - Leveraging the potential of aquaponics for urban sustainability, In: *Emerging Trends to Approaching Zero Waste*, pp. 59-78, 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85403-0.00007-4>
- [21] E. Masson, and S. Buben-dorff, "Local foods' as trustworthy food: geographical proximity, social areas and interpersonal relationships," *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*, vol. 103, pp. 29-49, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1007/s41130-021-00159-7>
- [22] L. Cappelli, F. D'Ascenzo, R. Ruggieri, and I. Gorelova, "Is

- Buying Local Food a Sustainable Practice? A Scoping Review of Consumers' Preference for Local Food," *Sustainability*, vol. 14 (2), p. 772, Nov. 2022. <https://doi.org/10.3390/su14020772>
- [23] C.M.Viana, D. Freire, P. Abrantes, J. Rocha, and P. Pereira, "Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: A systematic review," *Science of The Total Environment*, vol. 806, part 3, p. 150718, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150718>
- [24] E. Veres Zahaikévitch, L. Medina Macedo, L. Battisti Telles, J.V. Messias Bittencourt, and A.G. Veres Zahaikévitch, "Contemporary Public Policies to Strengthen Family Farming in the International Perspective: A Bibliometric Study," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8. (1), p. 8, Oct. 2022. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010008>
- [25] T. Yuan, Z.B. Lin, S. Cheng, R. Wang, and P. Lu, "Removal of Sulfonamide Resistance Genes in Fishery Reclamation Mining Subsidence Area by Zeolite," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19 (7), p. 4281, Feb. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074281>
- [26] B.B. Choudhary, and S. Sirohi, "Understanding vulnerability of agricultural production system to climatic stressors in North Indian Plains: a meso-analysis," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 24, pp. 13522–13541, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01997-7>
- [27] K. Bakhsh, S.A.A. Naqvi, and W. Nasim, Effects of Climate Change on the Socioeconomic Conditions of Farmers: A Case Study, In: *Building Climate Resilience in Agriculture*. W.N. Jatoi, M. Mubeen, A. Ahmad, M.A. Cheema, Z. Lin, M.Z. Hashmi (eds). Springer, Cham, Oct. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79408-8_16
- [28] L. de Graaf, M. Boulanger, M. Bureau, G. Bouvier, M. Meryet-Figuier, S. Tual, P. Lebailly, and I. Baldi, "Occupational pesticide exposure, cancer and chronic neurological disorders: A systematic review of epidemiological studies in greenspace workers," *Environmental Research*, vol. 203, p. 111822, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111822>
- [29] A. Batra, J. Swaby, P. Raval, H. Zhu, N.L. Weintraub, M.



- Terris, N.A. Karim, A. Keruakous, D. Gutterman, K. Beyer, M. Stolley, S.A. Brown, and A. Guha, "Effect of Community and Socio-Economic Factors on Cardiovascular, Cancer and Cardio-Oncology Patients with COVID-19," *COVID*, vol. 2 (3), pp. 350-368, Feb. 2022. <https://doi.org/10.3390/covid2030024>
- [30] B. Nguyen Thanh, T. Le Van Thuy, M. Nguyen Anh, M. Nguyen Nguyen, and T. Nguyen Hieu, "Drivers of agricultural transformation in the coastal areas of the Vietnamese Mekong delta," *Environmental Science & Policy*, vol. 122, pp. 49-58, Aug. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.04.010>
- [31] G.S. Morales, R.K.M. Villaronte, M.C.O. Yap, and M.A.L. Rosete, "The Relationship Between Rural-Urban Migration and the Agricultural Output of the Philippines," *International Journal of Social and Management Studies*, vol. 3 (1), pp. 62-74, 2022.
- [32] M. Abounaga, and H. Fouad, Urban Green Coverage: Importance of Green Roofs and Urban Farming Policies in Enhancing Liveability in Buildings and Cities—Global and Regional Outlook, In: The Importance of Greenery in Sustainable Buildings. Innovative Renewable Energy. A. Sayigh and A. Trombadore (eds.). Springer. Cham. Jul. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68556-0_7
- [33] T.A. Ladan, M.H. Ibrahim, S.S.B.S. Ali, and A. Saputra, "A geographical review of urban farming and urban heat island in developing countries," in *Proc. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 986 (1), paper 012071, 2022. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/986/1/012071>
- [34] G. Tiny, M.R. Lucas, P.D. Henriques, and A. Marta-Costa, "Family agriculture, sustainable development and ethnographic linear programming - A Review. Economic and Social Development," in *Proc. 78th International Scientific Conference on Economic and Social Development*, pp. 285-294, Feb. 2022. <https://dx.doi.org/10.22161/ijhaf.6.3.1>
- [35] B.E. Graeub, M.J. Chappell, H. Wittman, S. Ledermann, R. Bezner Kerr, and B. Gemmill-Herrena, "The State of Family Farms in the World," *World Development*, vol. 87, pp. 1-15, Nov. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.05.012>

- [36] J. Möllmann, M. Buchholz, W. Kölle, and O. Musshoff, "Do remotely-sensed vegetation health indices explain credit risk in agricultural microfinance?," *World Development*, vol. 127, p. 104771, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104771>
- [37] S. Sharon Maria, S. Lakshmy, D.K. Nidhin, and N.K. Shibu, N.K., Carbon Neutral Communities: Model for Integrating Climate Action into Development Planning, In: I. Pal, S. Kolathayar, (eds), *Sustainable Cities and Resilience. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 183, Springer, Singapore, 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5543-2_31
- [38] J.L. Saenz, B. Downer, M.A. Garcia, and R. Wong, "Rural/urban dwelling across the life-course and late-life cognitive ability in Mexico," *SSM - Population Health*, vol. 17, p. 101031, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2022.101031>
- [39] G. Wies, A. Navarrete-Segueda, E. Ceccon, J. Larsen, and M. Martinez-Ramos, "What drives management decisions and grain yield variability in Mesoamerican maize cropping systems? Evidence from small-scale farmers in southern Mexico," *Agricultural Systems*, vol. 198, p. 103370, Apr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103370>
- [40] T.Y. Macías Zambrano, C.S. González Calzadilla, V.D. Espinel Pino, T.B. Bravo Mero, and J.C. Vélez Vera, "Rural bee-keeping: Eco-friendly complement to traditional agriculture," *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 7 (2), pp. 741-750, 2022.
- [41] M.A. Magaña Magaña, M.E. Tavera Cortés, L.L. Salazar Barrientos, and J.R. Sanginés García, "Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad," *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 7 (5), pp. 1103-1115, Aug. 2016. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.235>
- [42] H.E. Hernández, G.A. Gutiérrez, I. Gutiérrez-Montes, J.C. Suárez, H.J. Andrade, A.P. Bernal, F. Casanoves, and C. Butler Flora, "How Close Are We to Self-Provisioning? A Look at the Livelihood Strategies of Rural Households in the Southern Andean Region of Colombia," *Sustainability*, vol. 14 (15), p. 2504, Feb. 2022. <https://doi.org/10.3390/su14052504>
- [43] M. Haque, S.K. Acharya, and B. Sarkar, "Farmers' Perception towards Transforma-



tion of Rice-based Cropping System into Tea Garden," *Indian Journal of Extension Education*, vol. 58 (1), pp. 12-16, Jan-Mar. 2022. <https://doi.org/10.48165/IJEE.2022.58103>

- [44] United Nations. (2022) Progress towards the Sustainable Development Goals. Economic and Social Council - High-level political forum on sustainable development. Advance un-edited version. [Online] Available: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/29858SG_SDG_Progress_Report_2022.pdf (Accessed 29 December 2022)
- [45] Y. Getaneh, A. Alemu, Z. Ganewo, and A. Haile, "Food security status and determinants in North-Eastern rift valley of Ethiopia," *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 8, p. 100290, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100290>
- [46] S.B. Cavalli, P. Soares, S.S. Martinelli, and S. Schneider, "Family farming in times of Covid-19," *Revista de Nutrição*. vol. 33, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-9865202033e200180>
- [47] L. van den Berg, P. Hebinck, and D. Roep, "'We go back to the land': processes of re-peasantisation in Araponga, Brazil," *The Journal of Peasant Studies*, vol. 45 (3), pp. 653-675, Dec. 2016. <https://doi.org/10.1080/03066150.2016.1250746>
- [48] B.S. Amanto, M.C.B. Umanailo, R.S. Wulandari, T. Taufik, and S. Susiati, "Local Consumption Diversification," *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8 (8), pp.1865-1869, Aug. 2019. <https://www.ijstr.org/final-print/aug2019/Local-Consumption-Diversification.pdf>
- [49] T. Zhang, J. Chen, and K.G. Grunert, "Impact of consumer global-local identity on attitude towards and intention to buy local foods," *Food Quality and Preference*, vol. 96, p. 104428, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104428>
- [50] S.H. Kim, R. Huang, and S. Kim, "Exploring advertising strategy for restaurants sourcing locally: The interplay of benefit appeal and regulatory focus," *Journal of Hospitality and Tourism Management*, vol. 50, p. 127-138, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2022.01.009>
- [51] J.B. Kirkpatrick, and A. Davison, "Home-grown: Gardens, practices and motivations in urban domestic vegetable production," *Landscape and*

- Urban Planning, vol. 170, pp. 24-33, Feb. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.023>
- [52] I. Opitz, R. Berges, A. Piorr, and T. Krikser, "Contributing to food security in urban areas: differences between urban agriculture and peri-urban agriculture in the Global North," *Agriculture and Human Values*, vol. 33, pp. 341-358, Jun. 2016. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9610-2>
- [53] A. Katre, T. Bertossi, A. Clarke-Sather, and M. Parsatoon, "Agroecological Transition: A Territorial Examination of the Simultaneity of Limited Farmer Livelihoods and Food Insecurity," *Sustainability*, vol. 14 (6), p. 3160, Mar. 2022. <https://doi.org/10.3390/su14063160>
- [54] C.S. Aweke, E. Lahiff, and J.Y. Hassen, "The contribution of agriculture to household dietary diversity: evidence from smallholders in East Hararghe, Ethiopia," *Food Security*, vol. 12, pp. 625-636, Apr. 2020. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01027-w>
- [55] L. Veloso Dutra, D. de Castro Morais, R.H. Silva Santos, S. do Carmo Castro Franceschini, and S. Eloiza Priore, "Contribution of the production for self-consumption to food availability and food security in households of the rural area of a Brazilian city," *Ecology of Food and Nutrition*, vol. 57 (4), pp. 282-300, Jun. 2018. <https://doi.org/10.1080/03670244.2018.1488250>
- [56] W.B. Traill, "The Rapid Rise of Supermarkets?," *Development Policy Review*, vol. 24 (2), pp. 163-174, Feb. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7679.2006.00320.x>
- [57] D.Y. Ayal, I.O. Olawale, and O. Olayide, "Review of Sustainable Agriculture and Food Systems in Africa," *African Journal of Sustainable Development*, vol. 10 (3), Mar. 2021. <https://www.researchgate.net/publication/358150370>
- [58] J. Camacho-Otero, C. Boks, and I.N. Pettersen, "Consumption in the Circular Economy: A Literature Review," *Sustainability*, vol. 10 (8), p. 2758, Aug. 2018. <https://doi.org/10.3390/su10082758>
- [59] V.M. Fernández-Cabanás, A. Delgado, J.R. Lobillo-Eguíbar, and L. Pérez-Urrestarazu, "Early production of strawberry in aquaponic systems using commercial hydroponic bands," *Aquacultural Engineering*, vol. 97, p. 102242, May 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102242>
- [60] C.M. Galanakis, G. Brunori, D. Chiaramonti, R. Mat-



thews, C. Panoutsou, and U.R. Fritsche, "Bioeconomy and green recovery in a post-COVID-19 era," *Science of The Total Environment*, vol. 808 (2), p. 152180, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152180>

- [61] Y. Geng, J. Sarkis, and R. Bleischwitz, "How to globalize the circular economy," *Nature*, vol. 565 (7738), pp. 153-155, 2019. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00017-z>
- [62] S. Milliken, A. Ovca, M. Villarroel, F. Gartmann, N. Antenen, T. Griessler Bulc, B. Kotzen, and R. Junge, Lessons Learned from Introducing Aquaponics to Higher Education Curricula, In: *Enhancing Environmental Education Through Nature-Based Solutions*, C. Vasconcelos, C.S.C. Calheiros (eds). *Integrated Science*, vol. 4. Springer, Cham. Feb. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91843-9_11
- [63] J. Colt, A.M. Schuur, D. Weaver, and K. Semmens, "Engineering Design of Aquaponics Systems," *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, vol. 30 (1), pp. 33-80, 2022. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1886240>
- [64] M. Breitenstein, and A. Hicks, "Review and harmonization of the life cycle global warming impact of five United States aquaponics systems," *Aquacultural Engineering*, vol. 96, p. 102224, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102224>
- [65] J.E. Rakocy, M.P. Masser, and T.M. Losordo, "Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture," *SRAC Publication*, vol. 454, 2006.
- [66] B. Yep, and Zheng, "Aquaponic trends and challenges – A review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 228 (10), p. 1586-1599, Aug. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>
- [67] B. Kralik, F. Weisstein, J. Meyer, K. Neves, D. Anderson, and J. Kershaw, "From water to table: A multidisciplinary approach comparing fish from aquaponics with traditional production methods," *Aquaculture*, vol. 552, p. 737953, Apr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737953>
- [68] Ghamkhar, R., C. Hartleb, Z. Rabas, and A. Hicks, "Evaluation of environmental and economic implications of a cold-weather aquaponic food production system using life cycle assessment and economic analysis," *Journal*

- of Industrial Ecology, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1111/jiec.13230>
- [69] N. Romano, A. Powell, S. Islam, H. Fischer, N. Renukdas, A.K. Sinha, and S. Francis, "Supplementing aquaponics with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass tea: Effects on the production and composition of sweetpotato slips and sweet banana peppers," *Aquaculture*, vol. 555, p. 738160, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738160>
- [70] M.B. Vallejos, M.S. Marcos, C. Barrionuevo, and N.L. Olivera, "Salinity and N input drive prokaryotic diversity in soils irrigated with treated effluents from fish-processing industry," *Applied Soil Ecology*, vol. 175, p. 104443, Jul. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104443>
- [71] A.EH. Zohry, and S. Ouda, Fish Farms Effluents for Irrigation and Fertilizer: Field and Modeling Studies, In: *Climate-Smart Agriculture*. Springer, Cham., Jan. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93111-7_3
- [72] J.H. Kang, H.Y. Jung, and J.K. Kim, "Complete reuse of raw fishmeal wastewater: Evidence from a field cultivation study and economic analysis," *Environmental Engineering Research*, vol. 23 (3), pp. 271-281, Feb. 2018. <https://doi.org/10.4491/eer.2017.190>
- [73] A. Sathyan, S.A. Muthukumaraswamy, and H. Rahman, On the Study and Analysis of Automated Aquaponics System Using AVR Microcontroller, In: *Intelligent Manufacturing and Energy Sustainability*, A.N.R. Reddy, D. Marla, M.N. Favorskaya, S.C. Satapathy (eds). Smart Innovation. Systems and Technologies. vol 265, pp. 519-528, 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6482-3_51
- [74] J. Hager, L.A. Bright, J. Dusci, and J. Tidwell, "AQUAPONICS - Production Manual A Practical Handbook for Growers," Land Grant Program, University of Kentucky, 2021.
- [75] W.A. Lennard, and B.V. Leonard, "A Comparison of Three Different Hydroponic Subsystems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System," *Aquaculture International*, vol. 14 (6), pp. 539-550, Dec. 2006. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>
- [76] FAO. (2020) The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in Action. [Online] Available: <https://www.fao.org>



org/3/ca9229en/ca9229en.pdf
(Accessed 29 December 2022)

- [77] M. Eck, O. Körner, M.H. Jijakli, Nutrient Cycling in Aquaponics Systems. In: Aquaponics Food Production Systems. S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, G.M. Bunnell (eds). Springer, Cham., pp 231–246, Jun. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_9
- [78] A. Joyce, S. Goddek, B. Kotzen, S. Wuertz, Aquaponics: Closing the Cycle on Limited Water, Land and Nutrient Resources, In: S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, G.M. Bunnell (eds), Aquaponics Food Production Systems. Springer, Cham., pp. 19–34, Jun. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_2
- [79] S.G. Alarcón-Silvas, J.A. León-Cañedo, J.F Fierro-Sañudo, J. Ramírez-Rochín, M.G. Fregoso-López, M.G. Frías-Espericueta, C.C. Osuna-Martínez, and F. Páez-Osuna, “Water quality, water usage, nutrient use efficiency and growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* in an integrated aquaponic system with basil *Ocimum basilicum*,” *Aquaculture*, vol. 543, p. 737023, Oct. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737023>
- [80] G.F.M. Baganz, A. Timpe, D. Baganz, G. Staaks, B. Hunger, W. Kloas, and F. Lohrberg, “City or hinterland – site potentials for upscaled aquaponics in a Berlin case study,” *npj Urban Sustainability* 2, num. 29, Nov. 2022. <https://doi.org/10.1038/s42949-022-00072-y>
- [81] A. Greenfeld, N. Becker, J.F. Bornman, S. Spatari, and D.L. Angel, “Is aquaponics good for the environment?—evaluation of environmental impact through life cycle assessment studies on aquaponics systems,” *Aquaculture International*, vol. 30 (1), pp. 305–322, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00800-8>
- [82] V. Ondruška, B.S. How, M. Netolický, V. Máša, and S.Y. Teng, “Resource optimisation in aquaponics facility via process monitoring and graph-theoretical approach,” *Carbon Resources Conversion*, vol. 5 (4), pp. 255-270, Dec. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2022.04.003>
- [83] J.G. Vargas-Hernández, Transformations of Urban Agro Ecology Landscapes in Territory Transition, In: Deep Learning for Sustainable Agriculture - Cognitive Data Science in Sustainable Computing, pp. 199-221, 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85214-2.00007-0>
- [84] A. Sridhar, A. Balakrishnan, M.M. Jacob, M. Sillanpää,

- and N. Dayanandan, "Global impact of COVID-19 on agriculture: role of sustainable agriculture and digital farming," *Environmental Science and Pollution Research*, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19358-w>
- [85] S. Burgin, "'Back to the future'? Urban backyards and food self-sufficiency," *Land Use Policy*, vol. 78, pp. 29-35, Nov. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.012>
- [86] O.O. David, and W. Grobler, "Status Quo of Households' Backyard Food Gardens in South Africa: The "Drivers",," *Sustainability*, vol. 14 (5), p. 2674, Feb. 2022. <https://doi.org/10.3390/su14052674>
- [87] A. Basarir, N.M.N. Al Mansouri, and Z.F.R. Ahmed, "Householders Attitude, Preferences, and Willingness to Have Home Garden at Time of Pandemics," *Horticulturae*, vol. 8 (56), Jan. 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010056>
- [88] L.S. Chalmin-Pui, A. Griffith, J. Roe, T. Heaton, and R. Cameron, "Why garden? – Attitudes and the perceived health benefits of home gardening," *Cities*, vol. 112, p. 103118, May 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103118>
- [89] M. Cervantes-Zapana, J.L. Yagüe, V.L. De Nicolás, and A. Ramirez, "Benefits of public procurement from family farming in Latin-AMERICAN countries: Identification and prioritization," *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, p. 123466, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123466>
- [90] A. Sofo, and A. Sofo, "Correction to: Converting Home Spaces into Food Gardens at the Time of Covid-19 Quarantine: all the Benefits of Plants in this Difficult and Unprecedented Period," *Human Ecology*, vol. 48 (141), May 2020. <https://doi.org/10.1007/s10745-020-00157-1>
- [91] B. Adeleke, S. Cassim, and S. Taylor, "Pathways to low-cost aquaponic systems for sustainable livelihoods and economic development in poor communities: defining critical success factors," *Aquaculture International*, vol.30, pp. 1575–1591, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00865-z>
- [92] M.L. Richardson, and C.G. Arlotta, "Producing Cherry Tomatoes in Urban Agriculture," *Horticulturae*, vol. 8 (274), Mar. 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040274>



- [93] B. Davis, L. Lipper, and P. Winters, "Do not transform food systems on the backs of the rural poor," *Food Security*, **14**, pp. 729–740, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01214-3>
- [94] S. Goddek, A. Joyce, S. Wuertz, O. Körner, I. Bläser, M. Reuter, and K.J. Keesman, Decoupled Aquaponics Systems, In: S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, G.M. Burnell (eds), *Aquaponics Food Production Systems*. Springer, Cham., pp. 201–229, Jun. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_8
- [95] E. Villanueva-Gutiérrez, C. Rodríguez-Armenta, M.L. González-Félix, and M. Perez-Velazquez, "Incorporating hydrolyzed soy protein or black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal into feeds for *Totoaba macdonaldi*," *Aquaculture*, vol. **554**, p. 738152, May 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738152>
- [96] E.G. Popkova, Vertical Farms Based on Hydroponics, Deep Learning, and AI as Smart Innovation in Agriculture, In: E.G. Popkova, B.S. Sergi (eds), *Smart Innovation in Agriculture. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol. **264**, Springer, Singapore, pp. 257–262, Feb. 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7633-8_28
- [97] R.H. Bosma, L. Lacambra, Y. Landstra, C. Perini, J. Poulie, M.J. Schwaner, and Y. Yin, "The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics," *Aquacultural Engineering*, vol. **78**, Part B, pp. 146–154, Aug. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.07.002>
- [98] Y. Hao, K. Ding, Y. Xu, Y. Tang, D. Liu, and G. Li, "States, Trends, and Future of Aquaponics Research," *Sustainability*, vol. **12** (18), p. 7783, Sep. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12187783>
- [99] M.K. Rahman, M.M. Masud, R. Akhtar, and M.M. Hossain, "Impact of community participation on sustainable development of marine protected areas: Assessment of ecotourism development," *International Journal of Tourism Research*, **24** (1), p. 33–43, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1002/jtr.2480#>
- [100] M. McClatchie, R. Schulting, R. McLaughlin, S. Colledge, A. Bogaard, P. Barratt, and N. Whitehouse, "Food Production, Processing and Foodways in Neolithic Ireland," *Environmental Archaeology*, **27**:1, pp. 80–92, 2022. <https://doi.org/10.1080/14614103.2019.1615215>
- [101] A.C. McAlvay, A. DiPaola, A.C. D'Andrea, M.L. Ruelle, M. Mosulishvili, P. Halstead,

and A.G. Power, "Cereal species mixtures: an ancient practice with potential for climate resilience. A review," *Agronomy for Sustainable Development*, 42, num. 100, Oct. 2022. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00832-1>

