



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

***ROTACION DE CULTIVOS (JITOMATE-EBOL- ZANAHORIA) Y
CONSERVACION DE LA FERTILIDAD DEL SUELO.***

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G O
PRESENTA:

HUANTE GARCÍA JOSÉ LUIS

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARÍA SOCORRO OROZCO ALMANZA

Investigación Realizada con financiamientos de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, mediante el proyecto PAPIME con clave PE202111



México, D.F febrero 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A MIS PADRES: José Luis Huante Hurtado

María de la Paz García Franco

Esposa: Inés Paulina Villegas Martínez

Hija: Alison Avril Huante Villegas

Hermanos: Rosa María

Patricia

“TODOS NACEMOS SIENDO IGNORANTES, MAS NO TODOS IGNORAMOS LAS
MISMAS COSAS” ALBERT EINSTEIN

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por haberme brindado la oportunidad de formarme como un profesionalista, por lo cual me siento profundamente orgulloso y satisfecho de pertenecer a esta gran institución educativa por la cual además siento un gran cariño, respeto y sobre todo compromiso de compartir lo aprendido, para contribuir al desarrollo de una mejor sociedad.

A la FES Zaragoza C.II., por ser el espacio que me permitió no solo desarrollarme como un estudiante sino también como un gran ser humano.

A la Dra. María Socorro Orozco Almanza por su gran apoyo, confianza y enseñanza, tanto académica como también de la vida misma

.

A la Dra. Esther Matiana García Amador por el apoyo incondicional para realizar el análisis edáfico.

Al Biól. Eduardo Chimal Sánchez, por el apoyo en el análisis estadístico con NCSS 2007.

Al jurado conformado por el Dr. Arcadio Monroy Ata, Dr. Gerardo Cruz Flores, M. en C. Juan Manuel Valderrábano Gómez y Biól. Leticia López Vicente, por sus comentarios y observaciones que mejoraron y enriquecieron este trabajo.

A mis compañeros del Centro de Capacitación en Agricultura Urbana "Chimalxochipan" y a los de la Unidad Multidisciplinaria de Investigación Experimental Zaragoza L8 (UMIEZ), por compartir conmigo tantos momentos inolvidables.

A mis compañeros de la generación, por todo lo compartido dentro y fuera de los salones de clases.

ÍNDICE TEMÁTICO.

| | |
|---|----|
| Resumen | 1 |
| I.-Introducción | 2 |
| II.-Antecedentes | 2 |
| 2.1 Rotación de cultivos..... | 2 |
| 2.2 La importancia de las rotaciones..... | 3 |
| A) Fatiga y la fertilidad del suelo | |
| B) Malas Hierbas plagas y enfermedades | |
| C) Diversidad de la rotación y policultivos | |
| 2.3 Diseño de una rotación..... | 6 |
| 2.4 Abonos verdes..... | 7 |
| 2.5 Balance de nutrientes..... | 9 |
| 2.6 Antecedentes sobre la rotación de cultivos..... | 12 |
| 2.7 Características de las especies utilizadas en el diseño de la rotación de cultivos..... | 12 |
| 2.7.1 Jitomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.)..... | 12 |
| 2.7.2 Ebol(<i>Vicia sativa</i> L.)..... | 13 |
| 2.7.3 Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)..... | 13 |
| 2.8 Características generales y agroecológicas de las especies..... | 14 |
| III.- Hipótesis | 16 |
| IV.-Objetivo general | 16 |
| V.-Metodología | 16 |
| 5.1 Germoplasma..... | 17 |
| 5.2 Preparación de la cama de siembra..... | 17 |

| | |
|--|----|
| 5.3 Muestras de suelo para su análisis..... | 17 |
| 5.4 Diseño de la rotación..... | 18 |
| 5.4.1 Primer cultivo de la rotación (jitomate)..... | 19 |
| 5.4.2 Segundo cultivo de la rotación (ebol)..... | 19 |
| 5.4.3 Tercer cultivo de la rotación (zanahoria)..... | 19 |
| 5.5 Monocultivo (zanahoria)..... | 20 |
| 5.6 Costos de producción..... | 20 |
| 5.7 Análisis estadístico..... | 21 |
| VI.-Resultados | 21 |
| 6.1- Atributos físicos y químicos del sustrato..... | 21 |
| 6.1.1 Composición nutrimental del sustrato después de tres cultivos consecutivos de zanahoria (monocultivos)..... | 21 |
| 6.1.2 pH..... | 23 |
| 6.1.3 Materia orgánica..... | 23 |
| 6.2 Características del sustrato después de una rotación de tres cultivos consecutivos (jitomate-ebol-zanahoria (policultivo)..... | 24 |
| 6.2.1 pH..... | 25 |
| 6.2.2 Nitrógeno, fósforo y potasio..... | 25 |
| 6.3.- Comparación en el contenido de NPK al final de la rotación..... | 28 |
| 6.4 Características morfológicas de las especies en monocultivo y policultivo. | 29 |
| 6.4.1 Altura de policultivo (jitomate-ebol-zanahoria) y altura de monocultivo (zanahoria)..... | 29 |
| 6.4.2 Cobertura de policultivo (jitomate-zanahoria) y cobertura de monocultivo (zanahoria)..... | 30 |
| 6.4.3 Número de hojas en policultivo y monocultivo (zanahoria)..... | 32 |

| | |
|--|----|
| 6.4.4 Longitud y peso en monocultivo y policultivo (zanahoria)..... | 33 |
| 6.5.1 Rendimientos de zanahoria en el policultivo y monocultivo..... | 34 |
| 6.6. Costos de producción y relación costo/beneficio..... | 36 |
| VII.-Conclusiones | 38 |
| VIII.-Recomendaciones | 38 |
| IX.-Referencias | 39 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Planta de jitomate..... | 13 |
| Figura 2. Planta de zanahoria..... | 14 |
| Figura 3. Dimensiones de la cama biointensiva..... | 17 |
| Figura 4. Profundidad del suelo al tomar la muestra..... | 18 |
| Figura 5. Altura para tratamientos policultivo y monocultivo..... | 29 |
| Figura 6. Cobertura para tratamientos policultivo y monocultivo..... | 30 |
| Figura 7. Promedio del número de hojas en policultivo..... | 32 |
| Figura 8. Largo de raíz de zanahoria en ambos tratamientos..... | 33 |
| Figura 9. Peso de zanahoria (raíz) en policultivo-monocultivo..... | 35 |
| Figura 10. Rendimiento de zanahoria en policultivo-monocultivo..... | 35 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1.Fijación de nitrógeno realizada por diferentes cultivos..... | 9 |
| Cuadro 2.Estimacion de la extracción de nutrientes para determinados cultivos..... | 10 |
| Cuadro 3.Trabajos realizados en rotación de cultivos..... | 12 |
| Cuadro4.Características generales y agroecológicas de las especies..... | 14 |
| Cuadro 5. Características de complementariedad entre las especies en rotación..... | 15 |
| Cuadro 6. Análisis físico y químico para monocultivo..... | 24 |
| Cuadro 7. Análisis físico-químico para policultivo..... | 26 |
| Cuadro 8. Clasificación del suelo en función del análisis químico (materia orgánica, N, P)..... | 26 |
| Cuadro 9. Clasificación del suelo en función al pH..... | 27 |
| Cuadro 10.Clasificacion del suelo en función del análisis químico (K)..... | 27 |
| Cuadro 11.Comparación del contenido de N-P-K..... | 28 |
| Cuadro 12. Rendimiento de cada cultivo en el sistema de rotación..... | 34 |
| Cuadro 13. Presupuesto de insumos para la elaboración de la cama biointensiva..... | 35 |
| Cuadro 14. Datos de relación costo/beneficio en policultivo y monocultivo..... | 36 |
| Cuadro 15.Datos de relación costo/beneficio en policultivo y monocultivo..... | 37 |

Resumen.

La rotación de cultivos, es una práctica de la agricultura orgánica o ecológica, que consiste en la diversificación de cultivos en una misma área en tiempos diferentes. Esta rotación tiene la ventaja de mantener la fertilidad del suelo, romper los ciclos biológicos de las plagas y diversificar la dieta del agricultor. Es una práctica realizada comúnmente en los predios de manejo ecológico, pero que ha sido poco evaluada desde el aspecto científico. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar una rotación de tres cultivos: jitomate, ebol y zanahoria, en el rendimiento de éstos y en la fertilidad del suelo, comparándolo con el rendimiento obtenido con la práctica del monocultivo. El estudio se realizó en el Centro de Capacitación en Agricultura urbana "Chimalxochipan" de la FES Zaragoza, y el procedimiento consistió en una siembra a cielo abierto, de los tres cultivos en cuestión, para lo cual se preparó una cama de cultivo por el método biointensivo para favorecer el desarrollo radical de los cultivos en rotación. La cama de 6 m de largo se dividió en dos partes. En la primera parte (3 m), se trabajó con la rotación, donde el primer cultivo fue jitomate guaje, cultivo altamente demandante de nitrógeno; el segundo cultivo fue ebol, una leguminosa donadora, y el tercero zanahoria, un consumidor ligero. En la otra parte de la cama (3 m restantes), se cultivó de manera consecutiva tres veces la zanahoria, representando a la práctica del monocultivo. Previo a la siembra de cada cultivo, se realizó un análisis nutrimental del sustrato, para conocer su contenido en nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), con el fin de asegurar los requerimientos nutricionales de las tres especies en rotación, de igual manera se realizó el análisis nutrimental del sustrato, al final de cada rotación y monocultivo, con el fin de cuantificar su condición. Semanalmente y durante el cultivo de las especies en ambos tratamientos, se evaluaron variables de crecimiento (altura, cobertura, diámetro) y del rendimiento (biomasa, peso fresco, producción por área y calidad del producto obtenido).

Tanto la rotación de cultivos como el monocultivo, presentaron la misma tendencia en cuanto a la conservación de la fertilidad del suelo, se presentó en ambos tratamientos un incremento de la materia orgánica, N y P, no así para el potasio, el cual disminuyó dada la alta demanda del cultivo de la zanahoria por este nutrimento.

Las variables de respuesta altura, cobertura y longitud de raíz (zanahoria) no presentaron diferencias estadísticas significativas; sin embargo el peso de las zanahorias fue mayor en la rotación de cultivos.

La rotación de cultivos es rentable económicamente, en relación al monocultivo, como una función de la diversificación de la producción, y su venta en el mercado.

La rotación de cultivos ofrece ciertas ventajas, como: diversificación de la dieta del productor, aprovechamiento diferencial de los nutrientes del suelo, rompimiento de ciclos biológicos de plagas (menor infestación de nematodos en

relación al monocultivo) (dato no cuantificado) y rendimientos comparables al monocultivo.

I.-Introducción

Actualmente, la agricultura convencional o industrializada tiene como una de sus principales prácticas el monocultivo, caracterizada por cultivar masivamente una sola especie, lo que representa graves daños ecológicos y en el largo plazo grandes pérdidas económicas, debido a que el monocultivo es más susceptible al ataque de plagas por su homogeneidad genética, lo cual implica aplicar grandes cantidades de plaguicidas químicos para controlarla, aumentando la contaminación del ambiente y desarrollo de resistencia en los organismos plaga (Gliessman, 2002).

Por otro lado, el monocultivo extrae una gran cantidad de nutrientes del suelo, al estar constituido por la misma variedad o especie, donde se genera una competencia por los recursos, agua y nutrientes, provocando finalmente la pérdida de fertilidad del suelo y la reducción significativa de los rendimientos de los cultivos (Altieri, 1999).

Ante esta problemática, la “Agroecología” o “Agricultura Alternativa Ecológica”, propone el policultivo, donde varias especies se manejan simultáneamente o de manera secuencial, en un mismo terreno, a través de prácticas como la asociación de especies o rotación de cultivos, donde se favorece la coexistencia de dichas especies, teniendo como consecuencia, una asimilación diferencial de los nutrimentos del suelo (Altieri,1999). Con la aplicación de estas prácticas, se ha observado que la fertilidad edáfica por lo tanto se conserva con el tiempo y al mismo instante, el ataque de plagas se reduce, como resultado de la heterogeneidad del sistema (Altieri, 1999). Por lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de una rotación de cultivos conformado con especies que poseen diferente demanda de nutrimentos (jitomate-ebol-zanahoria) sobre la fertilidad del suelo.

II.-Antecedentes

2.1 Rotación de cultivos

La necesidad de hacer rotaciones de cultivos se remonta a los orígenes de la agricultura, donde para mantener la fertilidad del suelo se dejaba descansar la tierra después de recoger la cosecha. El objetivo de esta práctica no era aprovecharla para consumo en su totalidad, sino una parte se segaba e incorporaba todo el rastrojo a la tierra para beneficio de los cultivos siguientes (Monfort, 1995).

Las rotaciones de cultivo son un sistema en el cual se siembran varias especies o variedades en un mismo terreno, al mismo tiempo o sucesivamente. Los pocos estudios, indican que ésta práctica tiene un efecto directo en la producción de plantas, sin afectar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Altieri, 1999). Por otro lado reduce la presencia de plagas en el suelo, ya que rompe los ciclos biológicos de organismos específicos de un cultivo determinado (Summer, 1982).

2.2 La importancia de las rotaciones.

A) Fatiga y fertilidad del suelo.

La fertilidad del suelo es la capacidad para mantener en un estable equilibrio el estado óptimo de las plantas, además de brindarles agua y nutrientes (N, P, K). Manteniendo, así los micro y microorganismos en constante equilibrio. En un principio se consideraba que la fatiga del suelo se debía a alguna sustancia tóxica que reducía la auto tolerancia de ciertos cultivos, es decir que provocaba una pérdida de producción como resultado de crecimiento de un determinado cultivo durante más de un año de sucesión. El descubrimiento de la importancia que tenían ciertos nutrientes específicos para las plantas llevó al científico alemán Liebig, al desarrollo del concepto de factores limitantes, especialmente nitrógeno y agua, con lo que explicó una respuesta parcial de este fenómeno (Lampkin, 2001).

De igual modo se sabe que un suelo es fértil cuando tiene una buena cantidad de nutrientes minerales, provenientes de la descomposición de materia orgánica, así como una buena capacidad de retención de agua, y presencia de organismos tanto microscópicos (bacterias que favorezcan la absorción de nutrientes como las nitrificantes, todos estos factores en conjunto conforman un suelo fértil.

Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser las propiedades físicas (textura, densidad aparente), químicas (pH, N P K) y biológicas (contenido de biomasa microbiana). Tales indicadores deberán permitir analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible del suelo, así como analizar los posibles impactos antes de una intervención y ayudar a determinar si el uso del recurso suelo es sostenible (García, 2012).

Por otro lado las plantas producen cierta cantidad de sustancias tóxicas, que son liberadas en cantidades importantes cuando se incorporan los residuos de cultivo. Muchas de estas sustancias se comportan como antibióticos y bloquean

actividades de los microorganismos del suelo, que pueden ser nocivas para las plantas cultivadas.

Otro aspecto importante de la fatiga del suelo es el exudado tóxico de las raíces, específico para cada especie de cultivo, y que provoca un efecto alelopático, es decir, que inhibe el crecimiento y desarrollo de otros cultivos. La cuestión de los efectos alelopáticos es de considerable interés en términos de control de malas hierbas, pero es necesario reconocer también sus efectos negativos sobre los siguientes cultivos.

Un objetivo de la rotación radica en estimular una alta resistencia natural a las plagas y enfermedades del suelo. Esto puede obtenerse mejor promoviendo una alta actividad biológica, en particular de la microflora, de manera que puedan neutralizarse los patógenos dañinos. Esta resistencia natural y alta actividad biológica se reduce, a menudo, por el uso de biocidas y fertilizantes solubles de fácil asimilación, creando una situación donde los problemas en realidad son provocados por las prácticas agrícolas elegidas.

B) Hierbas invasoras, plagas y enfermedades.

Las rotaciones son el principal medio para controlar malas hierbas, plagas y enfermedades en un sistema ecológico y, permiten el uso de diferentes tipos de laboreo en distintos momentos del año, evitando que ninguna mala hierba pueda hacerse dominante. Lo mismo sucede con las interacciones entre las plantas de los cultivos y las hierbas no deseadas: ciertos cultivos tienen un efecto sofocante sobre las malas hierbas (sea por competencia directa, sea por interacciones alelopáticas); otros cultivos tienen menos capacidad de competir con éxito. La rotación permite alternar estos tipos de cultivos para que el efecto global sea el de minimizar los problemas de las hierbas invasoras.

Si los cultivos hospedadores se alternan con cultivos no hospedadores, puede reducirse la transmisión de las plagas y enfermedades de un cultivo al siguiente disminuyendo la supervivencia de las plagas y enfermedades de origen edáfico. Los nemátodos dorados de la papa, los gusanos de alambre, la hernia de la col, la heterodera y el mal del pie del trigo son todos ejemplos de problemas de plagas y enfermedades que pueden controlarse eficazmente con una rotación adecuadamente diseñada.

Por ejemplo, los guisantes se asocian tradicionalmente a suelos francos o franco arenosos con alta fertilidad. El guisante común se utiliza a menudo como

un cultivo principal para intercalar entre dos cereales y puede preceder también a las patatas en lugar de la pradera de trébol. Por lo general no necesitan abonado, es importante que disfruten de una buena cantidad de potasio, al igual que no toleran la acidez del suelo. Pueden llegar a controlar hierbas invasoras cortando al ras de suelo el cultivo tan pronto como los brotes empiezan a aparecer. Una cierta cantidad de malas hierbas en el cultivo en realidad puede ser de gran ayuda, por que proporcionan soporte y ayudan a reducir los problemas de hospedaje (Fassbender, 1987; Francis y Clegg, 1990).

C) Diversidad, rotación y policultivos.

Las relaciones entre los cultivos dentro de una rotación, pueden comprenderse dentro del marco de la ecología y, en particular utilizando el principio de la diversidad biológica, en la que se mantienen tantas especies diferentes de plantas y animales como sea posible, proporcionando las condiciones más favorables para que se establezca un equilibrio en un ecosistema o agrosistema.

Las rotaciones son una forma de intentar restaurar la diversidad biológica en un sistema de cultivo, a la vez que se hace posible el cultivo anual de determinadas especies.

Las rotaciones, sin embargo, no son la única forma de obtenerla. El cultivo mixto o policultivo, proporciona también un importante elemento de diversidad. Esto va ligado a una mayor eficacia en la utilización de los recursos (luz, agua, nutrientes), a los beneficios de la fijación de nitrógeno cuando se emplean leguminosas, a la reducción en la dispersión de plagas y enfermedades, al aumento de oportunidades para los depredadores naturales y a la mejora del control de hierbas no deseadas a través del aumento de la competencia.

La presencia de ciertas especies de hierbas invasoras dentro del cultivo o en las cabeceras de una parcela de cultivo puede proporcionar un nicho para insectos beneficiosos capaces de mantener las plagas bajo control, o puede ejercer cierta atracción a otras plagas del cultivo. Los policultivos también aumentan la protección del suelo frente a la erosión, reducen el riesgo económico y la incertidumbre, mejorando la estabilidad de la producción mediante la diversidad y, en situaciones de agricultura de subsistencia, proporciona una dieta variada.

Por otro lado, en las rotaciones de cultivos, donde se utilizan leguminosas, el nitrógeno es fijado por éstas, lo que permite mayor disponibilidad de este elemento, para los cultivos asociados. En el manejo de las rotaciones, las

leguminosas de semillas anuales o forrajeras usadas como cultivos de abono verde, incrementan el rendimiento de los cultivos subsecuentes, ya que el abonado verde integra los nutrientes y materia orgánica al suelo. Una vez que las raíces se establecen en el suelo, estimulan el crecimiento microbiano, la fijación de nitrógeno y otros nutrimentos en la microflora del suelo, fenómeno conocido como inmovilización (Altieri, 1999).

2.3 Diseño de una rotación.

Con la tecnología actual y las limitaciones económicas, el componente más esencial de los sistemas comerciales de agricultura ecológica son las rotaciones bien diseñadas, más que los policultivos. La rotación tiene que mantener la fertilidad, los niveles de materia orgánica y la estructura del suelo, asegurando a su vez que suficientes nutrientes, especialmente nitrógeno, estén disponibles para los cultivos y se minimicen las pérdidas de nutrientes. Por otro lado debe minimizar las malas hierbas, las plagas y las enfermedades, tanto en el espacio como en el tiempo. A su vez la rotación tiene que producir suficiente alimento para el ganado y mantener la venta de este y de cultivos para que el agricultor pueda obtener ingresos satisfactorios.

El punto de partida para el diseño de una rotación debería ser siempre las aptitudes de la finca y el tipo de suelo, su textura, las condiciones climáticas y el efecto que estas consideraciones tienen sobre el tipo de cultivos y ganado que puede producirse en la finca. La conveniencia de incluir ciertos cultivos vendrá determinada también por las necesidades de forraje para ganado, o la disponibilidad de mercado para los cultivos principales.

Dentro de las limitaciones de cultivo impuestas por las condiciones ambientales sobre el sistema de la finca, deberían considerarse las siguientes normas básicas:

- ✓ Los cultivos con raíces profundas habrían de seguir a cultivos con raíces superficiales, ayudando así a mantener abierta la estructura del suelo y a mantener el drenaje.
- ✓ Alternar entre cultivos con elevada y baja biomasa radical, un contenido alto en biomasa radical proporciona a los organismos del suelo y, en particular a las lombrices, gran cantidad de materiales donde vivir. A este respecto, las praderas temporales de gramíneas/trébol pueden ser muy valiosas.
- ✓ Los cultivos fijadores de nitrógeno deberían alternarse con los que demandan gran cantidad de nitrógeno, lo ideal sería poder satisfacer todas las necesidades de nitrógeno de los cultivos.

- ✓ En la medida de lo posible, los cultivos intercalados, abonos verdes y técnicas de sotosiembra deberían utilizarse para mantener cubierto el suelo el máximo tiempo posible, protegiéndolo de los riesgos de erosión y reduciendo el lavado de nutrientes, especialmente en invierno.
- ✓ Los cultivos que se desarrollan lentamente y que, por lo tanto, son susceptibles de verse invadidos por malas hierbas, deberían seguir a cultivos que las sofocan.
- ✓ Alternar entre cultivos de hoja y paja (importante para eliminar las hierbas no deseadas).
- ✓ Cuando existe el riesgo de enfermedades o plagas de origen edáfico, los cultivos potencialmente hospedadores deberían incluirse en la rotación solo a intervalos apropiados; en alguna medida esto viene indicado por el concepto de auto-tolerancia de los cultivos.
- ✓ Utilizar variedades y mezclas de cultivos en la medida de lo posible (adecuando para el uso de la propia finca, pero más problemático para la venta).
- ✓ Alternar entre cultivos de sistemas de otoño y primavera.
- ✓ Adecuación de cada cultivo específico al clima y suelo.
- ✓ Equilibrio entre cultivos principales y forrajeros (y situación del mercado).
- ✓ Necesidades de trabajo estacional y disponibilidad.
- ✓ Operaciones de cultivo y laboreo.

En un diseño de rotación, se busca la sucesión de plantas con sistemas radicales y requerimientos nutrimentales distintos, que permitan un aprovechamiento integral de los nutrimentos del suelo. Se alternan las plantas altamente demandantes de nutrimentos, con otras que lo son menos, así como con plantas donadoras como las leguminosas que fijan nitrógeno atmosférico, de esta manera se evita la competencia entre ellas. Generalmente en las rotaciones de cultivos, las leguminosas se consideran como un elemento fundamental, ya que además de fijar nitrógeno, se pueden aprovechar para el consumo, como el frijol, lenteja, haba, etc. Así como para la venta, o también para mejorar la cantidad de la materia orgánica en el suelo, al enterrarlas como abono verde (rastrojo de haba, veza, ebol, etc.)(Duhon y Gebhard, 1984; Guipuzkoa, 1991).

2.4 Abonos verdes

El abono verde es la incorporación de los restos vegetales del cultivo anterior al suelo, aportando beneficios inmediatos sobre la actividad metabólica microbiana, por el aporte de materiales ricos en azúcares y nitrógeno. Actúa sobre la inmovilización biológica de determinados elementos, ya que la incorporación al suelo de esta masa vegetal implica el retorno a la superficie del mismo en una

gran parte de elementos que en profundidad han sido tomados por las raíces (Altieri, 1994).

Entre los beneficios que aportan los abonos verdes encuentran: la acumulación/mantenimiento de nitrógeno, acumulación/mantenimiento de carbono, reducción del lavado de nutrientes (N, Ca, K), reducción de la erosión del suelo, mejoramiento de la utilización de la lluvia, sombreado y aireación del suelo, control de malas hierbas y plagas, además de proporcionar ahorro de gastos en la rotación de cultivos debido a una menor utilización de fertilizantes, incremento en la disponibilidad de nutrientes, facilitación de labores y reducción de las necesidades de protección de las plantas.

Los abonos verdes también contribuyen a estabilizar biológicamente la estructura del suelo después de un laboreo mecánico, en la medida en que las raíces de las plantas están implicadas en este proceso. Dependiendo del tipo de suelo, las raíces del trébol violeta o los altramuces pueden extenderse de 1.5-2m de profundidad, mientras que las raíces del trébol blanco, lupulina, la veza común, el rábano forrajero y los nabos forrajeros se extienden hasta los 0.8-1.5m y las de la vesa vellosa, mostaza y colza hasta 0.8 m (Lampkin, 2001).

Puede lograrse el control de malas hierbas mediante abonos verdes de crecimiento rápido y competitivo que las ahogan al competir por el espacio, luz, agua y nutrientes, o a través del corte y acolchado (Lampkin, 2001).

El control de nemátodos se obtiene usando plantas antagonistas durante largos periodos de tiempo, o utilizando plantas hospederas durante periodos cortos, para estimular su desarrollo, pero procurando eliminar la fuente de alimento, antes de que se complete el ciclo de vida del nemátodo (Lampkin, 2001). Como cultivo, la colza es relativamente tolerante consigo misma, pero es una planta hospedera de nemátodos que por lo general atacan cultivos de brasicáceas. Por otro lado hace falta un descanso de tan solo cuatro años y aún mejor de seis, no solo entre cultivos sucesivos de colza, sino también entre colza y otras brasicáceas. Existen problemas especiales cuando se cultiva también la remolacha azucarera por que ciertos nemátodos son comunes a ambos sistemas.

Es importante remarcar que no es necesario tener abonos verdes todos los años en la rotación, por lo general se recomienda de tres a cinco años. Generalmente una rotación rica en cereales habría de tener una baja participación de abonos verdes basados en gramíneas y habrá que ver sobre todo la frecuencia con la que se utilizan especies de brasicáceas y tréboles para evitar la aparición de plagas y enfermedades. En periodos secos, los abonos verdes pueden extraer demasiada agua y tener un efecto perjudicial sobre el siguiente cultivo. Existe también el riesgo, como ocurre con la incorporación de paja, de que los residuos se entierren y descompongan de forma anaerobia, si el material está demasiado maduro y la relación carbono/nitrógeno es demasiado alta, el nitrógeno será bloqueado mientras se produce la descomposición (Lampkin, 2001).

2.5 Balance de nutrientes.

Existen cifras publicadas, que detallan la extracción de los principales nutrientes al cosechar cultivos conocidos, así como las tasas potenciales de fijación de nitrógeno. Estas cifras pueden utilizarse para evaluar la necesidad de aportar determinados nutrientes según las condiciones de cada parcela y para el diseño de una rotación (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Fijación de nitrógeno realizada por diferentes cultivos.

| Cultivos | kg ha⁻¹ |
|--------------------------|---------------------------|
| Gramíneas/trébol blanco | 150-200 |
| Gramíneas/trébol violeta | 230-460 |
| Alfalfa | 300-550 |
| Habas | 150-390 |
| Guisantes | 105-245 |
| Altramuces | 100-150 |

Cuadro 2. Estimación de la extracción de nutrientes para determinados Cultivos.

| Cultivo | Nitrógeno | Fosfato | Potasa | CaO | MgO |
|------------------------------|------------------------------|----------------|---------------|------------|------------|
| | (1 kg t⁻¹) | | | | |
| Centeno | 15 | 8 | 5 | 10 | 3 |
| Trigo | 15 | 8 | 5 | 6 | 3 |
| Cebada de invierno | 20 | 8 | 5 | 10 | 4 |
| Cebada de primavera | 18 | 8 | 5 | 10 | 3 |
| Avena | 17 | 8 | 5 | 6 | 4 |
| Paja | 5 | 3 | 13 | 5 | 1 |
| Maíz (+paja) | 30 | 15 | 35 | 8 | 8 |
| Maíz (-paja) | 20 | 8 | 5 | 1 | 2 |
| Colza | 55 | 30 | 50 | 60 | 10 |
| Guisante | 60 | 20 | 35 | 35 | 5 |
| Haba | 65 | 20 | 45 | 35 | 8 |
| Altramuz | 75 | 20 | 45 | 25 | 10 |
| Patata(cultivo principal) | 4.5 | 2 | 7 | 2 | 1 |
| Patata(temprana) | 3 | 2 | 5 | 0.5 | 0.5 |
| Remolacha azucarera (+hojas) | 5 | 2 | 8 | 1.5 | 1.5 |
| Remolacha azucarera (-hojas) | 2 | 1 | 2.5 | 0.5 | 0.5 |
| Alfalfa* | 30 | 8 | 20 | 25 | 4 |
| Trébol violeta* | 30 | 7 | 25 | 22 | 5 |
| Gramíneas/trébol blanco* | 10 | 3 | 5 | 20 | 5 |
| Heno* | 20 | 7 | 21 | 20 | 5 |
| Ensilado* | 25 | 7 | 25 | 20 | 5 |
| Colza forrajera | 5.5 | 1.5 | 5.5 | 3.5 | 0.5 |
| Centeno forrajero | 4.5 | 1.5 | 6 | 1.5 | 0.5 |
| Remolacha forrajera(+hojas) | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 |
| Remolacha forrajera(-hojas) | 4 | 1 | 6 | 1 | 1 |
| Ensilado de herbáceas | 5.5 | 2 | 5 | 3.5 | 0.5 |
| Maíz forrajero | 3 | 2 | 4 | 1.5 | 1 |
| Girasol | 2.5 | 1 | 4 | 3.5 | 0.5 |
| Mostaza | 4.5 | 0.8 | 4 | 4 | 0.5 |
| Col forrajera | 6.5 | 2 | 7.5 | 4.5 | 1.5 |

Cuadro 2. Continuación.

| Cultivo | Nitrógeno | Fosfato | Potasa | CaO | MgO | |
|-------------------------|------------------------------|----------------|---------------|------------|------------|---|
| | (1 kg t⁻¹) | | | | | |
| Nabo forrajero | 2.5 | 1.5 | 5.5 | 2.5 | 1 | |
| Zanahoria | 2 | 1 | 2.5 | - | - | |
| Hojas de zanahoria | 4 | 1 | 5 | - | - | |
| Remolacha roja | 2 | 1 | 3 | - | - | |
| Hojas de remolacha roja | 4 | 1 | 5 | - | - | |
| 1 kg <u>Coles</u> | <u>3.5</u> | <u>1.5</u> | <u>5</u> | <u>2</u> | <u>0.8</u> | t |

¹de peso fresco a menos que se indique otra cosa.

*por tonelada de materia seca

Tomado de Lampkin (2001)

Sin embargo existen algunas dificultades: a pesar de las prolongadas investigaciones realizadas sobre la fijación de nitrógeno por las leguminosas, todavía no hay una forma segura de cuantificar la cantidad de nitrógeno fijado. Se ha analizado las muestras de otras aportaciones, como estiércol de vaca o gallinaza, y de este modo es posible hacer estimaciones según su contenido y disponibilidad de nutrientes, pero estas cifras han de considerarse con precaución, puesto que los materiales son muy variables y las condiciones de almacenamiento les influyen mucho.

Los balances de nutrientes deben considerarse únicamente como una guía aproximada que indica si una rotación esta equilibrada en sus nutrientes. Realmente no se puede realizar la vigilancia del suelo o el estado del cultivo, que en la práctica proporcionan la mejor indicación sobre la necesidad de realizar medidas correctoras (Lampkin, 2001).

2.6 Antecedentes sobre la rotación de cultivos.

Dentro de los trabajos relacionados con el tema, se presentan algunos que tienen más relevancia (Cuadro 3).

Cuadro 3. Trabajos realizados en rotación de cultivos.

| Autor | Título | Importancia |
|----------------|---|--|
| Boris (2004) | Cultivo de tomate | Alta fructificación y resistencia a plagas. |
| Andino (2000) | Cultivo de jitomate. | Alta tasa de germinación y mayor resistencia al trasplante. |
| León (2009) | Evaluación ambiental de la producción de cultivo de jitomate. | Crecimiento vegetativo óptimo y alta fructificación. |
| Huerta (2005) | Cultivo de Zanahoria | Buen grosor de raíz y alta producción. |
| Guerra (2009) | Producción de semillas forrajeras (trébol) | Tamaño, máxima calidad y desarrollo en etapas fenológicas y poder germinativo. |
| Fleita (2011) | Rotación jitomate-trébol-zanahoria | Obtiene fijación de nitrógeno con un número considerable de nódulos de raíz. |
| García(2007) | El cultivo de Zanahoria | Excelente calidad en el grosor de la raíz. |
| Morales (2004) | Cultivo de zanahoria | Coronas de 3.8-10cm <u>diámetro.</u> |

2.7 Características de las especies utilizadas en el diseño de la rotación de cultivos.

2.7.1 Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

El jitomate pertenece a la familia Solonaceae grupo, de plantas jóvenes que desarrollan una raíz pivotante y un sistema subordinado de ramificaciones laterales. En las plantas adultas, tanto las raíces laterales como las raíces

adventicias se extienden horizontalmente a una distancia de 0.90 a 1.50 m (Fig.1) (Edmond, 1978).



Figura 1 Planta de jitomate.

Presenta un tallo principal y un sistema de ramificaciones laterales. Las hojas son alternas, compuestas, relativamente grandes y bien desarrolladas, con folíolos algo anchos en algunas variedades. Tiene pelos glandulares que al romperse liberan olor. Las flores individuales tienen un cáliz verde, una corola amarillo azufrada, cinco o más estambres y un solo pistilo supero. El fruto tiene un peso de 113 a 340 g, forma achatada, globular o aplanada, color amarillo, rosado o rojo. Su jugo contiene azúcares solubles, varios ácidos orgánicos, sales minerales y grandes cantidades de vitamina C (Edmond, 1978).

2.7.2 Ebol (*Vicia sativa* L.)

Es una leguminosa que pertenece a la familia Fabaceae. Es una herbácea que presenta hojas pinnadas provistas de zarcillo terminal dividido. La flor de 15-17 mm de longitud, amarillenta al principio, violáceas en su madurez. Cáliz inflado en la base, con 5 dientes vellosos, puntiagudos y soldados. El fruto es una vaina de 2x1 cm, sin pelos. Hojas con zarcillo dividido, largo y enrollado, con 5 pares de folíolos, ovalados, pelos radicales opilosos y con punta (sin mucrón a diferencia de *Vicia sativa* L.). Estípulas enteras y pilosas. Tallo sin alas, estriado. Florece durante el verano. Semillas de tamaño menor que *Vicia sativa* L. Crecimiento anual de ciclo invernal, que se caracteriza por su abundante producción de pasto durante el período invernal y principios de primavera. Posee un hábito de crecimiento prostrado, tallos largos, frágiles y mayor capacidad de respuestas ante la uniformidad de siembra. Como forrajera, presenta alto valor nutritivo y disminuye los problemas de hipocalcemia. Además son grandes mejoradoras de suelos, aumentando su fertilidad. Cohabita muy bien con cereales de invierno y su uso está indicado también como abono verde (Fleita, 2011).

2.7.3 Zanahoria (*Daucus carota* L.)

La zanahoria pertenece a la familia Umbeliferae y es una herbácea anual (Fig. 2). El tallo de la zanahoria es corto y aplanado durante la primera estación

de crecimiento y largo y erecto durante la segunda. Las hojas son compuestas y la inflorescencia es una umbela compuesta y conspicua. Las flores individuales son pequeñas, hermafroditas y blancas, siendo polinizadas en gran parte por los insectos. Los frutos reciben el nombre de semillas y son pequeños, secos e indehiscentes. Cada fruto individual contiene una semilla. El embrión germina lentamente y requiere una cama de siembra fina y friable además de suministros uniformes de humedad (Edmond, 1978).



Figura 2. Planta de zanahoria.

Un corte transversal de la raíz succulenta de la zanahoria, muestra dos regiones distintas, la exterior e interior. Los tejidos exteriores constan de un peridermo delgado y una banda relativamente arriba del tejido almacenador. El peridermo reduce la transpiración a un mínimo y resiste los ataques de organismos invasores, y el tejido almacenador de las raíces maduras almacena cantidades relativamente grandes de almidón y caroteno, (precursor de la vitamina A) y cantidades de azúcar, tiamina y riboflaxina. La región interior o corazón consta de un xilema o médula. Las zanahorias de alta calidad contienen un corazón interior relativamente pequeño. Los científicos han demostrado que los tejidos exteriores contienen más caroteno que los interiores (Edmond, 1978).

2.8 Características generales y agroecológicas de las especies.

Las especies bajo estudio corresponden a tres familias botánicas diferentes; sin embargo sus requerimientos de pH son similares, de aquí que puedan establecerse en la misma cama de cultivo durante la rotación (Cuadros 4, 5).

Cuadro 4. Características generales y agroecológicas de las especies (Powers y Mc Sorley 2000; Alcazar, 2010).

| Especie | Jitomate | Ebol | Zanahoria |
|-------------------|--|-----------------------|-------------------------|
| Nombre científico | <i>Lycopersicum esculentum Mill.</i> | <i>Vicia sativa L</i> | <i>Daucus carota L.</i> |
| Familia | Solonaceae | Fabaceae | Umbeliferae |

| Cuadro 4. | | Continuación | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| Especie | Jitomate | Ebol | Zanahoria |
| Periodo de luz (h) | 8-12 | 6-12 | 8-12 |
| Temperatura (°C) | 22-25 | 23-25 | 23-28 |
| Humedad (Tensiometro Unidades adimensional) | 2-6 | 4-6 | 4-6 |
| Textura de suelo | Franco arenoso- arcilloso arenoso | Franco arenoso- arcilloso arenoso | Franco arenoso |
| pH | 5.9-6.5 | 6.5 | 5.5-5.8 |
| Ciclo de vida | 135 días Perenne | 45 días Perenne | 105 días Bianual |
| Cosecha (meses después de la siembra) | 4.5 | 1.5 | 3.5 |

Cuadro 5. Características de complementariedad entre las especies en rotación (Alcazar, 2010; Powers y McSorley, 2000).

Características morfológicas y fisiológicas

| Hortaliza | Parte comestible | Sistema radical | Requerimiento nutrimental |
|------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Jitomate | Fruto | Profunda | Consumidor Fuerte |
| Ebol | Hojas | Media | Donante |
| Zanahoria | Raíz | Media | Consumidor <u>Ligero</u> |

Preguntas de investigación.

Este trabajo se diseñó para dar respuesta a las siguientes interrogantes:

- 1) ¿La rotación de cultivos de tres hojas, mantiene la fertilidad del suelo, comparada con la práctica del monocultivo?
- 2) ¿En una rotación de cultivos, la producción de zanahoria se verá beneficiada bajo este sistema, obteniéndose mayor rendimiento, en comparación de una producción bajo monocultivo?

III-Hipótesis

La rotación de cultivos de tres hojas (policultivo), mantiene la fertilidad del suelo y mejora el rendimiento de los cultivos, a diferencia de cuando éstos se manejan por la técnica de monocultivo.

IV.-Objetivo general.

Evaluar el efecto de la rotación de tres cultivos (*Lycopersicum esculentum* Mill, *Vicia sativa* L. y *Daucus carota* L.), en la fertilidad del suelo.

Objetivos particulares

- 1). Evaluar la condición nutrimental (N, P, K) del suelo antes y después de cada cultivo.
- 2). Comparar la condición nutrimental del suelo entre los sistemas de policultivo y monocultivo.
- 3) Evaluar el rendimiento para cada cultivo bajo el sistema de rotación.
- 4) Comparar el rendimiento de la especie cultivada (zanahoria) en ambos sistemas.

V.-Metodología.

La metodología empleada en la presente investigación contempló las etapas descritas a continuación:

5.1 Obtención de Germoplasma.

El germoplasma de jitomate y zanahoria se compró en la casa comercial COBO S.A. y las semillas de ébol se obtuvieron en “La Finca Orgánica Paraíso Los Cedros”, ambas en el D.F.

5.2 Preparación de la cama de siembra.

Se preparó una cama biointensiva (Jeavons, 2002), a cielo abierto, en el Centro de Capacitación en Agricultura Urbana “Chimalxochipan”, la cual tuvo un área de 6.3 x 0.9 m y una profundidad de 0.6 m con exposición a la luz directa mínima de 6 horas, con acceso al agua para riego y sin contaminación química (Figura 3).



Figura 3. Cama biointensiva.

La cama biointensiva (Jeavons, 2002-2007), se caracterizó por una doble excavación que consistió en remover el suelo sin mezclar las capas en los primeros 30 cm, dividiendo toda la cama en varias secciones, después se removieron los otros 30 cm colocando la capa inferior al fondo de la cama y la superior en la superficie, así simultáneamente se agregó materia orgánica, hojarasca y ceniza. Esto tuvo como objetivo enriquecer el suelo y con la doble excavación, favorecer una mayor aireación al sustrato para permitir el desarrollo óptimo del sistema radical de las especies.

5.3 Muestras de suelo para su análisis

Una vez preparada la cama biointensiva, se tomaron tres muestras compuestas del sustrato (Fig. 4), tomando una de las dos partes extremas y el centro, a una profundidad de 30cm equivalente a 100g. Al final se tomaron las tres muestras y se mezclaron para obtener una mezcla compuesta, la cual se secó a temperatura ambiente y se tamizó con tamiz de 2mm de diámetro (Figura 4). El

análisis edáfico se realizó con base en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT, 2000).



Figura 4. Toma de muestras del sustrato.

Los parámetros edáficos considerados como indicadores de la fertilidad del suelo fueron: N, P, K, pH, porcentaje de materia orgánica y, textura por el método Bouyoucos (Braver, 1980 y Jackson, 1982). El Nitrógeno por el método semimicro-kjeldahl modificado para incluir nitratos (Bremmer, 1965); el fósforo extractable por Bray y Kurtz 1, modificado (Bray, 1945; CSTPA, 1974); fósforo extractable por el método Olsen (Olsen, 1965); potasio extractable en agua por el método de extracción rápida (Jackson, 1964); pH activo por el método potenciométrico, relación 1:2 con H₂O (Jackson, 1964) y materia orgánica por el método de Walkley y Back (Jackson, 1964).

Los análisis edáficos se realizaron antes de la siembra de cada cultivo y después de la cosecha tanto en el policultivo como en el monocultivo. Para cada muestra se realizaron tres repeticiones.

5.4 Diseño de la rotación.

Una vez preparada la cama biointensiva, esta se dividió en dos secciones de 0.9x3 m cada una. En la sección I se diseñó la rotación de cultivos y en la sección II el monocultivo. La rotación de cultivos en el tiempo, estuvo integrada por las especies: jitomate guaje-ebol-zanahoria. El primer cultivo de la rotación fue el jitomate guaje, el cual se germinó previamente en un almácigo y una vez que las plántulas alcanzaron 10 cm de altura, éstas se trasplantaron a la cama biointensiva (Barbado, 2009).

La plantación se realizó mediante la técnica de tres bolillo (Jeavons 2007). Se mantuvo una separación de 40 cm por planta en un área de 0.9x3m. La temperatura ambiental osciló entre 22.8 y 25°C, rango recomendado para estos cultivos (Edmond, 1978 y Lampkin, 2001), para mantener dicha temperatura, se colocó una cubierta de plástico durante cuatro meses, que es el ciclo productivo del jitomate. Al mismo tiempo en la sección II (monocultivo) de la cama, se sembró

la zanahoria. Es importante señalar que este cultivo por ser la hortaliza de ciclo de vida más corto, será el único que se compare en su rendimiento, tanto en poli como en monocultivo.

La siembra de la zanahoria se hizo siguiendo un patrón de tres bolillo, a siembra directa, con una separación de 30cm entre plantas, ocupando un área de 3m².

5.4.1 Primer cultivo de la rotación (jitomate).

Después del trasplante y una vez establecidas las plantas de jitomate, en cada una de ellas y cada 15 días se evaluó: altura, cobertura, número de hojas, (Hunt, 1989), porcentaje de supervivencia, tiempo de floración, número de flores y frutos por planta. Al momento de la cosecha (4.5 meses), se cuantificó el tamaño y peso de los frutos por planta.

Finalmente, todos los residuos de la cosecha (remanentes de los tallos) se colocaron sobre la superficie de la cama de cultivo como abono verde y para favorecer la humedad del suelo. Previo a esta actividad, se tomaron nuevamente muestras de suelo para cuantificar N, P, K y analizar la fertilidad del suelo.

5.4.2 Segundo cultivo de la rotación.

Se utilizó una leguminosa (donante de nitrógeno), en este caso el Ebol (*Vicia sativa L.*), la cual se sembró a tres bolillo. La temperatura óptima para el cultivo es de 23° a 28 °C, por lo cual, se trabajó a cielo abierto.

Después de la siembra se evaluó el porcentaje de emergencia y supervivencia. Se calculó el porcentaje de cobertura vegetal como un indicador de éxito en el establecimiento y al final del desarrollo (1.5 meses), se realizó la cosecha, y se evaluó la formación de nódulos en sus raíces como indicador de fijación de nitrógeno.

Los remanentes de la cosecha se colocaron sobre la superficie de la cama como abono verde. Previo a esta actividad, en este cultivo, también se tomaron muestras de suelo para cuantificar N, P, K y analizar la fertilidad del suelo.

5.4.3 Tercer cultivo de la rotación (zanahoria).

Se sembró la zanahoria por semilla en un patrón tres bolillo, con una separación de 40 cm entre plantas. La temperatura para el cultivo se mantuvo entre los 18.3 - 23.9 °C, manteniendo para esto la cubierta plástica (Edmond, 1978; Lampkin, 2001).

Después de la siembra se evaluaron el porcentaje de emergencia y cada 15 días: altura, cobertura, número de hojas del tallo y supervivencia. La cosecha se realizó después de 3 o 4 meses (Edmond, 1978; Lampkin, 2001). Se cuantificó el tamaño y el peso fresco de las zanahorias. Los remanentes de la cosecha se colocaron sobre la superficie de la cama como abono verde. Previo a esta actividad, en este cultivo, nuevamente se tomaron muestras de suelo para cuantificar N, P, K y analizar la fertilidad del suelo.

5.5 Monocultivo (zanahoria).

El cultivo de la zanahoria se sembró durante tres temporadas consecutivas, y cada una coincidió con la siembra de los cultivos en rotación.

Las zanahorias se sembraron de la misma manera descrita que en la rotación de cultivos y se evaluaron las mismas variables de respuesta, y después de cada cultivo también se tomaron muestras del suelo para conocer la condición nutrimental del sustrato después de cada ciclo del cultivo.

5.6 Costos de producción.

Se evaluó el índice costos/ beneficio (ICB) para cada cultivo, con base a los costos netos de los materiales utilizados en la construcción del sistema (cama biointensiva) y tomando en cuenta la mano de obra utilizada (Dawn, 1991). Si el resultado del cociente resulta mayor que 1, significa que los ingresos netos son superiores a los egresos netos. En otras palabras, los beneficios (ingresos) son mayores a los sacrificios (egresos) y, en consecuencia, el proyecto generará riqueza. Si el resultado es igual a 1, los beneficios igualan a los sacrificios sin generar riqueza alguna. Por tal razón sería indiferente ejecutar o no el proyecto (Dawn, 1991). La fórmula que se utilizó para esto fue:

$$CB = \frac{BT}{CTP}$$

CB= índice costo/beneficio

BT=beneficios totales

CTP= costos totales de producción

5.7 Análisis estadístico

Para analizar los resultados de las variables edáficas antes del establecimiento de los cultivos (N, P, K, M.O. y pH) y para compararlos tanto en el monocultivo, como en policultivo, se aplicó una prueba t de Student, y para analizar los resultados de las mismas variables en el sustrato en las tres etapas del monocultivo y policultivo se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con tres repeticiones.

VI Resultados.

6.1- Atributos físicos y químicos del sustrato antes de los cultivos

La textura fue franco arenosa, con una concentración de materia orgánica (M.O) y potasio (K) alta, pero bajo contenido en nitrógeno (N) y fósforo (P) (Cuadros 6 y 7) (NOM-021-RECNAT, 2000); sin embargo, tales concentraciones fueron suficientes para que el sistema de monocultivo y el de rotación se establecieran (1).

También cabe mencionar que al hacer un cultivo consecutivo de la misma especie, los nutrientes del suelo se agotan, debido a que las raíces de las plantas o individuos de la misma especie, siempre hacen uso de los recursos nutrimentales a la misma profundidad del suelo, ocasionando una competencia entre ellos (Jeavons, 2002).

6.1.1 Composición nutrimental del sustrato después de tres cultivos consecutivos de zanahoria (monocultivos).

El sustrato en el monocultivo (zanahoria), después de tres etapas de cultivo consecutivas, presentó un incremento en el contenido de nitrógeno de un 0.10 a un 0.19% y del fósforo de 3.88 a 15 mg kg⁻¹ y, un decremento del potasio de 1.64 a 0.01 cmol kg⁻¹ (Cuadro 6).

El decremento en potasio, presente durante los tres cultivos (etapa I a la IV) fue debido a que la zanahoria es un cultivo altamente demandante de potasio (3).

Sosa *et al.* (2013), mencionan que por cada tonelada de zanahoria fresca, el cultivo puede remover del suelo 2.8 kg de N, 0.5 kg de P y 4.8 kg de potasio.

El incremento del N y P, en el sustrato de la cama de cultivo, fue como resultado de la colocación de los rastrojos que quedaron después de la cosecha de cada cultivo de zanahoria, estos rastrojos a través de las tasas de mineralización, liberaron nitrógeno y fósforo. Sierra (1990), menciona, que los residuos de cosecha de los cultivos dejados sobre la superficie del suelo, normalmente persisten por más tiempo que los incorporados, lo que genera una disponibilidad diferencial de nutrientes, en especial del N.

Los rastrojos aportados al suelo, necesitan ser mineralizados para que el N y otros elementos se tornen disponibles, lo que ocurre con la actividad de los microorganismos. En general Sierra (1990), menciona que con el tiempo, se tiende a producir una redistribución de los nutrimentos (N,P,K) en el perfil superficial del suelo, obteniéndose una mayor concentración de elementos nutritivos en los primeros 5 cm del suelo.

Por otro lado, los rastrojos al descomponerse generan humus, especialmente en los primeros 5 cm de la superficie del suelo (Raggi, 1990), el cual se caracteriza por tener carga eléctrica negativa capaz de retener cationes. La materia orgánica, al contribuir con coloides orgánicos, aumenta la capacidad de intercambio de los cationes (CIC) del suelo, teniendo como consecuencia directa un aumento significativo de la fertilidad de éste.

En general, el cambio en las concentraciones de nitrógeno se presentaron de la siguiente manera en los tres monocultivos consecutivos de zanahoria: en la etapa I (primer monocultivo), el N fue medio y no presentó modificaciones, en las etapas II-IV (segundo a tercer monocultivos consecutivos de zanahoria), por lo que el nivel de N se mantuvo en general en un nivel alto (NOM-021-RECNAT, 2000) (Cuadros 6 y 8).

Por otro lado al igual que el nitrógeno, el P es un elemento esencial en el desarrollo de las plantas. Los requerimientos por parte de éstas son diez veces más bajos que de N, siendo incluso menor que de K, lo cual explica porque en el monocultivo con rastrojos, el N y el P se incrementaron en el sustrato en relación al potasio.

Gran parte del P presente en los suelos, normalmente no es aprovechable por las plantas. Sus formas solubles se fijan con gran facilidad con la fase sólida del suelo, siendo incluso su lixiviación nula o muy escasa (con excepción de suelos muy arenosos). En general, su movimiento no supera los 20 mm (Tisdale y

Nelson, 1991). La disponibilidad del P se ve estimulada por la mineralización del N, encontrándose una mayor concentración de este elemento, donde exista una mayor concentración de N.

Los rastrojos, al quedar sobre la superficie, permiten obtener suelos más húmedos, con mayor contenido de agua. De este modo, se mejora la velocidad de difusión del P hacia las raíces, las cuales proliferan en esa zona (Phillips, 1985).

Es necesario considerar que la composición del sustrato de la cama biointensiva, también proporcionó ingredientes ricos en fósforo, como el estiércol de caballo, la composta y la roca fosfórica, los cuales se fueron degradando con el tiempo, de tal manera que la mineralización total de la materia orgánica pudo completarse hasta después de un año.

Por otro lado la zanahoria es un cultivo que requiere una dosis baja en fósforo (Alcántar 2009), de aquí que las cantidades de fósforo en el sustrato de la cama de cultivo no hayan disminuido significativamente (Cuadros 6 y 8). Es importante resaltar que el sustrato antes de iniciar con los monocultivos presentó una concentración de fósforo baja y después de los tres monocultivos se incrementó hasta alcanzar un rango alto de acuerdo a la (NOM-021-RECNAT 2000) (4).

El potasio, después de los tres monocultivos consecutivos disminuyó de 1.64 a 0.01 $\text{cmol} + \text{kg}^{-1}$, esto como consecuencia del alto requerimiento de potasio por la zanahoria (Cuadros 6 y 10)(4). En general, la absorción de K por las plantas es elevada, a menudo 3 ó 4 veces la del P e igual a la del N. Esta tendencia fue similar a la observada en este trabajo, donde el N y el P se incrementaron y el potasio disminuyó.

En general los tres macronutrientes presentaron durante los tres cultivos consecutivos de zanahoria concentraciones que de acuerdo a la NOM-021-RECNAT (2000), oscilaron desde muy bajos a muy altos; pero que cubrieron los requerimientos nutritivos necesarios para el desarrollo de la zanahoria, después de haber sido cultivada en tres ciclos consecutivos.

6.1.2 pH

El pH del suelo, al tomar la lectura antes del establecimiento del monocultivo, fue de 8.2, el cual no cambio en los ciclos posteriores. A pesar de que la literatura recomendada para el cultivo de zanahoria está en un intervalo de pH de 5.5-7.5, en el sistema de cultivos no se registraron evidencias de insuficiencia nutrimental con el pH de la presente investigación (Cuadros 6 y 9) (4)

6.1.3 Materia orgánica

El alto contenido de materia orgánica confiere a los suelos una mayor

tendencia a ser ácidos, por un proceso de humificación (lento) para obtener ácidos húmicos y fúlmicos. Principalmente este efecto obedece a la presencia de grupos funcionales en la superficie de la materia orgánica que permiten el intercambio H^+ con la solución del suelo (Sainz *et al.*, 2005)(2), de aquí que el sustrato utilizado en el monocultivo, se haya amortiguado y tuviera un pH básico, esto permitiendo el establecimiento de los cultivos con resultados positivos (NOM 021 REC NAT 2000).

El contenido de materia orgánica, fue alto según la (NOM 021 REC NAT 2000) en la etapa I (4.1%), incrementándose en las etapa II hasta alcanzar 4.9% es decir un 19.51% mayor que al inicio Cuadro 6).

El decremento de la materia orgánica de las etapas II-IV, (Cuadro 6), fue debido al cultivo secuencial de la zanahoria, sin embargo dicho decremento se mantuvo en un rango medio de acuerdo (NOM 021 REC NAT 2000) (3.4%), gracias al suministro de remanentes de materia orgánica de los residuos de las cosechas de los cultivos intermedios (Alcantar, 2009).

Cuadro 6. Análisis físico y químico del sustrato bajo el sistema de monocultivo.

| Etapas del cultivo (zanahoria) | pH | M.O. | N | P | K |
|--------------------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------|---------------------|
| | | ————— (%) ————— | | | mg kg ⁻¹ |
| I Mono | 8.20 ± 0.057 | 4.1 ± 0.577 | 0.10 ± 0.098 | 3.88 ± 0.20 | 1.64 ± 0.646 |
| II Mono | 8.3 ± 0.01 | 4.9 ± 0.47 | 1.04 ± 0.013 | 20 ± 0 | 0.99 ± 0.092 |
| III Mono | 8.49 ± 0.03 | 3.1 ± 0.32 | 0.18 ± 0.08 | 10.6 ± 5.3 | 0.01 ± 0.017 |
| IV Mono | 8.2 ± 0.06 | 3.4 ± 0.33 | 0.19 ± 0.07 | 15 ± 2.5 | 0.01 ± 0.029 |

M.O materia orgánica

6.2 Características del sustrato después de una rotación de tres cultivos consecutivos (jitomate-ebol-zanahoria) (policultivo).

El análisis del sustrato a lo largo de la rotación, presentó las siguientes características: el pH se mantuvo alcalino, el porcentaje de materia orgánica disminuyó de 4.1 a 2%, el nitrógeno y el fósforo aumentaron, y el potasio

disminuyó. En general los nutrientes no sufrieron decremento en sus concentraciones, presentando valores de muy bajos a muy altos (NORMA 021 RECNAT 2000), a excepción del potasio que disminuyó de 1.64 a 0.01 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$, colocando al sustrato en un rango “muy bajo”.

6.2.1 pH.

Previo a la rotación (etapa I), el pH del sustrato fue de 8.2 (Cuadros 7 y 9), mismo que en las etapas II y III (jitomate y ebol) subió a 8.6 y 8.8 unidades, alcanzando un nivel de fuertemente alcalino (NORMA 021 RECNAT 2000).

Con respecto a la profundidad en los primeros 15 cm se encontró el pH de 8.2 al inicio del sistema y al final bajó a 7.8, entre los 15 y 35 cm de profundidad.

Tal comportamiento se atribuye a la evapotranspiración del sistema que posiblemente provocó una concentración de sales; así mismo, la alta alcalinidad pudo deberse al pH alcalino del agua de riego (8.2). En general, la variación de pH encontrada en la profundidad de la cama (8.2-7.8), se pudo deber a la gran cantidad de materia orgánica con la cual se preparó el sustrato de la cama biointensiva (sistema buffer) (Durán, 2005).

Por otro lado la materia orgánica en la etapa I (antes de los cultivos) fue alta (NORMA 021 RECNAT 2000), pero al incorporar el primer cultivo (jitomate) etapa II, la materia orgánica disminuyó (Cuadros 7 y 8) y al colocar el segundo cultivo (ebol), etapa III, ésta también disminuyó, esto debido a que los cultivos demandan una gran cantidad de materia orgánica para su crecimiento. Para la etapa IV al cosechar el último cultivo (zanahoria), la materia orgánica se colocó en un rango medio. A pesar de esto, el contenido de materia orgánica presente, al mineralizarse liberó nutrientes, entre ellos nitrógeno, responsable de la alta correlación comúnmente encontrada entre el contenido de materia orgánica del suelo y su fertilidad (Alcántar, 2009).

6.2.2 Nitrógeno, fósforo y potasio

El N, en general se mantuvo en un nivel medio en las etapas de investigación. No obstante se presentó una disminución al incorporar el cultivo de (jitomate) etapa II, situándolo de un nivel medio a muy bajo. Sin embargo en la tercera etapa volvió a incrementar hasta alcanzar un porcentaje de 0.13, atribuido al ebol, planta leguminosa donadora de nitrógeno. Finalmente en la IV etapa que correspondió al cultivo de zanahoria el nitrógeno del sustrato volvió a incrementar su contenido (Cuadros 7 y 8).

El P del suelo, presentó una tendencia a aumentar, durante las tres etapas del sistema, siendo la última etapa donde se registró el menor incremento (NORMA 021 RECNAT 2000) con excepción de la primera etapa donde aumentó de un nivel bajo a medio. En general el fósforo se mantuvo en un nivel medio durante la rotación (Cuadros 7 y 8).

El K en la etapa I fue alto (antes de incorporar el primer cultivo), (NORMA 021 RECNAT 2000) y, al incorporar el primer cultivo (jitomate), el potasio disminuyó de 1.64 a 0.79 c mol₊ kg⁻¹ (Cuadros 7 y 10) y, al incorporar el segundo cultivo (ebol), disminuyó a 0.61 c mol₊ kg, más y se colocó en un rango medio. En la etapa IV después de cosechar el último cultivo (zanahoria) el potasio también disminuyó y se colocó en un rango muy bajo, cerca de cero, esto debido a que la zanahoria es un fuerte demandante de potasio (2).

Cuadro 7. Análisis físico y químico del sustrato, para el policultivo (rotación).

| Etapas de la rotación | | pH | M.O | N | P | K |
|-----------------------|------|--------------|--------------|---------------|---------------------|-------------------------------------|
| | | | (%) | | mg kg ⁻¹ | c mol ₊ kg ⁻¹ |
| I | Poli | 8.2 ± 0.057 | 4.1 ± 0.577 | 0.10 ± 0.0098 | 3.88 ± 0.207 | 1.64 ± 0.646 |
| II | Poli | 8.6 ± 0.043 | 1.7 ± 0.35 | 0.03 ± 0.0019 | 10.93 ± 0.901 | 0.79 ± 0.126 |
| III | Poli | 8.8 ± 0.057 | 1.3 ± 0.4 | 0.13 ± 0.0013 | 11 ± 0.6 | 0.61 ± 0.001 |
| IV | Poli | 8.7 ± 0.0173 | 2.01 ± 0.016 | 0.15 ± 0.001 | 5.93 ± 0.11 | 0.01 ± 0.014 |

Cuadro 8. Clasificación del sustrato en función del análisis químico (materia orgánica, N, P) (NORMA 021 RECNAT , 2000).

| Elemento/clase | M.O | N-total | Fósforo-Olsen |
|--------------------------|---------|-----------|---------------------|
| Para suelo no volcánicos | % | | mg kg ⁻¹ |
| Muy bajo | <0.5 | <0.05 | |
| Bajo | 0.6-1.5 | 0.05-0.10 | <5.5 |
| Medio | 1.6-3.5 | 0.10-0.15 | 5.5-11 |
| Alto | 3.6-6.0 | 0.15-0.25 | >11 |
| Muy alto | >6.0 | >0.25 | |

Cuadro 9. Clasificación del suelo en función del pH(NORMA 021 RECNAT, 2000).

| Clasificación | pH |
|-----------------------------|-----------------|
| Fuertemente acido | < 5.0 |
| Moderadamente acido | 5.1-6.5 |
| Neutro | 6.6-7.3 |
| Medianamente alcalino | 7.4-8.5 |
| <u>Fuertemente alcalino</u> | <u>< 8.5</u> |

Fuente: NORMA 021 RECNAT (2000).

Cuadro 10. Clasificación del suelo en función del análisis químico (K)(NORMA 021 RECNAT (2000).

| Clase | K |
|--------------|-------------------------|
| | c mol+ kg ⁻¹ |
| Muy baja | menor 0.2 |
| Baja | 0.2- 0.3 |
| Media | 0.3- 0.6 |
| <u>Alta</u> | <u>mayor 0.6</u> |

6.3.- Comparación en el contenido de (N P K) entre el monocultivo y la rotación

La fertilidad del sustrato se mantuvo después de la rotación de los tres cultivos, donde éstos se establecieron satisfactoriamente, indicando que si los cultivos se desarrollan bien, el sustrato puede mantener una fertilidad adecuada.

El pH en ambos experimentos se mantuvo medianamente alcalino, la literatura menciona que el rango óptimo para los tres cultivos utilizados en este trabajo, es de 5.5-7.5, y el pH que presentó el sustrato en este estudio fue de 8-8.5; sin embargo, este no afectó el desarrollo de los tres cultivos, ya que en ningún momento se presentaron deficiencias nutrimentales.

La materia orgánica en el monocultivo, presentó una disminución de 4.1%-3.4% (rango alto) y en el policultivo de 4.1-2.0%, (rango medio) esto indica que al final de los dos cultivos experimentales se conservó la fertilidad del sustrato, y que por lo tanto, éste podría ser utilizado para sostener el cultivo de otras especies en años siguientes.

La textura fue franco-arenosa en todas las etapas de ambos sistemas de producción, la cual fue óptima para el establecimiento de las tres especies.

El N fue mayor en el monocultivo por 0.4% en comparación con el policultivo; sin embargo fue suficiente para el establecimiento de las tres especies, su concentración fue alta al final de los monocultivos y el policultivo (Cuadro 11).

El P fue mayor en el monocultivo con una diferencia de 9 mg kg⁻¹, en comparación con el policultivo (Cuadro 11).

El K fue igual en ambos agroecosistemas, y su rango se consideró bajo, ya que los cultivos finales (zanahoria), son altamente demandantes de potasio (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comparación del contenido de N-P-K.

| Etapas | N (%) | P mg kg⁻¹ | K c mol+ kg⁻¹ |
|----------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Monocultivo IV | 0.19±0.0007 | 15±2.5 | 0.01±0.0029 |
| Policultivo IV | 0.15±0.001 | 5.93±0.11 | 0.01±0.0014 |

6.4 Variables Características morfológicas de las especies en monocultivo y policultivo.

Las características morfológicas que se evaluaron en este trabajo, para cada uno de los cultivos, fueron: altura del vástago, cobertura, follaje, longitud y peso del fruto (raíz).

6.4.1 Altura del policultivo (zanahoria) y del monocultivo (zanahoria).

La altura no presentó diferencias estadísticas significativas positivas ($p \geq 0.05$), en relación a los dos tratamientos: policultivo (zanahoria) y monocultivo (zanahoria) (Figura 5).

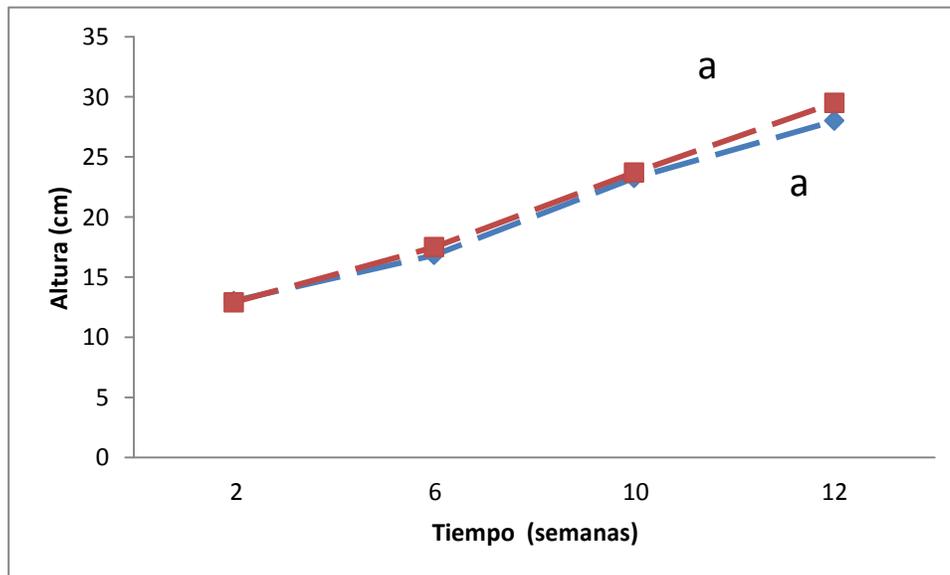


Figura 5. Altura de las plantas de zanahoria para el ■ Monocultivo y ◆ Policultivo

Esto fue debido a que tanto en el monocultivo como en el policultivo, las concentraciones N, P, K, permanecieron en niveles óptimos para las tres especies (jitomate, ebol y zanahoria) en una rotación de un año.

Es importante subrayar que aunque el monocultivo de zanahoria presentó la misma altura en su follaje, que en el policultivo, en este último además de obtener plantas de zanahoria con las mismas características que en el monocultivo (la misma altura), se obtuvo la cosecha de otras dos especies como el jitomate y el ebol, lo cual ya proporciona diversidad en la dieta del consumidor, sin sacrificar la calidad de la zanahoria.

En un estudio de rotación (5) se encontró, que al combinar especies de rápido crecimiento como sorgo, mijo, crotalaria, gandul de ciclo corto y frijol lablab, éstos pueden ser muy útiles como cultivos de cobertura entre dos cultivos comerciales o en situaciones donde hay escasez de agua. Estos cultivos pueden hacer uso de la humedad remanente en el suelo para crear biomasa y al morir naturalmente con la ausencia de agua, la biomasa remanente protegerá al suelo cuando comiencen las lluvias y, por lo tanto, se incrementará la infiltración de agua en el suelo: habrá más agua disponible para el siguiente cultivo comercial y, por ende, se formará más biomasa. Esto sucedió en el caso de este trabajo de tesis, en donde el ebol, leguminosa de rápido crecimiento, al intercalarse entre los dos cultivos comerciales, jitomate y zanahoria, fijó nitrógeno atmosférico, lo cual se comprobó con la formación de una gran cantidad de nódulos (bacterias rhyzobium-raíces) en sus raíces (75% plantas noduladas), además de que presentó la característica antes mencionada de hacer un uso de la humedad remanente en el suelo, estos dos aspectos favorecieron el desarrollo y rendimiento, de las especies comerciales.

Generalmente, es recomendable una rotación de especies de diferentes familias y con diferentes necesidades nutricionales. El nitrógeno es usualmente más consumido por las hortalizas de hoja, mientras que las raíces, los tubérculos, los bulbos y los rizomas necesitan más potasio y las leguminosas extraen más fósforo del suelo.

6.4.2 Cobertura del policultivo (zanahoria) y del monocultivo (zanahoria).

La cobertura no presentó diferencias estadísticas significativas positivas ($p \geq 0.05$), en relación a los dos tratamientos de policultivo (zanahoria) y monocultivo (zanahoria) (Figura 6).

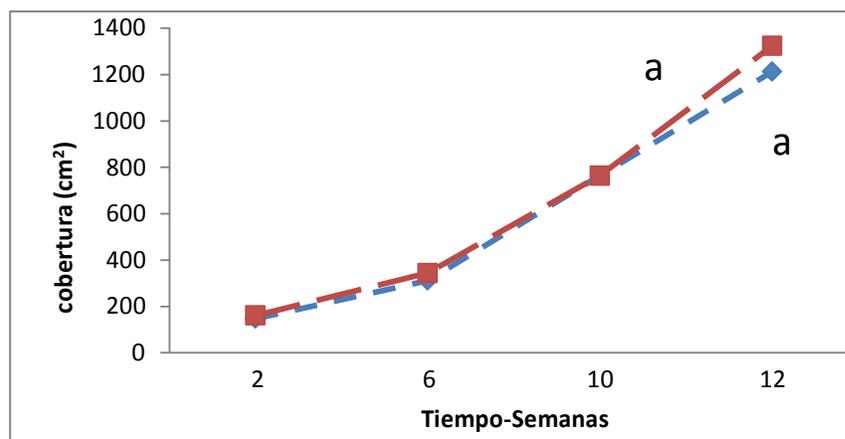


Figura 6. Cobertura de la plantas de zanahoria en —■— Monocultivo y - -◆- - Policultivo

La cobertura no presentó diferencias entre la zanahoria del mono y el policultivo. Pero nuevamente se hace énfasis en el hecho de haber obtenido otros dos cultivos en el policultivo, sin necesidad de una fertilización adicional.

Suárez de Castro (1956) menciona que el diseño de una adecuada rotación, puede tener un efecto significativo sobre la bioestructura del suelo, puesto que hay cultivos que son exigentes a esta propiedad física del suelo (algodón, trigo, caña de azúcar, etc.), otros no son exigentes, pero sin embargo lo desgastan (maíz, sorgo y yuca). Hay cultivos que mantienen la bioestructura y otros que ayudan a su recuperación, aquí se incluyen todas las gramíneas forrajeras de porte pequeño y algunas leguminosas.

Por otro lado, las exigencias de nutrientes por las plantas, dependen de la especie y de la variedad. Es imprescindible que los cultivos de una rotación tengan exigencias nutricionales diferentes, pero los mismos requerimientos de pH; sólo así se puede garantizar un buen balance nutricional y mejores rendimientos. El contenido de materia orgánica del suelo, se mantiene incorporando a la rotación cultivos de cobertura (aquellos que protegen el suelo durante el invierno) y abonos verdes que puedan ser pastoreados en niveles controlados o en su defecto incorporados al suelo como material fresco. Las secreciones radicales de cada especie vegetal, que sirven para “ahuyentar” las raíces de otras plantas que son tóxicas para ellas. Con esto defienden su espacio radical contra la invasión de otras raíces. Las raíces con exigencias semejantes no se toleran mutuamente, porque también excretan sustancias parecidas.

El agotamiento del agua del suelo, se produce cuando dentro de la rotación hay dos cultivos exigentes en agua. Por ello es importante considerar dentro del plan de rotación la disponibilidad de humedad en el suelo y las exigencias del cultivo. La reducción de la población de plagas y enfermedades, se consigue alternando cultivos que rompan el ciclo de vida de las plagas que se desean combatir. El control de la erosión del suelo requiere seleccionar especies que cubran rápidamente el suelo y así minimizar el impacto de las gotas de agua sobre el mismo (Suarez ,1956).

El valor económico de los cultivos que forman parte de la rotación es fundamental. Normalmente se exige que cada cultivo sembrado sea económicamente justificable. A veces, sin embargo, es preferible plantar un cultivo recuperador, a pesar de que en el mercado tenga un precio bajo, pero que aumente la producción del cultivo siguiente (Suarez ,1956).

Resumiendo, para hacer una rotación de cultivos es imprescindible que los cultivos se beneficien mutuamente, que se aproveche al máximo el fertilizante aplicado. La preferencia es que se usen las mismas maquinarias y debe evitarse que coincidan en los picos de trabajo, manteniendo el suelo cubierto, que ayuden

a recuperar el contenido de materia orgánica, conserven la bioestructura del suelo, reduzcan la presencia de plagas, enfermedades y plantas invasoras, mantengan una elevada producción y sean cultivos de la región que tengan mercado atractivo.

Para su ejecución en el campo, se requiere hacer una buena programación en función de las condiciones climáticas, las características del suelo y los objetivos económicos. El tiempo mínimo para el diseño de un plan de rotación es de 3 años. De aquí que los resultados de esta tesis no hayan mostrado los beneficios directos en la conservación de la fertilidad del suelo, sin embargo se observó el rendimiento óptimo de tres especies comerciales. Es necesario seguir rotando las tres especies para ver resultados satisfactorios (Suarez, 1956).

Por otro lado, los cultivos empleados en la rotación deben estar adaptados a la región, por lo que en su selección se debe considerar la cantidad de agua disponible, la profundidad del enraizamiento y las necesidades de temperatura y luz.

6.4.3 Número de hojas en la zanahoria tanto en policultivo como en monocultivo (zanahoria).

El número de hojas fue mayor estadísticamente, en el policultivo (zanahoria), que para el monocultivo (Fig.7).

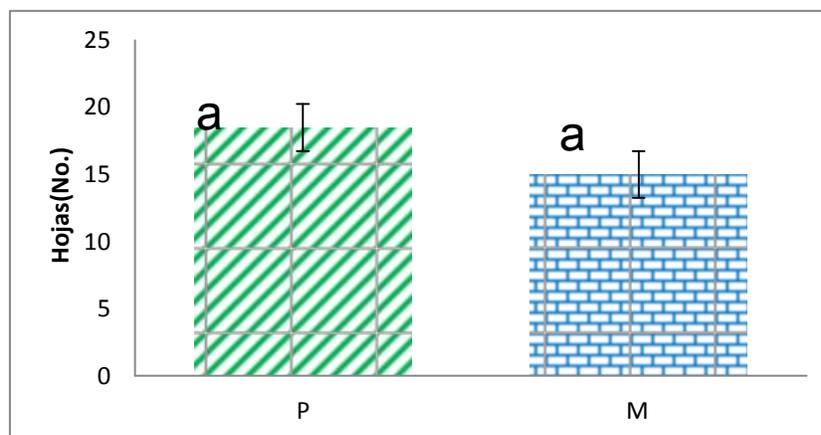


Figura 7. Número de hojas promedio para las plantas de zanahoria en policultivo (P) y monocultivo (M).

6.4.4 Longitud y peso en monocultivo y policultivo (zanahoria).

La longitud de la raíz de la zanahoria, no presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), en relación a los tratamientos de policultivo (zanahoria) y monocultivo (zanahoria); donde la raíz del policultivo resultó favorecida con 2cm

más que la del monocultivo (Fig. 8).

En la rotación el peso de los frutos en la zanahoria del policultivo comparado con la del monocultivo no presentó diferencias estadísticas (Fig. 9), solo que en el policultivo tenemos otros dos cultivos que diversifican la dieta, además de que tienen mayor impacto en el mercado o la venta de dos hortalizas más para el consumo humano.

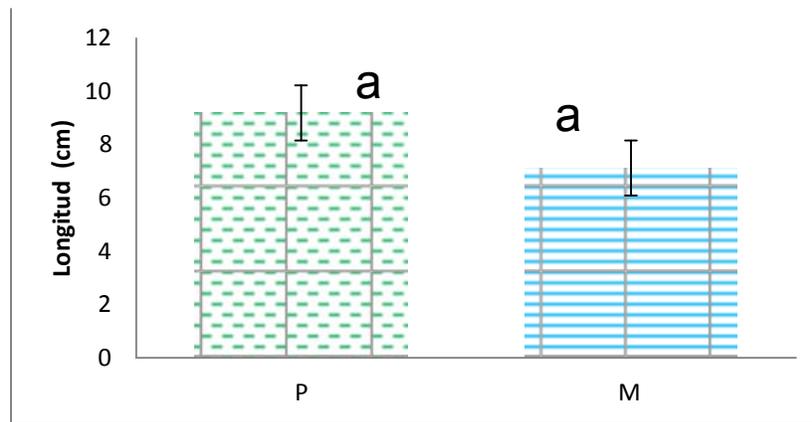


Figura 8. Largo de raíz para la zanahoria en monocultivo (M) y policultivo (P).

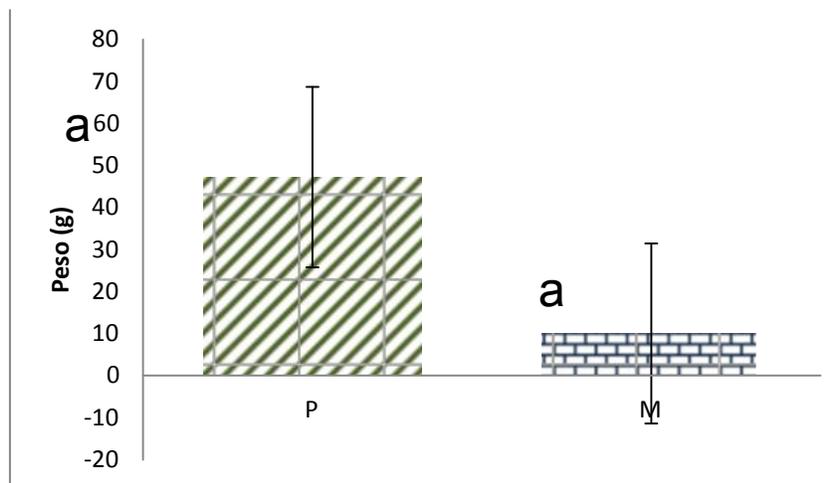


Figura 9. Peso de la zanahoria (raíz) en los tratamientos de policultivo (P) y monocultivo (M).

6.5.1. Rendimientos de zanahoria en el policultivo y monocultivo.

El rendimiento obtenido de la zanahoria en el policultivo fue de 0.78 kg m^{-2} y en el monocultivo de 0.15 kg m^{-2} , donde el policultivo presenta mayor rendimiento

que el monocultivo teniendo ambos tratamientos la misma área.

Aunque por otra parte Gliessman (2002), menciona en un estudio de caso que al sembrar brócoli y lechuga en policultivo, ambos sistemas radicales absorben nutrientes de diferentes capas del suelo y que en una rotación se retiene mejor la humedad y se tiene un mayor rendimiento comparado con un monocultivo. Esto no se cumplió en este trabajo donde los dos tratamientos presentaron el mismo rendimiento.

Cuadro 12. Rendimiento de cada cultivo en el sistema de rotación y el de monocultivo.

| Etapa | Cultivo | fruto g. m⁻² |
|--------------|----------------|------------------------------------|
| I | Jitomate | 2715.11 |
| II | Ebol | 615 |
| III | Zanahoria (P) | 314.33 |
| IV | Zanahoria (m) | 600.00 |

*Zanahoria (P)=Zanahoria policultivo y zanahoria (m) zanahoria monocultivo

El rendimiento obtenido de la zanahoria en el policultivo fue de 314.33 g.m⁻² y por los tres metros cuadrados fue de 934 gramos (Cuadro 12). Para la zanahoria en monocultivo el rendimiento fue de 600 g m⁻² y por los tres metros cuadrados fue de 1800 gramos.

Posiblemente el hecho de no haber encontrado diferencias en este trabajo, indica que entre las especies del policultivo pudo existir cierta competencia como en el monocultivo, por lo que se podría probar otras especies para encontrar un incremento en el rendimiento de la zanahoria.

Al analizar la gráfica (Fig.10), el rendimiento más alto de todas las etapas del monocultivo fue la etapa 1 con 1.2 kg m⁻² (ZM1), sin embargo al comparar zanahoria monocultivo etapa 3 (ZM3) con un rendimiento promedio de 0.95 kg m⁻² con zanahoria policultivo (Z-P) que el rendimiento promedio de fue de 0.94 kg m⁻², esto quiere decir que las diferencias entre ambos sistemas no son estadísticamente significativas.

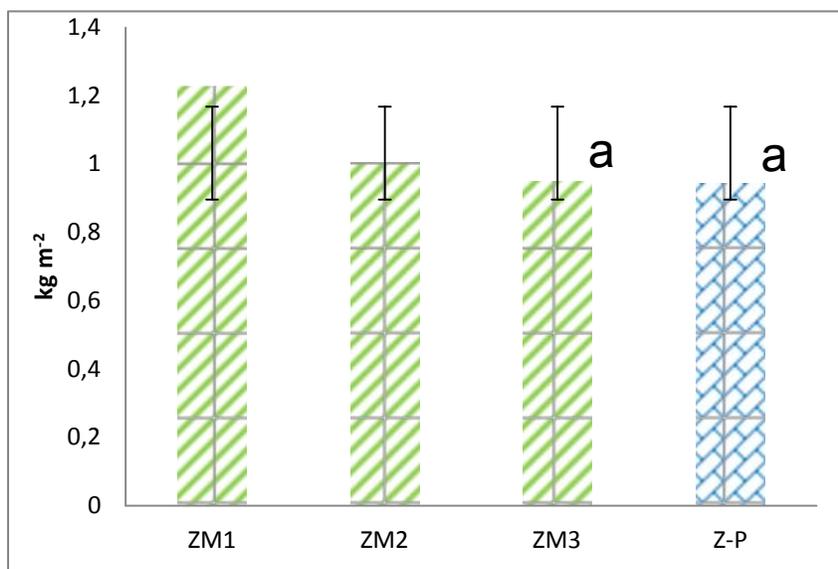


Figura 10. Rendimientos promedio para ZM1= zanahoria monocultivo etapa 1, ZM2= zanahoria monocultivo etapa 2, ZM3= zanahoria monocultivo etapa 3 y Z-P= zanahoria policultivo.

6.6. Costos de producción y relación costo/beneficio

Los costos de producción para el establecimiento del policultivo de jitomate, ebol y zanahoria, fueron de \$378.00 (Cuadro 13).

Cuadro 13. Presupuesto de insumos para el cultivo de jitomate-ebol-zanahoria.

| Requerimientos | Cantidad | Unidad | Costo unitario (pesos M.N) | Costo/Cultivo jitomate (pesos M.N) | Costo/Cultivo ebol (pesos M.N) | Costo/cultivo zanahoria (pesos M.N) | Costo/cultivo Zanahoria monocultivo (pesos M.N) |
|-------------------|----------|--------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---|
| Siembra | | | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ |
| Almácigo | 1.00 | | 20.00 | 20.00 | | | |
| Costales composta | 6.00 | costal | 2.50 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 |
| Agrolita | 0.30 | kg | 5.00 | 5.00 | | | |
| Arena de rio | 0.20 | kg | 50.00 | 50.00 | | | |
| Semilla-Jitomate | 1.00 | sobre | 15.00 | 15.00 | | | |
| Semilla-Zanahoria | 1.00 | sobre | 15.00 | | | 15.00 | 15.00 |
| Semilla-Ebol | 1.00 | sobre | 20.00 | | 5.00 | | |

| | | | | | | | |
|---------------------|---------|----|---------|--------|-------|-------------------------|-------------------------|
| Mano de obra | \$64.76 | 8h | 31.25 h | 84.33 | 20.00 | 84.33 | 84.33 |
| Total | | | | 189.00 | 40.00 | 114.33 | 114.33 |
| Total | | | | | | Policultivo \$343.33 | Monocultivo \$114.33 |

Por otro lado, los costos de la construcción y preparación de la cama de cultivo, fueron los más altos (Cuadro 14); sin embargo es necesario enfatizar que este es un gasto que solo se hará durante el primer ciclo de cultivo, ya que durante los años subsiguientes los costos solo estarán en función del material biológico y de la mano de obra.

Cuadro 14. Costo de insumos para la elaboración de la cama biointensiva.

| Cama biointensiva | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| Requerimientos | Cantidad | Unidad | Costo unitario | Costo total |
| | | | (pesos M.N) | (pesos M.N) |
| Vigas de madera | 8 | Piezas | \$22 | \$176 |
| Plástico de invernadero | 6 | m | \$50 | \$300 |
| Continuación | cuadro | 14 | | |
| Malla antiáfido | 1 | m | \$39.60 | \$39.60 |
| Clavos | 50 | g | \$5 | \$5 |
| Bisagras | 4 | Piezas | \$4 | \$16 |
| Termómetro higrómetro | 1 | Piezas | \$180 | \$180 |
| <i>Eisenia foetida</i> | 600 | lombriz | \$0.50 | \$300 |
| Composta | 120 | kg | \$ 5.00 | \$ 600.00 |
| Mano de obra | | | | |
| Construcción de cama biointensiva | \$64.76 | 8 h | 10hrs | \$80 |
| Total | | | | \$1,397.00 |

Para el policultivo, el índice costo beneficio fue mayor a uno, por lo que se considera que la rotación de cultivos es rentable, para el primer año. Para el monocultivo el índice costo beneficio fue menor a uno y no es rentable. Sin embargo es importante resaltar que se utilizaron tres cultivos (jitomate-ebol-zanahoria) y por el tamaño del área utilizada, se recomienda utilizarse para autoconsumo, ya que a mayor escala son cultivos altamente rentables (Cuadro 15).

Cuadro 15. Datos de relación costo/beneficio en policultivo y monocultivo.

| Tratamiento | Kilogramos | Precio x kilogramo | Beneficios (M.N) | Costo total de producción del cultivo (M.N) | B/C | Producción total para cada sistema |
|--------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|--|------------|---|
| Jitomate (P) | 8.14 | \$35.00 | \$284.90 | \$189.00 | 1.50 | |
| Ebol (P) | 3.69 | \$20.00 | \$ 73.80 | \$40.00 | 1.80 | |
| Zanahoria (P) | 0.94 | \$30.00 | \$28.80 | \$114.33.00 | 0.25 | \$387.50(P) |
| Zanahoria (M) | 3.00 | \$30.00 | \$90.00 | \$114.33 | 0.78 | \$90.00(M) |

*(P) policultivo (M) monocultivo

VII .Conclusiones.

El monocultivo y la rotación de cultivos (jitomate-ebol-zanahoria), no afectaron la fertilidad del suelo, aumentando de manera general el contenido de nitrógeno y fósforo, pero no así el de potasio, el cual en ambos caso disminuyó, por la gran demanda de este elemento por la zanahoria.

La zanahoria, que fue el cultivo comparativo en ambos tratamientos, presentó los mismos rendimientos por área. Esto demuestra que con una selección adecuada de cultivos en rotación, se genera un uso diferencial y complementario de los nutrientes del suelo, que permite una diversificación de la dieta, sin sacrificar los rendimientos.

El policultivo resultó rentable económicamente, mientras el monocultivo no, esto como una respuesta a la diversificación de productos y su precio de venta en el mercado.

VIII. Recomendaciones

Se recomienda que el tiempo de una rotación de cultivos sea mínima de tres años, para ver diferencias en el mantenimiento de la fertilidad del suelo.

IX. Referencias

- Andino F & Garro J. 2000. Efecto del glifosfato en pretrasplante y siembra directa sobre el crecimiento de cultivo de jitomate. Manejo integrado de plagas. Vol. 12: pp.1-12
- Alcántar, G. 2009. Nutrición de cultivos. México. Mundi-Prensa. P. 56
- Alcazar, O. 2010. Manual básico. "Producción de hortalizas". Editorial limusa México p. 30
- Altieri M. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-comunidad. EU. Pp 60-80
- Altieri M. 1994. Manejo y diseño de sistemas agrícolas sustentables. Hojas divulgadoras Vol. 6-7 p. 94
- Azcón, B. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. México. Mc Graw Hill-Interamericana. Pp 95-105
- Barbado J. 2009. Hidroponía. Su empresa de cultivos en agua. Editorial Albatros. Argentina. Pp 36-45
- Braver L. & Waher H. 1980. Física de suelos. Unión topográfica Editorial. México D.F. pp. 140-160
- Bray, R. & Kurtz, L. 1945. Determination of total, organic and available phosphorus in soil. Soil Sci. EU. Vol.59 pp 39-45
- Bremmer. J. 1965. Total nitrogen In: C A Black (Ed.) Methods of soil analysis 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. P 56
- Boris, H. 2004. Cultivo de jitomate. Centro de inversión, desarrollo y exportación de agrocultivos. Ed. Albatros. Argentina. Pp 78-86
- CSTPA. 1974. Hand book on reference methods for soil testing. Council of soil Test ing and plant Analysis. Athens, Georgia. P 49
- Dawn, B. & Reeta. 1991. Sinha. Maintaining a high quality, cost-effective journal collection. CURL New pp 485-490.
- Donelan, P. 2007. Cultivando Semillas. EcologyAction. Vol.13 pp 82-89.
- Duran F. 2005. Manual de cultivos orgánicos y Alelopatía. Grupo latino. Mexico. Pp 78-85
- Duhon, D. y Gebhard, F. 1984. EcologyAction Vol.14 pp.91-98

Edmond, J. 1978. Principios de horticultura. 3ª ed. Compañía Editorial Continental. México . pp 230-340

Francis, C., & Clegg, M. 1990. «Crop rotations in sustainable production systems.»In:Sustainable Agricultural Systems. C. Iowa: Soil and Water Conservation Society. P 68

Fassbender, H. & Boernemiza, E.(1987).Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. IICA. 5ta. Reimpresión. San José. P 420

Fleita F. 2011. Propuestas de manejo para la producción agrícola. 2^{da} edición. Editorial Limusa. México. D.F. pp-89.94

García M. 2007. El cultivo de zanahoria. Departamento de producción vegetal. Centro regional sur.

García, R. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. P. 12

Gliessman, S. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Edición en inglés. Costa Rica. Pp 130-155

Guerra A. 2009. Producción de semillas forrajeras (*Trifolium* sp). Vol.19 pp23-37

Guipuzkoa, 1991. Curso de agricultura biológica y biodinámica. Escuela Agraria. Vol.44 pp 65-68.

Hunt, R. 1989. Basic Growth Analysis. Plant growth analysis for beggres. Chapman and Hall, great Britain p112 .

Huerta, C & Perez, J. 2005. Cultivo de zanahoria. Cultivo de células y tejidos vegetales: fuente de alimento para el futuro. Revista digital universitaria. Vol. 6 pp 23-49

Jackson, M. 1964. Análisis químico de suelos. Traducción al español por J. Beltrán M. Omega, Barcelona, España. P 45

Jackson, M. 1964. Análisis químico de suelos. Trad. 1ra. Edición norteamericana por José Belmont. Barcelona España, Omega. p 662

Jackson, M. 1982. Análisis químico de suelo. 2ª ed. Editorial Omega. Barcelona España. P 48

Jeavons. J. 2002. Cultivo biointensivo de alimentos “más alimentos en menos espacio”. 6ª ed. Ecology action of the Mid-peninsula. EUA. Pp 23-40

Jeavons, J. & Cox ,C. 2007. El huerto sustentable, como obtener suelos saludables, productos sanos y abundantes. EU.pp 45-69

Lampkin, N. 2001. Agricultura ecológica. Ediciones Muindi-Prensa. México. Pp 80-123

León, A. 2009. Evaluación ambiental de la producción de cultivo de jitomate. EcologyAction Vol. 15 pp 34-50

Monfort, B. 1995 Rotation etassolement en maraichange.2a edition.EU. p 20

Morales, R. 2004.Cultivo de zanahoria. Manual de agricultura ecológica, una introducción a los principios básicos y su aplicación. Segunda edición. Pp 40-50

Norma oficial Mexicana NOM.021-SEMARNAT-2000.

Olsem, S. & Dean L. 1965. Phosphorus. In C. A. Black (Ed) Method sog soil analysis.Part2.Agronomy9 .American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 1035-1049.

Phillips, R. 1985. Humedad del suelo. In Agricultura sin laboreo. pp 69-89.

Powers, L, y Mc Sorley,R. 2000, Principios ecológicos en agricultura. A. pozuelo (traductor). Paraninfo, Thomson Learning, España. P 429

Raggi, R. 1990. Importancia de la material organica en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. In Jornadas nacionales de Cero labranza. 1990. Temeco, Chile. Actas. Instituto de investigaciones agropecuarias (INIA) Centro regional carillanca. Pp 47-75

Sierra, C. 1990. Fertilidad de los suelos en cero labranza. P 196-209. In Jornales Binacionales de Cero labranza 1990, concepción chile.

Suárez de Castro, F. (1956). Conservación de suelos. Salvat. Barcelona. P 84

Sumner, D. 1982. «Crop rotation and plant productivity.» In: CRC Handbook of Agricultural Pro- ductivity, Vol. I. M. Rechcigl, ed. Florida: CRC Press. pp. 273 - 313.

Tisdale & Nelson, 1991. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Editorial limusa. México.pp 36-47

Netgrafía

1)-Morales,.P.1995. Cultivo de zanahoria. (08-07-2011)(Recuperado en:
<http://www.rediaf.net.do/publicaciones/guias/download/zanahoria.pdf>

2)-Sainz, H., Hernán , E. & Hernán A. 2005. Niveles de material organica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. (09-10-2011) Recuperado en:
http://www.gatfertiliquidos.com/abonado_zanahoria.pdf

3) (24-10-2013)Recuperado en:

<http://www.semilleria.cl/desarrollo/AdjuntosProd/372.PD>

4)García, M. 2000.El cultivo de zanahoria. (19-02-2014)Recuperado en:

<http://www.fagro.edu.uy/~horticultura/CURSO%20HORTICULTURA/ZANAHORIA/ZANAPRE5public.pdf>

5) Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible. (25-05-2014)Recuperado en:

<http://www.fao.org/ag/ca/train>