

The family production system of vegetable nopal (*Opuntia ficus indica* L.) in San Pablo Ixquitlán, Méx. Importance and operational strategies

Karen Amellaly Pedraza-Reyes¹

Ma. Antonia Pérez-Olvera^{1*}

Hermilio Navarro-Garza²

Anastasio Espejel-García²

Abstract

Nopal (*Opuntia ficus indica* L.) is a cactus of economic and gastronomic importance and a source of employment in Mexico, as well as an economic livelihood for producers in the Teotihuacan Valley. The objective of this research was to analyze the functioning of the production system of vegetable nopal, its importance for the producer families and operating strategies. The research was carried out in the winter of 2022, elaborating a survey and applying a questionnaire to 30 producers of San Pedro Ixquitlan. Also, a fertility analysis was performed on 10 composite soil samples and pesticide residue analysis on eight samples of commercial quality nopal. The results showed that the production of vegetable nopal is linked to family labor and hired labor. The orchards are maintained with selective pruning (1-5), monthly irrigation and weed control. One of the main problems is pest control, mainly the cochineal mealybug (*Dactylopius coccus*), however, there are no documented official regulations for the use of authorized pesticide for the crop. The soils have good nutrient levels, which are supplied with chemical fertilizers, manure and compost. Pest control is mainly chemical, although with possible environmental and sanitary repercussions. Of the pesticide residues found, only Chlorpyrifos exceeds the LMP for fruits and vegetables. 50 % of the samples analyzed showed no residues and there is evidence of alternative management for pest control and crop nutrition. The production system operates with family and hired labor for specific practices. It is important to disseminate agroecological management practices for pest and disease control, weed control, soil fertility management and crop nutrition, which will have an impact on the final quality of the product.

Keywords: Nopal, pesticides, family labor.

El sistema familiar de producción de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) en San Pablo Ixquitlán, Méx. Importancia y estrategias de funcionamiento

Resumen

El nopal (*Opuntia ficus indica* L.) es una cactácea de importancia económica, gastronómica y fuente de empleo en México, así como sustento económico para productores del Valle de Teotihuacán. El objetivo de esta investigación fue analizar el funcionamiento del sistema de producción del nopal verdura, su importancia para las familias productoras y estrategias de funcionamiento. La investigación se realizó en el invierno de 2022, elaborando una encuesta y aplicando un cuestionario a 30 productores/as de San Pablo, Ixquitlán. Asimismo, se realizó un análisis de fertilidad a 10 muestras compuestas de suelo y análisis de residuos de plaguicidas a ocho muestras compuestas de nopal calidad comercial. Los resultados mostraron que la producción de nopal verdura está ligada al trabajo familiar y mano de obra contratada. Las huertas son mantenidas con podas selectivas (1-5), riego mensual y control de arvenses. Uno de los principales problemas es el control de plagas, principalmente la grana cochinilla (*Dactylopius coccus*), sin embargo, no se cuenta con regulación oficial documentada para el uso de plaguicidas autorizados para el cultivo. Los suelos presentan buenos niveles de nutrientes, los cuales se suministran con fertilizantes químicos, estiércol de ganado y composta. El control de plagas es principalmente químico, aunque con posibles repercusiones ambientales y sanitarias. De los residuos de plaguicidas encontrados solo el Chlorpirifos rebasa el LMP para frutas y hortalizas. El 50 % de las muestras analizadas no presentó residuos y hay evidencia de manejo alternativo para el control de plagas, control de arvenses y nutrición del cultivo. El sistema de producción funciona con mano de obra familiar y contratada para prácticas específicas. Resulta importante difundir prácticas de manejo agroecológico para el control de plagas y enfermedades, control de arvenses y gestión de la fertilidad del suelo y nutrición del cultivo, lo cual tendrá un impacto en la calidad final del producto.

Palabras clave: Nopal, plaguicidas, trabajo familiar.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 38.5, carr. México-Texcoco, C. P. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. México.

²Universidad Autónoma Chapingo, carr. Federal México-Texcoco, km 38.5 C. P. 56230, Texcoco, Edo. de México. México.

*Corresponding author: molvera@colpos.mx ORCID ID: 0000-0002-6408-8641

Introduction

Nopal (*Opuntia* spp.) is a cactus of economic importance in Mexico. It is cultivated for the production of fruit, vegetable, forage, or as a breeding medium for the cochineal mealybug (*Dactylopius coccus*). In Mexico, the young shoots (cladodes) of the nopal are consumed as a vegetable (Reyes-Agüero et al., 2005). The increase in production from 1990 to 2022 was from 174 630 to 872 334 ton per year, while the area planted increased from 6 132 to 12 490 ha. The main producing states are Morelos, Mexico City, Estado de Mexico, Puebla and Hidalgo (SIAP, 2020).

The Estado de Mexico has an annual nopal production of 87 767 tons. Considering the municipalities that make up the well-known Teotihuacan Valley, with records that indicate nopal production since ancient times (Hernández et al., 2020). Despite a minimal increase in planted area of 2.6 % in recent years, a large increase in productivity has been observed, suggesting that improvements and technification have been carried out in its cultivation (Rural Development Department, 2020), reaching its peak in 2019 with 892 thousand tons, representing 5.4 % of national vegetable production (SIAP, 2022). This activity generates income and promoted the economic development of families in these municipalities, which have generated the construction of a collective identity around the cultivation of nopal, which is a source of employment and self-employment that contributes to personal community welfare (Reyes-Terrazas et al., 2020). Otumba and San Martín de las Pirámides are the municipalities listed as the main producers in the Estado de Mexico, Otumba has a planted area of 462 ha and San Martín de las Pirámides 101 ha, representing 2.27 and 15 % of its territory, respectively (SIAP, 2020).

San Pablo Ixquitlan is a town located in San Martín de las Pirámides where the predominant economic activity is focused on agriculture, whose main crop is vegetable nopal (INEGI, 2020). Vegetable nopal producers through management practices positioned themselves in the national and even international market. Reyes et al. (2020) mention that, in Otumba, vegetable nopal production units are of family type and play an important role in the community as they provide food, economic and social security (Krishnamurthy et al., 2017). One of the challenges of no-

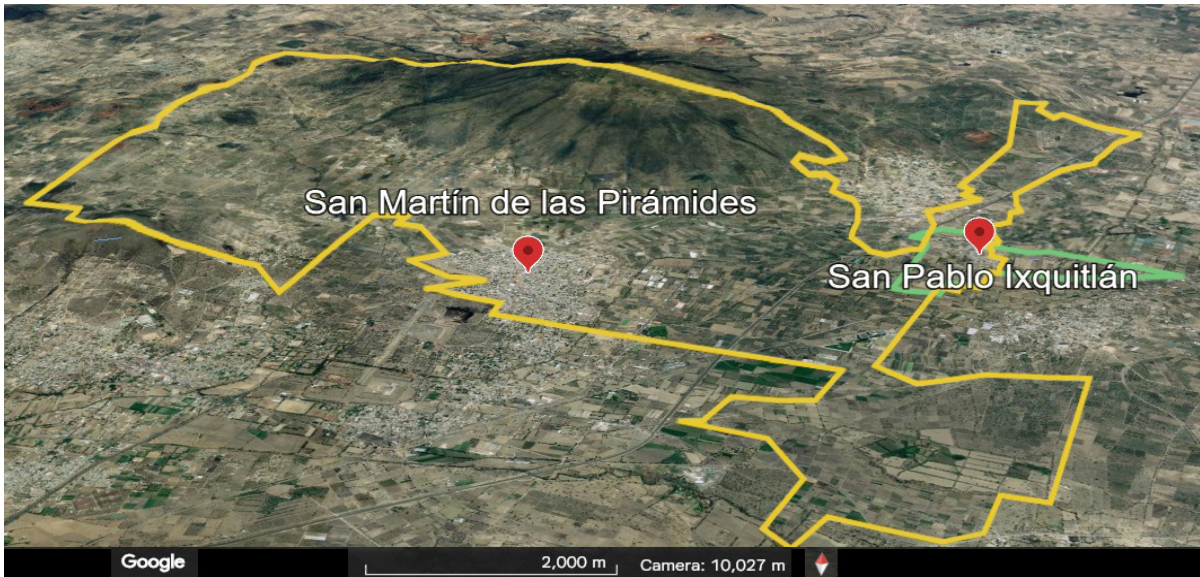
Introducción

El nopal (*Opuntia* spp.) es una cactácea de importancia económica en México. Su cultivo se realiza con fines de producción de fruta, verdura, forraje, o como medio de crianza para la grana cochinilla (*Dactylopius coccus*). En México se consumen los brotes jóvenes (cladodios) del nopal como verdura (Reyes-Agüero et al., 2005). El aumento en producción de 1990 al 2022, fue de 174 630 a 872 334 t anuales, mientras que la superficie sembrada aumentó de 6 132 a 12 490 ha. Los principales estados productores son Morelos, Ciudad de México, Estado de México, Puebla e Hidalgo (SIAP, 2020).

El estado de México cuenta con una producción de nopal de 87 767 t anuales. Considerando los municipios que integran el conocido Valle de Teotihuacán, con registros que indican la producción de nopal desde tiempos ancestrales (Hernández et al., 2020). A pesar de un incremento mínimo en la superficie sembrada de 2.6 % en los últimos años, se ha observado un gran aumento en la productividad, lo que sugiere que se han llevado a cabo mejoras y tecnificación en su cultivo (Secretaría de Desarrollo Rural, 2020), alcanzando su pico en 2019 con 892 mil toneladas, lo que representa un 5.4 % de la producción nacional de hortalizas (SIAP, 2022). Esta actividad genera ingresos y promueve el desarrollo económico de las familias de estos municipios, los cuales han generado la construcción de una identidad colectiva alrededor del cultivo de nopal, el cual es una fuente de empleo y autoempleo que contribuye al bienestar personal y comunitario (Reyes-Terrazas et al., 2020). Otumba y San Martín de las Pirámides son los municipios que figuran como los principales productores en el Estado de México, Otumba tiene una superficie sembrada de 462 ha y San Martín de las Pirámides 101 ha, lo que representa un 2.27 y 15 % de su territorio, respectivamente (SIAP, 2020).

San Pablo Ixquitlán es una localidad ubicada en San Martín de las Pirámides en donde la actividad económica predominante se centra en la agricultura, cuyo cultivo principal es el nopal verdura (INEGI, 2020). Los productores de nopal verdura mediante prácticas de manejo se posicionaron en el mercado nacional e incluso internacional. Reyes et al. (2020) mencionan que, en Otumba, las unidades de producción de nopal verdura son de tipo familiar y des-

Figure 1. Geographic location of the study area
Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth, (2022). / **Source:** Own elaboration with data from Google Earth, (2022).

pal cultivation is the pest and diseases control, which is mainly chemical, however, there are no authorized products for this crop. Producers, in an attempt to combat pests, use pesticides recommended for other crops, with the risks that this implies (Pérez et al., 2013) since there are no official records of authorized pesticides that guarantee control and warn about the risks to the health of consumers, the worker, the producer and the environment (SENASICA, 2023; Ramírez-Bustos et al., 2018; Pérez et al., 2013).

Methodological strategy

The research was carried out in the 2022 winter cycle in San Pablo Ixquitlán (SPI), municipality of San Martín de las Pirámides (Figure 1), which is geographically located at coordinates 19°42'17.517" west longitude, at an altitude of 2 314 masl.

A survey was conducted and 30 questionnaires were applied to producers in San Pablo Ixquitlán. The questionnaire consisted of 36 closed questions and two open questions, of which seven questions are sociodemographic questions and 31 related to crop management, origin of the plantations, crop nutrition management cultural practices, weed control, presence of pests and their control.

For the calculation of the sample, it was considered that the ejido San Pablo Ixquitlán has 41 veg-

empeñan un papel importante en la comunidad, ya que proporcionan seguridad alimentaria, económica y social (Reddiar Krishnamurthy et al., 2017). Uno de los retos del cultivo de nopal, es el control de plagas y enfermedades, el cual es principalmente químico, sin embargo, no existen productos autorizados para este cultivo. Los productores, en un intento de combatir las plagas, utilizan plaguicidas recomendados para otros cultivos, con los riesgos que esto implica (Pérez et al., 2013) ya que no existen registros oficiales de plaguicidas autorizados que garanticen el control y que adviertan sobre los riesgos para la salud de los consumidores, del trabajador, el productor y el medio ambiente (SENASICA, 2023; Ramírez-Bustos et al., 2018; Pérez et al., 2013).

Estrategia metodológica

La investigación se realizó en el ciclo de invierno 2022 en San Pablo Ixquitlán (SPI), municipio de San Martín de las Pirámides (Figura 1), el cual se ubica geográficamente en las coordenadas 19°42'34.464" de latitud norte y 98°47'17.517" de longitud Oeste, a una altitud de 2 314 msnm.

Se realizó una encuesta y se aplicaron 30 cuestionarios a productores/as de San Pablo Ixquitlán. El cuestionario estuvo integrado por 36 preguntas cerradas y dos preguntas abiertas, de las cuales siete fueron preguntas sociodemográficas y 31 referentes al manejo del cultivo, origen de las plantaciones, ma-

etable nopal production units (personal communication with ejido authorities). To calculate the sample size for a finite population with a reliability of 98 %, the following formula was use:

$$n = \frac{N * p (1 - p)}{[N * p(1-p) * e^2 + p * (1 - p) * z^2]}$$

Where:

- n = simple size
- N = population size (41)
- p = sampling proportion (0.5 to calculate the maximum simple size)
- e = desired margin of error (set at 5 % = 0.05)
- z = critical value of the standard normal distribution for the desired reliability level (in this case, for a reliability of 98 %, z is approximately 2.33).

Substituting the values in the formula, we obtain:

$$n = \frac{41 * 0.5 * (1 - 0.5)}{[41 * (1 - 0.5) * 0.05^2 + 0.5 * (1 - 0.5) * 2.33^2]}$$

$n = 28.6$

For budgetary reasons, only 10 composite soil samples were taken, considering a representative sampling, depending on the production areas. These samples were analyzed for soil fertility (pH, nitrates, phosphorus, potassium, exchangeable cations, micronutrients and boron (NOM-021-RECNAT-2000)) and pesticide residues, respectively. In addition, eight samples of commercial-sized vegetable nopal cladodes were taken for multi-residue analysis of pesticide residues using the QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) extraction methodology and quantification by liquid chromatography MS/MS, in a certified and accredited laboratory (GISENA LABS; Accredited SA-159-005/11). The Horwitz uncertainty estimation method is predictive RDSR (%) = 2 (1-05 logC).

Results and discussion

The survey was applied to men (86.7 %) and women (13.3 %) heads of family responsible of nopal production. Regarding their age, the average age of men was 40.5 years old with a range of 18 to 78 years old and of the women 43.3 years old with a range of 35 to 45 years old.

Family labor is linked to the production of vegetable nopal. All the production units showed the par-

nejo de la nutrición del cultivo, prácticas culturales, control de arvenses, presencia de plagas y su control.

Para el cálculo de la muestra se consideró que el ejido de San Pablo Ixquiltán, cuenta con 41 unidades productoras de nopal verdura (Comunicación personal con Autoridades ejidales). Para calcular el tamaño de la muestra para una población finita con una confiabilidad del 98 %, se utilizó la fórmula:

$$n = \frac{N * p (1 - p)}{[N * p(1-p) * e^2 + p * (1 - p) * z^2]}$$

Donde:

- n = tamaño de la muestra
- N = tamaño de la población (41)
- p = proporción muestral (0.5 para calcular el tamaño máximo de la muestra)
- e = margen de error deseado (fijado en 5 % = 0.05)
- z = valor crítico de la distribución normal estándar para el nivel de confianza deseado (en este caso, para una confiabilidad del 98 %, z es aproximadamente 2.33).

Sustituyendo los valores en la fórmula, obtenemos:

$$n = \frac{41 * 0.5 * (1 - 0.5)}{[41 * (1 - 0.5) * 0.05^2 + 0.5 * (1 - 0.5) * 2.33^2]}$$

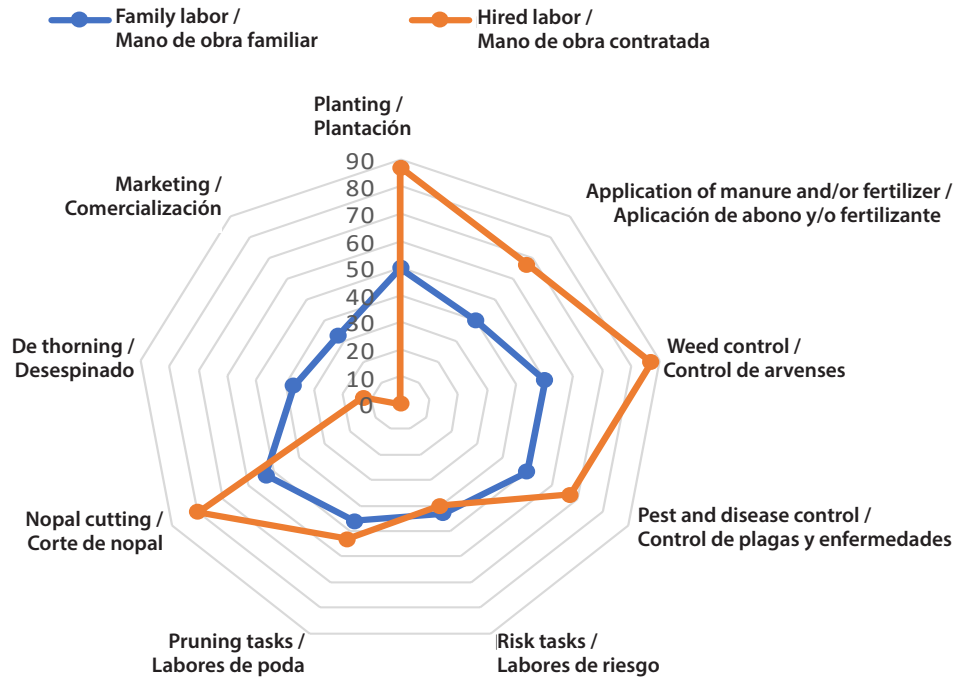
$n = 28.6$

Por cuestiones de presupuesto solo se tomaron 10 muestras compuestas de suelo, considerando un muestreo representativo, dependiendo de las zonas de producción. A dichas muestras se les realizó un análisis de la fertilidad de suelo (pH, CE, nitratos, fósforo, potasio, cationes intercambiables, micronutrientos y boro (NOM-021-RECNAT-2000) y residuos de plaguicidas respectivamente. Adicionalmente se tomaron ocho muestras de cladodios de nopal verdura de tamaño comercial para análisis multiresiduos de plaguicidas mediante la metodología de extracción QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe) y la cuantificación mediante cromatografía líquida MS/MS, en laboratorio certificado y acreditado (GISENA LABS, Acreditado SA-159-005/11). El método de estimación de incertidumbre Horwitz es predictivo RDSR (%) = 2 (1-05 logC).

Resultados y discusión

La encuesta se aplicó a hombres (86.7 %) y mujeres (13.3 %) jefas de familia, responsables de la producción de nopal. Respecto a la edad de estos, el prome-

Figure 2. Percentage of family and salaried labor in the vegetable nopal production units in San Pablo Ixquitlán.
Figura 2. Porcentaje de mano de obra familiar y asalariada en las unidades de producción de nopal verdura en San Pablo Ixquitlán.



Source: Own elaboration with field data.
Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

ticipation of two or more family members in some stage of crop management (Figure 2). In this regard, Flores et al. (2023) mention that in Cuautlalcingo, belonging to Otumba, a municipality adjacent to the study area, there are two variants of labor: family labor, with or without payment for family members (36 %) and salaried labor (36 %), in which local workers are hired on a permanent basis. FAO (2014): “Family agriculture is the predominant form of agriculture worldwide. Family members provide most of the labor, who combine agricultural, non-agricultural and domestic tasks.

Figure 2 shows that hiring external labor to complement family labor plays an important role in the vegetable nopal production, especially in the establishment of the nopal orchards, weed control, pest and disease control and young nopal cutting, since these are the most physically demanding tasks. Irrigation is another task in which labor outside the family unit is hired, but to a lesser extent. The members of the family participate in de-thorning and marketing is carried out by the head of the family. In this regard, Reyes et al (2020) mention that in Otumba

dio de edad de los hombres fue de 40.5 años con un rango de 18 a 78 años y de mujeres de 43.3 años con un rango de 35 a 45 años.

El trabajo familiar está ligado a la producción de nopal verdura. Todas las unidades de producción presentaron participación de dos o más miembros de la familia en alguna etapa del manejo del cultivo (Figura 2). Al respecto Flores et al. (2023) mencionan que en Cuautlalcingo, perteneciente a Otumba, municipio aledaño a la zona de estudio, se presentan dos variantes de mano de obra: familiar, con o sin pago para familiares (36 %) y asalariada (36 %), en el cual se contrata de manera permanente a trabajadores locales. La FAO (2014): “La agricultura familiar es la forma predominante de agricultura en todo el mundo”. Los miembros de la familia aportan la mayor parte de la mano de obra, quienes combinan tareas agrícolas, no agrícolas y domésticas.

En la Figura 2 se muestra que la contratación de mano de obra externa a la familia para complementar el trabajo familiar juega un papel importante en la producción de nopal verdura, sobre todo, en el esta-

the vegetable nopal production units are family-based and play an important role in the community, as they provide food, economic and social security. Family and hired labor differ according to the production cycle; spring-summer or fall-winter, with the latter being more intense because it is the most important commercially, but also the most risky due to low temperatures.

Climatic conditions play a crucial role in crop production, including nopal. In the winter cycle, minimum temperatures can reach values of 5-6 °C (Weather Spark, 2023), which cause damage to tender fruits, slow or stop plant growth, resulting in lower production. Medina-García et al. (2021) indicate that temperatures <13 °C are considered marginal for nopal development. To reduce risks and obtain winter production, producers use micro tunnels to create a warmer, controlled environment that allows plants to grow. This is similar to what Medina-García et al (2021) states that > 13 °C temperatures are considered marginal to nopal development.

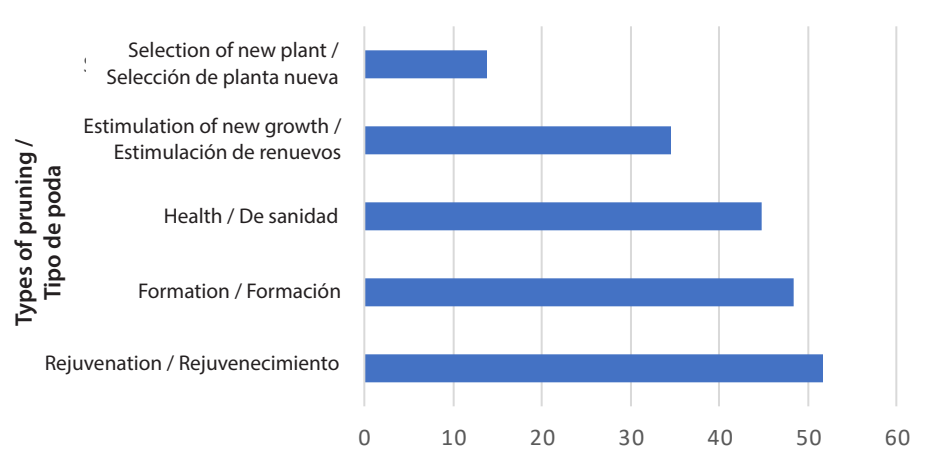
The nopal orchards studied are 2 to 8 years old. The origin of the vegetative material of the orchards (rackets) is obtained from their own orchards or from the area (60 %), so they are considered as local (San Martín de las Pirámides) and the rest have their origin in Milpa Alta, CDMX; Morelos and Atlixco, Puebla with 16.7, 13.3 and 10 % respectively. The nopal plantation is renewed on average every six years, but there are production units that renew every 10 years, which coincides with what was reported by Flores et al. (2023). The stalks, rackets or cladodes are selected by the producers through "new plant selection" pruning. The criteria for their selection are: that they are free of pests and diseases (healthy), that they produce three or more cladodes per stalk and that the stalks are flat. In this regard INIFAP (2016) states that the mother stalks must be healthy and produce cladodes with the desired shape, free of wounds and between 3 to 12 months old. After cutting and before planting, the stalks are left in the shade for 15 days for healing, in order to heal the wounds of the cut and prevent rotting. In addition to pruning for the selection of new plants, pruning is carried out for: stimulation of new growth, rejuvenation, formation and health (Figure 3). 10 % of the family units did not prune during this cycle. 37 % of the family units

blecimiento de las huertas de nopal, en el control de arvenses, control de plagas y enfermedades y, corte del nopalito, ya que son las labores que demandan mayor desgaste físico. El riego es otra de las labores en las cuales se contrata mano de obra externa a la unidad familiar, pero en menor proporción. Para el desespinado participan los integrantes de la familia y la comercialización la realiza el jefe o jefa de familia. Al respecto, Reyes et al. (2020) mencionan que en Otumba las unidades de producción de nopal verdura son de tipo familiar y desempeñan un papel importante en la comunidad, ya que proporcionan seguridad alimentaria, económica y social. El trabajo familiar y de mano de obra contratada difiere de acuerdo con el ciclo productivo: primavera-verano o en otoño-invierno, siendo en este último más intenso, ya que comercialmente, es el ciclo más importante económicamente, pero el de más riesgo por las bajas temperaturas.

Las condiciones climáticas juegan un papel crucial en la producción de los cultivos, incluso en el nopal. En el ciclo invernal, las temperaturas mínimas pueden alcanzar valores de 5-6 °C (Weather Spark, 2023), las cuales causan daño en los frutos tiernos, ralentizar o detener el crecimiento de las plantas, resulta en una producción menor. Medina-García et al. (2021) indica que temperaturas <13 °C son consideradas marginales para el desarrollo del nopal. Para disminuir los riesgos y obtener producción en invierno, los productores utilizan microtúneles para crear un ambiente más cálido y controlado que permite a las plantas crecer.

Las huertas de nopal estudiadas tienen de 2 a 8 años. El origen del material vegetativo de las huertas (raquetas) se obtienen de las huertas propias o de la zona (60 %), por lo que son consideradas como locales (San Martín Pirámides) y el resto tiene su origen en Milpa Alta, CDMX; Morelos y Atlixco, Puebla con 16.7, 13.3 y 10 % respectivamente. La plantación de nopal se renueva en promedio cada seis años, pero hay unidades de producción que lo realizan cada 10 años, lo que coincide con lo reportado por Flores et al. (2023). Las pencas, raquetas o cladodios son seleccionadas por los productores mediante una poda de "selección de planta nueva". Los criterios para su selección son: que estén libres de plagas y enfermedades (sanas), que produzcan tres o más cladodios

Figure 3. Types of pruning in the vegetable nopal crop (%). San Pablo Ixquiltán, 2022.
Figura 3. Tipos de poda en el cultivo de nopal verdura (%). San Pablo Ixquiltán, 2022.



Source: own elaboration with field data.
Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

made at least one pruning, 23 % made two prunings, 14 % made three prunings and 10 % and 7 % of the producers made four and five types of pruning, respectively.

In addition to these pruning practices, watering the plants is a crucial task. The plants are irrigated entirely with water from a deep well. Irrigation is regularly done every 30 days for a period of 11 hours per ha.

Pest control is mainly chemical, 83 % of the producers use it (Figure 4). It is important to note that the pesticides that are daily reported are not officially approved for the use on nopal, which could generate health and environmental problems (Ramírez-Bustos et al., 2018). 31 % of the producers opt for non-chemical methods of control; for mealybug they only use water washes.

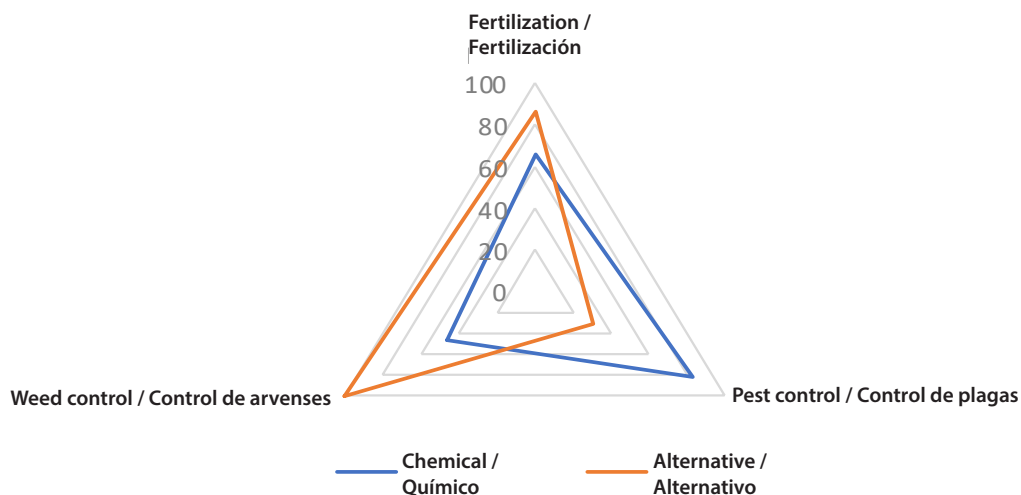
The chemical fertilizers used in the nopal production units in San Pablo Ixquiltán are: urea, ammonium sulfate and diammonium phosphate (INIFAP, 2009) and (CIMMYT, 2021) highlight the importance of conducting continuous soil fertility analyses before applying fertilizers to prevent water contamination, soil acidification and improve the efficiency of nutrient use. In San Pablo Ixquiltán, soil fertility analyses are not performed periodically. They use chemical fertilizers on the recommendation of agrochemical vendors or success stories of other producers. The nopal producers combine chemical fertilization techniques with the application of manure and compost (69 %),

por penca y que las pencas estén planas. Al respecto INIFAP (2016), señala que las pencas madre además de estar sanas y producir cladodios con la forma deseada, no deben tener heridas y una edad de 3 a 12 meses. Posterior al corte y antes de la plantación, las pencas se dejan a la sombra durante 15 días para cicatrización, con la finalidad de que sanen las heridas del corte y se eviten pudriciones. Además de la poda de selección de planta nueva, se realizan podas de: estimulación de renuevos, rejuvenecimiento, formación y sanidad (Figura 3). El 10 % de las unidades familiares no realizó podas durante este ciclo. El 37 % de las unidades familiares realizó al menos una poda, 23 % realizó dos podas, 14 % realizaron tres podas y el 10 y 7 % de los productores realizaron cuatro y cinco tipos de poda, respectivamente.

Además, de estas prácticas de poda, el riego de las plantas es una tarea crucial. Las plantas son regadas en su totalidad con agua proveniente de un pozo profundo. Regularmente se realiza un riego cada 30 días durante un período de 11 horas por ha.

El control de plagas es principalmente químico, el 83 % de los productores lo utilizan (Figura 4). Es importante señalar que los plaguicidas que cotidianamente se reportan no están oficialmente aprobados para uso en el nopal, lo que podría generar problemas de salud y medioambientales (Ramírez-Bustos et al., 2018). El 31 % de los productores opta por métodos no químicos de con-

Figure 4. Chemical and alternative management of fertilization, weed and pest control in the vegetable nopal crop.
Figura 4. Manejo químico y alternativo de la fertilización, control de arvenses y plagas en el cultivo de nopal verdura.



Source: Own elaboration with field data.
Fuente: Elaboración propia con datos de campo

24.3 % only use chemical fertilization and only 6.3 % use compost.

Soil fertility analyses conducted in 10 random plots, considering composite samples in San Pablo Ixquiltán in accordance with NOM-021-RECNAT.2000 indicate that micronutrients (Cu, Fe, Mn and Zn) are found in adequate concentrations in all orchards. The average organic matter in the orchards was 3.73 with a maximum range of 5.31 and a minimum of 2.54 (Table 1). The plots have an average pH of 7.3 (neutral), with a minimum range of 5.85 and a maximum of 7.83. The average electrical conductivity is 0.44 with a minimum range of 0.18 and a maximum of 0.76. Organic matter is found at high levels in six samples. In two of these samples, compost is used as fertilizer and in four samples, non-composted manure is used. The results of the soil fertility samples are similar to those of Jiménez Ortiz et al. (2019), who state that “non-composted manure is a source of nutrients for plants, although it can have several drawbacks, which can be solved by performing composting techniques. Which is an alternative to nutrient recycling, and can improve or maintain soil fertility by replacing conventional fertilization”.

Based on NOM-021-REC-AT-2000. Nitrates have an average concentration of 39 mg·kg⁻¹ with a maximum range of 95.2 mg·kg⁻¹ and a minimum of 21 mg·kg⁻¹. In 70 % of the samples the concentration

control; para el caso de la cochinilla solo utilizan lavados de agua.

Los fertilizantes químicos que se utilizan en las unidades de producción de nopal en San Pablo Ixquiltán son: urea, sulfato de amonio y fosfato diamónico. (INIFAP, 2009) y (CIMMYT, 2021) resaltan la importancia de realizar continuos análisis de fertilidad en suelo antes de aplicar fertilizantes para prevenir la contaminación del agua, acidificación del suelo y mejorar la eficiencia del uso de nutrientes. En San Pablo, Ixquiltán no se realizan análisis de fertilidad de suelo periódicamente. Utilizan fertilizantes químicos por recomendación de vendedores de agroquímicos o casos de éxito de otros productores. Los productores de nopal combinan técnicas de fertilización química con la aplicación de estiércol y composta (69 %), el 24.3 % solo usan fertilización química y solo el 6.3 % usan composta.

Los análisis de fertilidad de suelo que se realizaron en 10 parcelas aleatorias, considerando muestras compuestas en San Pablo Ixquiltán de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 indican que los micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) se encuentran en concentraciones adecuadas en todas las huertas. La materia orgánica con la que cuentan las huertas en promedio es de 3.73 % con un rango máximo de 5.31 % y mínimo de 2.54 % (Cuadro 1). Las parcelas tienen un pH promedio de 7.3 (neutro), con un rango mínimo de

Table 1. Soil fertility analysis of 10 samples from SPI.

Cuadro 1. Análisis de fertilidad de suelo de 10 muestras de SPI.

Sample / Muestra	pH	Electrical conducti- vity / Conduc- tividad eléctrica	Organic matter / Materia orgánica	Nitrates / Nitrates	Potas- sium / Potasio	Phospho- rus / Fósforo	Calcium / Calcio	Magne- sum / Magne- sio	Sodium / Sodio	CEC / CIC	Boron / Boro
		dS·m ⁻¹	%	mg·kg ⁻¹	Cmol+·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹	Cmol+·kg ⁻¹			mg·kg ⁻¹	
1	5.86	0.18	3.54	29.8	1.63	144.8	16.6	8.14	0.87	27	0.6
2	7.81	0.36	3.11	29.8	1.38	121.4	17.8	10.61	0.99	31	0.52
3	7.12	0.35	2.58	30.6	1.32	159.6	14.1	7.25	0.96	24	0.37
4	7.39	0.48	2.54	95.2	1.8	173.7	16.4	7.88	0.86	27	0.6
5	7.32	0.76	4.99	31.8	1.82	484.4	23.2	9.52	0.89	35	1.19
6	7.83	0.54	3.25	38.2	3.07	352.6	18.7	8.01	0.91	31	1.48
7	7.67	0.5	4.18	44.2	2.13	275.4	20	11.67	1.04	35	0.9
8	7.18	0.49	5.31	41.2	2	400.5	20.5	8.33	0.96	32	0.76
9	7.60	0.37	4.25	21	1.66	472.2	18.5	10.53	0.71	31	0.89
10	7.42	0.37	3.58	29	1.48	332.8	16.1	7.13	0.67	25	0.81

Source: Own elaboration with laboratory data. / Fuente: Elaboración propia con datos de laboratorio

is considered medium and in sample 4, it is considered very high. Phosphorus potassium, calcium and magnesium are found in high concentrations in all samples. The average concentration of sodium was 0.88 cmol+·kg⁻¹, which is less than 1 cmol+·kg⁻¹, indicating that the soils are not saline.

The average concentration of cation exchange capacity (CEC) is 29.8 % of the samples that presented high levels, which indicates that the soil can retain nutrients and return them to the plant, in addition to regulating and compensating for a change in pH. Boron was found at low levels in 50 % of the samples with a mean concentration of 0.81 mg·kg⁻¹, a minimum of 0.37 mg·kg⁻¹ and a maximum of 1.48 mg·kg⁻¹.

For pest and disease control, management is also combined with the use of agrochemicals and alternatives. The cochineal mealybug is the main pest present in 93 % of the vegetable nopal production units, which is aligned with what Venegas-Rico et al. (2010) report: "The cochineal is one of the most important insects in the cultivation of nopal in Mexico because the damage it causes to the vegetable nopal crop". "The vegetable nopal system in San Pablo Ixquitlán is by monoculture in all orchards, this favors the prevalence and distribution of pests". As mentioned by Altieri and Nicholls (2004) "The intensification of agriculture through monocultures has led to

5.85 y máximo de 7.83. La conductividad eléctrica promedio es de 0.44 dS·m⁻¹ con un rango mínimo de 0.18 y máximo de 0.76 dS·m⁻¹. La materia orgánica se encuentra en niveles altos en seis muestras. En dos de estas muestras, se utiliza composta como abono y en cuatro se utiliza estiércol de ganado sin compostar. Los resultados de las muestras de fertilidad de suelo son semejantes con lo que plantea Jiménez Ortiz et al. (2019), quienes afirman que "el estiércol sin compostar es una fuente de nutrientes para las plantas, aunque puede tener varios inconvenientes, los que se pueden resarcir al realizar técnicas de compostaje. Lo que es una alternativa al reciclaje de nutrientes, y puede mejorar o mantener la fertilidad del suelo al sustituir la fertilización convencional".

Con base en la NOM-021-REC-AT-2000. Los nitratos tienen una concentración promedio de 39 mg·kg⁻¹ con un rango máximo de 95.2 mg·kg⁻¹ y mínimo de 21 mg·kg⁻¹. En el 70 % de las muestras la concentración se considera media y en la muestra 4, se considera muy alta. El fósforo, el potasio, el calcio y el magnesio se encuentran en concentraciones altas en todas las muestras. En cuanto al sodio se tiene como promedio 0.88 cmol+·kg⁻¹, lo que al ser una concentración menor a 1 cmol+·kg⁻¹, nos indica que los suelos no son salinos.

Table 2. Pests of nopal reported in the production systems of San Pablo Ixquitlán and chemical products for their control.**Cuadro 2. Plagas del nopal reportadas en los sistemas de producción de San Pablo, Ixquitlán y productos químicos para su control.**

Pest / Plaga	Scientific name / Nombre científico	%	Products for their control (58.6 %) / Productos para su control (58.6 %)
Cochineal mealybug / La grana cochinilla	<i>Dactylopius coccus</i>	93.1	Malathion, Foley,
Snail / Caracol	<i>Helix aspersa</i>	51.7	Chlorpiryphos, Diazinon,
Red spider / Araña roja	<i>Tetranychus urticae</i>	17.2	Dimethoate, Methomyl,
Cactus weevil / Picudo del nopal	<i>Metamasius spinolae</i> G.	3.4	Omethoate, Permethrin
Grasshopper / Chapulin	<i>Sphenarium purpurascens</i>	3.4	and Bifenthrin

Source: Own elaboration and bibliographic review. / Fuente: Elaboración propia con datos de campo 2022. n=30

an increase in the incidence of insect pests, as they are more susceptible to pests because they host a large population of a single type of plant".

To control pests in the vegetable nopal crop, producers use pesticides recommended for other crops because there is no officially documented regulations for their use in the crop of interest (Table 2). As mentioned by Ramírez-Bustos et al. (2018), it is necessary to reinforce regional programs on the good use and management of agrochemicals at the regional level by state and federal authorities to decrease the risk of chemical-type contamination to agricultural workers and the environment.

The nopal is consumed as a vegetable only in Mexico and not much in the United States, because of the nostalgia market. The nopal is not highly demand for export, so this is possibly the reason why there is no regulation for the use of agrochemicals in the crop. It is important to note that nopal and many other crops (although they have officially documented regulations) are not monitored for the domestic market (Mutersbaugh, 2002).

The risk of using pesticides identified in the nopal crop range from acute toxicity to long-term risks, such as mutations or probability of cancer. In 50 % of the nopal samples analyzed (4) no pesticide residues were found. In the rest, from 1 to 6 types of pesticides were found in the same sample. The concentration of Chlorpiryphos exceeded the MRL for fruits and vegetables according to CODEX ALIMENTARIUS (2023), and according to the Pesticides Action Network (PAN), (2021), it accumulates

La concentración promedio de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 29.8 % de las muestras que presentaron niveles altos, lo que nos indica que el suelo puede retener nutrientes y devolverlos a la planta, además de regular y resarcir un cambio de pH. El boro se encuentra en niveles bajos en el 50 % de las muestras con concentración media de 0.81 mg·kg⁻¹, mínima de 0.37 mg·kg⁻¹ y máxima de 1.48 mg·kg⁻¹.

Para el control de plagas y enfermedades también se combina el manejo mediante el uso de agroquímicos y alternativos. La grana cochinilla es la plaga principal presente en el 93 % de las unidades productoras de nopal verdura, lo que se alinea con lo que reporta Vanegas-Rico et al. (2010): "La cochinilla es uno de los insectos más importantes en el cultivo del nopal en México por los daños que provoca al cultivo de nopal verdura". "El sistema de nopal verdura en San Pablo Ixquitlán es mediante monocultivo en todas las huertas, esto favorece la prevalencia y distribución de plagas". Como lo menciona Altieri y Nicholls (2004) "La intensificación de la agricultura a través de los monocultivos ha llevado a un aumento en la incidencia de plagas de insectos, al ser más susceptibles a las plagas porque hospedan una gran población de un solo tipo de planta".

Para combatir las plagas en el cultivo de nopal verdura, los productores utilizan plaguicidas recomendados para otros cultivos porque no existe una regulación oficialmente documentada para su uso en el cultivo de interés (Cuadro 2). Como lo menciona Ramírez-Bustos et al. (2018), es necesario reforzar

Table 3. Pesticides found in vegetable nopal samples in San Pablo Ixquitlán, functional group, toxicological group, health risks, and maximum permissible limit for fruits and vegetables (CODEX ALIMENTARIUS, 2023).

Cuadro 3. Plaguicidas encontrados en muestras de nopal verdura en San Pablo Ixquitlán, grupo funcional, grupo toxicológico, riesgos a la salud, y límite máximo permisible para frutas y hortalizas (CODEX ALIMENTARIUS, 2023).

Pesticides in nopal at SPI and risk (PAN, 2021) / Plaguicidas en el nopal en SPI y riesgo (PAN, 2021)	Functional group / Grupo funcional	Toxicological group / Grupo toxicológico	Concentración (mg·kg ⁻¹) / Concentration (mg·kg ⁻¹) /				MPL fruits and vegetables & / LMP frutas y hortalizas &
			Muestra	4	5	7	
Diazinon † ¶	Organophosphate / Organofosforado	IV	0.0193	0.0056	0.0658	0.0476	0.5
Chlorpyrifos † §	Organophosphate / Organofosforado	III			0.029	0.016	0.01
Diamethoate †	Organophosphate / Organofosforado	II			0.005	0.008	0.05
Methomyl † ¶	Carbamates / Carbamatos	II			0.014		2
Omethoate † ¶	Organophosphate / Organofosforado	II		0.009	0.010		0.01
Permetrina †	Piretroide	III			0.019	0.260	2
Bifenthrin †	Piretroide	III				0.0334	0.04

† = highly toxic for bees; ¶ = acute toxicity; § = long-term effects (mutations); ♂ = Carcinogenic Category 2 and Reproductive Category 2 pesticides according to EU or Japanese GHS. &: Maximum Residue Limits can be found in GLOBAL MRL DATABASE USA, which belongs to the EPA.

† = altamente tóxico para las abejas; ¶ = toxicidad aguda; § = efectos a largo plazo (mutaciones); ♂ = Plaguicidas de la Categoría 2 de Carcinogénicos y Categoría 2 Reproductiva según SGA UE o Japón. &: Los Límites Máximos de Residuos son consultados en GLOBAL MRL DATABASE USA, que pertenecen a la EPA

Source: Own elaboration and bibliographic review. / Fuente: Elaboración propia y revisión bibliográfica.

in the human organism through ingestion of contaminated food, inhalation and absorption through the skin, and can cause mutations (Table 3).

Chlorpyrifos was detected at a concentration of 0.0056 to 0.0658 mg·kg⁻¹, Diazinon at a concentration of 0.0056-0.0658 mg·kg⁻¹. Dimethoate at a concentration of 0.0059-0.008 mg·kg⁻¹, Methomyl at a concentration of 0.0147 mg·kg⁻¹, Omethoate at a concentration of 0.009-0.0101 mg·kg⁻¹, and Permethrin at a concentration of 0.0192-0.260 mg·kg⁻¹, however, there are no MRLs registered for the country of destination Mexico.

Maldonado et al (2020) found residues of organophosphates, including Chlorpyrifos, in the urine of agricultural workers, indicating exposure and accumulation of these pesticides in the body. These findings highlight the importance of implementing safe

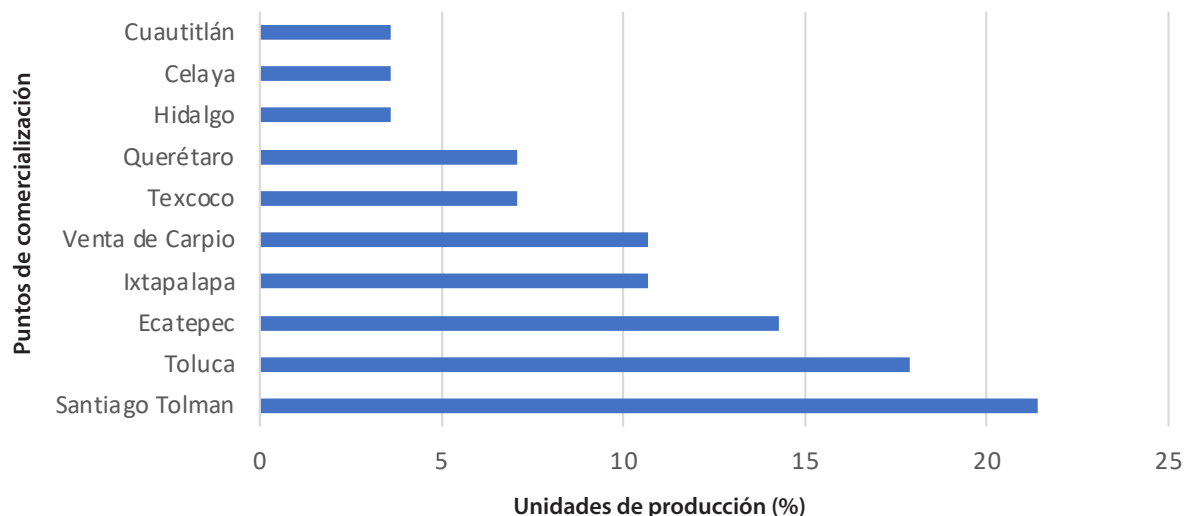
programas regionales sobre el buen uso y manejo de agroquímicos a nivel regional por parte de autoridades estatales y federales para disminuir el riesgo de contaminación de tipo químico a los trabajadores agrícolas y al ambiente.

El nopal se consume como verdura únicamente en México y poco en Estados Unidos, por el mercado de la nostalgia. El nopal no tiene alta demanda para exportación, por lo que posiblemente esta es la razón por la que no se cuenta con regulación para el uso de agroquímicos en el cultivo. Es importante resaltar, que el nopal y muchos otros cultivos (aunque cuenten con regulaciones oficiales documentadas) no se monitorean cuando se trata de mercado nacional (Mutersbaugh, 2002).

Los riesgos de utilizar plaguicidas identificados en el cultivo nopal, van desde toxicidad aguda, hasta

Figure 5. Places where vegetable nopal from San Pablo Ixquiltán is marketed.

Figura 5. Lugares donde se comercializa el nopal verdura proveniente de San Pablo Ixquiltán.



Source: Own elaboration with field data 2022. /

Fuente: Elaboración propia con datos de campo 2022.

agricultural practices and providing workers with adequate protection and correct use of the pesticide, in addition to respecting the safety interval to ensure that pesticides residues decrease to a level safe for human consumption before the cutting date.

In SPI, the average size of the orchards is 1.5 ha per family, each nopal plant produces around 3 to 4 kg of stalk on average. Depending on the variety, crop management and age of the plant reaching yields ranging from 40 to 60 tons per ha, however, there are maximum yields close to 100 tons (Villarreal et al., 2010). SIAP data report that in 2022 the yield per ha in San Martín de las Pirámides ranged between 118 t·ha⁻¹.

The sale of vegetable nopal is mainly with thorns, because when the nopales are de-thorned, the wounds oxidize, which reduces their shelf life. For this reason, most of the vegetable nopal production units do not de-thorn the nopal or do little de-thorning. 50 % sell the nopales to intermediaries and 40 % in central supply markets. 6.7 % directly to the consumer, 3.3 % in flea market, regional or local market.

The marketing points of intermediaries and producers where the SPI's nopal is marketed are the central supply markets of: Santiago Tolman, Toluca, Ecatepec and Ixtapalapa and other points of sale such as Venta de Carpio, Texcoco and Cuautitlán in the Estado de Mexico, as well as other states such as Queretaro, Hidalgo and Celaya in the state of Guanajuato (Figure 5).

riesgos a largo plazo, como mutaciones o probabilidad de cáncer. En el 50 % de las muestras de nopal analizadas (4) no se encontraron residuos de plaguicidas. En el resto se encontraron desde 1 hasta 6 tipos de plaguicidas en una misma muestra. La concentración de Chlorpyrifos superara el LMP para frutas y hortalizas de acuerdo con el CODEX ALIMENTARIUS (2023), y de acuerdo con Pesticides Acción Network, (2021), se acumula en el organismo humano a través de la ingestión de alimentos contaminados, la inhalación y la absorción a través de la piel, y puede llegar a causar mutaciones (Cuadro 3).

Se detectó la presencia de Chlorpyrifos a una concentración de 0.0056 a 0.0658 mg·kg⁻¹, Diazinon a una concentración de 0.0056-0.0658 mg·kg⁻¹. Dimethoate a una concentración de 0.0059-0.008 mg·kg⁻¹, Methomyl a una concentración de 0.0147 mg·kg⁻¹, Omethoate a una concentración de 0.009-0.0101 mg·kg⁻¹, y Permethrin a una concentración de 0.0192-0.260 mg·kg⁻¹, sin embargo, no existen LMR registrado para el país destino México.

Maldonado et al. (2020) encontraron residuos de organofosforados, entre ellos Chlorpyrifos, en la orina de los trabajadores agrícolas, lo que indica una exposición y acumulación de estos pesticidas en el organismo. Estos hallazgos resaltan la importancia de implementar prácticas agrícolas seguras y de proporcionar a los trabajadores la protección adecuada

The nopal is marketed by the box (with 200 nopales in each box). The price varies according to the production cycle. 43 % of the producers state that there is a problem in the spring cycle (February to March), when market prices drop. In the winter cycle the box was sold at \$ 220. MNX on average. In the spring cycle prices dropped to \$ 55.00 MNX on average. In the spring cycle, 56 % of the producers consider the price drop as the main problem. At this time the market is saturated and the nopal is not marketed, which generate losses of around 38 %.

Conclusions

The family units producing vegetable nopal contribute to employment generation by hiring local salaried labor to manage the crop, in the most demanding practices such as planting, pruning, weed control and pest and disease control, contributing indirectly to the local economy.

There is a need to generate alternatives for pest and disease control, since there are no authorized pesticides for the nopal crop, which implies risks in their use, since products used in other vegetables are used, resulting in the presence of pesticide residues in the final product.

50 % of the samples analyzed do not contain pesticide residues, so it is possible to have production processes that allow obtaining products residue-free products without risks to human health, environmental health and pollinators.

Chemical and alternative methods are used for crop nutrition, weed control and pest and disease control, so agroecological systems that guarantee the final quality of the product can be promoted.

The production units face overproduction and market saturation in spring, which implies product losses close to 38 % and in winter the situation improves in terms of the market, but there is a risk due to the presence of low temperatures.

End of English version

References / Referencias

Altieri, M. A., y Nicholls, C. I. (2004). Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el Trópico. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*,

y uso correcto del plaguicida, además de respetar el intervalo de seguridad para asegurar que los residuos del plaguicida disminuyan a un nivel seguro para el consumo humano antes de la fecha de corte.

En SPI las huertas tienen como promedio 1.5 ha por familia. Cada planta de nopal produce alrededor de 3 a 4 kg de pencas en promedio, dependiendo de la variedad, manejo del cultivo y la edad de la planta, alcanzando rendimientos que oscilan de 40-60 toneladas por ha, sin embargo, hay producciones máximas cercanas a las 100 t (Villareal et al., 2010). Datos del SIAP, reportan que en el 2022 el rendimiento por ha en San Martín de las Pirámides fue de 18 t·ha⁻¹ aproximadamente.

La venta de nopal verdura es principalmente con espinas, ya que, al desespinar los nopales, las heridas se oxidan, lo que disminuye su vida de anaquel. Por lo anterior, es que la mayoría de las unidades productoras de nopal verdura no lo realizan el desespinado o lo realizan poco. El 50 % vende los nopales a intermediarios y el 40 % en centrales de abastos. 6.7 % directamente al consumidor, 3.3 % en tianguis, mercado regional o local.

Los puntos de comercialización de intermediarios y productores en los que se comercializa el nopal de SPI son las centrales de abasto de: Santiago Tolman, Toluca, Ecatepec e Iztapalapa y otros puntos de venta como Venta de Carpio, Texcoco y Cuatitlán en el Edo de México, así como otros estados como Querétaro, Hidalgo y Celaya en el estado de Guanajuato (Figura 5).

La comercialización de nopal se realiza por caja (con 200 nopales en cada caja). El precio es variable según el ciclo de producción. El 43 % de los productores afirman que existe una problemática en el ciclo de primavera (febrero a mayo), donde los precios en el mercado bajan. En el ciclo invernal la caja se vendió en \$220.00 MNX en promedio. En el ciclo de primavera los precios bajaron a \$55.00 MNX en promedio. El 56 % de los productores considera la caída de precios como el principal problema, en el ciclo de primavera. En esta época el mercado se satura y el nopal no se comercializa en su totalidad, lo que genera pérdidas alrededor del 38 %.

Conclusiones

Las unidades familiares productoras de nopal verdura contribuyen a la generación de empleo, mediante

73: 8–20. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6873/A1899e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2021). Antes de fertilizar, conoce tu suelo. Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo. <https://idp.cimmyt.org/antes-de-fertilizar-conoce-tu-suelo/>

CODEX ALIMENTARIUS. (2023). Normas Internacionales de los Alimentos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticides/es/>

FAO. (2014). Agricultura familiar en América Latina y el Caribe (S. Salcedo & L. Guzmán, Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. www.fao.org/publications

Google Earth 2022. <https://earth.google.com/earth/d/1T3GrMBR3bgr59bDy9mNmyngRHQqEh8oL?usp=sharing>

Flores Sánchez, D., Reyes-Terrazas, A. S., Navarro-Garza, H., Pérez-Olvera, Ma. A., y Almaguer-Vargas, G. (2023). Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlancingo, Otumba. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14 (2): 211–222. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3079>

Hernández, B. E., Ruiz Reynoso, A. M., Ramírez Cortés, V., Sandoval Trujillo, S. J., y Dávila Hernández, M. (2020). Análisis económico de productores y comercializadores de nopal en el Valle de Teotihuacán. *RICEA Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 9 (17): 72–108. <https://doi.org/10.23913/ricea.v9i17.147>

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: San Martín de las Pirámides, Estado de México. <https://www.inegi.org.mx/>

INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México. (2009). La fertilización eficiente de maíz de riego en el norte de Tamaulipas: Importancia del análisis de suelo y el rendimiento esperado. (Folleto Técnico No. 41). <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/813.pdf>

INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México. (2016). Producción de nopal verdura de riego, a cielo abierto en Tamaulipas. www.inifapcirne.gob.mx

Jiménez Ortiz, M. M., Gómez Álvarez, R., Oliva Hernández, J., Granados Zurita, L., Pat Fernández, J. M., y Aranda Ibañez, E. M. (2019). Influencia del estiércol composteado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero

la contratación de mano asalariada local para el manejo del cultivo, en las prácticas más demandantes como plantación, poda, control de arvenses y de plagas y enfermedades, contribuyendo de manera indirecta a la economía local.

Existe la necesidad de generar alternativas para el control de plagas y enfermedades, ya que no hay plaguicidas autorizados para el cultivo del nopal, lo que implica riesgos en el uso de estos, considerando que se emplean productos utilizados en otras hortalizas ocasionando la presencia de residuos de plaguicidas en el producto final.

El 50 % de las muestras analizadas no contienen residuos de plaguicidas, por lo que es posible tener procesos de producción que permiten la obtención de productos sin residuos, sin riesgos a la salud humana, salud ambiental y a los polinizadores.

Se utilizan métodos químicos y alternativos para la nutrición del cultivo, para el control de arvenses y para el control de plagas y enfermedades, por lo que se pueden impulsar sistemas agroecológicos que garanticen la calidad final del producto.

Las unidades de producción enfrentan sobreproducción y la saturación de mercado en primavera-verano lo que implica pérdidas de productos cercanos al 38 % y en invierno la situación se mejora en cuanto al mercado, pero existe riesgo por la presencia de bajas temperaturas.

Fin de la versión en español

(*Zea mays* L.). *Nova Scientia*, 11 (23): 165–197. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1957>

Krishnamurthy, L.R., Krishnamurthy, S., Rajagopal, I., & Solares, A.P. (2017). Family agriculture for inclusive rural development. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 135-147. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i2.145>

Maldonado Ortega, V., Ochoa Fuentes, Y. M., y Cerna Chávez, E. (2020). Determinación de plaguicidas organofosforados a trabajadores de control de plagas del estado de Coahuila. *Horizonte Sanitario*, 19 (2): 217–222. <https://doi.org/10.19136/hs.a19n2.3640>

Medina-García, G., Zegbe, J. A., Ruiz-Corral, J. A., Casa Flores, J. I., y Rodríguez-Moreno, V. M. (2021). Influencia del cambio climático en los requerimientos térmicos

- del nopal tunero (*Opuntia* spp.) en el Centro-Norte de México. *Revista Bio Ciencias*, 8 (e1007), 1–19. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1007>
- Mutersbaugh, T. (2002). The number is the beast: A political economy of organic-coffee certification and producer unionism. *Environment and Planning A*, 34 (7): 1165–1184. <https://doi.org/10.1068/a3435>
- Pesticides Action Network PAN-International (2021). Consolidated list of banned pesticides. 2a. ed. Pesticide Action Network International, Hamburgo, Alemania [en línea]. <http://pan-international.org/pan-international-consolidated-list-of-banned-pesticides>
- Pérez, M. A., Navarro, H., y Miranda, E. (2013). Residuos de plaguicidas en hortalizas: problemática y riesgos en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29 (Número especial sobre plaguicidas), 45–64. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/41423>
- Ramírez-Bustos, I. I., López Martínez, V., Juárez-López, P., Guillén-Sánchez, D., Alía-Tejagal, I., Rivera-León, I., Saldarriaga-Noreña, H. A., y Jiménez-García, D. (2018). Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4 (1): 18-25. <https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.1/3>
- Reyes Terrazas, A. S., Flores Sánchez, D., Navarro Garza, H., Pérez Olvera, Ma. A., y Almaguer Vargas, G. (2020). Importancia, sentido de pertenencia y continuidad del sistema cultivo nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* L.) en Cautlacingo, Otumba, Estado de México. *Ra Ximhai*, 16 :229–250. <https://doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.11.ar>
- Reyes-Agüero, M., Antonio, J., y Rogelio, J. (2005). Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) MILL. (Cactaceae) Colegio de Postgraduados. *Agrociencia*, 39 (4): 395–408. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/403/403>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Crece en México el consumo y producción de nopal: Agricultura. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-en-mexico-el-consumo-y-produccion-de-nopal> <https://www.gob.mx/agricultura?idiom=es#:~:text=Subrayó%20que%20con%20base%20en,de%2071%20toneladas%20por%20hectárea>
- SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2023). Guía para el manejo de plagas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/registro-de-plaguicidas-agricolas?state=published>
- SIAP. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera 2022. Estadísticas Agroalimentarias y Pesqueras 2002. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/estadisticas-agroalimentarias-y-pesqueras-2002>
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Estadísticas Agroalimentarias y Pesqueras 2020. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/estadisticas-agroalimentarias-y-pesqueras-2022>
- Vanegas-Rico, J. M., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera M Valdez, G. J., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G., y Valdez, J. M. (2010). Natural enemies of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) on *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller in Central Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 26 (2): 415–433. <https://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v26n2/v26n2a7.pdf>
- Villarreal, F., Pérez-González, S., y Martínez-Becerra, J. (2010). Evaluación de accesiones de *Opuntia* spp. para la producción de nopal en el Valle de México. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 16 (3) 239-246.
- Weather Spark. (2023). El clima en San Martín de las Pirámides, el tiempo por mes, temperatura promedio (México)-Weather Spark. El clima en San Martín de las Pirámides, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark (Consultado el 5 de diciembre de 2023).