



ARTÍCULO / ARTICLE

# COCOTERO HÍBRIDO INTERCALADO CON CULTIVOS ANUALES Y PERENNES, TECNOLOGÍA SUSTENTABLE

## HYBRID COCONUT TREES INTERSPERSED WITH ANNUAL AND PERENNIAL CROPS, A SUSTAINABLE TECHNOLOGY

Feliciano Gerardo Balderas Palacios<sup>1</sup> e Irma Julieta González Acuña<sup>1</sup>

### RESUMEN

En Nayarit, las plantaciones de cocotero (*Cocos nucifera*) se producen mediante monocultivo con distancias de 10 x 10 m entre plantas y densidad de 100 palmas ha<sup>-1</sup>. Con esa población solo 25 % del suelo es efectivamente utilizado por las raíces. Además, se requieren de 5 a 7 años para que la producción inicie, por lo que durante ese periodo la tierra es improductiva y no genera ganancias económicas para su reinversión, por lo tanto el cultivo, en general, es poco atractivo para el productor. Con base en lo anterior, ese sistema de producción de cocotero se considera ineficiente y no sustentable, de tal manera que los sistemas agroforestales con cultivos anuales y perennes son una alternativa de reconversión. El objetivo del presente estudio fue evaluar el sistema agroforestal en cocotero híbrido intercalado con frijol negro Jamapa (en otoño-invierno) y cítricos; es decir, tres cultivos en el mismo espacio y tiempo. Se aplicó fertilización química y con vermicomposta, para optimizar los recursos y asegurar ingresos económicos, mientras el cocotero inicia su producción. El cocotero está por iniciar floración (4 años), el cultivo de frijol durante tres años presentó rendimientos económicos favorables y los cítricos (limón persa y mexicano) produjeron sus primeros frutos. Se infiere que los sistemas agroforestales con cultivos anuales y perennes, así como el uso de vermicomposta son una alternativa de reconversión sustentable.

**Palabras clave:** Cítricos, cocotero, frijol, rentabilidad, sistema agroforestal, vermicomposta.

### ABSTRACT

In Nayarit, coconut palm (*Cocos nucifera*) plantations are produced as a monoculture with a separation of 10 x 10 m between the plants and a density of 100 palms ha<sup>-1</sup>. With this population, only 25 % of the soil is effectively used by the roots. Furthermore, 5 to 7 years are required for the production to start, and therefore during this period the soil is unproductive and does not generate profits for reinvestment. For this reason, its cultivation in general is not very attractive for the producer. Based on this, the coconut palm production system described above is considered inefficient and unsustainable, while agroforestry systems with annual and perennial crops constitute a reversion alternative. The objective of the present study was to assess the agroforestry system for hybrid coconut palms interspersed with black Jamapa beans (in autumn-winter) and citrus trees, i.e. three crops in the same time and space. Chemical fertilizers and earth worm compost were applied to optimize the resources and ensure an income until the coconut palms can begin producing. The coconut palms are about to start blooming (4 years); as for the bean crop, during three years it has yielded favorable economic returns, and the citrus trees (Persian and Mexican key lime) yielded their first fruits. We infer that agroforestry systems with annual and perennial crops and the use of earth worm compost are a sustainable reversion alternative.

**Key words:** Citrus trees, coconut palm, beans, profitability, agroforestry system, earth worm compost.

Fecha de recepción/date of receipt: 4 de junio de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 9 de agosto de 2013.

<sup>1</sup> Campo Experimental Santiago Ixcuintla. CIR-Pacífico Centro. INIFAP. Correo-e: balderas.gerardo@inifap.gob.mx

## INTRODUCCIÓN

El cocotero es reconocido a nivel mundial como uno de los cultivos más rentables debido a la demanda de sus productos y subproductos, ya que además de su valor alimentario, su uso se ha diversificado en la industria, agricultura, ganadería, construcción, medicina, ecología, turismo y en la de productos artesanales, entre otros. Las principales regiones productoras son Indonesia, India, Filipinas, Malasia, Centroamérica y África Tropical. En Latinoamérica, México y Brasil ocupan los primeros lugares (Cortázar, 2011). En el país se cultivan alrededor de 160 mil hectáreas, mientras que en Nayarit se registran aproximadamente 950 ha con materiales criollos y 500 ha con híbridos; sin embargo, el potencial de establecimiento es muy superior, estimado en 40 mil ha (Balderas y González, 2012b). Esta planta puede establecerse en áreas salinas ( $< 6 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Carrillo *et al.*, 2000) y en terrenos ociosos, por lo que su cultivo es una opción para la reconversión productiva de la zona costera de Nayarit, en particular, y de México, en general.

Actualmente, la producción y calidad del cocotero en la llanura costera de Nayarit no está en su óptimo productivo, debido a que no se incorpora tecnología en los cultivos (Cortázar, 2011; Balderas, 2010). Las plantaciones con materiales criollos no se fertilizan de manera sistemática, presentan problemas fitosanitarios como plagas, enfermedades o malezas, sin que se hay cuantificado ni la magnitud, ni la dispersión de los daños en el estado; no obstante en investigaciones y diagnósticos destaca una problemática fitosanitaria compleja, integrada, sobre todo, por picudo o mayate *Rynchophorus palmarum* (Linn.) y el ácaro, *Eriophyes guerreronis* (Keifer); además de enfermedades como la pudrición del cogollo (*Phytophthora palmivora* (Butler)), quemazón de la hoja (*Pestalotia palmarum* Cooke); el amarillamiento letal, causado por un micoplasmoide transmitido por el insecto chupador *Myndus crudus* Van Duzee; y el anillo rojo, enfermedad cuyo agente causal es el nematodo, *Rhadinaphelenchus cocophilus* Cobb (Carrillo *et al.*, 2000; Granados-Sánchez y López-Ríos, 2002; Ordaz y Pérez, 1996).

El uso de pesticidas para combatir estos problemas fitosanitarios no es efectivo a largo plazo, debido al riesgo de resistencia (Novarianto y Warokka, 2006). La estrategia es manejar integralmente el cultivo, considerando resistencia genética mediante híbridos, en combinación con medidas de control natural y cultural, control biológico y químico restringido para cuando las plagas o enfermedades rebasen el umbral permisible y siempre utilizando productos permitidos (Novarianto y Warokka, 2006; Cortázar, 2011; Balderas y González, 2012b).

Los cocoteros se desarrollan favorablemente en suelos salinos de la costa, en donde otros cultivos no prosperan, si se toma en cuenta que en Nayarit se dispone de aproximadamente 40 000 ha aptas para establecerse con esta palmácea

## INTRODUCTION

The coconut palm is recognized across the world as one of the most profitable crops due to the high demand of its products and subproducts, since, apart from its nutritional value, it has many uses, including industry, agriculture, livestock breeding stockbreeding, construction, medicine, ecology, tourism, and crafts. The main coconut-producing regions are Indonesia, India, the Philippines, Malaysia, Central America, and Tropical Africa. In Latin America, Mexico and Brazil occupy the first places (Cortázar, 2011). Approximately 160 thousand hectares are cultivated with coconut palm in the country. Some 950 has with creole materials and 500 has with hybrid palms are registered in Nayarit; however, the establishment potential is much higher, being estimated in 40 thousand has (Balderas and González, 2012b). This plant can be established in saline areas ( $< 6 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Carrillo *et al.*, 2000) and in idle land; for this reason, its cultivation is an option for the productive reconversion of the coast of Nayarit in particular and of Mexico in general.

At present, the production and quality of the coconut palm in the coastal plains of Nayarit are not at their optimal level because technology has not been incorporated to its cultivation (Cortázar, 2011; Balderas, 2010). Plantations with creole materials are not systematically fertilized; they suffer from phytosanitary problems, such as pests, diseases or weeds, and neither the magnitude nor the dispersion of the damages caused by these in the state have been quantified. However, research and diagnoses highlight a complex phytosanitary set of problems, caused mainly by the *Rynchophorus palmarum* (Linn.) palm weevil or the coconut leaf beetle and the coconut mite *Eriophyes guerreronis* (Keifer), as well as diseases like bud rot (*Phytophthora palmivora* (Butler)), gray leaf blight (*Pestalotia palmarum* Cooke), and lethal yellowing, caused by a mycoplasmaid transmitted by the sucking insect *Myndus crudus* Van Duzee, or pallid cane leafhopper, and the red ring, a disease caused by the nematode *Rhadinaphelenchus cocophilus* Cobb (Carrillo *et al.*, 2000; Granados-Sánchez and López-Ríos, 2002; Ordaz y Pérez, 1996).

The use of pesticides to fight these phytosanitary problems is not effective long-term because of the resistance risk (Novarianto and Warokka, 2006). The strategy consists of the integral management of the crop, considering the genetic resistance attained through hybridization, in combination with natural and cultural control measures, restricted biological and chemical control when the pests or diseases surpass the permissible threshold and always using allowed products (Novarianto and Warokka, 2006; Cortázar, 2011; Ordaz y Pérez, 1996).

The coconut palms thrive in the saline soil of the coast, where other crops do not, taking into account that Nayarit has approximately 40 000 hectares suitable for the establishment of this palm tree (González, 2010); it is therefore possible to

(González, 2010) se puede producir cocotero (Ordaz y Pérez, 1996), integrando gradualmente un sistema de reconversión productiva con coco, aunado a la alta demanda del fruto, que crece a la par del turismo en la Riviera Nayarita y a la gran demanda proveniente de Sinaloa, Tijuana y Estados Unidos de América, (Ordaz y Pérez, 1996).

Un aspecto por considerar es la baja fertilidad del suelo, que actúa como factor limitante del rendimiento, los suelos plantados con cocotero como monocultivo son pobres y no se fertilizan por los altos costos de fertilizantes químicos. El uso de vermicomposta como alternativa o complemento al químico permite un ahorro de al menos 50 % de este tipo de insumo (Ordaz y Pérez, 1996). Por esto, la tecnología para mejorar la producción primaria en cocotero se fundamenta, principalmente, en el manejo integrado de la nutrición del cocotero y conservación del suelo (Vitousek, 1982; Etchevers, 1999; Castellanos *et al.*, 2000; Schwartz *et al.*, 2005; Yan *et al.*, 2006; Gunathilake *et al.*, 2008; Magat, 2008; Romaniuk *et al.*, 2011; Salazar-García *et al.*, 2011) para obtener productividad, competitividad y hacer sustentable el sistema de producción de cocotero solo o intercalado, resistiendo el estrés ambiental y por patógenos, la nutrición natural del suelo sin utilización de fertilizantes con altos costos, considerando sinergias entre productos y con las propiedades fisicoquímicas del suelo y por último, racionalizar o sustituir en cocotero el uso de fertilizantes químicos, para reducir costos de producción, impactos ambientales y favorecer la conservación del suelo. Entre las estrategias de manejo se pueden citar el reciclaje de los desechos de la palma, tales como cáscaras, conchas, hojas (Bastine *et al.*, 1991) y el uso de la vermicomposta como aporte de materia orgánica y mejorador de las propiedades fisicoquímicas del suelo (Romaniuk *et al.*, 2011).

Los resultados de diversas investigaciones han demostrado que la rentabilidad del cultivo aumenta cuando se intercala cocotero con otras especies vegetales de tipo perenne o anual. Así, Chengappa y Rebello (1977), Bheemaiah y Shariff, (1989), Domínguez *et al.* (1999), Balderas (2010) informan que pese a existir poca diferencia entre los costos de producción de cultivos de cocotero intercalado y no intercalado, los beneficios económicos netos son más altos con los primeros, además de que se obtienen ganancias, mientras el cocotero inicia su producción, lo cual da seguridad familiar y mejora la calidad de vida de los productores.

En algunas regiones de México se han establecido plantaciones de cocotero con especies anuales como frijol, maíz, cacahuete y hortalizas, y perennes como cítricos, café, cacao, plátano, piña, mango, pastizales e incluso la introducción de animales, como borregos (Domínguez *et al.*, 1999; Ramos *et al.*, 2005). Particularmente en Nayarit se han realizado evaluaciones de sistemas de cultivo de cocotero intercalado con limón persa (Balderas y González, 2012a), limón mexicano y frijol (Balderas *et al.*, 2012) y con mango (Ordaz y Pérez, 1996).

produce coconut palms (Balderas and González, 2012b), gradually integrating a productive reconversion system with coconut, whose fruit is in high and growing demand as tourism develops in the Nayarit Riviera, plus the great demand from the state of Sinaloa and Tijuana and the United States (Ordaz y Pérez, 1996).

An aspect to consider is the low fertility of the soil, which acts as a limiting factor in terms of yield; soils planted with coconut palms as a monoculture are poor and are not fertilized due to the high cost of chemical fertilizers. The use of earth worm compost as an alternative or complement to chemical fertilizers allows saving at least 50% in this type of input (Ordaz y Pérez, 1996). For this reason, the technology utilized to improve the primary production of coconut palm is based mainly on the integrated management of the following factors: the nourishing of the coconut palm and the conservation of the soil (Vitousek, 1982; Etchevers, 1999; Castellanos *et al.*, 2000; Schwartz *et al.*, 2005; Yan *et al.*, 2006; Gunathilake *et al.*, 2008; Magat, 2008; Romaniuk *et al.*, 2011; Salazar-García *et al.*, 2011) in order to obtain productivity, competitiveness and sustainability for the system of the coconut palm alone or interspersed with other species; resistance to environmental stress and pathogens; the natural nutrition of the soil without using high cost fertilizers and taking into account the synergies between products and with the physical-chemical characteristics of the soil, and, finally, the rationalization or substitution of the use of chemical fertilizers in coconut palms, in order to reduce production costs and environmental impact and enhance soil conservation. Among the management strategies are the recycling of such wastes of the palm as the peels, shells and leaves (Bastine *et al.*, 1991) and the use of earth worm compost as an input of organic material and as a way to enhance the physical-chemical properties of the soil (Romaniuk *et al.*, 2011).

The results of various researches have shown that the profitability of the crop increases when the coconut palm is interspersed with other perennial or annual vegetable species. Thus, Chengappa and Rebello (1977), Bheemaiah and Shariff, (1989), Domínguez *et al.* (1999), and Balderas (2010) report that, although there is little difference between the production costs of coconut only and coconut interspersed with other species, the net economic benefits are higher with the latter; furthermore, they yield profits while the coconut palm begins to produce, which results in family safety and improves the life quality of the producers.

In certain regions of Mexico coconut plantations have been established with annual species like beans, corn, peanuts, and vegetables, and perennial species like citrus trees, coffee, cocoa, bananas, pineapples, mango trees and grasslands, and even with the introduction of animals like sheep (Domínguez *et al.*, 1999; Ramos *et al.*, 2005). Particularly in Nayarit, cultivation systems of coconut palms interspersed with Persian lime (Balderas and González, 2012a), Mexican key lime and beans (Balderas *et al.*, 2012), and mango trees (Ordaz y Pérez, 1996) have been assessed.

A través del manejo integrado es posible tener altos rendimientos en cocotero (Cortázar y Carrillo, 2006), y el material criollo de Nayarit puede preservar sus características sobresalientes como monocultivo (fruto de gran tamaño, verde y ocre, aceptable cantidad de copra y agua, resistencia a vientos huracanados y a períodos prolongados sin riego) (Cortázar, 2011); mientras que los genotipos híbridos, producto de genes favorables del enano Malayo Amarillo y del criollo Alto Pacífico tienen el potencial de producir mayor número de frutos por palma y unidad de superficie, con calidad constante (Carrillo *et al.*, 2000).

La alternativa de crear sistemas agroforestales incrementa la eficiencia relativa de la tierra, ya que se realiza un aprovechamiento más racional del suelo y de la mano de obra, lo que genera mayores ingresos agrícolas, y permite que los pequeños propietarios satisfagan sus necesidades alimenticias (Denamany, 1979; Ordaz, 1984).

Es imperativa la necesidad de demostrar la productividad, rentabilidad y competitividad que pueden obtenerse en los sistemas agroforestales de cocotero con cultivos intercalados y con el uso de vermicomposta, al aplicar manejo tecnológico integral que derive de investigaciones realizadas en la región, principalmente, sobre aspectos de nutrición, que incluyan la alternativa del uso de vermicomposta; riego; y control sustentable de plagas, enfermedades y maleza.

El objetivo principal de este estudio fue desarrollar un sistema agroforestal para el cocotero, a nivel nacional, con abono orgánico y cultivos intercalados, anuales y perennes, en terrenos de productores cooperantes para mejorar su productividad y rentabilidad, asimismo se establecieron las bases en el diseño de opciones agroforestales mejoradas, que coadyuven en el incremento de la productividad y rentabilidad de los actuales sistemas de uso del suelo, mejoren la calidad de vida de los habitantes de la costa nayarita; y en la transferencia de tecnología de alto rendimiento en cocotero en la llanura costera de Nayarit.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en plantaciones comerciales de cocotero ubicadas en los municipios San Blas y Santiago Ixcuintla; el módulo con lombricultura se situó en terrenos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Santiago Ixcuintla, Nayarit.

Los sistemas agroforestales que se trabajaron fueron:

1. Cocotero híbrido y limón Persa, en Guadalupe Victoria, municipio San Blas
2. Cocotero híbrido, limón Mexicano y frijol negro Jamapa, en Chacalilla, municipio San Blas.

Through integrated management, it is possible for the coconut palm to yield high profits (Cortázar and Carrillo, 2006), and the creole variety of Nayarit can preserve its outstanding characteristics as a monoculture (large green and ochre fruits, an acceptable amount of copra and water, resistance to violent winds and to long periods without watering) (Cortázar, 2011). While the hybrid genotypes –a product of favorable genes of the Malayan yellow dwarf and the High Pacific creole varieties– have the potential of producing a larger number of fruits per palm and surface unit, with an even quality (Carrillo *et al.*, 2000).

The alternative of creating agroforestry systems increases the relative efficiency of the land, since it uses both soil and labor in a more rational way, generating more agricultural income, and allowing the small landowners to satisfy their food needs (Denamany, 1979; Ordaz, 1984).

There is an imperative need to demonstrate the productivity, profitability and competitiveness of the agroforestry systems of coconut palms with interspersed crops and with the use of earth worm compost, when applying an integral technological management that may derive from research carried out in the region, primarily about the nutritional aspects, and which includes the alternative of using earth worm compost, watering, and a sustainable control of pests, diseases and weeds.

The main objective of this study was to develop an agroforestry system for the coconut tree at a national level, with organic fertilizers and interspersed annual and perennial crops, in land belonging to cooperating producers in order to enhance their productivity and profitability. Likewise, bases were established for the design of improved agroforestry options that may contribute to increase the productivity and profitability of the current soil use systems and enhance the life quality of the inhabitants of the coast of Nayarit, as well as to transfer high-performance technology to the coconut palms of the coastal plains of Nayarit.

## MATERIALS AND METHODS

The study was carried out in commercial plantations of coconut palms located in the municipalities of San Blas and Santiago Ixcuintla; the module with vermiculture was located in the premises of the National Institute of Research on Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP, Spanish acronym) in Santiago Ixcuintla, Nayarit.

The agroforestry options systems studied were:

1. Hybrid coconut palm and Persian lime, in Guadalupe Victoria, in the municipality of San Blas
2. Hybrid coconut palm and Mexican key lime and black Jamapa beans, in Chacalilla, in the municipality of San Blas.

Las necesidades de nutrición orgánica se cubrieron mediante un área con lombricultura para elaborar vermicomposta.

Las actividades del manejo tecnológico en las parcelas se describen a continuación:

1. Limpieza del terreno. Con el fin de evitar malas hierbas, plagas y enfermedades se realizaron chapeos programados, entre dos y cuatro por año.
2. Nutrición del cultivo. La fertilización en limón Persa se efectuó con seis tratamientos: T1 orgánico al suelo, T2 orgánico al follaje, T3 químico, T4 químico y orgánico, T5 orgánico al suelo y follaje, y T6 como testigo. El limón Mexicano y frijol negro Jamapa se llevó a cabo bajo cuatro alternativas: fertilización química con vermicomposta, mezcla de químico más orgánico, y adición de humus de lombriz líquido, que se compararon con un tratamiento testigo, sin fertilizante. La fertilización química se aplicó dos veces al año, la vermicomposta cada dos meses.
3. Cultivos. Se plantó el cocotero, enseguida los cítricos y el frijol se estableció en el ciclo de otoño-invierno. Su siembra se realizó en el mes de noviembre, y se cosechó en febrero o marzo.
4. Plagas y enfermedades. Se aplicaron insecticidas y fungicidas de forma preventiva.
5. Poda. En los cultivos de limón Persa y limón Mexicano, intercalados con cocotero, fue necesario realizar podas, con la finalidad de obtener frutos de calidad y en mayor cantidad. Se eliminaron las ramas del tallo principal de 50 cm hacia el nivel del suelo, en ángulos de aproximadamente 120°.

Se evaluó la producción de las especies intercaladas por tratamiento de fertilización. En el limón se consideraron el rendimiento (número y peso de frutos por corte) y la calidad (tamaño: largo y ancho, mediante vernier; cantidad de jugo). En el cultivo de frijol: la eficiencia relativa de la tierra, mediante la relación del rendimiento por superficie; rendimiento en número de vainas por planta, granos por vaina y peso de 100 semillas; y la rentabilidad del cultivo y su relación costo-beneficio.

### Manejo estadístico

Los resultados se compararon mediante pruebas de  $t$  ( $p=0.05$ ). En el manejo de la fertilización, los tratamientos se evaluaron bajo diseño aleatorio ( $p=0.05$ ). Se aplicó la prueba de medias para su diferenciación estadística (Tukey, 0.05).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor productividad se observó con el híbrido de cocotero y cultivos intercalados, que aprovechan el terreno subutilizado por este, además, es poco probable que compartan las mismas plagas de insectos y patógenos, y el sistema coadyuva a

The need for organic nutrition was met by reserving an area for vermiculture in order to make earth worm compost.

The technological management activities in the plots are described below:

1. Weeding of the land. In order to avoid weeds, pests and diseases, scheduled weedings were carried out.
2. Nourishing of the crop. Fertilization of Persian lime trees involved six treatments: organic T1 applied to the soil, organic T2 applied to the foliage, chemical T3, chemical and organic T4, organic T5 applied to the soil and to the foliage, and T6 used as control. Four alternative treatments were used to fertilize the Mexican key lime and the black Jamapa bans: chemical fertilization with earth worm compost, a mixture of chemical and organic fertilizer with added liquid earthworm humus, which were compared to a control treatment, without fertilizers. Chemical fertilization was applied twice a year, and earth worm compost, every two months.
3. Crops. Coconut palms were planted, followed by the citrus trees, and beans were sowed during the fall-winter cycle, in November, and were harvested in February or March.
4. Pests and diseases. Insecticides and fungicides were applied preventively.
5. Pruning. In the Persian and Mexican key lime crops interspersed with the coconut palms, it was necessary to carry out prunings in order to obtain fruits with a higher quality and in larger numbers. The branches were cut off from the trunk from a height of 50 cm to the ground, in angles of approximately 120°.

The production of the interspersed species was assessed by fertilization treatment. For the lime trees, the yield (number and weight of fruits per cut) and the quality (size: length and width measured with a caliper; amount of juice). In the bean crops, the relative efficiency of the land, measured in terms of the yield surface ratio; yield in number of pods per plant, and weight of 100 seeds, and the profitability of the crop and its cost-benefit ratio.

### Statistical management

The results were compared by using  $t$  tests ( $p=0.05$ ). The mean test was applied for their statistical differentiation (Tukey, 0.05).

## RESULTS AND DISCUSSION

The highest productivity was observed with the combination of the hybrid coconut palm and interspersed crops, which make the most of the land underutilized by the coconut palm alone; furthermore, it is unlikely that the interspersed species will share the same insect pests and pathogens, and the system contributes to soil conservation by promoting a biodiversity of

conservar el suelo, fomentar la biodiversidad de insectos y organismos edáficos que no estarían presentes en un entorno de monocultivo (Lang-Ovalle *et al.*, 2011). Asimismo, esa ayuda a limitar los brotes de plagas (Altieri, 1994) mediante el aumento de la diversidad o la abundancia de enemigos naturales, tales como arañas o avispas parásitas.

El establecimiento de una parcela con cocotero, limón y frijol, tres cultivos en el mismo terreno y produjo frijol en un periodo de tres años, de igual manera se inicio la producción de cítricos y un año después se cosecha cocotero. El cultivo de la palma de coco combinada con cultivos frutales perennes como los cítricos, y anuales como el frijol en los sistemas agroforestales mostró que se puede afrontar el reto de garantizar la seguridad alimentaria y reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático.

## Cocotero

El cocotero criollo establecido en monocultivo registró una producción de 1.296 kg de fruto, 284 mL de agua, 171 g de hueso y 233 g de copra; mientras que el material híbrido intercalado con una planta rindió 3.733 kg de fruto, 609 mL de agua, 206 g de hueso y 155 g de copra (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores registrados en cocotero criollo e híbrido.  
Table 1. Values registered in both creole and hybrid coconut palms.

Varietal	kg fruto <sup>-1</sup>	mL de agua fruto <sup>-1</sup>	g de hueso fruto <sup>-1</sup>	g de copra fruto <sup>-1</sup>
Cocotero criollo	1.296	284	171	233
Cocotero híbrido	3.733	609	206	155

Sí el producto es para copra, el cocotero criollo es el más adecuado; sin embargo para el mercado de fruto en fresco, como indica la demanda en Nayarit, el cocotero híbrido tiene mayor cantidad de agua: 609 mL contra 284 mL del criollo, además el primero produce más frutos por palma y mejor calidad de agua, que el criollo (Figura 1).

## Limón Persa

El cultivo de limón Persa con fertilización química (150-75-75 g de N-P-K árbol<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) tuvo un rendimiento de 1 888 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2), del cual 75 % tiene la calidad requerida para exportación; con 50 % de fertilización química y vermicomposta resultó estadísticamente similar con respecto al anterior; aunque, el productor se ahorró 50% en la adquisición de los agroquímicos. El tratamiento con vermicomposta al suelo y vía foliar en 15 %, rindió 1 318 kg ha<sup>-1</sup>, pero 98 % de su producción correspondió a frutos de calidad, por lo que la diferencia real con respecto al tratamiento químico fue tan solo de 125 kg ha<sup>-1</sup>, y el ahorro resultó de \$3 500 ha<sup>-1</sup>, lo que favoreció una mejor relación beneficio/costo (B/C), en contraste con el testigo, 372 kg ha<sup>-1</sup>.

insects and edaphic organisms that would not be present in a monoculture setting (Lang-Ovalle *et al.*, 2011). Also, this biodiversity contributes to limit the pest outbursts (Altieri, 1994) by increasing the diversity or the abundance of the natural enemies of those pests, like spiders or parasitic wasps.

The establishment of a plot planted with coconut palms, lime trees and beans -three crops in the same land and at the same time- produced after a three-year period a crop of beans; likewise, the citrus trees began to yield fruits, and one year later, coconuts were harvested. The cultivation of the coconut palm combined with perennial fruit crops like citrus fruits, and annual crops like beans within the agroforestry systems proved that it is possible to meet the challenge of guaranteeing food safety and reducing the vulnerability in the face of climate change.

## Coconut palm

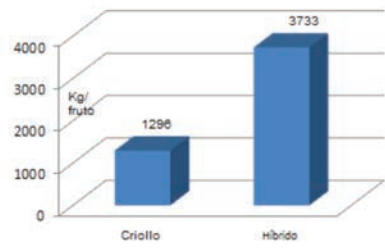
The creole coconut palm established as a monoculture registered a production of 1.296 kg of fruit, 284 mL of water, 171 g of stone, and 233 g of copra, respectively, while the hybrid palms interspersed with a plant yielded 3.733 kg of fruit, 609 mL of water, 206 g of stone and 155 g of copra (Table 1).

If the product is judged by its yield of copra, the creole coconut tree is more convenient; however, for the fresh fruit market, as indicated by the demand in Nayarit, the hybrid coconut palm is more appropriate as it holds has more water: 609 mL versus 284 mL yielded by the creole variety. Furthermore, the former produces more fruits per palm and better water quality than the creole variety (Figure 1).

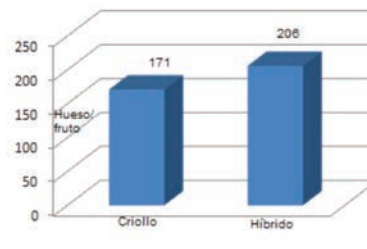
## Persian lime

Persian lime cultivated with chemical fertilization (150-75-75 g of N-P-K tree<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) had a yield of 1888 kg ha<sup>-1</sup> (Figure 2), 75 % of which has the quality required for exportation; the use of 50 % chemical fertilization and earth worm compost proved to be statistically similar to chemical fertilization alone; however, the producer saved 50% in the purchase of agrochemicals. The treatment with earth worm compost applied to the soil and to the leaves in a proportion of 15 % yielded 1 318 kg ha<sup>-1</sup>,

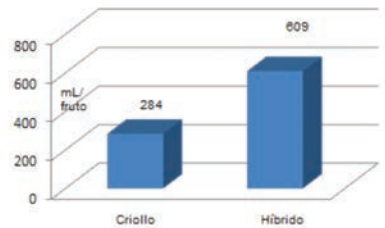




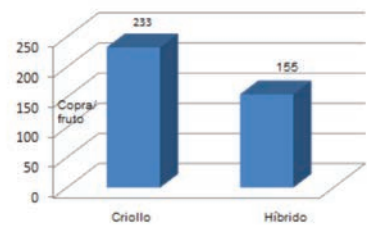
Kilogramos por fruto por variedad de cocotero



Cantidad en g de hueso por fruto y por variedad.



Cantidad de agua en mL/fruto, por variedad.

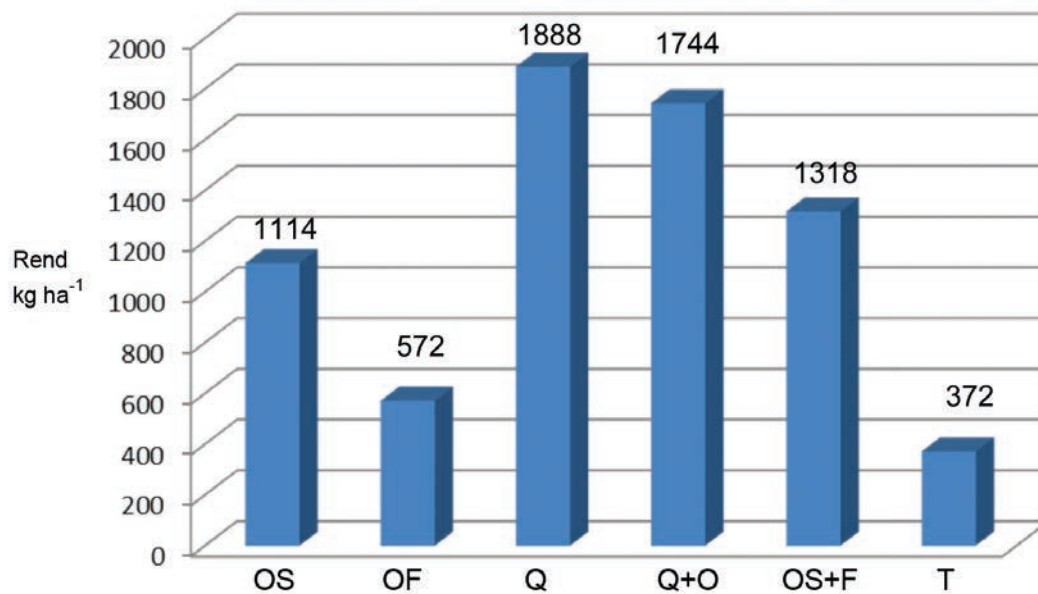


Cantidad en g de copra por fruto y por variedad.

Criollo = Creole; Híbrido = Hybrid; Kilogramos por fruto por variedad de cocotero = Kilograms per fruit by coconut palm variety; Cantidad en g de hueso por fruto y por variedad = Quantity in g of stone per fruit by variety; Cantidad de agua en mL/fruto, por variedad = Quantity of water in mL/fruit, by variety; Cantidad en g de copra por fruto y por variedad = Quantity in g of copra per fruit by variety.

Figura 1. Características del cocotero por variedad.

Figure 1. Characteristics of the coconut palm by variety.



Rend kg ha<sup>-1</sup> = Yield kg ha<sup>-1</sup> OS = organic, applied to the soil; OF = organic, applied to the foliage; Q = chemical; Q+O = chemical+organic; OS+F = organic S+F; B = Control.

Figura 2. Rendimiento en limón Persa por tratamiento de fertilización.

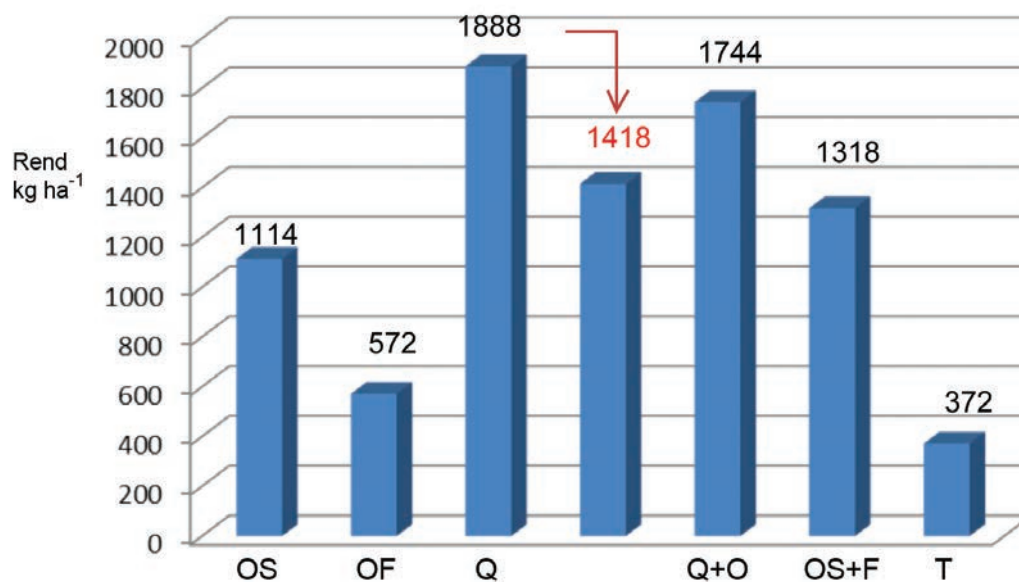
Figure 2. Yield of Persian limes by fertilization treatment.

La aplicación de vermicomposta mejoró la eficiencia de la absorción de nutrientes y disminuyó el uso de fertilizantes químicos en al menos 50 %.

Al analizar la calidad del fruto en limón Persa para exportación con el tratamiento de fertilización química, esta se afectó 25 %, menos en comparación con 2 % del tratamiento de vermicomposta (Figura 3).

but 98 % of its production consisted of high quality fruits, so that the actual difference in relation to the chemical treatment was of only 125 kg ha<sup>-1</sup>, and the savings amounted to \$3 500 ha<sup>-1</sup>, which resulted in a better benefit/cost (B/C) ratio in relation to the control, 372 kg ha<sup>-1</sup>.

The application of earth worm compost improved the efficiency of the absorption of nutrients and reduced the use of chemical fertilizers by at least 50 %.



Rend kg ha<sup>-1</sup> = Yield kg ha<sup>-1</sup> OS = organic, applied to the soil; OF = organic, applied to the foliage; Q = chemical; Q+O = chemical+organic; OS+F = organic S+F; B = control

Figura 3. Rendimiento de limón Persa, por calidad de fruto.

Figure 3. Yield of Persian lime, by fruit quality.

Cuando se utilizó vermicomposta como abono, las características peso de fruto y cantidad de jugo fueron superiores a las registradas con fertilizante químico, la principal diferencia significativa se detectó con el tratamiento testigo, lo que indica que la vermicomposta pudiera sustituir a los fertilizantes químicos (figuras 4 y 5).

### Limón Mexicano

La producción de frutos por planta en limón Mexicano evidenció diferencias con el conjunto de tratamientos de fertilización, registrándose 58 frutos, en promedio de tres cortes, respecto al testigo que hasta el tercero registró solamente siete frutos (Figura 6), señal de que es necesario el uso de fertilizantes para obtener mayor producción.



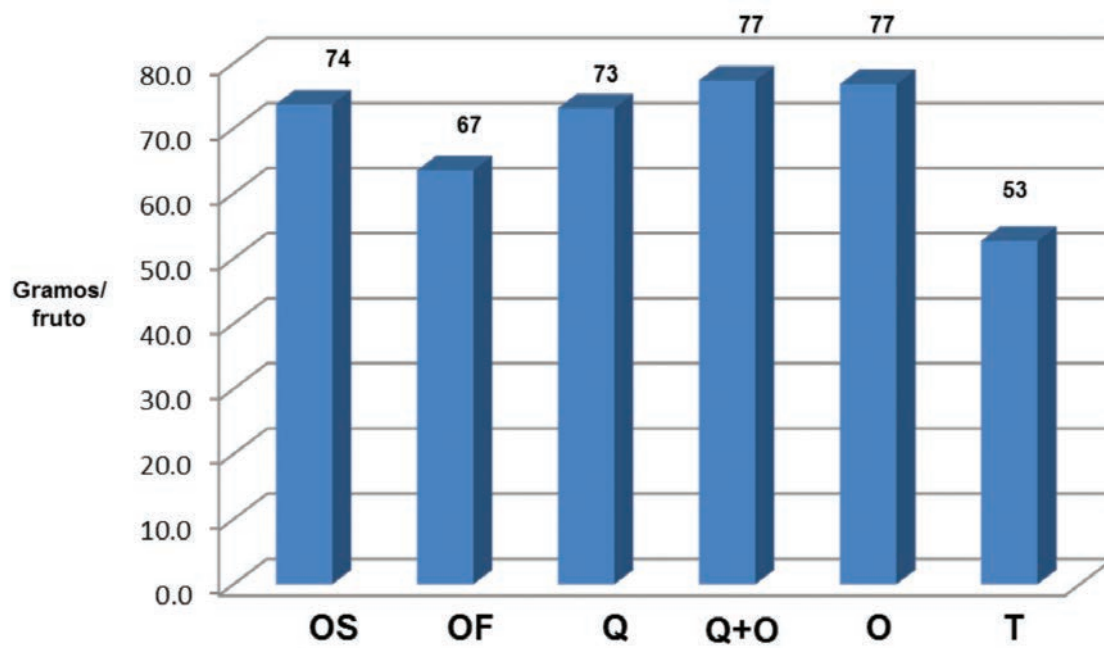
An analysis of the quality of the fruits of Persian lime for exportation using chemical fertilization showed it to be affected by 25 %, except in relation to the 2% of the treatment with earth worm compost (Figure 3).

When earth worm compost was used as fertilizer, the characteristics of fruit weight and amount of juice were superior to those registered with the chemical fertilizer; the main significant difference was detected in relation to the control treatment, an indication that chemical fertilizers can be replaced by earth worm compost (figures 4 and 5).

### Mexican key lime

The production of fruits per plant of Mexican key lime showed differences according to the fertilization treatment used, with an average of 58 fruits from three picks, compared to the control, which until the third cut registered only 7 fruits (Figure 6), an indication that fertilizers must be applied in order to obtain a larger production.

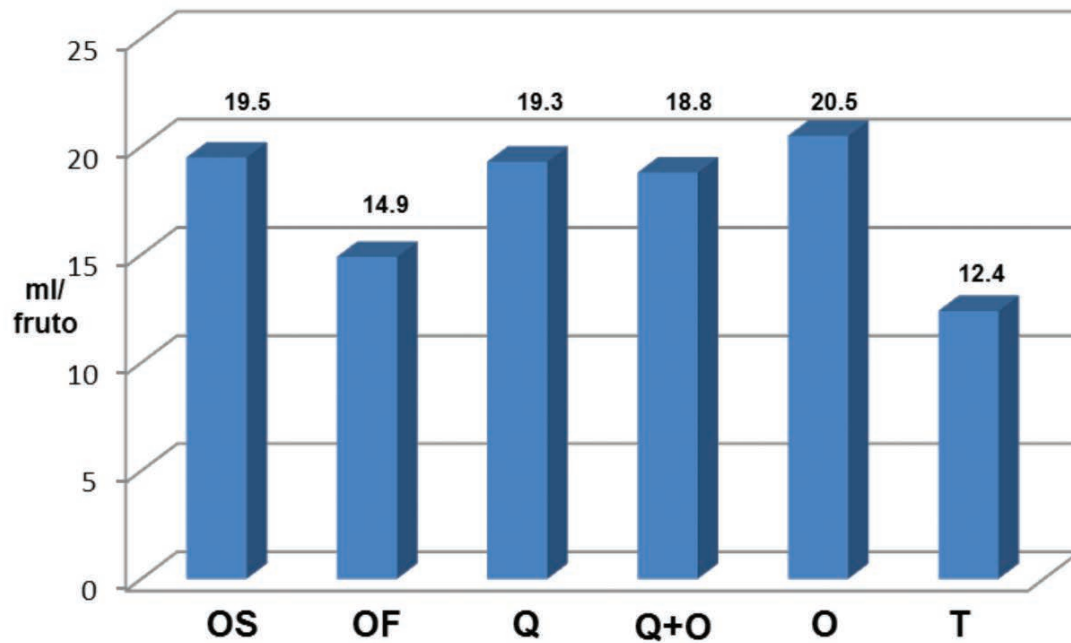




Gramos/fruto = Grams/fruit.

Figura 4. Peso del fruto en limón Persa con diferentes tratamientos de fertilización.

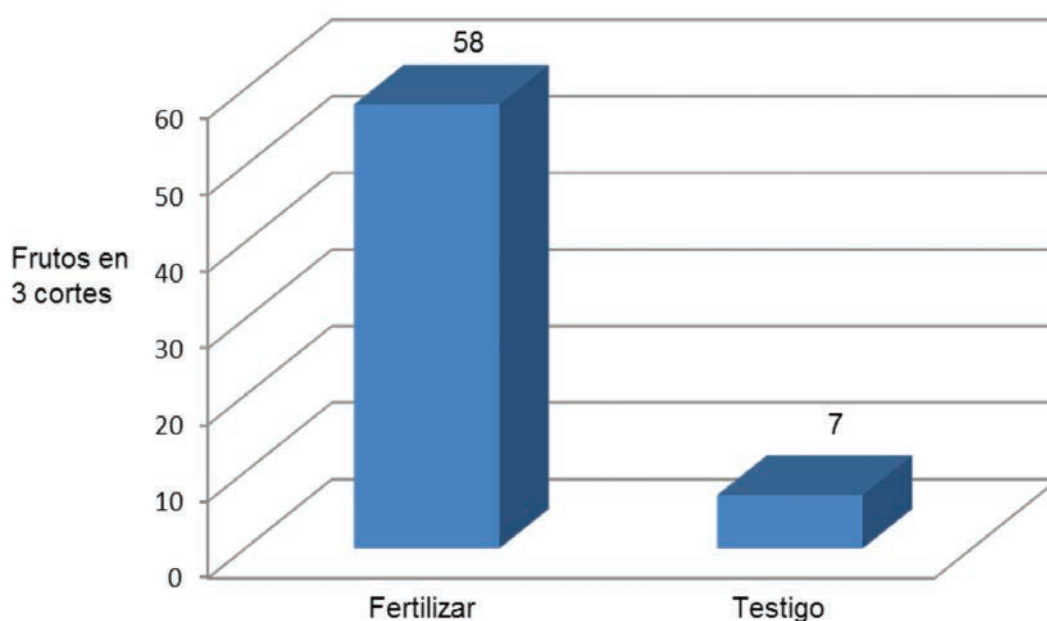
Figure 4. Fruit weight of Persian lime with different fertilization treatments.



OS = organic, applied to the soil; OF = organic, applied to the foliage; Q = chemical; Q+O = chemical+organic; OS+F = organic S+F; T = control ml/fruto = mL/fruit

Figura 5. Cantidad de jugo en limón Persa por tratamiento de fertilización.

Figure 5. Amount of juice in Persian lime by fertilization treatment.



Frutos en 3 cortes = Fruits from 3 picks

Fertilizar = Fertilized Control

Figura 6. Frutos obtenidos en limón Mexicano con y sin fertilizante, intercalado con frijol y cocotero.

Figure 6. Mexican key lime fruits obtained with and without fertilizer, interspersed with beans and coconut palms.

En peso, cantidad de jugo y cantidad de bagazo por fruto (figuras 7, 8 y 9), los tratamientos siempre fueron superiores al testigo. El tratamiento T3 (orgánico) no presentó diferencias significativas con aquellos en los que se utilizó fertilización química, y resultado de la extracción del jugo se obtuvo como subproducto el bagazo (desecho de cáscara), que se está exportando a Dinamarca y Estados Unidos de América para la extracción de pectinas que son polisacáridos con propiedades gelificantes (Madrigal *et al.*, 1969). La pectina se emplea en la elaboración de jaleas, mermeladas y en gran variedad de productos alimenticios.

### Podas en cítricos

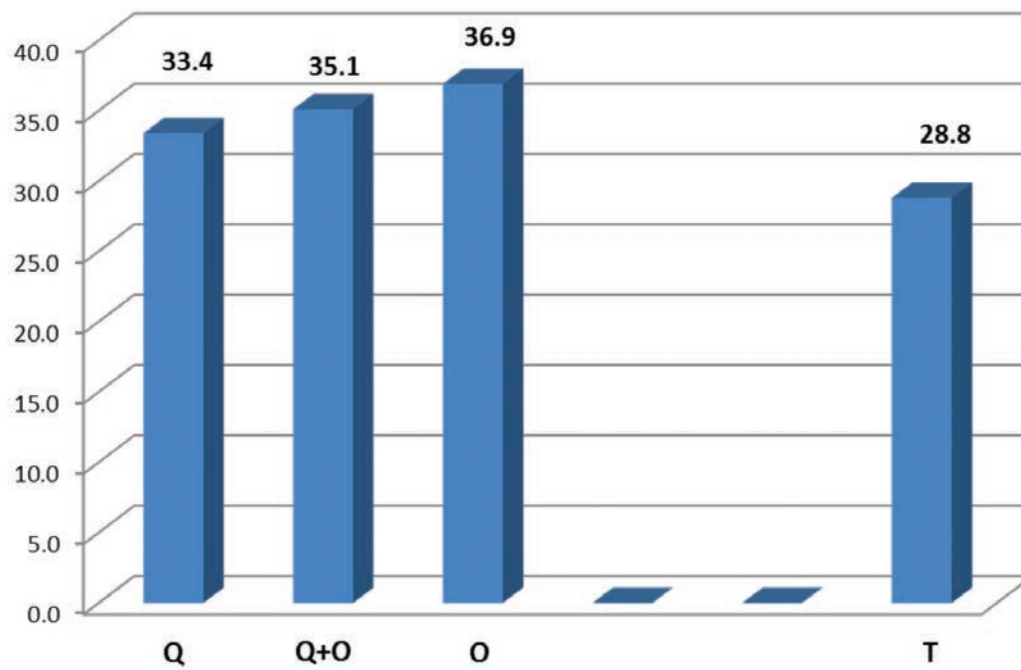
El programa de podas originó que tanto el limón persa, como el limón Mexicano adquirieran la forma de árboles, facilitando con ello la primer etapa de producción; se logró controlar el crecimiento en altura y diámetro de copa; así como la producción, calidad y distribución uniforme del fruto; mejorar la penetración de la luz al interior del árbol; mejorar los programas de aspersión para el control de problemas fitosanitarios.

The treatments proved better in all cases than the control in terms of weight, amount of juice and amount of solid waste (figures 7, 8 and 9). The T3 (organic) treatment showed no significant differences with respect to those where chemical fertilization was used, and the extraction of the juice yielded as a subproduct solid waste (peels) that is being exported to Denmark and to the United States for the extraction of pectines, which are polysaccharides with jelling properties (Madrigal *et al.*, 1969). Pectine is used in the manufacture of jellies, marmalades and a wide variety of food products.

### Pruning of citrus trees

The pruning program caused the Persian lime and the Mexican key lime to acquire the shape of trees, whereby the first stage of the production was made easier. This program made it possible to control the height of the trees and crown diameter, as well as the production, quality and even distribution of the fruit. It also allowed improvement of light penetration into the crown and of the spray irrigation programs in order to control phytosanitary problems.

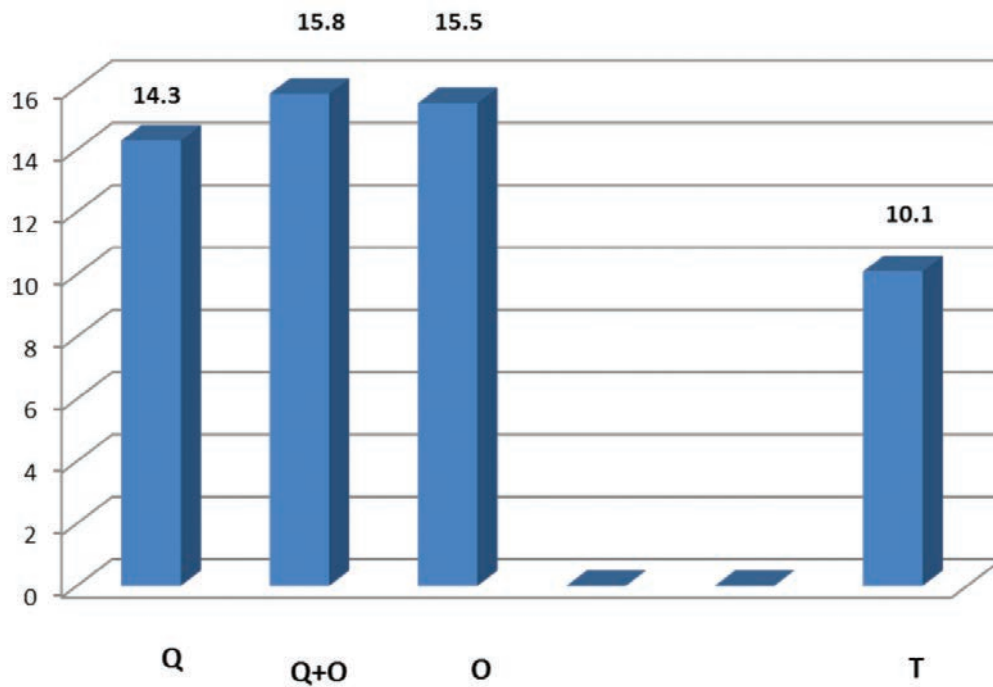




Q = chemical; Q+O = chemical+organic; O = organic; T = control

Figura 7. Peso por fruto en limón Mexicano por tratamiento de fertilización.

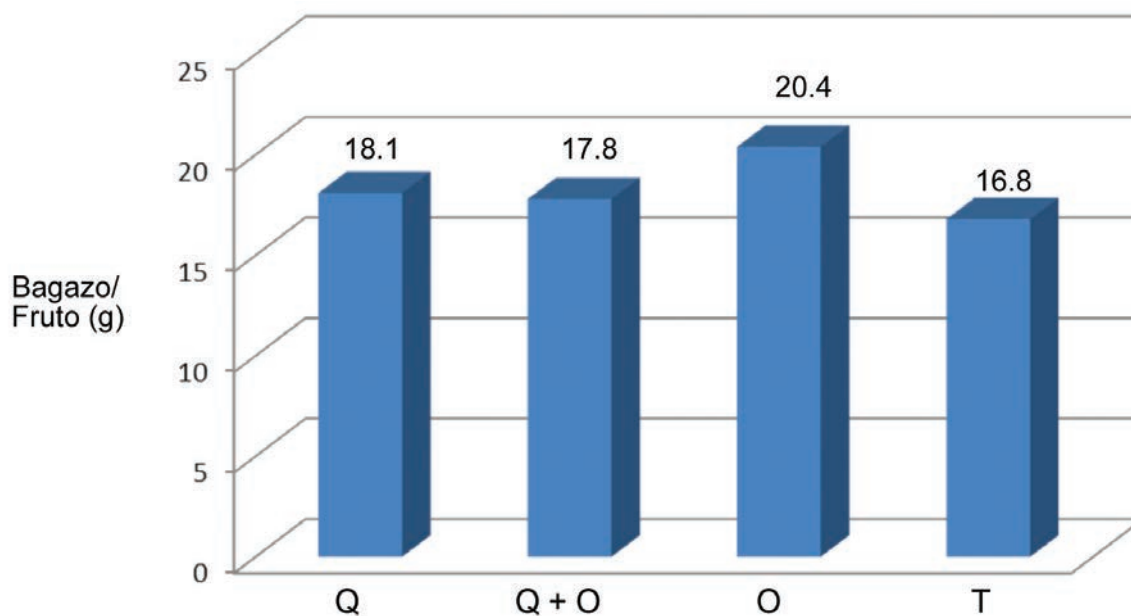
Figure 7. Weight per fruit of Mexican key lime by fertilization treatment.



Q = chemical; Q+O = chemical+organic; O = organic; T = control

Figura 8. Cantidad de jugo en limón Mexicano por tratamiento de fertilización.

Figure 8. Amount of juice in Mexican key limes by fertilization treatment.



Bagazo/Fruto (g) = Solid waste/Fruit (g)

Figura 9. Cantidad de bagazo en limón Mexicano por tratamiento de fertilización.

Figure 9. Amount of solid waste of Mexican key limes by fertilization treatment.

La poda de mantenimiento se usó para la eliminación de: ramas quebradas, enfermas, ramas altas crecidas; ramas altas crecidas en el centro de la copa (chupones), ramas que lateralmente sobresalgan del resto de la copa, y ramas que cuelgan hasta el suelo, lo que permitió tener árboles sanos y con inicio de producción.

### Frijol

El rendimiento promedio de frijol en los tratamientos fue diferente ( $p \leq 0.05$ ) T1= 935 kg, T2= 1 075 kg y T3=1 329, kg por 9 000 m<sup>2</sup>, respectivamente, con 394 kg en 9 000 m<sup>2</sup> de frijol a favor del tratamiento en el que se adicionó humus líquido de lombriz, en comparación con químico solo o químico y composta; diferente a los 901 kg ha<sup>-1</sup>, que se obtiene con frijol en monocultivo. La eficiencia relativa en el cultivo de frijol intercalado fue de 0.15, 68 % superior al monocultivo (Ertf= 0.09). Lo anterior evidencia la gran rentabilidad que se alcanza con adición del humus líquido en composta e inorgánico (T3), para frijol intercalado con limón y cocotero. La relación B/C se calculó en 1.89, respecto a la B/C = 1.44 de frijol en monocultivo que representa un ingreso económico adicional de \$ 225 ha<sup>-1</sup> en el sistema de producción múltiple.

Maintenance pruning was used for eliminating dry, broken and diseased branches, overgrown branches at the center of the crown (suckers), outgrowing lateral branches and skirt branches, which made it possible to have healthy trees with a starting production.

### Beans

The average yield of beans was different for the various treatments ( $p \leq 0.05$ ) T1= 935 kg, T2= 1 075 kg and T3=1 329, kg for 9 000 m<sup>2</sup>, respectively, with 394 kg in 9 000 m<sup>2</sup> of beans in favor of the treatment with added liquid earthworm humus, compared to the chemical fertilizer alone or to the combination of chemical fertilizer and compost. This differs from the 901 kg ha<sup>-1</sup> obtained with a monoculture of beans. The relative efficiency in the cultivation of interspersed beans was 0.15, 68 % above the monoculture (REff= 0.09). This evinces the high profitability that may be attained through the addition of liquid humus to compost and inorganic fertilizers (T3) for beans interspersed with lime trees and coconut palms. The B/C ratio was estimated in 1.89, compared to B/C = 1.44 of beans in monoculture, which means that the multiple production system results in an additional income of \$ 225 ha<sup>-1</sup>.



El esquema de producción de cocotero con limón Mexicano se favorece al intercalar frijol, el cual posee bacterias fijadoras de nitrógeno en sus raíces, que con la adición de vermicomposta contribuyó a mejorar el crecimiento de las plantas sin la emisión de gases efecto invernadero (GEI) inducida por la producción de fertilizantes químicos.

## CONCLUSIONES

El sistema agroforestal propuesto diversificó la producción, ya que al intercalar cultivos anuales y perennes, además el productor obtiene ingresos, previos al inicio de la producción de cocotero.

La aplicación de técnicas agroforestales y el uso de vermicomposta aumentaron la productividad del establecimiento del cocotero con cultivos intercalados. El tratamiento eficaz de residuos orgánicos con lombricultura ayuda a la reducción de las emisiones de GEI e incrementa la productividad.

La sustitución de fertilizantes inorgánicos por vermicomposta también mejora las condiciones y productividad del suelo. La vermicomposta se considera una tecnología limpia, sin impacto ambiental y con costos de inversión bajos. 🌱

## AGRADECIMIENTOS

A las comunidades involucradas en el estudio y a la Fundación Produce Nayarit, que aportó los recursos financieros para llevar a cabo esta investigación.

## REFERENCIAS

- Altieri, M. A. 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. Haworth Press, New York, NY, USA. 256 p.
- Balderas P., F. G. 2010. Paquete tecnológico para el cultivo de cocotero (*Cocos nucifera* L) en el Estado de Nayarit. INIFAP. Centro de Investigación Pacífico Centro. Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nay. México. Folleto Técnico No. 16. pp. 9-10.
- Bastine, C. L., N. E. R. Narayanan and M. P. Abdurazak. 1991. Adoption rate and constraints of adoption of newer technologies by coconut farmers in Northern Kerala. Regional Agricultural Research Station, Kerala, India. pp. 251-254.
- Bheemaiah, M. M. and M. Shariff. 1989. Multiple cropping in coffee. Indian Coffee (India) 53(12):9-13.
- Carrillo R., H., M. Cortazar, R. y J. Piña R. 2000. Manual para el establecimiento de plantaciones comerciales con híbridos de cocotero. INIFAP. Centro de Investigación Regional Sureste. Campo Experimental Chetumal, Q. Roo. México. Folleto Técnico No. 1. 226 p.
- Castellanos J., Z., J. X. Uvalle B. y A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. INCAPA 2a edición. San Miguel de Allende, Gto. México. 226 p.
- Cortázar R., M. y H. J. Carrillo R. 2006. Manual para la producción de híbridos de cocotero por polinización libre controlada. INIFAP. Centro de Investigación Regional Sureste, CIR-Sureste-INIFAP. Campo Experimental Chetumal, Quintana Roo. México. 29 p.

The production scheme of the coconut palms in combination with Mexican key lime trees was enhanced by the interspersing of beans, whose roots have nitrogen-fixating bacteria, and which, together with the addition of earth worm compost, contributed to improve the growth of the plants without the greenhouse gas emission (GGE) induced by production of chemical fertilizers

## CONCLUSIONS

The proposed agroforestry options system diversified the production, since with the interspersing of annual and perennial crops, the producer obtains income even before the coconut palms begin to produce.

The application of agroforestry options techniques and the use of earth worm compost increased the productivity of the establishment of the coconut palms with interspersed crops. The efficient treatment of organic waste with earth worm culture helps reduce the GGEs and increases productivity.

The replacement of inorganic fertilizers with earth worm compost also improves the conditions and productivity of the soil. Earth worm compost is considered to be a clean technology, without environmental impact and with low investment costs. 🌱

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the communities involved in the study and to the "Produce Nayarit" Foundation, which contributed the financial resources to carry out this research.

*End of the English version*



- Cortázar R, M. 2011. Paquete tecnológico palma de coco Alto Pacífico. Establecimiento y mantenimiento. Centro de Investigación Regional Sureste, CIR-Sureste-INIFAP. Campo Experimental Chetumal, Q. Roo. México. Folleto Técnico No. 1. 14 p.
- Chengappa P., G. and N. S. P. Rebello. 1977. An economic analysis of intercropping in coffee estates of Coorg. South Indian Horticulture (India) 25(4):154-157.
- Denamany, G., S. B. Ahmad and N. B. B. Hmid. 1979. Coconut intercropping systems in Peninsular Malaysia. *Oléagineux* (Francia) 34(1):7-13.
- Domínguez C., E., J. López A., R. Castillo G. y P. Ruiz, B. 1999. El Cocotero (*Cocos nucifera* L). Manual para la Producción en México. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Tabasco, México. Libro Técnico Num. 6. 132 p.
- Etchevers B., J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17(3):209-219.
- González A., I. J. 2010. Sustentabilidad para el desarrollo rural en el municipio de Compostela, Nayarit, México: Un enfoque de sistemas complejos. Tesis Doctoral en Ciencias. Colegio de Postgraduados. pp. 76-102.
- Granados-Sánchez, D. y G. F. López-Ríos. 2002. Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera* L) en México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 8(1):39-48.
- Gunathilake, H. A. J., H. M. S. K. Herath and V. Nosov. 2008. Site-specific nutrient management in coconut plantations. *Optimizing Crop Nutrition*. pp. 2-4.
- Lang-Ovalle, P. F., A. Pérez-Vázquez, J. P. Martínez-Dávila, D. E. Platas-Rosado, L. A. Ojeda-Enciso y I. J. González-Acuña. 2011. Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*. 29:169-177.
- Madrigal-Peralta, D., R. López-Vásquez y S. López-Jarquín. 1969. Aprovechamiento de desperdicios del beneficio del limón. Instituto Tecnológico de Oaxaca, Depto. de Ingeniería Química y Bioquímica. Sociedad Oaxaqueña de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. Oaxaca, Oax. México. 5 p.
- Magat, S. S. 2008. Development of coconut crop nutrition. Management in the Philippines: Sequence of salient efforts and milestones. Philippine Coconut. Central Office, Diliman, Quezon City, Philippine. pp. 1-7.
- Novariant, H. and J. Warokka. 2006. Past, present and future coconut research in Indonesia. In: Adkins, S. W., M. Foale, and Y. M. S. Samosir. (eds). Coconut revival—new possibilities for the 'tree of life'. Proceedings of the International Coconut Forum held in Cairns, Australia. ACIAR Proceedings 125:22-27.
- Ordáz O., E. 1984. Determinación de la tecnología de producción para los sistemas limón-cocotero y plátano-cocotero. In: Memorias del primer Seminario sobre el cultivo del coco en el estado de Colima. Conafrut, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colima, Col. México. pp. 79-88.
- Ordáz O., E. y O. Pérez Z. 1996. Identificación de palmas de coco sobresalientes en cinco ranchos de Tecoman, Colima. INIFAP. Centro de Investigación Pacífico Centro. Campo Experimental Tecoman. Colima, Col. México. Folleto Técnico No. 2. 24 p.
- Ramos S., J., A. Romero, C. y J. Figueroa V. 2005. Paquete tecnológico para el cultivo de cocotero en el Estado de Colima. Gobierno del Estado de Colima. Colima, Col. México. 56 p.
- Romaniuk, R., L. Giuffré and R. Romero. 2011. A Soil Quality Index to Evaluate the Vermicompost Amendments Effects on Soil Properties. *Journal of Environmental Protection*. 2:502-510.
- Salazar-García, S., R. Medina-Torres, J. González-Valdivia, M. E. Ibarra-Estrada, J. L. González-Durán y G. Santillán-Valladolid. 2011. Fertilización de sitio específico en mango 'tommyatkins', en Nayarit. Resultados preliminares. In: Cueto W., J. A. y R. G. Ávalos M. (comp). VI Reunión Nacional de Innovación Agrícola. Memoria. León, Gto., México. pp. 172.
- Vértiz M. I. A. 2007. Metodología para la transferencia de tecnología como plataforma de la innovación y el desarrollo tecnológico en México. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. México. 160 p.
- Vitousek, P. M. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Naturalist* 119: 553-572.
- Yan, X., P. Wu, H. Ling, G. Xu, F. Xu and Q. Zhang. 2006. Plant Nutriomics in China: An Overview. *Annals of Botany* 98: 473-482.

