



**UNIDAD XOCHIMILCO**

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Propuesta de manejo para mejorar la calidad de suelo y la productividad en sistemas de amaranto orgánico de la Mixteca Poblana

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**PRESENTA:** LEÓN BARTOLOMÉ HERNÁNDEZ HERRERÍAS

**TUTORA:** DRA. MARIELA FUENTES PONCE

**CO-TUTOR:** MC. LUIS MANUEL RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

**ASESOR:** DR. RAY WEIL

CIUDAD DE MÉXICO, MAYO 2016

La Maestría en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco pertenece al padrón de posgrados de excelencia del Consejo de Ciencias y Tecnología (CONACyT)

El autor de este texto fue becario del Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACyT) con el CVU:  
537843

DIRECTORES DE TESIS

DRA. MARIELA HADA FUENTES PONCE

Profesora Investigadora del Departamento de Producción Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco  
México, Ciudad de México.

M. EN C. LUIS MANUEL RODRIGUEZ SÁNCHEZ

Profesor Investigador del Departamento de Producción Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco  
México, Ciudad de México.

ASESOR

DR. RAY WEIL

Dept. of Environmental Science & Technology  
University of Maryland  
USA

El jurado designado por la Comisión Académica de la Maestría en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco aprobó la tesis titulada "Propuesta de manejo para mejorar la calidad de suelo y la productividad en sistemas de amaranto orgánico de la Mixteca Poblana" que presentó:

Biol. León Bartolomé Hernández Herrerías

El día 16 de mayo del 2016

JURADO DE EXAMEN:

---

Presidenta: Dra. Claudia Isabel Hidalgo Moreno

---

Secretario:  
Dr. Fernando de León González

---

Vocal: M. en C. Luis Manuel Rodríguez Sánchez

## DEDICATORIA

A mi esposa Ericka Trejo Cuevas, gracias por llenar de color mi vida.

A mi familia, de quienes nunca he tenido más que apoyo.

A todos ustedes que luchan por un mundo mejor para todos.

No habremos nacido de la misma madre,  
mas si le duele la injusticia en lo más profundo de su corazón  
y dedica su vida a combatirla,  
me siento orgulloso de llamarlo hermano.

León Hernández

(En algún lado leí algo parecido, era del Ché creo...)

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Metropolitana por darme la oportunidad de estudiar en esta gran casa de estudios. Que lo aprendido aquí me ayude a construir un mundo mejor.

A la doctora Mariela Fuentes Ponce y al Maestro en Ciencias Luis Manuel Rodríguez Sánchez por su apoyo incondicional desde mi primer contacto con ellos hasta la terminación de esta tesis.

To Ray Weil for the academic and not academic teachings, and for showing me a path of life that I surely will follow. Also to Annita Seeking that helped me whenever I needed. I'm very proud of calling you both my good friends.

A las Organizaciones de la Sociedad Civil Alternativas y Procesos de Participación Social A.C. y al Grupo Cooperativo Quali sin quienes no habría sido posible realizar esta investigación. Principalmente quisiera agradecer a los directores Raúl Hernández Garcíadiago, Gisela Herrerías Guerra y Pánfilo Eugenio por su apoyo. También quisiera hacer mención especial a Roberto y Villavicencio que con su imprescindible apoyo en campo fueron una parte esencial de esta investigación.

A la siempre bondadosa gente de la Mixteca, que no para de asombrarme por su gran corazón, amabilidad y disponibilidad, sobre todo quisiera agradecer a Doña Ester, Doña Rafaela, Don Rolando y Don José por haberme recibido en sus casas, y por haber compartido conmigo el deseo de aprender y mejorar cada día más. Por su apoyo, gracias.

Las fases iniciales de este proyecto no habrían sido posibles sin la monumental ayuda de los estudiantes de la Ingeniería en Agronomía de la UAM, a todos ustedes muchísimas gracias: Ahinoam Flores Aggi, Aldo Pável Nava Quintana, Ana Lidia Espejel, Ana Victoria Barrios Reyna, Andrea Alfaro Escobedo, Andrea Yosabeth Flores Haro, Angélica Noemí Martínez Arce, Arturo Rico Guevara, Atzael Aparicio Navarrete, Claudia Sánchez Macayo, Diana Hurtado López, Eugenia Hernández Flores, Gerardo Javier Pérez Anaya, Izel Del castillo Reynoso, Ivette A. Arenas-Gutiérrez, Jael Sandoval Trinidad, Javier Martínez García, Jessica Lorena Murguía Alvarado, Joseph Yavá Becerra Mendoza, José Luis Romero Núñez, Laura Iveth Aguilera Alcántara, Leonel Nápoles Rodríguez, Leyla Helena Pavia Espinosa, Luis Amaury García Valderrama, Luis Bracamontes Nájera, María del Pilar García Chávez, María Ameyatzin De la Fuente Colmenares, Marcos Martínez Medina, Melquiades Patricio-Carlos, Miriam Lizbeth Hernández Ramos, Noemí De Jesús Orozco, Omar Hernández Reyes, Oscar A. Díaz García, Oscar Espinosa García, Patricio Carlos Melquiades, Perla Esmeralda Sánchez Galindo, Sandra Itzel Cruz Lazo, Sandra Méndez Corona, Victor Hugo Zarco Alanis, Xadani Vega Miranda, Yair Rodríguez De La Peña, Yesica Morales Ramírez.

Al Dr. Jorge Dionisio Etchevers Barra, la Dra. Claudia Isabel Hidalgo Moreno, MC. Juliana Padilla, quienes nos otorgaron las facilidades en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos, del Colegio de

Posgraduados, y nos brindaron su conocimiento en la dinámica del suelo y de las técnicas de laboratorio. Un agradecimiento muy especial al M. en C. Edgar Barrales Brito por su siempre atenta y presta disposición a ayudarme con los experimentos realizados en el COLPOS.

A todos los investigadores y trabajadores de la UAM que con los que conviví y de los que aprendí, principalmente los coordinadores de la Maestría en Ciencias agropecuarias Dra. Marilú Alonso Spilsbury y Dr. Fidel Payan Zelaya, también a los Dres. Esteban Barranco, Luis Arturo García Hernández, María Guadalupe Prado Flores, y un agradecimiento especial al M. en C. Reyes López Ordaz por su enseñanza y amistad durante estos dos años.

Mi agradecimiento al M.C. Eduardo Celada del laboratorio de Aguas y suelos de la UAM por su disponibilidad y dirección durante las veces que hice uso de su laboratorio.

Hernández-Herrerías, L. B. 2016. Propuesta de manejo para mejorar la calidad de suelo y la productividad en sistemas de amaranto orgánico de la Mixteca Poblana. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, México. 82 pp.

El autor concede permiso de reproducción completa o parcial y distribución de este trabajo para fines educativos, sin fines de lucro, siempre y cuando sea citado. Para otros fines, se reserva los derechos de autor.

## Resumen

El enfoque de sistemas de producción agropecuaria reconoce la diversidad tecnológica y cultural empleada por los agricultores de bajos ingresos y provee un marco para explorar distintas alternativas que permitan a estas personas mejorar sus condiciones de vida en un mundo cambiante.

En México, aproximadamente el 60% de la población rural se encuentra en condiciones de pobreza: unos 21 millones de personas. El 50% del territorio nacional se encuentra en zonas áridas y semiáridas (ZAS), por lo que es de vital importancia desarrollar sistemas de producción que contrarresten la sobreexplotación crónica que las ha sumido en un vórtice de deterioro.

En las ZAS el suelo se ha degradado debido a la sobreexplotación de la vegetación con la finalidad de criar ganado, así como, a la deforestación para extracción de leña, lo que ha originado suelos desnudos que son arrastrados por las lluvias formándose cárcavas y barrancas. El suelo agrícola ha sido sobre explotado al no desarrollar estrategias que restituyan los nutrientes y materia orgánica que se pierden en el proceso de producción y cosecha.

El rediseño de sistemas agrícolas y tecnologías para el mejoramiento de los mismos deben realizarse aprovechando ventanas de oportunidad, debe buscarse la forma de utilizarlos sin alterar o alterando lo menos posible las costumbres locales, buscar la oportunidad de intercalar cultivos, o de hacer rotaciones que no comprometan la economía de los productores ya sea por alta inversión económica o lento retorno, considerando simultáneamente el impacto ambiental del rediseño.

Con el fin de empoderar a los productores, así como favorecer la apropiación de las nuevas tecnologías se discutieron todas las alternativas con ellos, y fruto de la coinovación se diseñaron las estrategias en forma y temporalidad. Este entendimiento de las razones y estrategias utilizadas permitirá a los productores realizar adecuaciones pertinentes si lo consideran necesario.

En la presente investigación se estudiaron para su rediseño tres sistemas de producción de amaranto orgánico que se localizan en los municipios de Caltepec, Zapotitlán y Santiago Chazumba, los primeros dos en Puebla y el último en Oaxaca, todos en la mixteca baja. En la región de estudio sobresalen los paisajes desérticos que forman parte de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. La vegetación es semidesértica: biznagas, arbustos silvestres, cactus, pitayos, magueyes y palmas, anteriormente utilizados por los pobladores de esta región para su subsistencia.

Los tres sistemas productivos forman parte del Grupo Cooperativo Quali, y están estrechamente relacionados con Alternativas y Procesos de Participación Social A.C. de quienes reciben asesorías, insumos y maquinaria. Estas organizaciones han detectado una disminución en la producción de amaranto orgánico en las parcelas de varios productores, incluyendo los tres que

participaron en este estudio. También han detectado una disminución del tamaño del grano, ambos hechos afectando la calidad y cantidad del producto de la cooperativa.

Utilizando la metodología del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), el trabajo de campo para el conocimiento de los sistemas, y el conocimiento de los productores, se determinó qué formaba parte del sistema y qué era externo a él. De la misma forma, se estudiaron las partes, interacciones y flujos del sistema, estos últimos fueron divididos en cuatro categorías, "Dinero, Materia, Energía, inmateriales".

El diagnóstico se realizó gradualmente. Se comenzó con entrevistas semiestructuradas y observaciones en campo. Para seleccionar las áreas de exploración de las encuestas se utilizaron los 5 atributos para evaluar la sustentabilidad de agrosistemas propuestos por el MESMIS: 1) Productividad, 2) Estabilidad, confiabilidad y resiliencia, 3) Adaptabilidad, 4) Equidad y 5) Autodependencia y autogestión.

A las entrevistas siguió un acompañamiento a lo largo de todo el ciclo productivo, mediante el cual se corroboró la información obtenida en las entrevistas así como la adquisición de nueva información. Conjuntamente con los productores se determinaron los factores limitantes y el objetivo primordial de sus sistemas productivos, lo que proveyó de elementos para definir las propuestas de manejo fruto de la investigación. Al finalizar del diagnóstico se construyó el esquema de cada sistema productivo, que fue comentado, modificado y/o aprobado por el productor.

Durante la caracterización se detectó una alta dependencia a insumos y financiamiento externos así como una fertilización insuficiente de las parcelas agrícolas. Para disminuir la dependencia de insumos, mejorar la fertilización y mejorar la nutrición familiar y de los animales de traspatio se exploró el uso de abonos verdes.

Los abonos verdes son plantas que se cultivan para proveer cobertura al suelo y mejorar sus características físicas, químicas y biológicas. Son una alternativa para mejorar la fertilidad de las parcelas y mejorar la calidad del alimento de los animales de traspatio, pero esta tecnología debe ser desarrollada acorde con las características de cada lugar, y de preferencia adaptada junto con los productores para facilitar su apropiación así como posibles modificaciones futuras por parte de los campesinos. Algunas de las funciones que podrían cumplir son: disminuir la erosión, evitar la pérdida por lavado de nutrientes, conservar la humedad del suelo y proveer de alternativas económicas a los productores.

Es importante sincronizar la disponibilidad de nutrientes en el suelo con los requerimientos de los cultivos, para esto se realizó una mineralización de diferentes abonos verdes con el suelo, utilizando un respirómetro manométrico Oxitop durante 15 días a 25°C, al final de los cuales se analizó el suelo para conocer el contenido de nitrógeno total, nitrato, amonio, materia orgánica y fósforo.

Con el fin de poder hacer propuestas de mejoramiento así como para sincronizar la disponibilidad de nutrientes con los requerimientos de los cultivos, se realizó un experimento para determinar la eficiencia y uso de abonos verdes. Se estudiaron 4 abonos verdes: canavalia (*Canavalia ensiformis*), dolichos (*Dolichos lablab*), guaje blanco (*Leucaena leucocephala*) y avena negra con frijol (*Avena strigosa* y *Phaseolus vulgaris*), y se usó un suelo sin abono verde como control. Las emisiones de CO<sub>2</sub> mostraron el siguiente patrón: (1) guaje> dolichos, avena y frijol,

suelo; (2) Canavalia, dolichos y avena y frijol> suelo. El guaje aportó mayor materia orgánica al suelo en comparación al resto de los tratamientos. Todos los tratamientos con abono verde presentaron similar contenido de nitrógeno total, y todos fueron superiores al suelo sin abono. En cuanto a contenido de nitratos los tratamientos se ordenaron así: canavalia, avena y frijol> dolichos> guaje, suelo.

Los sistemas productivos analizados fueron en general diversos, con producción agrícola, pecuaria y comercial, y en dos de los tres casos la actividad agrícola se encontraba altamente subsidiada por actividades no agrícolas como apoyos gubernamentales y salarios. Los tres sistemas tienen una disponibilidad de agua diferente, desde uno con riego prácticamente suficiente para todas sus labores, uno con riego suficiente para sobrellevar la canícula y otro con riego insuficiente. Todos los sistemas mostraron un manejo ineficiente y cantidad insuficiente de fertilizantes.

Los rediseños de los sistemas en general incluyen estrategias de sincronización de disponibilidad de nutrientes con los requerimientos del cultivo y uso de abonos verdes. Una propuesta es que en las primeras lluvias realizar el abonado y sembrar frijol a modo de abono verde, seis semanas después se pueden realizar los surcos para incorporar el abono verde y la disponibilidad de nutrientes será suficiente para satisfacer los requerimientos de la cosecha de interés económico. También se recomienda el uso de rábanos para el rompimiento del horizonte de compactación formado por el paso de implementos de labranza y el tractor, la aplicación de *Tithonia diversifolia* para aumentar la disponibilidad y cantidad de fósforo, mejoramiento del manejo de estiércoles y el uso de podas de guaje para mejorar el suelo a largo plazo con aportes de N y MO.

## ÍNDICE GENERAL

Introducción .....	4
I.- Marco teórico.....	4
1.1 Zonas áridas y semiáridas.....	5
1.2 Calidad del suelo .....	5
1.3 El suelo en zonas áridas y semiáridas.....	6
1.4 Agricultura y ganadería en la Mixteca.....	7
1.5 Manejo alternativo de agrosistemas para la producción en ZAS.....	9
1.6 La milpa como técnica agroecológica .....	10
1.7 Abonos verdes.....	11
1.8 Amaranto ( <i>Amaranthus hypochondriacus</i> ) .....	19
1.9 Alternativas y Procesos de Participación Social A.C.....	22
II.- Objetivos .....	23
III.- Metodología .....	23
3.1 Caracterización del sitio de estudio .....	23
3.2 Caracterización y diagnósticos de los agrosistemas .....	23
3.3 Selección de estrategias para manejo de suelos.....	25
IV.- Resultados y discusión.....	28
4.1 Caracterización y diagnóstico.....	28
4.2 Mineralización de abonos verdes.....	53
4.3 Propuestas de manejo.....	60
Conclusiones .....	70
Bibliografía .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Requerimientos hídricos del amaranto.....	20
Figura 2. Mapa actual de acción de Alternativas y Procesos de Procesos de Participación Social.....	22
Figura 3. Distribución de lluvia en el municipio de Caltepec, Puebla.....	29
Figura 4. Representación gráfica del sistema productivo de Ester.....	33
Figura 5. Parcelas agrícolas de Ester en el municipio de Santiago Chazumba.....	35
Figura 6. Representación gráfica del sistema productivo de Rafaela.....	42
Figura 7. Mapa de las parcelas agrícolas de Rafaela en el municipio de Zapotitlán.....	44
Figura 8. Representación gráfica del sistema productivo Rolando.....	48
Figura 9. Mapa de las parcelas agrícolas de Rolando en el municipio de Caltepec.....	50
Figura 10. Mineralización de 4 abonos verdes y un control durante 15 días.....	54
Figura 11. Aporte diario de CO <sub>2</sub> en un experimento de mineralización en laboratorio.....	54
Figura 12. Emisión total de CO <sub>2</sub> en 15 días de mineralización de 4 abonos verdes.....	55
Figura 13. Porcentaje de materia orgánica en suelo con diferentes abonos verdes.....	56
Figura 14. Porcentaje de nitrógeno total en suelo con diferentes abonos verdes.....	57
Figura 15. Proporción de amonio en suelo con diferentes abonos verdes.....	57
Figura 16. Proporción de nitrato en un suelo con diferentes abonos verdes.....	58
Figura 17. Relación C:N en un suelo con diferentes abonos verdes.....	59
Figura 18. Fósforo total en suelo con diferentes abonos verdes.....	60
Figura 19. Disponibilidad y consumo de N.....	62
Figura 20. Lluvia promedio por década y requerimiento hídrico del frijol y el amaranto.....	63
Figura 21. Déficit hídrico de dos cultivos.....	64
Figura 22. Sincronización de disponibilidad hídrica y requerimientos de los cultivos.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de minerales en el grano de amaranto ( <i>Amaranthus hypochondriacus</i> ), maíz y trigo.....	19
Tabla 2. Rotaciones realizadas en 4 melgas propiedad de Ester.....	36
Tabla 3. Labores agrícolas para el cultivo de amaranto y maíz.....	37
Tabla 4. Rotaciones realizadas en tres años en 10 melgas propiedad de Rafaela.....	45
Tabla 5. Rotaciones realizadas en tres años en 10 melgas propiedad de Rolando.....	51
Tabla 6. Nitrógeno orgánico e inorgánico aportado por tratamiento con abonos verdes.....	59

## **Introducción**

La presente investigación aborda el problema de la baja productividad en la zona árida ubicada en los estados de Puebla y Oaxaca conocida como Mixteca, habitada en gran parte por pueblos indígenas Mixtecos, Nahuas y Ngiwas (antes Popolocas). Los habitantes de la zona sufren altos niveles de discriminación, y lo alejado de esta zona de los principales centros comerciales de ambos estados no hace más que aumentar su marginación, siendo afectados, entre múltiples razones específicamente en la parte agropecuaria, por el alto precio de insumos agrícolas y bajo precio de venta de sus productos.

Para analizar la problemática de la baja productividad, es necesario abordar sus causas, por ejemplo el estado del suelo, donde las condiciones físicas y químicas están lejos de ser las ideales al tener alto contenido de carbonato de calcio y pH de 8.4 lo que disminuye la disponibilidad de nutrientes disponibles para las plantas. El suelo suele ser sobreexplotado, empobrecido y erosionado. El clima tampoco favorece la producción agrícola, ya que la lluvia es altamente errática, por lo que de no contar con riego la agricultura es una apuesta.

Las características generales de producción agrícola en la zona son: cultivo de temporal, baja diversidad en la producción (maíz y frijol son los cultivos dominantes), la mayoría de los productores poseen animales de traspatio por lo que para alimentarlos generalmente recogen en su totalidad los residuos de las cosechas, incrementando la desnutrición del suelo. Así mismo, son bajos los niveles de aplicación de materia orgánica al suelo y se realizan rotaciones agrícolas no propicias.

Esta investigación se realizó a solicitud de Alternativas y Procesos de Participación Social A.C. y el Grupo Cooperativo Quali, ambas organizaciones notaron la baja en la productividad en las parcelas de los productores de amaranto orgánico de la cooperativa así como una disminución en el tamaño del grano producido.

Para analizar las causas y hacer propuestas de mejoramiento pertinente se realizó una caracterización participativa basada principalmente en el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad. Junto con la evaluación de diferentes alternativas en campo y laboratorio para proponer soluciones viables.

## **I.- Marco teórico**

En los países en desarrollo, la mayoría de las personas de bajos recursos vive en áreas rurales y depende de la agricultura para su subsistencia, por lo que el establecimiento de comunidades rurales con una agricultura próspera puede ser uno de los principales motores para el combate a ésta pobreza. El enfoque de sistemas de producción agropecuaria reconoce la diversidad tecnológica y cultural empleada por los agricultores de bajos ingresos y provee un marco para explorar distintas alternativas que permitan a estas personas escapar de la pobreza en un mundo cambiante (FAO, 2002).

En México, aproximadamente el 60% de la población rural se encuentra en condiciones de pobreza: unos 21 millones de personas. El 50% del territorio nacional se encuentra en zonas áridas y semiáridas (ZAS), por lo que es de vital importancia desarrollar sistemas de producción que contrarresten la sobreexplotación crónica de éstas (Arámbula, 2005).

## 1.1 Zonas áridas y semiáridas

Existen diferentes formas de caracterizar una zona árida, Noy-Meir (1973) define a las zonas áridas y semiáridas (ZAS) como aquellas con una precipitación promedio anual (PPA) de entre 100 a 500 mm y una PPA de entre 250 a 500 mm respectivamente. Arámbula (2005) menciona intervalos diferentes, menos de 350 mm para las áridas y entre 350 y 600 para las semiáridas. Ambos están de acuerdo en que ZAS presentan una precipitación promedio anual menor que la evapotranspiración potencial máxima anual, colocando a ambos tipos de zona en un déficit hídrico.

La evapotranspiración se define como el agua utilizada por la planta para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora de la superficie del suelo en que se desarrolla, y este valor se expresa como una lámina de riego en cm (Fuentes, 1998).

Una condición limitante para la producción agrícola en las ZAS, es la disponibilidad de agua, relacionada directamente con la evapotranspiración ya que es fundamental para estimar los requerimientos hídricos de las cosechas y conocer las fechas en que pueden ser cultivadas. El rendimiento máximo del cultivo no será alcanzado si no se logra compensar la máxima evapotranspiración, esto es, cualquier déficit de agua debajo de este nivel disminuirá la producción. Riego mayor a la evapotranspiración no necesariamente se traducirá en mayor rendimiento (Bernardo-Murillo *et al.*, 2010). Klocke *et al.* (1999) también mencionan que en general cuando los cultivos se acercan a la madurez, disminuyen sus requerimientos hídricos.

Independientemente de su estado de conservación las ZAS son caracterizadas por su baja producción de biomasa (Noy-Meir, 1973; Hadley y Szarek, 1981; Aronson *et al.*, 1993), baja disponibilidad de nutrientes para las plantas y un reciclaje lento de los mismos debido a la poca disponibilidad de agua y baja actividad de los microorganismos (Hadley y Szarek, 1981). La deficiencia crónica de C orgánico y de N en el suelo ha determinado la composición de la comunidad vegetal siendo abundantes las plantas leguminosas adaptadas a las condiciones de este tipo de zonas (Zahran, 1999). Por lo anterior, en este tipo de zonas las limitantes más críticas son la baja disponibilidad de agua y de nutrientes, este último íntimamente ligado a la calidad del suelo.

## 1.2 Calidad del suelo

La calidad del suelo describe su capacidad para realizar una función ecosistémica particular (Karlen *et al.*, 2001), esta función puede ser desde la resistencia a la erosión hasta el mantenimiento de los ecosistemas humanos y naturales (Karlen *et al.*, 1997). La calidad del suelo puede ser modificada por factores ambientales naturales como la pendiente, profundidad del suelo y su textura, así como por la acción del ser humano modificando la estabilidad de los agregados, capacidad de infiltración, potencial de mineralización de la materia orgánica y biodiversidad de organismos edafológicos (Magdoff y Weil, 2004; Brady y Weil, 2010).

Algunas funciones del suelo que inciden directamente en el crecimiento de las plantas son (Islam y Weil, 2000; Weil, 2001; Brady y Weil, 2010):

1. Provisión de nutrientes minerales disponibles para las raíces de las plantas en tiempo, espacio y forma.
2. Retención de agua en cantidades suficientes, con el potencial adecuado para que las raíces puedan tomarla.

3. Provisión de poros para que la raíz crezca sin mucha resistencia y pueda ser oxigenada de forma eficiente así como pueda liberar CO<sub>2</sub> y otros gases.
4. Favorecer el crecimiento de organismos en el suelo.
5. Soporte físico y profundidad suficiente para el crecimiento radicular y sostenimiento de la planta.

Los factores del 1 al 4 son fuertemente influidos por el contenido y calidad de la materia orgánica en el suelo (MOS; Greenland y Szabolcs, 1994; Wooster y Swift, 1994; Magdoff y Weil, 2004). Es por esto que la MOS es uno de los más comunes indicadores para determinar la calidad del suelo (Popp *et al.*, 2002).

El rol de la materia orgánica se vuelve más importante mientras más extremas y limitantes sean las condiciones del campo, como en los ambientes semiáridos, pendientes elevadas y en áreas donde la materia orgánica se encuentra en bajas cantidades. En situaciones con bajos contenidos de MOS se hace más crítico manejar y maximizar las pocas cantidades existentes (Weil, 2001). Para procurar la conservación de los suelos es importante utilizarlos de forma adecuada acorde a las características particulares de cada sistema y ecoregión.

La estructura del suelo se beneficia de la agregación de materia orgánica, se incrementa la cantidad y distribución de agregados así como eleva la tasa de infiltración (Carter, 1992) y la estabilidad de materiales arcillosos (Sabine *et al.*, 2000). La MO también incrementa el contenido total de poros, estabilidad y distribución de ellos. Por esto también modifica la densidad aparente del suelo (Angers, 1992; Kay y Angers, 2000). Contribuye a la capacidad de intercambio catiónico de un 25 a 90% y a la capacidad del suelo de amortiguar el pH (Baldock y Nelson, 2000).

Los procesos metabólicos que ocurren en el suelo dependen de la microbiota. Los microorganismos obtienen energía de los hidratos de carbono provistos por la MO. Esta energía es necesaria para la conversión de macronutrientes (N, P, S) a formas inorgánicas disponibles para las plantas. Es por esto que al incorporar grandes cantidades de MO al suelo se puede provocar una inmovilización de nutrientes, sobre todo si éstos tienen una C:N > 25 restándolos de los nutrientes disponibles para los cultivos (Lampkin, 1998; Sumner, 2000).

### 1.3 El suelo en zonas áridas y semiáridas

En México, el suelo se encuentra altamente degradado, esto principalmente debido al uso indebido o no racional de prácticas agrícolas, así como al cambio de uso de suelo. Existen causas de degradación física como la erosión y derrumbes; causas químicas como el uso excesivo de fertilizantes y agroquímicos, y biológicas como la sobreexplotación con cultivos o la generada por fertilizado insuficiente (Frausto-Reyes *et al.*, 1991; Ojeda y Ojeda, 1996; SEMARNAT, 2006).

En las ZAS el suelo también se ha degradado debido a la sobre explotación de la vegetación con la finalidad de criar ganado, así como, a la deforestación para extracción de leña, lo que ha originado suelos desnudos que son arrastrados por las lluvias formándose cárcavas y barrancas. Agravando de esta forma la degradación y sumiendo a las ZAS en un vórtice de deterioro del suelo llamado desertificación (Ibrahim, 1978; Garchinbyamba y Kang, 2013).

Según el informe de la Comisión Nacional de las Zonas Áridas en la República Mexicana (2008) la desertificación afecta a 10 estados principalmente, con una población cercana a 10 millones de habitantes. En el Estado de Puebla y en especial en la Mixteca, en el sur del estado, las

tierras agrícolas han experimentado un daño grave debido al importante incremento del empleo de tecnologías agrícolas inadecuadas para ecosistemas frágiles (Ruiz *et al.*, 1998). A modo de ejemplo podríamos mencionar el dejar los suelos descubiertos en barbecho así como la práctica de agricultura en laderas.

La erosión es responsable de la pérdida de los horizontes superficiales del suelo, incluidos nutrientes y materia orgánica, esto también ocasiona que los suelos delgados o pedregosos pierdan su capacidad de almacenar agua y en general, disminuyen su productividad y aumenta el costo de producción agrícola (USDA y SCS, 1990; Kidd y Pimentel, 1992; Huitzhusen, 1993).

Frausto-Reyes *et al.* (1991), estimaron pérdidas de suelo tipo Cambisol de hasta 23 cm en parcelas con pendientes entre 2 y 19% por década en la zona de Nochixtlán, en la Mixteca Oaxaqueña. En ésta misma zona Pérez *et al.* (1998), encontraron reducciones en el rendimiento de maíz de 40% a consecuencia de la pérdida de los 20 cm superficiales de suelo en un Faeozem profundo y 99.2% al remover 10 cm en un Leptosol de 25 cm de profundidad.

Ruiz *et al.* (1998) realizaron un recorrido en la frontera de Puebla y Oaxaca, en el área comprendida entre Atzumba, Acatepec y Atecosco realizaron más de 20 perfiles edafológicos para conocer el estado de ésta zona de la Mixteca. Basándose en una prospección decidieron estudiar esta zona dado que presentaba efectos de agricultura incontrolada, deforestación, cultivo en laderas pronunciadas, suelos infértiles y una población indígena sumida en la pobreza.

Durante su investigación encontraron un pH de 7.94 en suelos superficiales y el constante aumento del pH mientras más cercano se encontrara de la roca madre rica en carbonatos de calcio. También reportaron un pH de 7.44 en el agua en el horizonte B, capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 48.3-56.2 meq 100g<sup>-1</sup> de suelo en el mismo horizonte. Fuera de las parcelas agrícolas encontraron sitios que habían perdido el horizonte A y a veces también el B, dejando expuesto el material parental. Los mismos autores registraron un suelo como “testigo de la riqueza edáfica en épocas pasadas” con un contenido de MO de 3.13%, mientras que la generalidad encontrada fue de 1.8 a 2.1%.

Una de las limitantes en este tipo de suelos es la disponibilidad de fósforo para los cultivos, la cual está íntimamente relacionada con el pH del suelo, y en el caso de la Mixteca es mayor a 7.5, mientras que el acceso óptimo por las plantas a P está en un rango de 6 a 7 (Sumner, 2000). En el caso del N las altas temperaturas pueden generar un incremento en la volatilización del mismo, provocando pérdidas de nutrientes y reduciendo su disponibilidad para las plantas (Stutte y Da Silva, 1981). Las arcillas son responsables de la reactividad del suelo junto con la materia orgánica, ambas disponibles en muy baja proporción en los suelos arenosos de la Mixteca poblana.

#### 1.4 Agricultura y ganadería en la Mixteca

La agricultura de subsistencia es la actividad económica predominante entre los pobladores de esta región, la cual es complementada con ganadería además de la fabricación de sombreros y artículos de palma, barro y ónix entre otros. Los campesinos pueden realizar trabajo asalariado y comercio en pequeña escala para complementar su ingreso (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Los principales cultivos de la zona de estudio son el maíz y frijol, aunque históricamente había presencia de amaranto. No fue sino hasta los años 80 en que Alternativas y Procesos de Participación Social A. C. comenzaron a fomentar su cultivo y a organizar cooperativas comunitarias

que eventualmente darían origen al Grupo Cooperativo Quali, el cual ha fomentado la producción de amaranto orgánico (Toledo y Solís, 2002).

Mientras hay zonas del país en que se cosechan 4 toneladas por hectárea de amaranto, en la Mixteca cosechar 450 a 700 kg ha<sup>-1</sup> es algo frecuente, un fenómeno similar ocurre con el maíz. Esta baja productividad y la altísima probabilidad de pérdida de sus cosechas por fenómenos naturales obliga a los productores a asegurar una producción mínima, con manejos intensivos, sin considerar prácticas a largo plazo que mejoren los suelos ya que podrían poner en riesgo la poca producción garantizada con los actuales sistemas de producción (Díaz-Ortega *et al.*, 2004; Mapes Sánchez, 2010).

La agricultura tradicional, concebida con el manejo de cultivos intercalados en la "milpa", es amenazada por varios factores, entre los principales están el abandono de los sistemas productivos por migración o empleo rural no agrícola, la fragmentación de la tierra, la reducción del área cultivada por productor, los descansos cada vez más cortos y el incremento de insumos sintéticos. Los agricultores tradicionales de maíz o milperos se han restringido a ser productores de subsistencia pues el mercado no paga lo que se invierte (COPLAMAR, 1977; Espinosa, 1995; INEGI, 2012; Rodríguez y Arias, 2014).

Las condiciones particulares de la agricultura de temporal en la región (escasez de lluvia, pobreza de la tierra, marginación, terrenos irregulares, ineficacia de las políticas públicas, poca rotación de los cultivos, entre otros) han provocado que en ocasiones, la agricultura no satisfaga ni siquiera las necesidades más inmediatas de las familias (Ruiz *et al.*, 1998).

La estrategia de los pobladores ha sido la de combinar el trabajo agrícola con otras formas de actividad no agrícola ocasional, empleos locales, consideradas por los habitantes como "trabajitos", de tal modo que a su condición de campesinos milperos (cultivo de maíz, frijol, calabaza y amaranto) se ha sumado la experiencia de ser trabajadores asalariados, ocupando puestos en el ramo de la construcción, también en las maquiladoras, en el servicio doméstico y como jornaleros (Dirven, 2004).

Este fenómeno, que aparentemente viene a irrumpir el equilibrio de la localidad campesina, es, por el contrario, un factor más que asegura la continuidad de la población rural, pues la necesidad de insertarse como trabajador asalariado, entrar en la economía de mercado y tener acceso a los productos industriales que ofrece es imperante. Menciona Diskin (1990) que hasta épocas recientes, los productores extraían de su medio todo lo necesario para asegurar su sostén material: Aunque en la actualidad el corazón de la comunidad sigue siendo su sistema de producción éste posiblemente no existiría sin la subvención del empleo rural no agrícola.

Aún con las difíciles condiciones del contexto de la agricultura de temporal, el trabajo en la milpa no se extingue, porque han decir de los pobladores, "el maíz es la tortilla y eso nos llena". Esta frase en sí misma da cuenta de la importancia del trabajo agrícola, no solo a nivel económico, sino ideológico y cultural. A través del trabajo agrícola no sólo se satisface la necesidad primaria de la alimentación, sino que en ella se expresan costumbres y normas de comportamiento, acciones cotidianas, organización familiar y transformaciones productivas (Arteaga, 1999).

## 1.5 Manejo alternativo de agrosistemas para la producción en ZAS.

Una de las lecciones fundamentales aprendidas en medio siglo de investigación agrícola es que no hay una receta universal para implementar una mejor práctica de manejo. Una aproximación única es necesaria para cada sistema agrícola. Aunque ciertas generalidades han sido notadas, entre ellas la conservación y uso eficiente del recurso hídrico, prevención de la erosión y degradación del suelo y el favorecimiento del reciclaje de nutrientes; si examinamos las soluciones para cumplir estos objetivos, veremos que la materia orgánica del suelo está siempre involucrada. Los principios mencionados son la base de las técnicas agroecológicas y cada una de ellas atienden uno o varios factores del sistema, entre ellos la baja disponibilidad de nutrientes o falta de ellos, alta compactación del suelo, pH no propicio para el desarrollo de algunos cultivos, entre otros (Weil, 2001; Tiftonell y De Grazia, 2011).

La agroecología es la aplicación de principios ecológicos a la agricultura, se entiende al campo como un sistema de múltiples interacciones y no un proceso lineal de insumo-producto. Esta práctica disminuye el uso de insumos externos, lo que podría reducir el uso de dinero dejándolo disponible para otras necesidades familiares de los productores. Además podría reducir algunos de los problemas económicos que sufren los pequeños productores de los países en desarrollo, al carecer de subsidios, y problemáticas como alta inflación y/o alta tasa de cambio que eleve los precios de los agroquímicos, falta de acceso físico a los fertilizantes y poco poder adquisitivo (Heisey y Mwangi, 1996).

Las tecnologías agroecológicas deben ser apuntadas a pequeñas ventanas de oportunidad, debe buscarse la forma de utilizarlas sin alterar o alterando lo menos posible las costumbres locales, buscar la oportunidad de intercalar cultivos, o de hacer rotaciones que no comprometan la economía de los productores ya sea por alta inversión económica o lento retorno (Snapp *et al.*, 1998; Bolliger *et al.*, 2006).

En el mismo sentido, el interés en la producción inmediata de calorías ha sido ignorado tratando de hacer énfasis en la creación de una reserva de materia orgánica en el suelo, esto aunado al requerimiento de mayor mano de obra ha hecho que a pesar de 70 años de esfuerzo por parte de organizaciones de la sociedad civil en África, la adopción de las tecnologías agroecológicas sean prácticamente nulas (Kumwenda *et al.*, 1997).

Los pequeños agricultores, y sobre todo los que se encuentran en condición de pobreza tienen un interés directo e inmediato en la producción de comida por lo que las tecnologías propuestas para la fertilización y mejoramiento del suelo, y por lo tanto la mejora de los cultivos, deben de tener un efecto positivo inmediato en la producción para facilitar su adopción (Snapp *et al.*, 1998).

La producción simultánea de comida y biomasa para mejoramiento del suelo facilita la adopción de las tecnologías, lamentablemente las especies con un alto índice de cosecha suelen tener bajo o nulo aporte de N al suelo. Las especies que aportan N al suelo y alta biomasa en raíces y hojas pueden comprometer la seguridad alimentaria aunque tendrán un aporte importante en el mejoramiento de la fertilidad del suelo. En función de tener una producción de alimento suficiente y producir biomasa para el mejoramiento del suelo la intercalación de cultivos puede ser una alternativa (Snapp *et al.*, 1998). La baja productividad de las ZAS hace difícil conseguir materia orgánica suficiente para fertilizar las parcelas y alimentar al ganado. Éste último generalmente entra

en competencia con el suelo por los pocos residuos de cosecha, lo que provoca que el suelo quede descubierto dejándolo expuesto, lo que podría provocar erosión y la consecuente pérdida de fertilidad.

Los manejos agrícolas que incrementan la MOS ya sea de origen vegetal con abonos verdes o animal como estiércol aumentan la capacidad de retención de agua del suelo, esto es de alta importancia al conocer la fragilidad de los sistemas productivos en la zona por la heterogeneidad de la lluvia y ausencia virtual de riego.

#### 1.6 La milpa como técnica agroecológica

Actualmente, se está revalorizando la milpa considerándola un sistema agroecológico. Esta técnica ancestral se ha ido perdiendo en favor del monocultivo promovido como parte de la revolución verde, debido a los paquetes tecnológicos favorecidos por el propio estado.

La milpa consiste en la producción intercalada de maíz, frijol y calabaza, que se cultivan en extensiones que varían de una a cuatro hectáreas; en menor proporción también se cultiva dentro de la milpa: amaranto (*Amaranthus spp.*), chile (*Capsicum spp.*), jitomate (*Solanum lycopersicum*), pepino (*Cucumis sativus*), sandía (*Citrullus lanatus*) y melón (*Cucumis melo*). El área ocupada por la milpa también suele ser utilizada para la extracción de leña, plantas forrajeras, arvenses comestibles y medicinales, así como aprovechamientos faunísticos (Esteva y Marielle, 2003; Rodríguez y Arias, 2014). Ejemplo de esto es la caza de venado y conejo dentro de los terrenos (ahora ilegal) o la extracción de acahual (*Tithonia diversifolia*) utilizado como forraje. Los magueyes son utilizados como cercas vivas y también para la producción de mezcal o pulque. Al alcanzar la madurez o después de secarse de forma natural el quiote<sup>1</sup> es un buen combustible.

La milpa en su rol de agrosistema, ha sido generadora de conocimiento científico y tecnológico desde hace miles de años y ha dado pauta a la diversidad biológica del propio maíz (Guevara y Zorrilla, 2005). Heredada como una técnica funcional pero sin conocer la razón de sus partes ha sido gradualmente olvidada, esto ha llevado a una baja en la producción agrícola y al empobrecimiento y deterioro del suelo.

La milpa mesoamericana es un agrosistema que se encuentra sujeto a las restricciones que cada región ecológica le impone, de tal manera que se encuentra sujeta también a las intervenciones humanas que intentan compensar las deficiencias ecológicas y amplían las posibilidades productivas.

En la milpa cada planta cumple una función ecológica y/o económica (Hernández y Ramos, 1977, Hernández y Ramos, 1985). El maíz es el cultivo de interés económico y alimenticio que proveerá los carbohidratos y energía a la dieta, el frijol, leguminosa de gran importancia, aportará el nitrógeno al suelo para mantener la fertilidad de la parcela y en su mezcla con el amaranto aportará los aminoácidos esenciales para construir la proteína humana. La caña del maíz brinda soporte al frijol que lo elevará sobre la calabaza, cultivo importante por sus grandes hojas que protegerán al suelo de la insolación y erosión hídrica al evitar la exposición solar y al agua de lluvia, así mismo, la sombra de las hojas evita la germinación y emergencia de arvenses no deseadas. Al

---

<sup>1</sup> Tallo de la flor del maguey

consumir semillas, guías, flores y frutos tiernos o maduros de la calabaza se aportan carbohidratos, proteínas, grasa, vitaminas y fibra (Rojas, 1991).

El chile, que a menudo se siembra en la milpa, permite un mejor aprovechamiento del espacio entre las plantas, repele ciertos insectos y aporta vitaminas. El acahual es una planta no sembrada pero común en la milpa, incrementa la cobertura del suelo, al descomponerse *in situ* lo enriquece con fósforo, disminuye la presión de plagas sobre el cultivo económico y sirve como forraje para los animales de traspatio (Sangakkara *et al.*, 2004).

Una característica particular de la milpa es el manejo campesino de las denominadas 'malas hierbas' para la misma milpa, pero no todas resultan malas para el hombre, por ejemplo, los quelites, las plantas medicinales y las forrajeras que aparecen espontáneamente. El campesino puede manejar aquellas que tienen características deseables, modificándolas paulatinamente hasta el punto en que ya no se parecen a sus parientes silvestres. En las últimas décadas se ha empezado a cultivar quelites, que antes eran espontáneos, como el huanzontle, el papaloquelite y la verdolaga. Estos productos han enriquecido la cocina mexicana (Hernández y Azurdia, 1979).

Sin embargo, en las condiciones actuales, después de haber sobre explotado el suelo, regresar a la tradicional milpa no es fácil por la falta de nutrientes en el suelo, por lo cual es necesario idear de manera participativa técnicas que coadyuven a aumentar el rendimiento y diversidad de los cultivos, aunado a la preservación y mejoramiento de los recursos naturales. En las ZAS una alternativa puede ser la implementación de abonos verdes.

### 1.7 Abonos verdes

Son una alternativa para mejorar la fertilidad de las parcelas y mejorar la calidad del alimento de los animales de traspatio, pero esta tecnología debe ser desarrollada acorde con las características de cada lugar, y de preferencia adaptada junto con los productores para facilitar su apropiación así como posibles modificaciones futuras por parte de los campesinos.

Los abonos verdes son plantas que se cultivan para proveer cobertura al suelo y mejorar sus características físicas, químicas y biológicas (Florentín, 2011). El rol de los residuos de plantas como proveedores de nutrientes en suelos degradados está bien documentado (Snapp *et al.*, 1998). Algunas de las funciones que podrían cumplir son disminuir la erosión, evitar la pérdida por lavado de nutrientes, conservar la humedad del suelo y proveer de alternativas económicas a los productores.

Las plantas más utilizadas como abonos verdes son las gramíneas, crucíferas, cariofiláceas entre otras. Siendo el principal grupo el de las leguminosas por su capacidad de acumular cantidades sustanciales de N fijado de la atmósfera en su biomasa (Beltrán-Morales *et al.*, 2006). Al descomponerse estas plantas liberan estos nutrientes mediante el proceso conocido como mineralización.

El primer producto de la mineralización es el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), que puede perderse por volatilización, o puede adquirir un hidrógeno y formar amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En este estado puede ser adsorbido por las arcillas en el suelo o por las plantas. Las bacterias pueden utilizarlo como fuente de energía, en este proceso pierde dos hidrógenos, primero para formar nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y luego nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Parte de este nitrógeno puede ser absorbido por microorganismos que lo incorporan a su

biomasa (inmovilización) o puede ser utilizado por las plantas (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011).

Según Amado y Wildner (1991), las principales características que debe tener un abono verde son: rápido crecimiento inicial y eficiente cobertura del suelo, alta producción de biomasa, captación de nutrientes debido las raíces profundas y bien desarrolladas, fácil manejo en campo, bajo nivel de ataque de plagas y enfermedades, de fácil tumba o incorporación al suelo, tolerancia a baja fertilidad del suelo, producción suficiente y no ser invasora.

Muzilli *et al.* (1980) sugieren agregar que sean leguminosas, tamaño de semilla medio (1000 a 1500 semillas por kilo), plántulas robustas para alta supervivencia, semillas de fácil germinación, que no sean trepadoras en caso de ser perennes.

Finalmente, Beltrán-Morales *et al.* (2006) agregan como criterio una buena capacidad de rebrote de la parte aérea y buena capacidad de resiembra natural (en caso de no ser muy competitiva). No todas las plantas deben de cumplir todas estas características, dependiendo el uso que se planeé dar algunas características tendrán más importancia que otras (invierno o verano, rastrera o arbustiva, ciclo corto o largo, intercalada o rotación así como posibilidades de manejo por el agricultor).

#### 1.7.1 Calidad de los abonos verdes

La mayor parte del nitrógeno del suelo está contenido en la materia orgánica proveniente de animales, plantas, hongos y bacterias (Schlesinger, 1997), y será disponible hasta que sufra los procesos de descomposición y mineralización (Vitousek y Matson, 1985). En las zonas áridas esto sucede por pulsos, cuando existe humedad suficiente y temperatura moderada (Whitford, 2002). Durante la parte seca del año, muy acentuada en las ZAS, se crea un reservorio de materia mineralizable que en pocas semanas, después de ser humedecida, será completamente mineralizada y sus nutrientes serán liberados (Austin *et al.*, 2004).

La mineralización es un proceso determinante en la liberación de nutrientes disponibles para las plantas. La tasa de mineralización, se determina por la pérdida de materia orgánica en un tiempo determinado (Westermann y Crothers, 1980). Esta tasa puede ser medida mediante la respiración del suelo, que es el proceso exotérmico mediante el cual el  $O_2$  oxida al carbono dando como resultado  $CO_2$  y  $H_2O$  (Sumner, 2000).

No todos los residuos vegetales tienen la misma calidad para el fin de fertilización del suelo. Se consideran residuos de alta calidad respecto a la fertilidad química o liberación de nutrientes a aquellos con baja relación C:N (9-10) y poco contenido de polifenoles y lignina. Agregar este tipo de residuos al suelo aumentará la actividad microbiana del mismo, la disponibilidad de macro y micronutrientes así como su capacidad de amortiguar el pH (Mafongoya *et al.*, 1997; Snapp *et al.*, 1998).

Para aumentar la reserva de material orgánico en el suelo se necesita una adición anual alta de materia orgánica. Janssen (1993) encontró que para mantener 1% de C orgánico en un suelo Arenoso limoso (Sandy loam) en el trópico subhúmedo africano, era necesario agregar alrededor de  $7 t ha^{-1}$  de materia seca residual de baja calidad (tallos y raíces) o  $10 t ha^{-1}$  de residuos de alta calidad (hojas de abonos verdes). Esto es debido a que la relación C:N determina de forma importante la

velocidad en la que se mineraliza la materia orgánica. La materia orgánica de alta calidad, como hojas verdes y jóvenes de leguminosas (C:N = 10:1 a 30:1) se mineralizará rápidamente en comparación a los residuos de carpintería con altísimo contenido de lignina (C:N = 600:1; Brady y Weil, 2010). Los insumos con menos de 1% N y con C:N > 50 tienen muy bajo potencial para mineralizar suficiente N para la producción agrícola, de hecho, estos materiales inmovilizan N del suelo lo que puede llevar a un déficit de N en el suelo después de su aplicación (Sumner, 2000).

Así mismo, la elección de un abono verde debe tomar en consideración el tiempo de liberación de N así como la demanda de N del cultivo subsecuente, el impacto en la textura del suelo y la susceptibilidad de la lixiviación de  $\text{NO}_3\text{-N}$  entre cultivos (Dean y Weil, 2009).

Porta (2003) menciona que independientemente de las propiedades de la materia orgánica, otros factores que determinan la respiración del suelo son la humedad y la temperatura del suelo. En el continuo de la humedad, el punto de saturación de campo es el momento de mayor descomposición debido a que los microorganismos del suelo tienen toda la humedad necesaria y existen canales de aire en el suelo.

### 1.7.2 Beneficios de los abonos verdes

En una zona con altos niveles de pobreza y marginación el uso de abonos verdes es de especial importancia ya que disminuye la compra y traslado de insumos, frecuentemente de elevado precio para los productores. A diferencia de los abonos sintéticos los abonos verdes son un recurso renovable producido localmente y a bajos costos (Cherr *et al.*, 2006).

El uso de abonos verdes propicia beneficios ambientales y agronómicos (Weil y Kremen, 2007; Dean y Weil, 2009) incluyendo la reducción de erosión del suelo (Fageria, 2007), así como el incremento en la materia orgánica del mismo y disminuye la compactación del suelo (Williams y Weil, 2004; Chen y Weil, 2010), suprime enfermedades y plagas. Estos cultivos también han mostrado ser un medio eficiente en la reducción de pérdida de nutrientes en los suelos agrícolas (Meisinger *et al.*, 1991; Jackson *et al.*, 1993; Vos y Van der Putten, 2000; Fisk *et al.*, 2001; Weinert *et al.*, 2002; Vos y Van Der Putten, 2004). La siembra inmediata de un abono verde después del cultivo económico es especialmente importante para minimizar las pérdidas de nutrientes por lavado en los horizontes superficiales (Dean y Weil, 2009) así como la siembra de plantas con raíces profundas rescatará los nutrientes de horizontes inferiores (Jackson *et al.*, 1993).

La materia orgánica integrada al suelo conservará la humedad, dependiendo de una relación entre el tamaño de las partículas del suelo, porcentaje de materia orgánica y la densidad de los agregados con el flujo del agua y la retención de la misma en el suelo (Gupta y Larson, 1979; Beltrán *et al.*, 2006). Las raíces dejan orificios en el suelo lo que aumenta los puntos de infiltración, la cobertura evita desagregación y sellado de la superficie y se reduce la velocidad de escurrimiento, mantiene e incluso puede elevar el contenido de materia orgánica del suelo (Beltrán *et al.*, 2006).

Existen también riesgos inherentes al uso de fertilizantes, que pueden ser disminuidos o eliminados mediante la fertilización con abonos verdes. El uso excesivo de fósforo en la agricultura es una de las principales causas de eutrofización de los cuerpos de agua. El estiércol posee una relación N/P menor que los abonos verdes (Hao *et al.*, 2004). En condiciones de alcalinidad generalizada las pasturas poseen altas cantidades de sal, que es transferida al estiércol, por lo que es posible que el uso de estiércol y compostas incrementen la abundancia de sales en el suelo, esto se conoce como salinización secundaria (Hao y Chang, 2003).

Una de las alternativas orgánicas para fertilizar y mejorar el suelo han sido las compostas, que como control y manejo de residuos son una alternativa mejor al entierro de residuos orgánicos en tiraderos o a la quema. Lamentablemente llevar adecuadamente el proceso de composteo no es tarea fácil, hay que controlar la temperatura, y humedad de la pila de composta, de no hacerlo no se alcanzará la temperatura necesaria para destruir patógenos y favorecer una mineralización adecuada, o la temperatura en exceso quemará y secará la composta. El mantenimiento adecuado de la composta requiere el acceso a insumos, mano de obra de hasta más de una vez diaria y conocimientos técnicos precisos. Lo cual se reduce al utilizar abonos verdes.

Como se mencionó anteriormente, respecto al beneficio de liberación de nutrientes la relación C:N de los abonos verdes permite que la liberación sea más rápida que la de las compostas (Brady y Weil, 2010).

### 1.7.3 Especies utilizadas como abonos verdes en zonas áridas y sus resultados

Existen muchas especies vegetales que son utilizables como abono verde y depende de las condiciones fisicoquímicas del campo de cultivo, del calendario de siembra y tipo de manejo agrícola que habrá una especie o combinación de especies que sean mejores que otras, algunas de las que se han utilizado son:

*Dolichos (Lablab purpureus o Dolichos lablab):*

Es tolerante a la sequía, se puede sembrar con diferentes objetivos: alimento para ganado, combinación en pradera, o con maíz, barrera viva, cortarlo como heno y para ensilado o para incorporarlo al suelo. Es vigoroso y tiene hojas grandes de 7 a 15 cm de longitud que brindan cobertura total al suelo, por lo que combate malezas y conserva la humedad del suelo.

Se ha reportado en Honduras que *Diabrotica spp.* ataca al dolichos. En la Mixteca hay *Diabrotica balteata* (Flores, 1993), se ha reportado como una plaga del amaranto, por lo cual podría resultar contraproducente implementar el uso de este frijol antes de la siembra del amaranto, la plaga posiblemente aumentaría su población dañando al cultivo, por lo contrario, si se siembran de forma intercalada la depredación hacia el dolichos le quitaría presión al amaranto (Flores, 1993).

Tolera heladas cortas, crece con 10 mm de lluvia y luego es tolerante a la sequía (Mayer *et al.*, 1986; Bernardo *et al.*, 2010), permanece verde durante la estación seca y puede proporcionar hasta 60 t de materia verde ha<sup>-1</sup> o 6 t de materia seca ha<sup>-1</sup>. Usualmente 15 a 40 kg N son fijados cada 1000 kg de materia seca al cortarse o incorporarse al haber 10% de floración, lo que sucede a los 90 días.

Bernardo *et al.* (2010) reportan para una zona árida en Baja California Sur que el frijol dolichos (*Lablab purpureus* L.) aporta 366 kg N año<sup>-1</sup> por cada 13 t de materia seca, el K se incrementó en 235 kg ha<sup>-1</sup> y 212 kg ha<sup>-1</sup> de Ca. El frijol dolichos puede ser una buena alternativa para proporcionar los nutrientes necesarios a los cultivos que se desarrollan en condiciones de aridez.

*Canavalia (Canavalia ensiformis)*

Su uso como abono verde es altamente frecuente (Skerman *et al.*, 1988; Skerman y Riveros, 1990). Crece entre 6 y 9 semanas dependiendo las condiciones climáticas. Fija 58 kg ha<sup>-1</sup> de N. Produce 4.4 t ha<sup>-1</sup> de materia seca (Ramos *et al.*, 2001).

Tiene gran diversidad de usos, las vainas inmaduras pueden ser consumidas por los humanos, las semillas maduras molidas sirven para hacer buena harina para alimentar ganado (Skerman *et al.*, 1988; Skerman y Riveros, 1990) aunque esta harina debe ser consumida con moderación ya que 28 gramos de semilla por 0.73 kg de peso del animal son mortales, pudiéndose evitar esto tratando con calor la semilla antes de moler (Affleck, 1961; Shone, 1961).

La recomendación de siembra varía en el uso que se desee dar a las plantas, para su uso como abono verde se recomiendan 54 kg ha<sup>-1</sup> de semilla, siembra en surcos de entre 60 y 100 cm de separación, con dos o tres semillas cada 40 cm. La floración media ocurre al tercer mes, momento en el cual se recomienda la trilla e incorporación (Addison, 1957).

#### Avena negra (*Avena strigosa*)

El uso de leguminosas en rotaciones con plantas altamente extractoras de N como el maíz ha sido ampliamente recomendado (Rosolem *et al.*, 2004). En ecosistemas tropicales puede ser más interesante el uso de pastos dado que protegen y mejoran el suelo mejor que las leguminosas (Rosolem *et al.*, 2004). Los pastos tienen un mayor aporte de materia orgánica al suelo que las leguminosas al ser incorporadas, esto es de vital importancia dado la deficiencia crónica de MO en las zonas áridas (Zahran, 1999). La avena negra (Poaceae) puede generar entre 3.3 y 4.3 toneladas de materia seca por hectárea en tres meses, conteniendo entre 80 y 82 kg N ha<sup>-1</sup> (Liebman y Dyck, 1993; Liebman y Ohno, 1997).

Para compensar el aporte bajo de N por parte de la avena negra, Rosolem *et al.* (2004) recomienda fertilización nitrogenada, aún un aporte de 120 kg N ha<sup>-1</sup> no fueron capaces de compensar la disminución en la producción de maíz subsecuente después del cultivo de avena negra. Otras alternativas como la intercalación avena – leguminosa deben ser exploradas.

#### Guaje (*Leucaena leucocephala*)

El guaje es un árbol que se encuentra en abundancia en la gran mayoría del territorio mexicano, principalmente en las zonas cálidas y áridas (Zarate-Pedrote, 1994) y su uso global como fuente de fertilidad para el suelo ha sido ampliamente documentado (Sanginga *et al.*, 1989; Zarate-Pedrote, 1994; Shelton y Brewbaker, 1998; Solorio y Solorio, 2008).

El guaje es tolerante a la falta de agua aún durante su establecimiento inicial (Swasdiphanich, 1992). Y se encuentra adaptado a las condiciones locales de la Mixteca: suelos calcáreos, altas temperaturas durante el día y 600 mm de PPA (Shelton y Brewbaker, 1998). La escarificación para permitir germinación es necesaria, agua en hervor durante 4 segundos, agua a 80° durante 2 a 3 minutos o ácido sulfúrico concentrado de 5 a 10 minutos son las estrategias más utilizadas. Inoculación con *Rhizobium* y Micorriza es recomendada cuando no se encuentra en abundancia en el suelo local (Solorio y Solorio, 2008).

Para su producción en vivero se recomiendan 6 partes de suelo, una parte de arena y tres porciones de materia orgánica enriquecida con fósforo y nitrógeno (Solorio y Solorio, 2008). Las plántulas deben ser protegidas de las arvenses ya que son muy susceptibles a daño por competencia radicular en sus primeros momentos de desarrollo (Shelton y Brewbaker, 1998).

Existen producciones reportadas de 3 a 30 t de materia seca por hectárea. Los árboles no manejados pueden alcanzar alturas de hasta 20m, sembrando las plantas cada 25 cm en una hilera se pueden mantener en forma de seto altamente manejable (Shelton y Brewbaker, 1998). Para esto,

cuando las plantas lleguen a una altura de 1.5 a 2.5 m de alto por primera vez se debe de cortar totalmente el tallo a 20 cm del suelo, esto promoverá el crecimiento de las ramas secundarias (Solorio y Solorio, 2008).

Jama y Nair (1996) realizaron una mineralización de *Leucaena leucocephala* y encontraron una mineralización prácticamente total en 10 semanas, quedando materia orgánica no lábil y de lenta descomposición. Las hojas de guaje presentaron un contenido de 4.4% N, con relación C:N de 11, mientras que las ramas contenían 2.6% N (C:N de 19).

#### 1.7.4 Manejo de los abonos verdes

Los abonos verdes son sembrados después o simultáneamente a la cosecha, si se deja la materia orgánica del cultivo de interés económico (i.e. tallo de maíz, amaranto o trigo) algunos abonos verdes podrán sacar provecho de ella para sostenerse y crecer más abundantemente. Dependiendo del clima local, el frío o sequía pueden matar al abono verde después de dos o tres meses de crecimiento, de no hacerlo, la planta debe ser cortada al inicio de la floración. La forma más fácil de hacer esto es rodando un rodillo con navajas que tumbe y quiebre la planta, aunque el corte manual también es una alternativa (Bolliger *et al.*, 2006, MOAF, 2016).

Se denomina acolchado o mulching cuando el abono verde se deja tendido formando una alfombra que disminuirá la germinación de arvenses, evitará la insolación y erosión del suelo al mismo tiempo que conservará la humedad del suelo. Esta forma de utilizar los abonos verdes es poco eficiente en relación al nitrógeno, si se cubriera inmediatamente posterior al corte, se evitaría la pérdida a la atmósfera de la mayor parte del N. Este problema puede ser compensado de diversas formas, una de ellas es la siembra con mayor densidad para que aunque exista una gran pérdida, el N que permanezca en el campo sea suficiente (Stopes *et al.*, 1996).

Otra forma de manejo de los abonos verdes es que se siembren después del barbecho. Dependiendo de la especie de abono verde, la floración media puede tardar entre un mes y tres meses en llegar. En este momento se incorpora usando un arado y se siembra el cultivo de interés económico. En su defecto, pueden sembrarse ambos cultivos simultáneamente y con las labores secundarias como el "aporque" o "aterrado" el abono verde será matado y enterrado con lo que comenzará su descomposición (Beltrán *et al.*, 2006).

La intercalación de cultivos de abono verde con el cultivo comercial es principalmente recomendada para las situaciones en que el suelo se tiene que utilizar de la forma más intensa posible (física y temporalmente). En este caso es de extrema importancia elegir un abono verde que no compita con el cultivo, que podría ocasionar pérdida de productividad. La principal ventaja de la intercalación es el uso intensivo del suelo, control eficiente de erosión y reducción de propagación de arvenses lo cual reduce costos de mano de obra. El abono verde puede cortarse manualmente como si fuera una hierba y se puede dejar tendido, o puede incorporarse usando arado (Beltrán *et al.*, 2006).

La Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) es la intercalación del cultivo de interés económico con especies arbóreas llamadas mesocultivo y epicultivo respectivamente. Puede agregarse a forma de sotocultivo otra especie (e.g. frijol, calabaza o tomate) que podría ser un abono verde (Cortes *et al.*, 2014).

El módulo MIAF típico, consiste de tres franjas de 4.8 m de ancho cada una. La franja central ocupada por los árboles frutales y las franjas laterales por el maíz o frijol en seis surcos de 0.80 m de ancho cada uno (alternando dos surcos de maíz seguido de dos surcos de frijol). Lo normal es que cada 12 o 16 surcos de cultivo haya un surco de árboles que deben de cumplir con algunos requisitos. Lo más común es que sean fijadores de N, adaptados a las condiciones climáticas y edafológicas locales, que puedan ser podados sin afectarse, lo cual es prácticamente obligatorio, es deseable que no hagan mucha sombra o que no crezcan alto, alta biomasa debe ser favorecida, raíces profundas y extendidas horizontalmente son deseables (Cortes *et al.*, 2014)

Esta técnica muestra varias ventajas para los cultivos: Si se elige un árbol frutal puede aumentar el ingreso económico de la familia empobrecida así como complementar su dieta, si el árbol resultara ser forrajero también se mejora la condición de los animales de traspatio. Antes de las labores del campo se puede podar el árbol para tender en el campo la biomasa vegetal (con un mínimo de mano de obra y transporte), ésta podrá ser incorporada al realizar las labores del campo por lo que se disminuirá la pérdida de N a la atmósfera, puede dejarse cubierto el suelo con residuos de la cosecha anterior durante el barbecho ya que se puede obtener forraje verde de los árboles, se disminuirá la insolación y erosión, las raíces de los árboles funcionarán como una red que capturará los nutrientes lixiviados del campo y vía follaje los llevarán nuevamente a la superficie (Cortes *et al.*, 2014). Este sistema podría ser una opción si el árbol incorporado al mismo, fungiera como forrajero y abono verde.

Una desventaja de esta técnica es la alta inversión inicial, aunque ésta puede ser disminuida haciendo una conversión gradual del sistema. El principal problema puede ser la conversión a un sistema completamente diferente del tradicional, lo que puede dificultar mucho la apropiación o deseo de experimentación (Nota del autor).

#### *1.7.5 Resultados obtenidos mediante el uso de abonos verdes*

Es importante considerar que por la calidad del material de los abonos verdes en los estudios a corto plazo suele haber escasa diferencia en las condiciones físicas y en algunas químicas del suelo (Snapp *et al.*, 1998), generalmente se necesitan varios años antes de inducir diferencias significativas en el suelo (Thönnissen *et al.*, 2000a; Thönnissen *et al.*, 2000b; Bayer *et al.*, 2001).

El uso de abonos verdes contribuye a la recuperación de la fertilidad (Buciene *et al.*, 2003), mejora las propiedades físicas del suelo (Agostini *et al.*, 2003), controla las plagas (Alyokhin y Atlihan, 2005), arvenses (Blackshaw *et al.*, 2001) y nematodos (Guerena, 2006) pero sobre todo incrementa la materia orgánica que a su vez modifica la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de macro y micronutrientes, también forma y estabiliza agregados, mejora la infiltración de agua y la aireación (García-Hernández, 2000), en caso de que el abono verde sea una leguminosa destaca la incorporación de nitrógeno al suelo efectuado a través de la fijación biológica (Thorup-Kirstensen, 2006; Mehari *et al.* 2005).

Bernardo Murillo *et al.* (2010) realizaron una comparación entre sistemas convencionales y otros con abonos verdes en un desierto cálido, con una temperatura media anual mayor a 22° C y 184 mm de precipitación anual en un suelo con 75% arena, 15% limo y 10% arcilla. Cuando el abono verde (dolichos) presentó 10% de floración (90 días post siembra) se incorporó al suelo. Los autores estimaron la producción de 50 t ha<sup>-1</sup> de materia verde o 13 t ha<sup>-1</sup> de materia seca con un aporte de nitrógeno de 366 kg N ha<sup>-1</sup>.

Stopes *et al.* (1996) compararon tres abonos verdes, en un área con una PPA de 800 mm, resultando el trébol blanco el principal productor de biomasa seca ( $12.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), trébol rojo mostró el mayor contenido de N sobre la superficie ( $371 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), ambas especies produjeron más N y materia seca que trébol y lolium (Poaceae). También encontraron que a partir del segundo año de sembrar abonos verdes hay una acumulación de N que excede los requerimientos del cultivo subsecuente y se traduce en una pérdida sustancial de N y contaminación ambiental.

Murillo *et al.* (2006b) reportaron el trabajo de la Sociedad de Solidaridad Social Productores Orgánicos del Cabo en la península de Baja California, México. La Sociedad utiliza una múltiple labor del suelo en cuatro pasos, consistente en rastra de discos, subsuelo a 40-50 cm, rastra de discos y surcado. Algunas familias llevan hasta 50 años sembrando yorimón (*Vigna spp.*). Se siembran  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ , con alrededor de 3 o 4 semillas por metro de surco. A los 40 días cuando la planta presenta 30 cm se pasa un arado aporcando el yorimón. Inmediatamente se hace un riego de auxilio, después de lo cual se siembra una gramínea, generalmente maíz (*Zea mays*), cada 50 cm. A la floración del Yorimón se hacen dos rastras para incorporar maíz y Yorimón por igual. En total, el proceso lleva tres meses, después de los cuales se siembra el cultivo definitivo. Este tratamiento genera residuos de alta y baja calidad (Snapp *et al.*, 1998) lo cual aporta mejoras a corto y largo plazo, aunque los productores necesitan complementar la nutrición de sus parcelas con compostas, generalmente de estiércol aunque también compostean residuos caseros y de cosechas así como aportaciones minerales de rocas ricas en P y K. Cuando notan deficiencias en las plantas recurren a harina de pescado, calcio de maíz, calcium 25 y maxicrop (NPK).

#### 1.7.6 Factores problemáticos a considerar en el uso de abonos verdes

El uso de abonos verdes no es una panacea ni es libre de efectos secundarios no deseados. Aunque los abonos verdes han mostrado ser un medio efectivo para combatir la pérdida de nutrientes en tierras agrícolas en caso de abusar de ellos se pueden desencadenar nuevos problemas (Meisinger *et al.*, 1991; Jackson *et al.*, 1993; Weinert *et al.*, 2002; Vos y Van Der Putten, 2004).

Stopes *et al.* (1996) han detectado la contaminación por el lixiviado rico en N. Aunque las pérdidas de nitrógeno en los sistemas es inevitable durante la temporada de cultivo ya sea por volatilización a la atmósfera (Whitehead y Lockyer, 1989) o por el lixiviado después del cultivo. Estas pérdidas pueden ser disminuidas con las rotaciones o intercalaciones adecuadas, planeando las épocas de siembra y cosecha (Philipps y Stopes, 1995).

A modo de ejemplo de una mejor planeación para evitar la pérdida del nitrógeno, Stopes *et al.* (1996) mencionan que aproximadamente un tercio del nitrógeno total acumulado por el trébol rojo sobre el suelo fue perdido por lixiviación antes del establecimiento de la cosecha de invierno. Postergar el cultivo hasta la primavera disminuye substancialmente el lixiviado causado por la superficie del suelo no cultivada durante el invierno.

La producción pecuaria de traspatio suele competir contra el suelo por el acceso a los residuos de la cosecha. En caso de plantarse los abonos verdes dentro de un sistema con animales de pastoreo, deberá buscarse una forma de disminuir el conflicto. Esto puede realizarse de diversas maneras: Dejar pastar a los animales dentro del campo, de esta forma el aporte de estiércol y orina compensará la pérdida de biomasa del abono verde. Otra forma es la de asignar un área de producción de forraje. La alfalfa es un muy buen mejorador de suelo por lo que al asignar áreas

poco productivas de la parcela a la producción de forraje, se podrá satisfacer la necesidad de los animales y simultáneamente se mejorará el campo (Mortensen, 1963; Badaruddin y Meyer, 1990). Finalmente, sembrar abonos verdes como la avena o alfalfa, que pueden ser podados y vuelven a desarrollar biomasa, permite satisfacer las necesidades de alimento para los animales y del suelo.

En la región de estudio, los productores de la cooperativa buscan alternativas para la producción de amaranto, por ello es necesario conocer sus características y ciclo, si se pretende utilizar abonos verdes para mejorar su producción, ya que gran parte del éxito en su uso es una buena planeación y empate de actividades culturales en la parcela, entre el cultivo principal y el abono.

### 1.8 Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*)

El género *Amaranthus* se encuentra compuesto por cerca de 60 especies, pocas de ellas cultivables (Sauer, 1967). Las tres principales especies cultivadas en el mundo por el grano son *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* y *A. caudatus*.

El amaranto es una planta altamente nutritiva con densidades minerales mayores que las de otros cultivos (Santín *et al.*, 1986). Es por esto que es una alternativa importante para combatir la inseguridad alimentaria de los productores de este cultivo al mismo tiempo que el alto valor económico les debería permitir librar la brecha de la pobreza.

Tabla 1. Contenido de minerales en el grano de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), maíz y trigo.

Mineral (mg/100g)	Amaranto	Maíz	Trigo
Fósforo	600	-	-
Potasio	563	284	370
Calcio	303	158	58
Magnesio	344	147	160
Fierro	5.3	2.3	0.9

Fuente: Santín *et al.* (1986) Pasado, presente y futuro del amaranto.

El amaranto es una planta C4 lo cual la hace eficiente en un amplio espectro de temperaturas y humedad, investigaciones en China han encontrado que el amaranto utiliza solamente del 42-47% del agua requerida por el trigo y entre el 51 y 62% del maíz (Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993).

La germinación requiere que el pH del medio sea mayor a 6 (Schulte *et al.*, 1991) y la temperatura mayor a 15°C (Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993). Una profundidad de siembra de alrededor de 1.3 cm es recomendada.

Stallknecht y Schulz-Schaeffer (1993) Realizaron una revisión bibliográfica sobre el amaranto y encontraron que no hay mucha información respecto a las necesidades nutricionales de *Amaranthus hypochondriacus*, pero mencionan como línea base las concentraciones de 112-135 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno disponible total, 15 a 30 ppm de P y 80 a 120 ppm de K. Los requerimientos

nutricionales variarán de forma importante dependiendo el tipo de suelo, historial de cosecha y manejo de la parcela. En sitios altamente irrigados es recomendable aumentar las dosis de N.

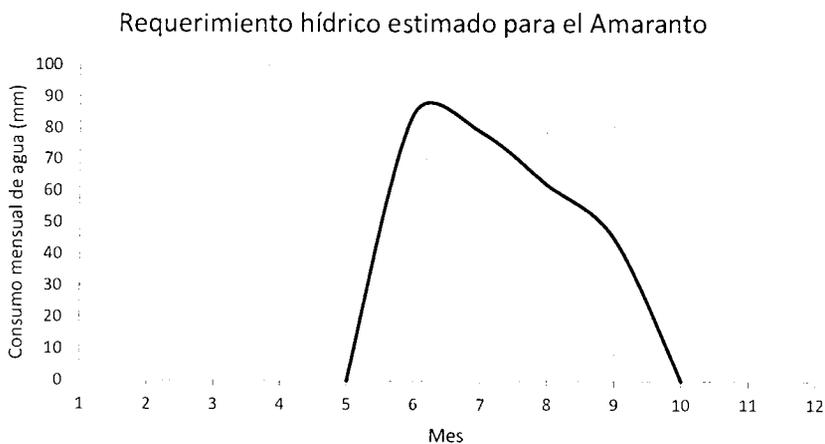
Stallknecht y Schulz-Schaeffer (1993) reportaron que en algunas parcelas con riego se han cosechado hasta 5000 kg ha<sup>-1</sup>, y en algunas pruebas en desierto 112 kg ha<sup>-1</sup>. Rendimientos de 450 a 700 kg ha<sup>-1</sup> en zonas desérticas y 900 a 2000 kg ha<sup>-1</sup> con riego o lluvia suficiente se consideran rendimientos razonables.

La plasticidad genotípica del amaranto es altamente variable, por lo que el efecto de las técnicas usadas para su siembra, clima, nutrientes harán variar de forma significativa el tamaño de la planta, de la panoja y finalmente, el rendimiento del cultivo (Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993).

Desde su domesticación en México ha sido parte de los cultivos básicos de América (Sauer, 1950), y aunque durante la conquista del continente fue prohibido su consumo por asociarse a rituales religiosos no logró extinguirse, en la actualidad existe un renovado interés en su cultivo (Espitia, 1991; Espitia, 1992; Mapes Sánchez, 2010). Es el cultivo ideal para las zonas desérticas de México ya que es resistente a la falta de agua así como al calor excesivo (Sauer, 1950; Mujica-Sanchez y Berti, 1997; AMA, 2003; Mapes, 2010).

Utilizando los datos reportados por Díaz-Ortega *et al.* (2004) se estimó el requerimiento hídrico del amaranto en 385 mm, y con su información de evapotranspiración se hizo un estimado del climograma de consumo (Fig. 1). Al comenzar en mayo la siembra se eleva rápidamente el consumo hídrico, y al avanzar el desarrollo de la planta va disminuyendo hasta la madurez, en que se seca la planta y el consumo se detiene.

Figura 1. Requerimientos hídricos del amaranto.



Fuente: Construido y estimado a partir de los datos de Díaz-Ortega *et al.* (2004) que reportan la evapotranspiración del amaranto desde su siembra a la madurez fisiológica. Elaboración original.

A pesar de su importancia cultural y alimentaria no existen prácticamente estudios sobre los requerimientos nutricionales de este cultivo, aunque existen manuales como el de Manoj y Prakash (2011) que muestran el efecto de las deficiencias.

La densidad de siembra que recomienda la cooperativa para maximizar la producción disminuyendo el “acame” o caída de las plantas es de 12,500 matas de amaranto por hectárea. La separación entre matas es de 1 m en surcos de 0.8 m. La mayoría de los sembradores maneja una densidad de 15,625 matas de amaranto ya que lo siembran a “paso de maíz”. La distancia entre matas es de 0.8 m en surcos de 0.8 m.

#### Fenología del amaranto

Es importante hacer notar que al hablar de estados fenológicos no nos referimos al estado de una planta sino a la media poblacional del cultivo (Chagaray, 2005).

Emergencia (VE) Dependiendo de las condiciones agroclimáticas se da entre el día 8 y el 21 después de la siembra. Hojas de menos de 2 cm (Chagaray, 2005).

Fase vegetativa ( $V_1$  a  $V_n$ ) Hojas de al menos 2 cm. El primer nodo corresponde a  $V_1$ , el segundo a  $V_2$  y así en sucesivo. En  $V_4$  la planta se ramifica (Chagaray, 2005).

Fase reproductiva (R) 50 a 70 días después de la siembra se comienza a notar la inflorescencia (R1). Cuando la panoja tiene 2 cm de largo se considera R2, en R3 la panoja tiene 5 cm de largo. Se alcanza la antesis (R4) cuando se encuentra al menos una flor abierta con estambres separados y estigma visible. En R4 el cultivo es altamente sensible a las heladas y al estrés hídrico (Chagaray, 2005). R5 se caracteriza por la antesis de al menos 95% de la panoja central, dentro de este estado se puede observar grano lechoso que al ser presionado libera un líquido lechoso o grano pastoso, en que el grano no libera líquido sino se comporta como una masa al ser presionado. La madurez fisiológica (R6) es difícil de establecer, ligero cambio en el color de la panoja suele ser un indicador. Las semillas no se pueden romper entre las uñas, y al sacudir la panoja las semillas caen. Finalmente, en R7 las hojas senescen y caen (Chagaray, 2005).

En Dakota el amaranto productor de semilla requirió en promedio 267 mm de lluvia. Esta planta tiene la capacidad de extraer agua de hasta 1.5 m de profundidad en caso de estrés hídrico, y la máxima profundidad radicular la alcanza entre el comienzo y plena floración (Henderson, 1993) a menos que exista un horizonte de compactación (De León *et al.* 1997).

La máxima productividad reportada experimentalmente para el amaranto es de 7,900 kg ha<sup>-1</sup>, siendo esperados en cultivos comerciales entre 800 y 3,500 kg ha<sup>-1</sup>. Existen variedades que pueden sobrevivir en un intervalo de precipitación hídrica desde los 176 mm a los 1,378 mm, sin embargo, la distribución de la lluvia puede ser determinante para que el cultivo produzca sin necesidad de riego (Mujica *et al.*, 1999).

Un fotoperiodo de entre 12 y 16 horas es suficiente para que el amaranto florezca, crece en suelos ácidos y alcalinos (pH 4.5 - 8.5). Al ser una planta C4 hace un uso más eficiente del agua que las plantas C3 (Hauptli, 1977).

En la literatura es frecuente encontrar fertilizaciones de entre 200 y 300 kg N ha<sup>-1</sup>, (Díaz-Ortega *et al.*, 2004; Mapes-Sánchez, 2010). Ayodele (2000) encontró que la dosis óptima para *A. hybridus* es de 100 N kg ha<sup>-1</sup>, aunque 200 N kg ha<sup>-1</sup> incrementaron la producción de semilla para *A.*



## II.- Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Rediseñar tres sistemas productivos de amaranto en la Mixteca poblana, para mejorar su producción con base en un manejo orgánico.

### 2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Realizar la caracterización y diagnóstico de tres agrosistemas de producción de amaranto orgánico pertenecientes al Grupo Cooperativo Quali en la Mixteca poblana, identificando fortalezas y debilidades.

2.2.2 Seleccionar y evaluar prácticas alternativas de mejoramiento del suelo para el rediseño de los sistemas.

2.2.3 Generar propuestas de manejo agrícola para aumentar la productividad y calidad del suelo en los sistemas de estudio.

## III.- Metodología

### 3.1 Caracterización del sitio de estudio

Los tres sistemas productivos de estudio se localizan en los municipios de Caltepec, Zapotitlán y Santiago Chazumba, los primeros dos en Puebla y el último en Oaxaca.

Los climas semiseco semicálido (BS1h) y semiseco templado (BS1k) son dominantes en la zona de estudio (INEGI y SEMARNAP, 1998, INEGI, 2012).

Se considera árida a la zona dado que la evapotranspiración es mayor que la precipitación. Se ha reportado una precipitación media anual de 600 mm y una distribución irregular de la misma (Ruiz *et al.*, 1998). La zona de estudio presentó en los últimos 40 años una precipitación promedio anual de 559 mm, una precipitación promedio diaria de 1.4 mm y una evaporación promedio diaria de 5.5. Posee una temperatura media superior a los 20 °C (CNA y SMN, 2015).

En la región de estudio sobresalen los paisajes desérticos que forman parte de la denominada Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán. La vegetación es semidesértica: biznagas, arbustos silvestres, cactus, pitayos, magueyes y palmas, anteriormente utilizados por los pobladores de estas regiones para su subsistencia.

En la zona de investigación se han reportado suelos con un porcentaje de materia orgánica (MO) máximo de 3.13 % en un horizonte de 13 cm de profundidad, siendo el contenido mínimo registrado para horizontes superficiales 2.1 y 1.8 (Ruiz *et al.*, 1998). En un suelo específico encontraron un rico color oscuro, pero al analizarlo encontraron que no tenía que ver esta coloración con la MO sino con un complejo húmico arcilloso muy estable (Ruiz *et al.*, 1998). La roca madre dominante es caliza (CaCO<sub>3</sub>), por lo que los suelos de la zona debido al alto contenido de carbonatos presentan pH alto, generalmente entre 7.44 y 8.8 (Ruiz *et al.*, 1998).

### 3.2 Caracterización y diagnósticos de los agrosistemas

El Grupo Cooperativo Quali propuso a 15 productores para la caracterización. Estos productores tenían como características en común: problemas de producción (bajo rendimiento de amaranto y

tamaño pequeño de grano), así como estar dispuestos a realizar un experimento en sus parcelas. Lamentablemente hacer 15 caracterizaciones a profundidad no era posible, por lo que se decidió reducir el padrón.

A los 15 productores seleccionados se les aplicó una encuesta sobre la composición familiar, así como la dinámica de trabajo por parte de los integrantes de la familia. Composición, abundancia y uso de los animales poseídos. Tamaño y uso de las tierras familiares. Uso de las áreas comunales o ejidales para beneficio de la familia (i.e. pastoreo, extracción de leña, obtención de agua). Acceso al mercado para venta, compra y trueque así como detalles de estas transacciones. Flujos de dinero al interior y exterior de la familia. Acceso a mano de obra contratada o maquinaria. Restricciones ambientales para las actividades económicas.

De los 15 productores se seleccionaron 5 para una siguiente etapa, fueron dejados fuera los productores que presentaban problemas de producción obvios, como un productor que siempre había producido bien pero llevaba dos años sin fertilizar y la cosecha había disminuido como consecuencia, u otro que había sembrado 4 años seguidos amaranito para verificar que efectivamente, como instruían los promotores de la cooperativa, no debía hacerse por el agotamiento del suelo. Otros productores fueron dejados fuera por sus actividades o lugar de residencia que no les permitía atender las propuestas de mejoramiento resultado de la investigación.

De los 5 productores elegidos, sólo se consideraron 3 para el estudio de caso, se eliminaron dos, uno por que tenía otros intereses que no favorecían la investigación y otro que a pesar de no contar con nuestra ayuda tenía todo lo necesario para investigar y mejorar gracias a la cooperativa. Por lo cual se hizo un estudio de tres casos con Ester, Rafaela y Rolando.

El diagnóstico se realizó gradualmente. Se comenzó con entrevistas semiestructuradas y observaciones en campo. Para seleccionar las áreas de exploración de las encuestas se utilizaron los 5 atributos para evaluar la sustentabilidad de agrosistemas propuestos por el Marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS): 1) Productividad, 2) Estabilidad, confiabilidad y resiliencia, 3) Adaptabilidad, 4) Equidad y 5) Autodependencia y autogestión (Maserá *et al.*, 1999; López Ridaura *et al.*, 2000; Maserá *et al.*, 2000).

A las entrevistas siguió un acompañamiento a lo largo de todo el ciclo productivo, mediante el cual se corroboró la información obtenida en las entrevistas así como se adquirió nueva información. Se platicó también con los productores sobre cuáles eran los factores limitantes que ellos observaban, y se les pidió fijar un objetivo para sus sistemas productivos, lo que definiría las propuestas de manejo fruto de ésta investigación. Al finalizar el diagnóstico se construyó el esquema de cada sistema productivo, que fue comentado, modificado y/o aprobado por el productor.

Utilizando la metodología del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), el trabajo de campo para el conocimiento de los sistemas, y el conocimiento de los productores, se determinó qué formaba parte del sistema y qué era externo a él. De la misma forma se estudiaron las partes, interacciones y flujos del sistema, estos últimos fueron divididos en cuatro categorías, "Dinero, Materia, Energía, inmateriales".

La categoría dinero es exclusivamente eso. Materia incluye alimento humano y animal, fertilizantes, productos y cualquier otro físico. En energía se consideraron todos los esfuerzos físicos y mano de obra. Finalmente, en inmateriales se encuentran las capacitaciones, sentimientos y capacidades.

Los esquemas de los sistemas productivos fueron elaborados en Yed (Yworks, 2014), tomando como base las imágenes aéreas de las parcelas en Google Earth Pro (Google, 2013) se crearon los mapas.

### 3.2 Selección de estrategias para manejo de suelos

La selección de estrategias debe ser un proceso cuidadoso que debe tomar en cuenta las condiciones climáticas, aspectos culturales, ventanas de oportunidad y opciones técnicas (Snapp *et al.*, 1998; Bolliger *et al.*, 2006). Las primeras tres serían determinadas durante la caracterización y diagnóstico de los sistemas productivos, mientras que las opciones técnicas serían fruto de la revisión de literatura confrontada con la caracterización misma para estudiar su viabilidad y experimentos para seleccionar la mejor alternativa.

Al detectarse durante la caracterización de los sistemas productivos una baja producción de biomasa con potencial fertilizante para las parcelas agrícolas, así como la alta dependencia a insumos externos como el estiércol adquirido para fertilizar el suelo, se buscó una alternativa. Las compostas y estiércoles además de estar limitados por la disponibilidad de biomasa presentaban peligros potenciales como la salinización secundaria, es por esto que se decidió experimentar con abonos verdes.

Canavalia y dolichos fueron seleccionados por su amplia recomendación en agricultura orgánica de ZAS, leucaena de la misma forma es un árbol/arbusto ampliamente utilizado con beneficios adicionales como la recuperación de nutrientes en capas profundas del suelo así como la producción de forraje a lo largo de todo el año. Finalmente la fuente local de nitrógeno más accesible serían los frijoles nativos de la zona, que por su baja producción de biomasa para cubrir el suelo fueron utilizados de forma intercalada con la avena negra.

Con el fin de poder hacer propuestas de mejoramiento así como para sincronizar la disponibilidad de nutrientes con los requerimientos de los cultivos, se realizó un experimento para determinar la eficiencia y uso de abonos verdes. Se estudiaron 4 abonos verdes: canavalia (*Canavalia ensiformis*), dolichos (*Dolichos lablab*), guaje blanco (*Leucaena leucocephala*) y avena negra con frijol (*Avena strigosa* y *Phaseolus vulgaris*), y se usó un suelo sin abono verde como control. Los abonos verdes fueron colectados en el Museo del Agua, propiedad de Alternativas (Excepto la avena y frijol que fueron colectados de la parcela de Ester, una de las productoras).

El suelo para determinar la mineralización de los abonos verdes se tomó del campo de uno de los productores que participaron en la caracterización (parcela b de Rafaela), se tomó una muestra compuesta (11 puntos en una parcela de 1,500 m<sup>2</sup>). La muestra se tomó en mayo, antes de la primera labor por lo que el último abonado fue hecho al menos 7 meses atrás (Estiércol de vaca), se puso especial atención en no tomar partículas grandes de materia orgánica. Suelo y abonos verdes fueron conservados en condiciones de frío desde su colecta hasta su uso.

Para conocer la tasa de mineralización de los abonos verdes se realizó un experimento en el cual se midió la respiración del suelo con y sin abonos verdes incorporados. Se hicieron tres repeticiones para todos los tratamientos y dos para el control.

El suelo fue cribado a 2 mm utilizando mortero y pistilo de porcelana para romper agregados. Los abonos fueron picados finamente, de canavalia, dolichos, avena y frijol se utilizó la totalidad de la planta, lavando las raíces con agua para quitarles el suelo; del guaje blanco fueron utilizadas las partes aéreas menores a 3 mm de grosor, estas se distinguían de las mayores por su apariencia verde o rojiza en contraste del tronco y ramas blancas del árbol.

Para preparar la mezcla de suelo y abono fue necesario calcular la proporción de ambos, para lo cual fue necesario determinar la densidad aparente del suelo, su capacidad de campo, así como, el contenido de humedad del suelo y los abonos verdes.

La densidad aparente fue obtenida mediante el método de inmersión en parafina (Black C, 1965). Para lo cual se eligieron tres terrones de alrededor de 5 cm de diámetro, cada terrón fue partido en dos partes iguales. La densidad aparente promedio fue de  $1.548 \text{ g cm}^{-3} \pm 0.13 \text{ d.e.}$

La capacidad de campo se calculó mediante el método ecológico (Etchevers-Barra, 2014). Consiste en colocar una probeta de 250 ml con un tubo de vidrio en el centro, a 5 cm del fondo, y se rellena con 200 gr de suelo, tamizado a 2 mm, sin compactar. Basándonos en análisis previos (datos no publicados) se estimó la saturación de los 200 gr de suelo con 80 ml de agua, por lo que se agregaron 40 ml a la probeta para después cerrar la boca de la probeta con plástico para evitar evaporación. 24 horas después se confirmó que en ningún caso la humedad alcanzó el fondo de la probeta, de haber pasado esto habríamos saturado el suelo y se habría repetido el experimento con una cantidad menor de agua. Se tomó el tercio medio de la columna húmeda, se pesó, posteriormente se secó a peso constante, ya seca la muestra se obtuvo nuevamente su peso. Se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de campo} = ((Sh - Ss)/(Ss - Cv)) \times 100$$

Sh= Peso del suelo húmedo, todo el tercio medio de la columna húmeda

Ss= Peso de Sh después de secarse a peso constante en un horno a 105°C

Cv= Peso del crisol vacío donde se secarán las muestras, secado en el horno a 105°C

La capacidad de campo de la muestra obtenida de la melga b de Rafaela fue de  $29.27 \pm 3.123$ .

Para determinar la humedad de los abonos, se asignó un crisol que fue horneado a 50°C durante una hora, el cual fue pesado y se le agregó abono verde, se pesó nuevamente. Se secaron los abonos verdes hasta llegar a peso constante para obtener el porcentaje de humedad de los mismos. Canavalia (*Canavalia ensiformis*) tuvo 76.93% de humedad, dolichos (*Dolichos lablab*) 79.47%, avena y frijol presentaron 75.19%, el guaje blanco (*Leucaena leucocephala*) 78.15% y finalmente el suelo  $10.51\% \pm 1.87 \text{ e.e.}$

Para determinar la cantidad de abono verde que se mezclaría con el suelo se estimó una producción total de  $19.6 \text{ t ha}^{-1}$  de biomasa verde, con base en lo anterior y la densidad aparente del suelo, considerando que el abono se incorpora a una profundidad de 10 cm en el suelo, se calculó

que la proporción fuera 30 g de suelo seco y 3.81 gr de biomasa de abono verde fresca. Se llevó cada muestra de suelo a capacidad de campo considerando la humedad contenida en la muestra de suelo, así como la contenida en los abonos verdes.

En cada frasco se agregó 3.81 g de abono verde y 30 g de suelo (a capacidad de campo), los cuales fueron incubados a 25°C durante 15 días, se realizaron oxigenaciones en los días 2, 5, 7, 10 y 14 para asegurar la permanente existencia de O<sub>2</sub> dentro del frasco para que no se detuviera la mineralización.

El suelo después de 15 días de mineralización fue secado a la sombra y se le determinó: materia orgánica (Walkley-Black), nitrógeno total (Nkjeldahl, semi-micro: digestión húmeda con ácido sulfúrico), fósforo extractable con NaHCO<sub>3</sub> 0.5 M pH 8.5 y determinación colorimétrica mediante el complejo azul de molibdeno (fosfórico molibdico con ácido ascórbico; Olsen), amonio y nitratos mediante extracción con KCl 2 N, destilación por arrastre de vapor, con óxido de magnesio y aleación de devarda (Bremner y Keeney, 1966). El contenido de materia orgánica fue convertido a carbono orgánico mediante el factor de Van Bemmelen (1.724), con base en este dato se calculó la relación C:N de las muestras.

La respiración del suelo se midió mediante el equipo OxiTop OC110® (a partir de ahora OxiTop). Es un respirómetro manométrico diseñado para determinar la demanda biológica de oxígeno. El equipo reporta el consumo de oxígeno en un sistema cerrado mediante la medición a intervalos de la pérdida de presión.

A pesar de que el OxiTop está diseñado para la medición de aguas residuales, su uso con materia orgánica seca ha sido exitoso. Grigatti *et al.* (2007) y Kalamdhad *et al.* (2008) han mencionado que se puede utilizar para analizar los procesos de mineralización de la materia orgánica de los suelos. Jiménez de Santiago (2012) desarrolló un protocolo de operación para su uso en la determinación de carbono orgánico del suelo mientras que Barrales Brito (2013) lo utilizó para medir la respiración del mantillo forestal.

El OxiTop comprende un frasco de cristal en donde se coloca la muestra a mineralizar, un soporte (carcaj) para un adsorbente de CO<sub>2</sub> (Sodalime, 75% Hidróxido de calcio, 20% H<sub>2</sub>O, 3% Hidróxido de Sodio y 1% hidróxido de Potasio) y una tapa que cierra herméticamente. Cuando el O<sub>2</sub> es consumido por la respiración del suelo y se libera CO<sub>2</sub>, éste es capturado por el Sodalime y baja la presión dentro del frasco. La tapa tiene un dispositivo que mide a intervalos establecidos este cambio de presión.

Cuando una mineralización utiliza todo el oxígeno disponible, ésta se detiene, por lo que es necesario realizar aireaciones a los frascos para permitir el ingreso de aire fresco y permitir que la mineralización continúe. Cada aireación regresa la presión atmosférica dentro del frasco a cero, por lo que en caso de utilizarse aireaciones es necesario utilizar la pérdida de presión acumulada y no la final.

La calibración del equipo OxiTop se realizó siguiendo la guía provista por el fabricante de las tabletas calibradoras (WTW, 2011). Esta calibración comprende los siguientes pasos:

1. Poner el termostato del horno en 20 °C ± 0.5 °C.
2. Colocar el sistema de agitado automático en el horno.
3. Limpiar las botellas del OxiTop.

4. Agregar 164 ml de agua destilada y agregar el agitador magnético limpio.
5. Talar (poner a cero) las cabezas medidoras.
6. Comenzar a medir y calibrar con las cabezas medidoras.
7. Colocar las botellas en el sistema de agitado.
8. Colocar los carcajes y las cabezas en el horno separadas de las botellas.
9. Dejar el horno cerrado durante 4 o 4.5 horas
10. Sin sacar los componentes del horno, agregar una tableta calibradora entera por botella, colocar el carcaj (sin adsorbente) y tapar. Tratar de ser lo más rápido posible.
11. Medir durante 5 días.
12. El cabezal fue programado para tomar mediciones de la pérdida de presión cada hora, ocasionada por el Sodalime (adsorbente de CO<sub>2</sub>).
13. La pérdida de presión fue transformada a gCO<sub>2</sub>Kg<sup>-1</sup> mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{MO_2}{R \times T} \times \frac{Vfr}{MAv+s} \times |\Delta P|$$

R= Respiración del suelo (g CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup>), MO<sub>2</sub>= Peso molecular del O<sub>2</sub> (31998 mg mol) R= Constante universal de los gases (83.14 l hPa/Kmol) T= Temperatura en grados Kelvin Vfr= Volúmen de aire disponible (l) MAv+s=Masa de abono verde y suelo | Δ P|= Cambio de presión (hPa)

#### 4.4 Análisis estadístico

Las emisiones de CO<sub>2</sub>, materia orgánica, N total, fósforo, amonio y nitratos fueron analizadas para conocer si existía una diferencia significativa entre los tratamientos: canavalia, dolichos, avena con frijol, guaje y suelo. Se realizaron ANOVAS de una vía con 5 tratamientos × 3 repeticiones (2 repeticiones para el control) para cada variable, en caso de diferencias significativas se utilizó la prueba *post-hoc* Tukey.

## IV.- Resultados y discusión

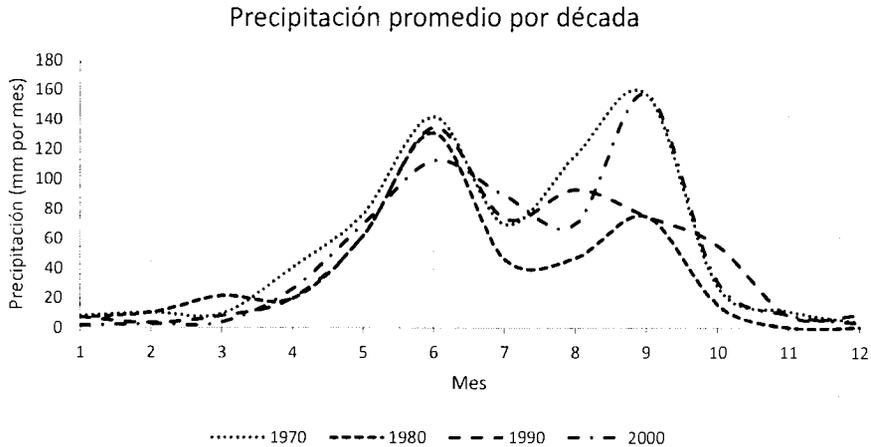
### 4.1 Caracterización y diagnóstico

#### 4.1.1 Caracterización general de la zona:

##### CLIMA

Los promedios de precipitación de 4 décadas en la zona de estudio fueron 674 mm en los años 70, 436 mm en los 80, 549 mm en los 90 y 575 mm en la primera década del actual milenio. Además de la variación de lluvia entre décadas, también varió el comportamiento de la misma a lo largo de los años. La década de los 70 fue la que presentó mayor precipitación desde entonces hasta el 2009 (Fig. 3). Durante ésta década en ambas crestas de lluvias separadas por la canícula se reportó la máxima lluvia promedio histórica, y la canícula fue la más corta de las 4 décadas. En la década de los años 80 llovió 123 mm menos que el promedio de las 4 décadas, y el fenómeno de la canícula duró poco más de dos meses con muy poca precipitación en la segunda etapa de lluvias en comparación a las otras décadas, además la temporada de lluvias terminó antes respecto al resto de las décadas analizadas. En la década de los 90 la canícula promedio no fue muy marcada, aunque es notorio lo poco que llovió en la segunda mitad del año en comparación a las décadas de los 70 y 2000. Finalmente la primera década del 2000, con una canícula tardía desplazada 7 semanas y seguida por lluvias abundantes.

Figura 3. Distribución de lluvia en el municipio de Caltepec, Puebla. Gráfica construida con la información de la estación meteorológica 21002 de la Comisión Nacional del Agua. Las distribuciones muestran la precipitación mensual promedio en la década indicada. En el eje X los meses corresponden de "1" a enero hasta "12" a diciembre



Fuente: La información en esta figura se construyó con los datos de la CNA de 1970 a 2009 (CNA y SMN, 2015). Elaboración original.

### VEGETACIÓN

De acuerdo a las observaciones en campo y la información recolectada durante esta investigación, fue posible registrar recursos de origen vegetal, los cuales algunas veces son recolectados, otras veces sembrados por los campesinos como: amaranto, alaches, bolilla, berros, cacayas, chendes, chichipe, espinacas, mezquites, nopales, orégano, garambullo, pápalo, palmitos de izote, verdolagas, tetechas, pipicha, pitayas, tempexquixtles, quelites y zapote blanco.

### MANEJOS AGRÍCOLAS

El tipo de agricultura que caracteriza a la región de estudio es de tipo temporal, lo cual depende en mayor medida de las lluvias en los ciclos estacionales y de las escasas escorrentías perennes. Cada paisaje agrícola es un espacio característico que es el resultado de una apropiación diferente del medio; estos espacios de cultivo se caracterizan por su forma, tamaño y clase de cultivo; esta visión sirve como base para explicar el funcionamiento de los diversos tipos de la agricultura sobre todo distinguiéndose cada una por el origen del agua empleada en la producción (lluvia, riego todo el año, riego en época de lluvia, canales, jagüey, tanque de ferrocemento), por su distribución geográfica, la tecnología empleada, el uso de fertilizantes, el uso de abonos verdes, incorporación de materia orgánica al suelo y de qué tipo de materia orgánica así como el destino de la producción.

Las prácticas agrícolas varían entre comunidades, pero en las parcelas orgánicas de la cooperativa ésta es la generalidad al sembrar amaranto o maíz: el ciclo agrícola comienza con las

primeras lluvias, que suelen ocurrir en abril o mayo. Esta primera lluvia aflojará el suelo compactado lo que permite utilizar el tractor para voltear el suelo. Cuando el suelo está bien humedecido y ya no se encuentra en forma de lodo, el tractor pasa volteando la tierra 15 o 20 días después se utiliza el tractor nuevamente para formar surcos y se siembra. Otras veces solamente se utiliza el tractor una vez. Se afloja la tierra mientras hace los surcos e inmediatamente después se siembra. Se cuenta con que la tierra absorba suficiente humedad y que la planta crezca lo suficiente para aguantar de uno a dos meses sin agua, este período de falta de lluvia se conoce como canícula o sequía intraestival y ocurre generalmente alrededor de julio.

Dependiendo la humedad y el comportamiento de las arvenses resultado de ella, pueden variar las próximas actividades. Se realiza un deshierbe manual cuando las arvenses crecen más que el cultivo. A los 25 o 30 días después de la siembra se fertiliza a puño, es decir, tomando un puño de estiércol o composta que se aplica al tallo de cada planta y después se utiliza un pequeño arado jalado por una bestia de carga que "aporca" o "tapa" el puño de fertilizante orgánico disminuyendo la pérdida de nutrientes a la atmósfera, dando más soporte físico a la planta y matando y enterrando a las arvenses. Existen otros productores en la zona que utilizan fertilizantes sintéticos.

En caso de que el cultivo crezca lento y las arvenses amenacen con taparlo, se realiza otro deshierbe 30 días después. Cuando el cultivo es más grande y las arvenses ya no pueden competir se dejan de hacer los deshierbes. En octubre, 4 o 5 meses después de la siembra comienza a obtenerse elote, en noviembre se despunta la planta de maíz, matándola y permitiendo que el grano seque. En diciembre es cosechado.

El amaranto tiene un ciclo muy parecido al del maíz; a finales de octubre, dependiendo el desarrollo del mismo puede ser cortado en la base del tallo y dejado tumbado sobre el suelo para secarlo y evitar que el viento lo tire al suelo, y en noviembre se obtiene el grano.

Casi todos los pobladores cuentan con alguno o varios animales, entre ellos, con ganado bovino, caprino, aves de corral, animales de carga o de arrastre como burros, becerros o bueyes que son usados especialmente para jalar la yunta, incluso hay quienes los rentan.

Los animales de mayor tamaño como los caballos o las vacas no son criados por los grupos domésticos debido al alto costo de mantenimiento. La cría de aves está destinada para el autoconsumo y la venta. Generalmente son percibidos como una reserva económica para las familias y resultan ser un recurso indispensable para sufragar gastos en caso de enfermedad o muerte.

Las personas que carecen de animales para el trabajo agrícola como la yunta o la carga, generalmente lo rentan así como rentan otra maquinaria agrícola. Para la alimentación de los animales se aprovechan los residuos de la cosecha y vegetación renovable como paja y pastos. Poseer animales de traspatio significa un factor de seguridad para el dueño y también se adquiere un estatus social.

Los productores de temporal se ven obligados a seguir el ritmo ambiental: antes de las lluvias el suelo se encuentra tan seco que los tractores no pueden labrarlo de forma eficiente, por lo que es necesario esperar lluvias abundantes que penetren en el suelo y lo humedezcan. Después necesitan esperar a que la humedad disminuya pues de nada sirve arar el suelo lodoso ya que se compactará nuevamente. Ha habido casos en que las lluvias comienzan y no paran durante un mes, por lo que se posterga la siembra de amaranto hasta un mes y medio arriesgando su producción.

Lo mismo pasa con los deshierbes, si las condiciones de humedad del campo no lo permiten es posible que las arvenses crezcan más que el cultivo, en casos extremos se abandona el terreno o se utiliza nuevamente un tractor que incorpore la biomasa para posteriormente sembrar un cultivo de rápida maduración que se logre durante la temporada de lluvias restante. Para esto, los productores cuentan con maíces rápidos, frijoles, hortaliza, flores y plantas aromáticas.

Los rendimientos observados durante las caracterizaciones fueron similares a los de la región, no se evaluó la disminución del grano reportada por el grupo cooperativo. Sí se encontró que para fertilizar de forma adecuada los campos, se realizan inversiones económicas fuertes por la adquisición de varias toneladas de estiércol. Inversión que puede mal lograrse debido a lo errático del clima en esta zona.

Caracterización general de 15 agrosistemas.

Los núcleos de las 15 familias entrevistadas, pertenecientes al Grupo Cooperativo Quali se forman de 3 a 6 personas, en la mayoría a partir de una persona o pareja de edad mayor que es la dueña de la tierra y los hijos que le ayudan en sus labores. Las personas jóvenes presentaron más veces interés en empleos no agrícolas, por lo que el estilo de ordenamiento de las granjas estudiadas puede cambiar muy rápidamente con la inactividad de los adultos mayores.

La mayoría de los núcleos familiares presenta migración, en algunos casos local en busca de salario no agrícola y en otros, migración internacional, lo que será generalmente fuente importante de remesas.

Respecto a los sistemas productivos todos mostraron ser diversos, respecto a las diferentes actividades, agrícolas, pecuarias, en menor medida forestales, así como actividades no agropecuarias. No existió un solo sistema exclusivamente agrícola

Las familias campesinas tienen arraigado la cría de animales de traspatio, que va desde 14 animales entre chivos, conejos, gallinas, burros y bueyes justificando la pertenencia de cada uno de estos animales para solucionar puntualmente una necesidad en la granja hasta la existencia de rebaños de más de 40 chivos en que el sistema resulta ser principalmente pecuario y la agricultura complementa necesidades como la alimentación de los animales o el arraigo a la tierra.

Al analizar la información de los 15 sistemas productivos, se detectó que la actividad agrícola es financiada o subsidiada por fuentes externas como honorarios laborales, pensiones, venta en tiendas o de artesanía, así como por fuentes de financiamiento gubernamentales como PROCAMPO, 60 y más, y otras. Esto implica que ningún sistema agrícola es capaz de mantenerse por sí mismo debido a los altos costos de producción y baja productividad.

La diversidad de cultivos radica entre 4 y 7 productos diferentes, siendo siempre el maíz el principal y el frijol o amaranto los productos secundarios con excepción de un productor cuya producción principal es la de hortalizas.

Entre 1 y 3 hectáreas son destinadas a las labores agrícolas, aunque no todos los años se utilizan todos los terrenos debido a la idea del descanso de la tierra. Este descanso no es administrado y el campo es abandonado con prácticamente cobertura cero siendo sujeto a erosión hídrica y eólica así como al lavado de sus nutrientes y agotamiento de la materia orgánica del suelo.

La cooperativa reporta rendimientos de 700 a 1,000 kg ha<sup>-1</sup> de amaranto que es consistente con lo consultado en la literatura, producciones mayores son posibles en suelos de mayor calidad y mayor disponibilidad hídrica. Pocos campos tienen riego suficiente para alcanzar la evapotranspiración máxima, aunque la mayoría de los productores tiene estrategias para riegos de emergencia en caso de presentarse una canícula acentuada.

La totalidad de los entrevistados requiere la contratación de maquinaria y mano de obra, unos en mayor medida que otros, de esta forma los habitantes de la zona sin posesión de tierra pueden aspirar a un salario o a asociarse con un dueño de la tierra para su producción.

La generalidad es que cada sistema estudiado pertenece a la familia que lo administra excepto en dos casos, uno en que se le permite el uso mientras viva y otro que renta el campo. Estos dos casos podrían presentar limitantes para la inversión en la mejora del suelo a largo plazo.

Se detectaron puntos críticos generales como la heterogeneidad de la lluvia, la baja disponibilidad de materia orgánica para fertilizar las parcelas (con excepción del dueño de los 40 chivos) y la poca mano de obra disponible.

La producción de amaranto no es un cultivo clave en la supervivencia familiar, aunque provee elementos nutritivos a la familia atendiendo problemas puntuales como la desnutrición infantil y la anemia femenina. Al realizar la presente investigación no pude evitar sentir que la gente no siembra el amaranto *per se* sino por los beneficios antes mencionados y por el sentido de pertenencia a un grupo del que obtienen apoyo, capacitaciones y una revaloración personal.

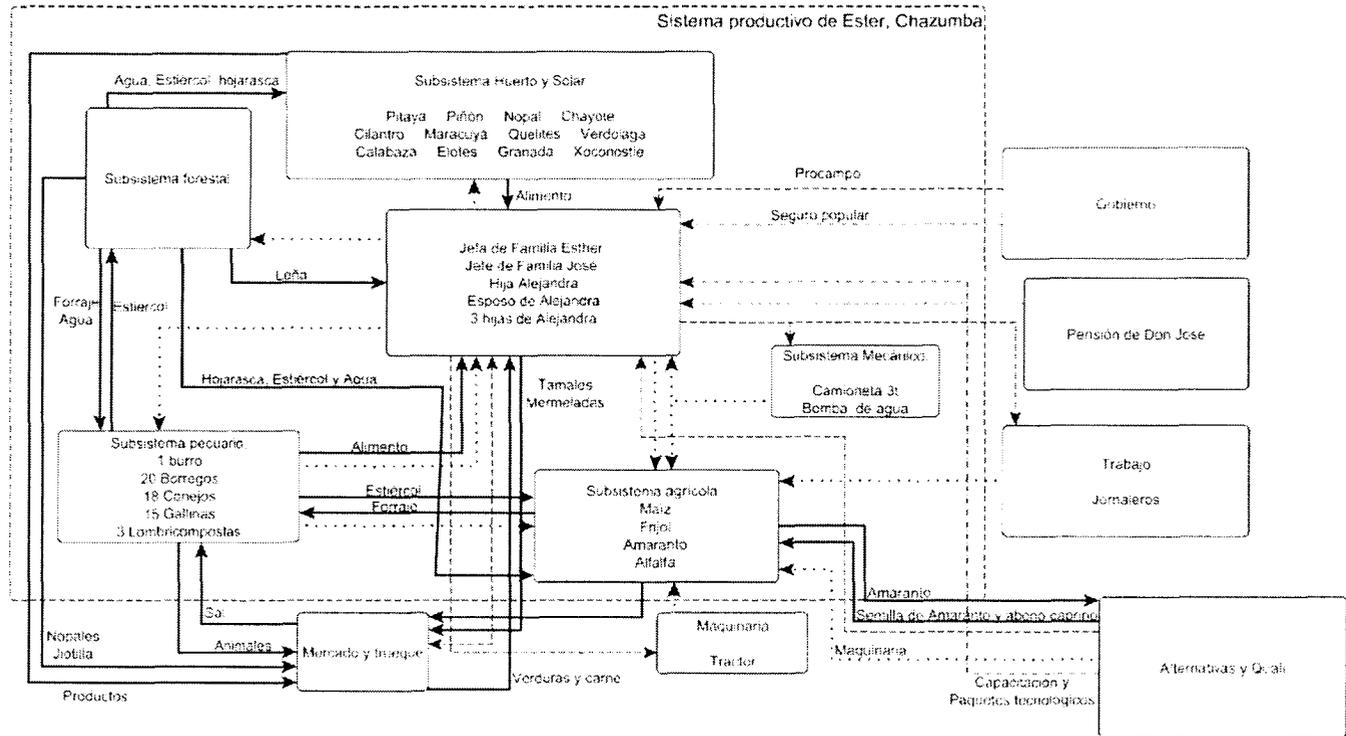
El alto financiamiento de la agricultura hace pensar que no es una actividad de ingresos clave de la zona, sino que es una fuente de alimento, forraje y de arraigo cultural.

## *5.2 Caracterización de los sistemas productivos*

### *4.1.2 Sistema productivo de Ester*

El sistema productivo de Ester es agrícola-pecuario-forestal, se sitúa en el municipio de Santiago Chazumba, Oaxaca en la frontera con Puebla. Cuenta con casi tres hectáreas de tierra agrícola, donde produce granos básicos con régimen de temporal. Las actividades agrícolas se sostienen gracias a ingresos externos como pensiones, subsidios (gubernamentales y de Quali) y salarios no agrícolas, por lo que no es un sistema autónomo e independiente. El mayor ingreso económico no proviene de la agricultura (Fig. 4), la cual en este momento tiene principalmente un valor cultural y de proveer alimentos básicos a la familia. La edad y salud de Ester y su esposo José llevarán en los próximos años a un cambio en el sistema, ya que al quedar en manos de su hija y esposo, que desarrollan labores no agrícolas posiblemente caiga en desuso o se asocien con otro productor para que lo trabaje, escenario poco probable por el excedente de parcelas agrícolas y poca mano de obra disponible en la comunidad. No existe una planeación adecuada en el uso del sistema, aunque se toma en cuenta la historia de cada parcela para realizar rotaciones.

Figura 4. Representación gráfica del sistema productivo de Ester. Código gráfico: Recuadro punteado con encabezado= Sistema productivo; [ ] = subsistema; .....> = Inversión de trabajo o mano de obra; - - -> = flujo de dinero; —> = flujo de biomasa, energía y alimento; - - -> = bienes inmateriales.



Fuente: Elaboración original.

## FAMILIA

El núcleo familiar está compuesto por el esposo José, una hija, su esposo y tres nietas. A pesar de vivir separados, a no más de 200 metros, se consideró a todas sus actividades productivas como parte del mismo sistema porque trabajan conjuntamente.

José tiene una pensión mensual ya que trabajó en el norte del país en una bodega, como encargado de inventarios, es un flujo de dinero constante aunque no completa el gasto familiar.

Ester y José son la principal mano de obra en este sistema, cuidan a la mayoría de los animales y se encargan de la administración y obra de los terrenos de cultivo. Su hija es ama de casa y a veces hace comida que vende en el centro del pueblo, esto también representa un ingreso económico a la familia. Su esposo es agrónomo y tiene trabajo intermitente, generalmente fuera de la comunidad por lo que solamente ayuda cuando se encuentra en casa. En general busca permanecer en la comunidad para ayudar a Ester en las labores más pesadas del campo como son la siembra, aporque y cosecha, principalmente del maíz y el amaranto.

Ester y José reciben apoyo gubernamental de PROCAMPO que utilizan para amortiguar los gastos agrícolas, también reciben capacitación por parte de diversas agencias gubernamentales. Ester ha tomado cursos de control orgánico de plagas, producción de conservas, mermeladas, así como diversas pláticas de salud. José tiene Seguro Social, toda la familia tiene seguro por parte del Seguro Popular y Ester es la encargada del dispensario médico de la comunidad.

## SISTEMA AGRÍCOLA

El subsistema agrícola incluye 17 melgas (Fig. 5) que acumulan un total de 2.96 ha de cultivo de temporal. Para llegar de la casa a las parcelas hay que caminar media hora o 10 minutos en camioneta, la lejanía en comparación a su solar (junto a su vivienda) puede generar una falta de atención y menor densidad de uso de insumos para estas parcelas (Tittonell y Giller, 2013).

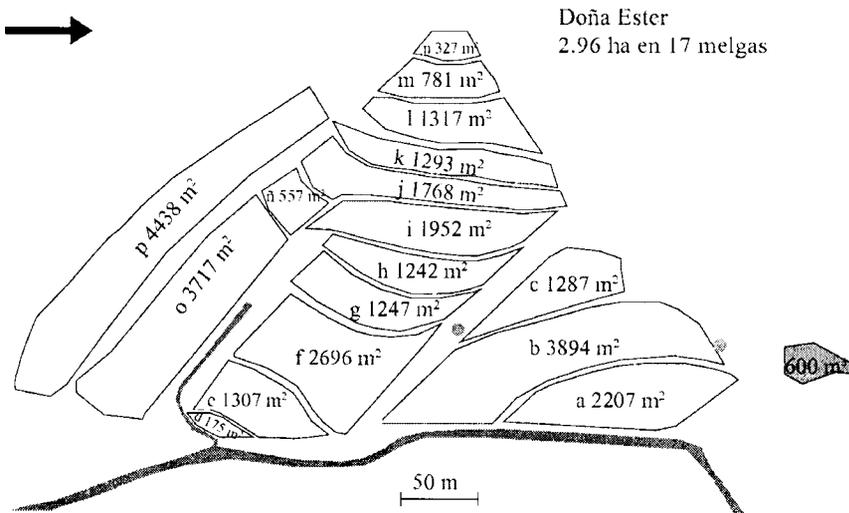
La producción agrícola consiste en maíz, amaranto, frijol y alfalfa, es en su mayoría de autoconsumo, aunque suelen venderse algunos excedentes. El Amaranto se vende casi en su totalidad a Quali.

La familia maneja el concepto de plantas extractoras de nutrientes (maíz y amaranto) y saben que hay que intercalarlas o rotarlas con plantas que nutren el suelo (usando principalmente frijol para las rotaciones, ya que la alfalfa es un cultivo perene que dejan al menos 4 años en el mismo sitio). La siembra de frijol es principalmente de autoconsumo, y es usada en las rotaciones al menos una vez cada cuatro años (Tabla 2). La siembra de frijol podría ayudar a enriquecer el suelo pero se observó que al cosecharlo se arranca la planta con todo y raíces y no dejan prácticamente nada de materia vegetal en la parcela, por lo que disminuye mucho el aporte de MO y N al suelo, y la parcela queda descubierta casi medio año dejándola sujeta a erosión eólica (Cherr *et al.*, 2006; Cherr *et al.*, 2007).

La alfalfa es un conocido mejorador de suelo, Angers (1992), encontró que después de 5 años de cultivo de alfalfa el suelo incrementó su carbono de  $26 \text{ g kg}^{-1}$  a  $30 \text{ g kg}^{-1}$  y los agregados del suelo aumentaron de 1.5 mm a 2.3 mm. Es importante rotar la producción de alfalfa entre las diferentes parcelas para que todas sean beneficiadas por estos aportes. En este momento la alfalfa

es producida en el solar para disminuir el transporte de alimento además de la disponibilidad de agua para el cultivo, pero por lo menos, dentro del solar sería prudente hacer las rotaciones.

Figura 5. Parcelas agrícolas de Ester en el municipio de Santiago Chazumba. En gris, al inferior de la imagen, se encuentra marcado el camino. A la izquierda un kilómetro y medio se encuentra la comunidad. El polígono en la extrema derecha se representa el jagüey. Los polígonos restantes, acompañados de una letra y una medida en m<sup>2</sup> son las diferentes melgas dentro de este campo agrícola. La experiencia con avena negra (*Avena strigosa*) y frijol nativo (*Phaseolus vulgaris*) se realizó en la melga b. El frijol local usado como abono verde fue crecido e incorporado en la melga f. Los tanques de ferrocemento de 10,000 l, que se llenan con agua de lluvia o del jagüey, cada uno están localizados en el extremo derecha de la melga b en la punta proximal al jagüey, el segundo está en la punta distal al jagüey de la melga c. Ambos tanques pueden regar por gravedad un cuarto de hectárea mediante cintilla de riego por goteo.



Fuente: Elaboración original.

En general las rotaciones que está realizando la familia, no son en detrimento del suelo, ya que siempre rotan con leguminosa (frijol), evitando una rotación común en la zona de amaranto-maíz que provoca deficiencia de nutrientes (Tabla 3).

A diferencia de los efectos benéficos de la alfalfa, trigo y frijol (Angers, 1992; Gregory, 2006), es conocido el efecto pernicioso del maíz sobre el suelo, las raíces de este cultivo compactan el suelo y reducen su porosidad (Gregory, 2006). Inicialmente pensamos que la raíz pivotante del maíz podría romper el horizonte de compactación, teniendo un efecto benéfico sobre los cultivos subsecuentes, mas Chen y Weil (2011) encontraron que las raíces del maíz no lo podían penetrar, viéndose ellos mismos beneficiados por éste servicio provisto por otros cultivos de cobertura como el rábano forrajero (Dean y Weil, 2009; Chen y Weil, 2010).

Las labores agrícolas utilizadas para el maíz y el amaranto son prácticamente las mismas (Tabla 3), con excepción de la cosecha. Durante el invierno el suelo se compacta principalmente

debido a su bajo contenido de materia orgánica y muy baja humedad residual (Soane, 1990), por lo que es difícil de arar. El alto contenido de arcilla y bajo de MO favorece la compactación estacional del suelo. Aunque las primeras lluvias comienzan a inicios de mayo, es hasta el 15 de mayo al 15 de Junio, cuando se está seguro que no son lluvias aisladas sino que ya se estableció el temporal, que se realiza la primera labor agrícola: el barbecho con tractor. La cual consiste en voltear el suelo para enterrar las semillas de arvenses y disminuir la competencia con el cultivo, al mismo tiempo que se afloja el suelo para la siembra, 15 días después, a inicios de Julio, se utiliza nuevamente el arado u el tractor para realizar los surcos. Detrás del tractor van 9 personas caminando y sembrando, tirando semilla con la mano y tapándola con el pie. Esta labor toma 2 días.

Tabla 2. En la hilera superior se muestra el año en que se realizó la cosecha y en la primera columna se muestra la melga. 2011 (b), 2012 (c) y 2014 (b) fueron intercalaciones, 2014 (f) fue cosecha en fracciones de la melga

Melga/año Fig 5.	2015	2012	2013	2014
A	Frijol	Amaranto	Maíz	Amaranto
B	Maíz y frijol	Frijol	Maíz	Avena y frijol
C	Frijol	Maíz y Frijol	Barbecho	Maíz
F	Maíz	Frijol	Maíz	Frijol como abono verde ->Amaranto/maíz/avena
E	Frijol	Maíz	Maíz	Maíz y frijol

A inicio de julio, generalmente 25 días después de la siembra, realizan el abonado, se coloca un puño de estiércol de res al pie de cada planta (abono mateado 3 t ha<sup>-1</sup> aproximadamente, equivalente a 72 kg N ha<sup>-1</sup> (Hue y Silva, 2000)). Esta labor requiere de tres personas durante dos días. Inmediatamente después se realiza el aporque. La labor consiste en utilizar un arado sencillo tirado por un burro para tomar tierra de entre los surcos y verterla sobre el cultivo, esto matará las plantas no deseadas, dará mayor soporte físico al cultivo, rodeará de mayor volumen de tierra a la raíz por lo que la humedad permanecerá mayor tiempo y también, tapaná el abono disminuyendo las pérdidas a la atmósfera.

No se pudo determinar exactamente la cantidad de estiércol aplicado al campo pues se compra por "viajes" de peso desconocido. La estimación de los agrónomos de Alternativas es que se fertiliza con entre 2 y 4 toneladas de estiércol de res por hectárea. Aunque la familia posee casi 3 hectáreas para siembra raramente se siembra más una hectárea. Principalmente debido a la falta de mano de obra y fertilizante.

Entre julio y agosto se ha presentado la canícula, momento en que llegan a suspenderse las lluvias y disminuye la nubosidad, esto genera mayor calor (BTU) lo que acelera el crecimiento de plantas, deseadas y no deseadas. Es por esto que dentro de la primera quincena de agosto se debe realizar un deshierbe. A partir de este momento seguirán creciendo las hierbas pero el cultivo ha crecido más y no es necesario otro deshierbe.

En octubre aparecen los elotes y las panojas de amaranto están casi llenas, por lo que en noviembre se hace el despunte del maíz para obligarlo a madurar matando a la planta, a finales de noviembre y diciembre se realiza la cosecha de ambos cultivos.

De todas las labores agrícolas la siembra y la cosecha son las que requieren mayor inversión económica, esto debido a la contratación de maquinaria y mano de obra. El abonado, aporque, despunte y deshierbes suelen ser realizados por la familia por lo que no tienen un costo económico directo, aunque es posible que se contrate un peón para ayudar (Tabla 3). Casi todo el transporte de insumos y productos agrícolas es realizado en la camioneta de tres toneladas que posee la familia.

Tabla 3. Labores agrícolas para el cultivo de amaranto y maíz

Labor	Personas	Días	Jornales por labor	Herramienta
Siembra	9	2	18	Tractor
Abono	3	2	6	Manual
Labor o aporque	3	1	3	Arado sencillo con burro
Despunte	5	1	5	Manual
Cosecha	3	5	15	Manual
Deshierbe	3	3	9	Manual y/o arado sencillo con burro
Renovación de cercos	1	15	15	Manual
<b>Total de jornales</b>			71	
<b>Costo por jornal</b>			\$ 180 pesos	
<b>Costo total de la labor</b>			\$ 12,780 pesos Mano de obra + \$1,000 pesos tractor	

Fuente: Elaboración original.

Las plagas que se alimentan del amaranto son más abundantes durante la época de lluvia, los campesinos realizan visitas periódicas al cultivo caminando entre los surcos buscando señal de plagas o enfermedades en las plantas. Siempre que se detecta un insecto pernicioso es eliminado

físicamente, y en caso de ser abundante la población de dichos insectos puede realizarse una aplicación generalizada de insecticida orgánico (fermento de cebolla y chile son usados generalmente).

#### SOLAR

La producción en el solar, un pequeño espacio agropecuario dentro del pueblo, es diversa, producen: pitaya, piñón, nopal, chayote, cilantro, maracuyá, quelites, verdolaga, calabaza, elotes, granada, xoconostle, frijol y amaranto.

En este espacio cuentan con un depósito de ferrocemento para agua de 15,000 l con el que pueden regar en abundancia cualquier cultivo que lo necesite así como abrevar a sus animales.

La mayoría de lo producido en este sitio es alimento para la familia, vendido al mercado a granel o transformado (conservado o vendido). Algunos años también siembran amaranto y maíz en este espacio, generalmente reservado para forraje y frijol. Ester y José dicen producir mejor en este lugar y lo explican de diversas maneras: Al estar rodeados de árboles y al ser más húmedo el espacio es menos susceptible a heladas, por estar más cerca de los corrales recibe mayor cantidad de estiércol, y los árboles que lo rodean aportan biomasa cuando caen sus hojas, algunos de ellos son guaje, que al ser una leguminosa tiene un aporte especialmente alto de nitrógeno (Solorio y Solorio, 2008).

Una de las ventajas de este tipo de espacios es que está cerca de la vivienda, por lo cual recibe más atención e insumos que parcelas lejanas, además de la disponibilidad de agua.

#### FORESTAL

El ecosistema natural que domina el municipio de Santiago Chazumba es un matorral xerófilo, con algunos parches ralos de selva baja caducifolia (INAFED, 2010). Presenta una precipitación promedio anual altamente irregular de 600 mm (CNA y SMN, 2015). Ester se beneficia de los alrededores de la comunidad: de los matorrales que rodean al pueblo extrae leña que utilizan para cocinar las cosas que requieren mucho tiempo de cocción, sus animales en el monte, también extraen hojarasca y limo con el que fertilizan su solar y los campos agrícolas. Así mismo, realizan colectas de nopal, jiotilla, guaje (*Leucaena leucocephala* y *L. esculenta*) y piñón que llevan a vender al mercado a un alto precio (dependiendo la temporada el guaje puede llegar a costar hasta 80 pesos el kilo). Gracias a un jagüey realizado junto a sus parcelas puede captar el agua de una escorrentía temporal por lo que consideramos que este sistema también aporta agua para las cosechas

#### PECUARIO

Tienen diferentes animales: Un burro que utilizan como transporte, carga y tracción para jalar un pequeño arado, 20 borregos y 18 conejos que principalmente venden en el mercado cuando necesitan dinero, los conejos también suelen ser vendidos en el pueblo. También cuentan con 15 gallinas ponedoras de las que obtienen huevos y carne para toda la familia.

Poseen 3 depósitos en donde compostean, por medio de lombrices, hasta la mitad del estiércol de sus animales, con esta composta y el lixiviado fertilizan principalmente el solar, y con el excedente se fertiliza insuficientemente el campo, que debe ser fertilizado con estiércol comprado ya que el propio no es suficiente.

No se cuenta con datos exactos de volumen de estiércol producido por los animales o el procesado de la lombricomposta, ya que se va colectando y procesando de forma continua sin medirlo.

Producen la totalidad del forraje que necesitan para sus animales. Muy rara vez lo compran, lo que adquieren principalmente para sus animales son los bloques de sal lo cual hacen en el pueblo aldeaño.

#### RELACIÓN CON LAS ORGANIZACIONES DE LA SOCIEDAD CIVIL

Ester pertenece al Grupo Cooperativo Quali, de esta organización así como de Alternativas y Procesos de Participación Social recibe capacitaciones en procesos de transformación de insumos y técnicas agrícolas para mejorar los cultivos de amaranto y maíz. También recibe de ellos asesoría técnica y paquetes tecnológicos para la siembra de amaranto, que después de la cosecha es vendido a la cooperativa. Algunas veces le prestan la maquinaria necesaria para trabajar el campo o para limpiar el amaranto que se lleva a San Gabriel Chilac para su almacenamiento y transformación.

Al pertenecer al grupo cooperativo, tienen acceso a programas gubernamentales por medio de las organizaciones arriba mencionadas (e.g. los tanques de ferrocemento con sombrero y la cintilla de riego por goteo).

Ester ha viajado a Italia y a otros lugares diferentes con la red de cooperativas, esto ha tenido un profundo impacto en sus capacidades, empoderamiento y en su voluntad para mejorar ella y ayudar a su pueblo.

#### PUNTOS CRÍTICOS DEL SISTEMA

1.- Fertilización. A pesar de que cuentan con animales de traspatio no es posible obtener la cantidad suficiente de materia orgánica para aplicar al suelo agrícola. La compra de estiércol a Alternativas es frecuente para el cultivo de amaranto. Aunque hay un beneficio en el aporte del estiércol de los animales, estos compiten con el suelo por los residuos agrícolas, los cuales son utilizados como forraje.

Un punto crítico es la fertilización del campo, que al ser de casi 3 hectáreas necesitaría al menos 15 t de estiércol 50/50 res y borrego para ser abonado. Los animales de Ester no producen esta cantidad, por lo que el recurso económico es necesario para su adquisición. Esta cantidad de estiércol representaría un aporte de entre 150 Kg N ha<sup>-1</sup> (Hue y Silva, 2000), suficiente para satisfacer las necesidades mínimas del amaranto (Elbehri *et al.*, 1993). En la literatura ha sido reportada una importante mejoría en la producción y en el tamaño del grano a partir de aplicaciones de N equivalente a 100 kg ha<sup>-1</sup> (Apaza *et al.*, 2002) y hasta 180 kg ha<sup>-1</sup> (Alejandro y Gómez, 1990).

Ya que no se aporta suficiente estiércol ni se dejan suficientes residuos de las cosechas, sus parcelas se están agotando. Debido a este agotamiento del suelo, mala calidad del mismo y las rotaciones no adecuadas así como a la variabilidad climática, la producción agrícola es baja. La familia reporta cosechas de 700 kg ha<sup>-1</sup> de maíz y amaranto, así como 400 kg ha<sup>-1</sup> de frijol.

El pH del suelo en la zona oscila entre 8 y 8.5, en estas condiciones el fósforo reacciona con el calcio formando fosfato de calcio lo que disminuye su disponibilidad drásticamente. Aunque el amaranto tiene estrategias para solubilizar este fósforo como la síntesis de ácido oxálico (Shuxin *et al.*, 1999) y la formación de simbiosis con bacterias solubilizadoras de fósforo (Sharma y Roy, 2015)

han sido encontrados resultados positivos ante la fertilización con este nutriente. La certificación orgánica de las parcelas de Quali limita las fuentes de fósforo sintético para su fertilización, por lo cual una fuente alternativa podría ser la roca fosfórica, aunque esto requiere la compra del insumo.

2.- Disponibilidad de agua. La precipitación promedio anual es suficiente para satisfacer los requerimientos hídricos del amaranto, aunque las lluvias en la zona son altamente variables y esto puede hacer que la lluvia diaria no cumpla con los requerimientos del cultivo. Históricamente, todos los meses del año presentan al menos una vez ausencia total de lluvia. Aunque todos los años llueve entre 600 y 1000 mm, la mitad de esta precipitación llega a darse en los primeros tres meses de la temporada de lluvias (CNA y SMN, 2015), seguida de dos o tres meses sin lluvia, en caso de no contar con riego esto puede matar a los cultivos. También existe la posibilidad de lluvias atrasadas en noviembre que evitan que se sequen y maduren los granos, o hacen que germinen sobre la planta misma.

La escasez de agua en la región es histórica y para solucionar esta carencia, algunas comunidades, a lo largo del tiempo, han construido contenedores de agua de lluvia denominados jagüeyes, utilizados tanto para consumo humano como animal. La construcción de jagüeyes se registra desde la época colonial, sin embargo, otras fuentes mencionan que pudo tener su origen en la época prehispánica. El jagüey es la construcción producto de la excavación en un sitio acomodando la tierra excavada en forma de bordo en el perímetro de la excavación. De esta forma se gana volumen de almacenamiento de agua bajo y sobre el nivel del suelo.

El agua fue considerada un recurso limitante, no por su abundancia sino por su errática distribución (CNA y SMN, 2015), Alternativas y Ester ya están realizando acciones para fortalecer este punto: Junto al terreno agrícola de Ester pasa un pequeño barranco en donde hicieron un jagüey que capta aproximadamente 600 m<sup>3</sup> al llenarse (Figura 4). Esta agua solamente está disponible durante los meses de lluvias y hasta dos meses después, ya que se seca rápidamente.

Este año recibió apoyo de Alternativas para la construcción de dos tanques de ferrocemento con sombrero de 10 m<sup>3</sup> cada uno, así como, cintilla de riego por goteo para un cuarto de hectárea por tanque. Con el agua del Jagüey así como la de los tanques de ferrocemento logran alargar un poco más la temporada de siembra, que de lo contrario es altamente errática e indefinida, pero sobre todo logran amortiguar el efecto de la canícula que llega a durar hasta dos meses. Con el equipamiento actual no perderían cosechas en caso de presentarse canículas alargadas como la de 1980 (Fig. 3).

3.- Falta de planeación. No existe una planeación con anticipación en la siembra de los terrenos, la única planeación es que al momento antes de la siembra se ve el registro histórico de las parcelas y se trata de no repetir cultivos por más de dos años, y cada 4 años se trata de sembrar una leguminosa. Las parcelas con alfalfa no son rotadas en su totalidad, por lo que podría hacerse más eficiente su efecto mejorador de suelo (Angers, 1992), ninguna de las rotaciones tiene la eficiencia de nutrición del suelo necesaria para mejorar la producción del sistema, y no se están tomando acciones para contrarrestar la compactación del suelo fruto de las raíces del maíz (Gregory, 2006).

4.- Alta dependencia de subsidios y dinero externo, el sistema productivo no es autosuficiente, por lo que si estos ingresos se cortan la producción peligraría.

#### FORTALEZAS DEL SISTEMA:

- 1.- Capacidad y determinación personal. Ester y José se encuentran altamente motivados para mejorar sus campos, esto los ha llevado a experimentar con base a pláticas que hemos tenido y han tenido resultados positivos, de la misma forma participan activamente con Alternativas para captar proyectos de los cuales obtienen infraestructura.
- 2.- Diversidad de producción. Tienen una alta diversidad de producción agropecuaria, lo que les da resistencia ante malas cosechas o enfermedades de los animales, también gracias a la venta de estos productos obtienen dinero, que es escaso en la zona.
- 3.- Relación con las OSC. Su relación con Alternativas y Quali es cercana y fuerte. Al ser trabajadores y emprendedores reciben una atención muy cercana por parte de las OSC y con esto tienen acceso a financiamiento y apoyo que no todos los productores tienen.
- 4.- Sistematización de la información. José cuenta con una libreta en donde escribe sus observaciones de cada visita al campo así como de todas las labores, gracias a ésta pudimos hacer algunas observaciones que no fueron posibles con otros productores, principalmente las rotaciones de productos en cada melga. La seriedad que tienen al anotar cada labor u observación en el campo en su libreta hace que sean más conscientes de las causas y efectos de sus acciones y del clima.

#### *4.1.3 Sistema productivo de Rafaela*

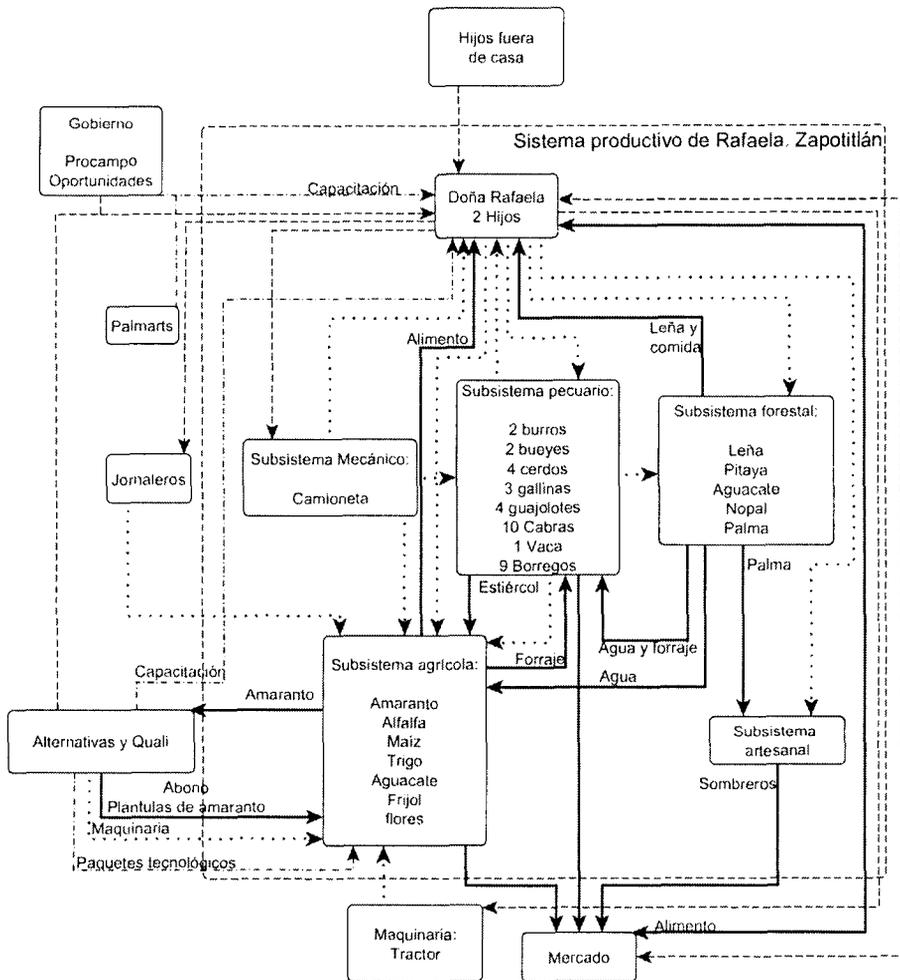
Rafaela posee un sistema principalmente agropecuario. Se encuentra en el municipio de Zapotitlán, en Puebla, cuenta con 2.16 ha de tierra agrícola en donde produce principalmente maíz, amaranto y alfalfa. Las labores agrícolas se encuentran financiadas principalmente por remesas y apoyos gubernamentales. El principal ingreso económico proviene de la agricultura, mientras que los animales son utilizados como ahorro y fuente de trabajo (Fig. 6). Existe un conflicto por la posesión de la tierra, por lo que probablemente Rafaela ya no podrá administrarla, sus hijos no podrán mantener el uso de este terreno. No existe una planeación adecuada en el uso del sistema por lo que las rotaciones no son adecuadas, tampoco existe registro de operación detallado del mismo por lo que no se sabe la cantidad de fertilizante orgánico utilizado en cada parcela.

#### FAMILIA

Doña Rafaela es una viuda de 58 años. Tiene varios hijos en el extranjero que envían remesas, no son frecuentes pero representan un ingreso importante para la familia. En su casa cuenta con dos hijos jóvenes. La hija trabaja medio día en la casa haciendo aseo y preparando comida, regularmente cuatro horas, de las 8 am a 1 pm. Después lleva la comida al campo a pocos cientos de metros de distancia de la casa y después de comer con su mamá se queda a trabajar con ella, aquí pasa otras cuatro horas, de 2 a 6 de la tarde. El hijo está la mitad de los días del mes trabajando con ellas, y la otra mitad viaja fuera de la comunidad persiguiendo proyectos laborales personales. Doña Rafaela trabaja todo el día en el campo, de 8 de la mañana a 6 de la tarde.

Rafaela recibe dinero del gobierno por el programa de Oportunidades así como de Procampo. El dinero es utilizado para amortiguar los costos de la labor agrícola, así como para dar mantenimiento a la camioneta familiar.

Figura 6. Representación gráfica del sistema productivo de Rafaela en el municipio de Zapotitlán, Puebla. Código gráfico: Recuadro punteado con encabezado= Sistema productivo; [ ] = subsistema; .....>= Inversión de trabajo o mano de obra; -> = flujo de dinero; -> = flujo de biomasa, energía y alimento; .....> = bienes inmateriales.



Fuente: Elaboración original.

El mercado local se encuentra a 20 minutos en coche o una hora caminando, por lo que la camioneta es parte esencial del comercio. Cuando no transportan carga utilizan el camión de pasajeros que circula cerca de la casa dos veces al día. La familia produce tortillas, tacos, algunas fritangas que lleva al mercado a vender, a veces se da también el trueque. Cuando necesitan dinero ya sea por emergencias o para pagar la maquinaria necesaria para el campo, venden animales,

principalmente chivos y borregos, de lo contrario se mantienen en engorda. También en el mercado es que se compran los bienes que no se encuentran dentro de la comunidad, como refacciones, gasolina, trastes, por mencionar algunos. Así como se adquieren granos que no se hayan sembrado por la familia, carne y otros alimentos. En el mercado son vendidos también los excedentes agrícolas y los sombreros de palma tejida.

## AGRÍCOLA

En las 2.16 ha de campos de cultivo que Rafaela utiliza, la producción agrícola es variada, incluye: Amaranto, alfalfa, maíz, trigo, aguacate, frijol y flores (Fig. 7). El amaranto se vende a Quali, el excedente de alfalfa llega a ser vendido, pero la gran mayoría se corta conforme va siendo necesaria para alimentar a sus animales, que al habitar a menos de 30 metros de la melga de alfalfa involucra muy poca mano de obra y transporte. El maíz y frijol son principalmente de autoconsumo, aunque se llega a vender en el mercado si el precio es favorable, el aguacate y las flores tienen buen precio en el mercado local, debido a esto, prácticamente toda la producción es vendida.

El sitio donde se encuentran las tierras de Rafaela posee un microclima privilegiado, colindando con un arroyo, posee una vegetación ribereña dominada por grandes árboles y humedad perceptiblemente mayor que la de la zona aledaña. Es por eso que raramente sufre heladas que afecten a sus cultivos, aunque el granizo llega a ser igual de destructivo que en toda la zona.

Rafaela realiza las labores agrícolas de la misma forma que Ester, es por eso que no ahondaré en detalles, aunque el microclima que gozan así como su capacidad de riego puede ampliar la temporada agrícola hasta 4 meses: Desde febrero se pueden regar los campos para ser labrados con tractor, y se pueden sembrar especies tolerantes al frío como el trigo y avena. En julio, después de la cosecha de estos cultivos puede sembrar amaranto o maíz, que aunque sean cosechados en diciembre, no corren tanto riesgo de heladas como en otros sitios.

Rafaela invierte mucho trabajo a sus tierras agrícolas, en donde pasa entre 8 y 10 horas diarias, generalmente 7 días a la semana (a menos que vaya al mercado o salga del pueblo). La producción agrícola depende parcialmente del abundante estiércol de sus animales, que podría ser más si lo colectara a intervalos de tiempo menores en lugar de cada mes (ya que está cerca del arroyo y se lo lleva el agua), también podría ser de mejor calidad si se evitara fuera lavado por la lluvia, la falta de mano de obra es el principal factor limitante de este sistema.

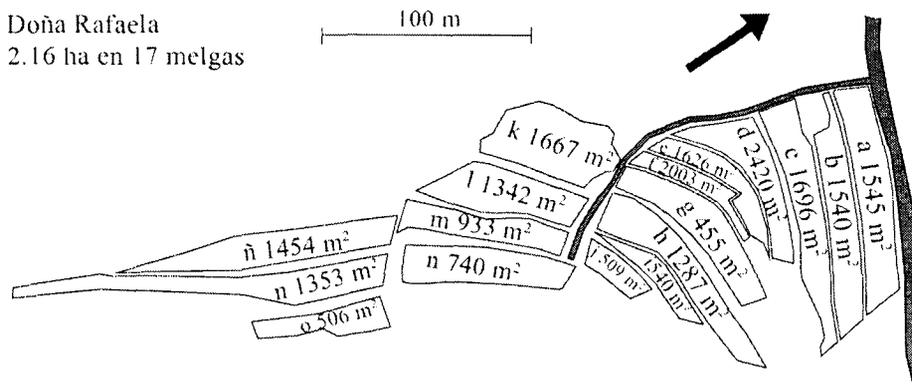
La fertilización del suelo se complementa con hasta 12 toneladas de estiércol caprino que la productora le compra a Alternativas, que a su vez lo compra en comunidades aledañas y transporta hasta donde sea necesario. De esas 12 toneladas 420 kg corresponden a N, que al ser utilizado en 2.16 ha aporta alrededor de  $194 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Rafaela no tiene un sistema de registro de la producción en su campo, tampoco hay una planeación detallada de las siembras y rotaciones (Tabla 4), recurre a una siembra improvisada con base en la liberación de las melgas. Rafaela no percibe una disminución en su producción, mantener ésta producción a pesar de la falta de rotaciones adecuadas es solamente viable gracias al suficiente nivel de fertilizantes aplicados cada año y al efecto acumulado de ésta.

Al tener agua abundante para riego puede sembrar durante todo el año, de esta manera el uso de la tierra puede ser más eficiente que en zonas como la de Ester que dependen solamente del temporal. Aunado a lo anterior, el alto nivel de materia orgánica que incorpora al suelo, se ve

reflejado en una producción ligeramente superior a la de los terrenos aledaños según comenta Rafaela. No se midió la producción de grano como parte de la caracterización, pero la diferencia del maíz observado en estas parcelas en comparación al de los otros productores era notoria, maíces de más de dos metros de alto con tres mazorcas cada uno mientras que la generalidad son maíces de no más de 1.6 m con una o dos mazorcas.

Figura 7. Mapa de las parcelas agrícolas de Rafaela en el municipio de Zapotitlán. En gris se encuentra marcado el camino. Al noreste del mapa, a no más de 500 metros se encuentra la casa de la familia. El tanque de ferrocemento de 10,000 l está localizado Entre las melgas g y h, y tiene cintilla suficiente para regar la melga g. El agua que es usada para riego y para los animales viene de la parte inferior de la melga o, corre a lo largo de la melga n y después es llevada a lo largo del camino hacia las melgas inferiores.



Fuente: Elaboración original.

En su tesis doctoral García Pereyra (2004) menciona una fuente no localizada que comenta que además de los beneficios de las rotaciones para evitar plagas y enfermedades, se ha observado un efecto pernicioso en Estados Unidos en la rotación maíz-amaranto: "Hubo una disminución de rendimiento y crecimiento no explicable por causas nutricionales o hídricas, los niveles de Ca y Mg en el maíz que seguía al amaranto en la rotación eran menores que para el maíz que seguía a soya en la rotación; por lo que en la rotación de cultivos donde interviene el amaranto deberán incorporarse especies que no los requieran en gran cantidad" (Elbehri *et al.*, 1993; Frantzen, 1993) (Clark y Myers, 1994). Es notorio el contenido superior de estos minerales en los granos de trigo y maíz (Tabla 1; Santín *et al.*, 1986).

En las rotaciones que realizó Rafaela solamente la Alfalfa, y avena han sido reportadas como mejoradores de suelo debido a su sistema radicular (Gregory, 2006)

Los ingenieros agrónomos de Alternativas y Quali dan atención al campo para facilitar una mejor producción, ven las plantas en búsqueda de deficiencias evidentes, se hace detección temprana de plagas para que mediante enmiendas orgánicas se controle y salve la producción (Agua con jabón o agua de cebolla y chile fermentado), así como se llega a participar en la siembra de las plántulas de amaranto que Rafaela compra a Quali apoyándola con la escasa mano de obra, también se apoya

directamente con maquinaria para la limpieza de la planta lista para cosechar. Frecuentemente Rafaela es invitada a capacitaciones sobre mejoramiento orgánico del suelo y controles orgánicos de malezas y plagas.

Tabla 4. Rotaciones realizadas en tres años en 10 melgas propiedad de Rafaela, Registro de los cultivos principales (Rafaela no recordó todas las rotaciones).

Melga	2012	2013	2014
A	Maíz	Trigo	Amaranto
B	Maíz	Trigo	Amaranto
C	Amaranto	Frijol	Maíz
D	Amaranto	Amaranto -> avena	Amaranto
E	Maíz	Amaranto	Maíz
F	Maíz	Amaranto	Maíz
G	Maíz	Amaranto	Maíz
H	Maíz	Alfalfa	Alfalfa
I	Cilantro	Amaranto	Maíz
J	Flor	Amaranto	Maíz

Fuente: Elaboración original.

#### TRASPATIO

En un pequeño huerto de traspatio (50m<sup>2</sup>) siembra hortalizas para autoconsumo, principalmente rábano, cilantro y chile oaxaqueño. En raras ocasiones, que tenga excedentes de esta producción los llega a vender en el mercado.

#### FORESTAL

En las tierras ejidales cercanas a su parcela abundan árboles leñosos como encinos y mezquites, ahí se colecta leña, pitaya, nopal y aguacates. El transporte de estos productos es

realizado a lomo de burro para llevarlo a la casa, de donde será llevado en camioneta al mercado local. También obtiene agua que corre abundantemente y por gravedad a sus melgas (3 pulgadas de agua continua, que en época de secas llega a bajar a una pulgada). Esta reducción en la disponibilidad de agua evita que se de riego durante la época de seca a todo su terreno, pero es suficiente para dar riego de emergencia a los cultivos que lo necesiten.

Las dos mujeres de la casa continuamente tejen la palma de *Brahea dulcis* para producir sombreros, esta palma se colecta también en las zonas de matorral xerófilo que rodean sus tierras agrícolas.

#### ARTESANAL

La OSC Palmart las capacitaba en la producción de sombreros, también los comercializaban, por lo que el precio era mejor, actualmente están sujetas al precio que los intermediarios quieran darles. Se podría pensar que por el poco valor del sombrero esta actividad sería una pérdida de tiempo, pero es algo que realizan mientras caminan o esperan, por lo que aparte del tiempo involucrado durante la colecta de la palma, el costo de oportunidad de esta actividad es casi nulo.

#### PECUARIO

Aparte de los dos burros que utilizan como transporte, la familia tiene gran diversidad de animales: 2 bueyes, 4 cerdos, 3 gallinas, 4 guajolotes, 10 cabras, 1 vaca y 9 borregos. Los burros y los bueyes son utilizados para el trabajo, los utilizan para jalar la yunta así como una carreta, o transportar los bienes forestales hasta la casa. Las gallinas y guajolotes son fuente de alimentación de los que obtienen carne y huevo, mientras que los cerdos, las cabras, y los borregos aportan dinero a la economía familiar en caso de necesidad. La vaca es ordeñada una vez al día en la mañana y la leche, es consumida por la familia y raras veces que hay excedente, es vendida.

Se produce alfalfa para los animales, algunas veces se le permite a las cabras y borregos pastar libres en el monte. Generalmente no se compra alimento o insumos para los animales, a excepción de bloques de sal para los animales, por lo cual el mantenimiento de los animales no requieren inversión monetaria.

#### PUNTOS CRÍTICOS DEL SISTEMA

1.- Falta de mano de obra. Debido a la migración al extranjero hay muy pocos jóvenes que estén dispuestos a trabajar en el campo a cambio de un jornal, por lo que el precio de la mano de obra se llega a elevar mucho, y a veces, aún teniendo el dinero para pagar la mano de obra no hay gente disponible.

2.- Dependencia de compra de estiércol. La productividad de los campos de Rafaela dependen de la compra del estiércol a comunidades aledañas, esto es un punto preocupante debido a la alza de los precios de los productos orgánicos. Mientras más gente comience a producir orgánicamente será más escaso y caro el estiércol. La disponibilidad será también más escasa debido a la presión por parte de la administración de la Reserva de la Biósfera Tehuacán Cuicatlán por disminuir el número de chivos y borregos en la zona para hacer menor el impacto del sobrepastoreo sobre la reserva.

La forma actual de colectar y almacenar el estiércol producido por los animales de Rafaela no es eficiente.

3.- Alta dependencia a las remesas y apoyos gubernamentales para financiar las labores agrícolas y mantenimiento de la camioneta.

4.- Posesión temporal de las tierras agrícolas.

#### FORTALEZAS DEL SISTEMA

1.- Capacidad y determinación personal de Rafaela y sus hijos para producir en el campo.

2.- Microclima favorable en las tierras agrícolas y acceso a agua para riego.

3.- Diversidad de producción. Tienen diversidad en la producción agrícola y pecuaria, lo que les da resistencia ante malas cosechas o precios, también gracias a la venta de estos productos obtienen dinero, que es escaso en la zona.

4.- Relación con las OSC. Su relación con Alternativas y Quali es cercana y fuerte. Al ser trabajadora recibe atención cercana por parte de las OSC.

#### *4.1.4 Sistema productivo de Rolando*

Rolando posee un sistema comercial-agropecuario-forestal en el municipio de Caltepec, Puebla. Cuenta con dos hectáreas de terrenos agrícolas, una huerta de frutales y chivos. La producción agrícola es de temporal: hortaliza, maíz y amaranto. Recibe ingresos permanentes de una tienda popular, que se complementa con los ingresos de la venta de la producción agrícola y la venta de barbacoa de chivo en las fiestas del pueblo (Fig. 8).

#### FAMILIA

Rolando migró a estados unidos durante muchos años, eso hizo que tuviera una visión diferente de la comunidad, economía y el campo. Antes de irse no era una persona involucrada en la política de su comunidad, sin embargo, ahora tiene varios cargos comunitarios en los que se ha desempeñado. También puso una pequeña tienda cerca del centro de la comunidad.

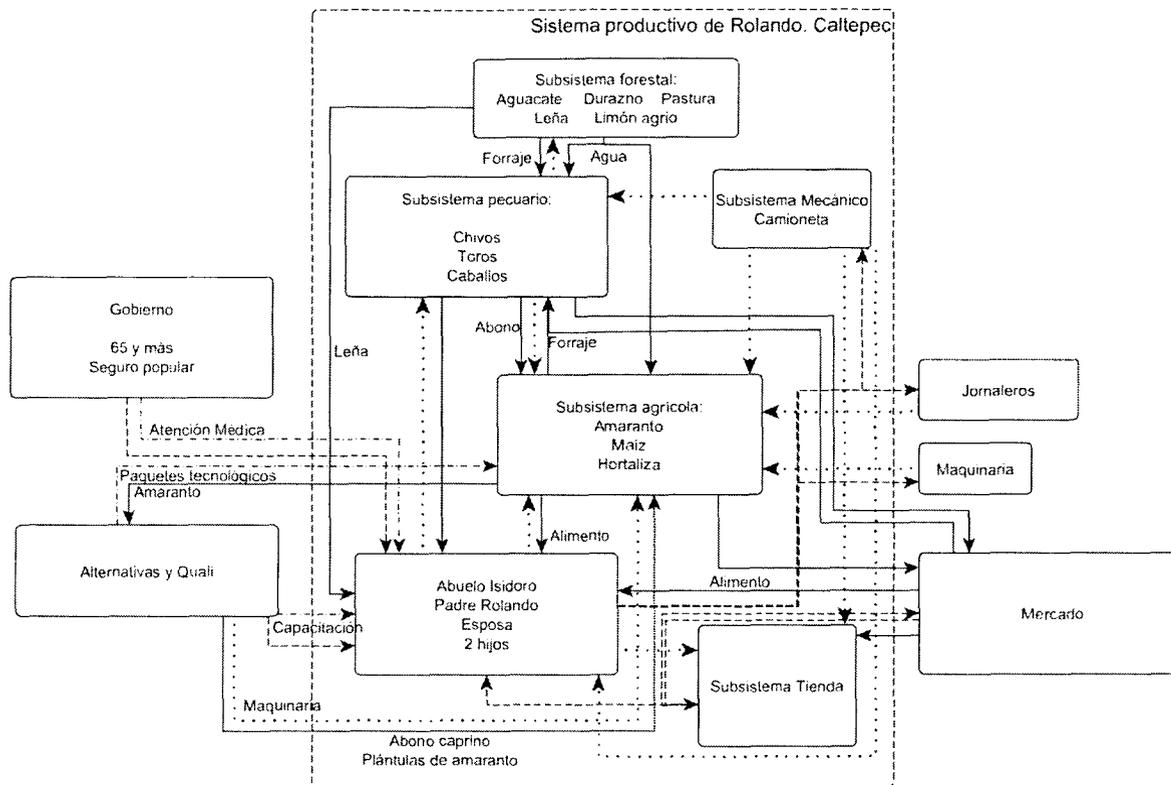
La esposa de Rolando se dedica a cuidar a los niños, que estudian en los primeros años de primaria, hace el aseo de la casa, hace de comer y atiende la tienda. Los niños todavía no tienen edad para ayudar en la casa ni con los animales.

Rolando se dedica principalmente a las labores agropecuarias, supervisa a los animales que pastan libremente en tierras ejidales, mantiene a los chivos que están en la casa, así como todas las labores agrícolas en sus tierras. Su papá antes trabajaba el campo, ahora ya se encuentra retirado y la familia lo mantiene, vive en una casa separada, el recibe del gobierno dinero por la edad (Programa 65 y más). Todos los integrantes de la familia tienen Seguro Popular. No reciben apoyos de otro tipo como podrían ser Procampo u Oportunidades.

#### AGRÍCOLA

En comparación a los dos sistemas anteriores, Rolando es quien vive en su mayor parte de su actividad agrícola debido a la alta ganancia que la venta de hortaliza le brinda, así mismo es quien menos financia la actividad agrícola con otras actividades.

Figura 8. Representación gráfica del sistema productivo Rolando. Código gráfico: Recuadro punteado con encabezado= Sistema productivo; [ ] = subsistema; [ ] = Puntos críticos; ..... ➔ = Inversión de trabajo o mano de obra; - - - ➔ = flujo de dinero; —➔ = flujo de biomasa, energía y alimento; - - - ➔ = bienes inmateriales.



Fuente: Elaboración original.

Los terrenos agrícolas de Rolando se encuentran al lado de una barranca llana, a media hora del pueblo en camioneta. Al inicio de la temporada de lluvia Rolando canaliza el agua de la barranca hacia sus parcelas para que deposite en ellas todo el estiércol, limo y materia vegetal que trae en las primeras lluvias, con ello coadyuva a fertilizar el suelo. Sin embargo, esto ha sido una apuesta peligrosa, el 2014 bajó dos veces seguidas la "barrancada" e inundó la parte superior de su terreno (Parcelas a-d en la Figura 9) dejándolo anegado e inútil al menos por este año, y se llevó por medio de erosión la mayoría del suelo de las parcelas k a la o. Por ello perdió la producción de  $\frac{1}{4}$  de su terreno y la pérdida permanente de  $\frac{1}{4}$  del mismo. Complementa la fertilización del campo con estiércol de sus chivos, que es agregado de forma mateada, dos manos llenas por planta antes del aporque.

Rolando tiene el objetivo constante de mantener un suelo saludable, por lo que aparte de la frecuente intercalación de maíz y frijol (Tabla 5), de los tres sistemas estudiados es en el que más restos de la cosecha se dejan en el suelo: cerca de un tercio de la caña del maíz o amaranto a pesar de que sus animales podrían utilizarlo como pastura. Debido a su deseo de mejorar su suelo y obtener mejores ingresos, recientemente realizó su conversión a orgánico e ingresó a la cooperativa.

Rolando realiza las labores agrícolas de la misma forma que los agricultores descritos anteriormente, con la excepción que compra las plántulas de amaranto en vaso en lugar de siembra por chorrillo como Ester o trasplante sin tierra como Rafaela. De ésta forma, después de que el tractor hace el surco se reparten las cajas de vasos a lo largo de todo el terreno, posteriormente se irá recorriendo cada surco haciendo un agujero con la mano donde colocar el vaso de tierra, removiendo antes el envoltorio plástico. Se cubre y prosigue con la siguiente planta.

Los terrenos que tiene el productor (Fig. 9) cuentan con riego que proviene de un manantial cerca de la barranca, pero el agua se agota en los meses mayo a julio, que es cuando más necesaria es debido a la canícula. Para esto Rolando ha instalado tinacos Rotoplas y un tanque de ferrocemento, para almacenar al menos 11,000 L de agua para riegos de emergencia durante esta temporada.

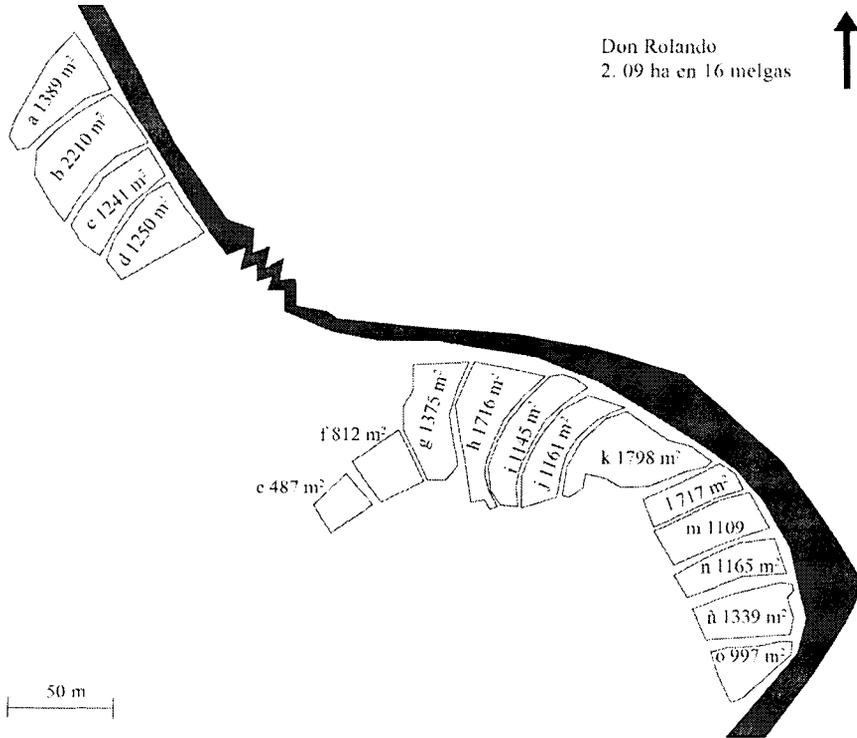
Rolando Recibe capacitaciones por parte de los ingenieros de Alternativas, y compra a Quali la plántula en vaso para sembrar con trasplante, también renta a ellos la maquinaria para limpiar el amaranto, que es vendido a la cooperativa.

## PECUARIO

Rolando tiene 20 chivos, dos toros y un caballo. El caballo lo utiliza para montar a los toros que tiene pastando en el campo y que utiliza para jalar la yunta o una carreta, también para cargar leña del monte a su casa.

Los chivos se encuentran en su traspatio por lo que darles alimento no significa una inversión importante de tiempo. Del alimento que les provee, más de la mitad es comprado, el restante lo proveen los restos agrícolas. Aunque pudiera incrementar su siembra de forraje para los animales, él prefiere producir hortaliza y comprar el alimento que es entregado los días que lo solicita en la entrada de su casa. La inversión es redituable dado que los días de feria Rolando vende a los chivos en forma de barbacoa con un alto valor agregado.

Figura 9. Mapa de las parcelas agrícolas de Rolando en el municipio de Caltepec. En gris se encuentra marcado el fondo de la barranca que es utilizado como camino. El agua de riego proviene del Norte del a melga a. La zona marcada con zig-zag al sur de la parcela d representa la falta de continuidad en la barranca, la distancia que separa las parcelas a-d de las e-o es mayor que la representada en el mapa.



Fuente: Elaboración original.

El estiércol de los chivos es acumulado a lo largo del año y transportado en su camioneta a sus campos para fertilizar, en algunos casos llega a comprar estiércol a Alternativas o algún vecino. No pudo estimar la cantidad de estiércol producida por los chivos.

Rolando posee una camioneta que solamente ocupa cuando trae carga o cuando viaja con toda la familia, para otros transportes sin carga utiliza el transporte público por el costo alto de la gasolina. En la camioneta transporta tanto insumos agrícolas como el abono de sus animales al campo, o el forraje para los mismos.

#### SISTEMA FORESTAL

Como se mencionó anteriormente los beneficios que Rolando obtiene del sistema forestal son la leña que utiliza en la cocina, pastura para los toros así como el agua con la que riega sus campos.

Cerca del pueblo, en un pequeño terreno forestal de su propiedad, tiene árboles de limón agrio, aguacate y durazno. La mayor parte de esta producción es vendida al mercado.

Tabla 5. Rotaciones realizadas en tres años en 10 melgas propiedad de Rolando.

Melga	2012	2013	2014
A	Maíz	Calabaza	Amaranto
b	Frijol y maíz intercalado	Amaranto	Amaranto
c	Frijol y maíz intercalado	Amaranto	Amaranto
d	Frijol	Maíz	Amaranto
e	Maíz y frijol intercalado		
F			
G			
H			
I			
J			

Fuente: Elaboración original.

#### PUNTOS CRÍTICOS

1.- Rolando tiene una visión económica-Empresarial de su sistema, esto se ve reflejado en que prefiere comprar el alimento para sus chivos en lugar de él sembrarlo y cosecharlo, con lo que disminuye su inversión de tiempo, tiempo que dedica a actividades más lucrativas como los cargos políticos en el pueblo o la venta de barcaboá. Por esta visión empresarial, detecta como punto crítico todo lo que le cuesta caro, como la maquinaria y la mano de obra de los jornaleros así como lo que vende barato.

2.- La baja disponibilidad de agua de riego no le permite usar sus terrenos todo el año, y sobre todo la ausencia total de agua durante la canícula que pone en peligro sus cosechas.

## FORTALEZAS DEL SISTEMA

1.- Visión de mejoramiento del sistema. Rolando realiza una inversión constante de dinero), insumos y esfuerzo en mejorar su sistema productivo, gracias a esto, su estabilidad y producción mejora año con año.

### 4.1.5 Observaciones generales de los tres sistemas analizados

El estiércol producido por los animales en los tres sistemas agrícolas está sub utilizado. Al caracterizar y diagnosticar los sistemas productivos de estudio, se podría suponer que no se realizó una conversión adecuada de la agricultura convencional a la orgánica dado que los productores realizan las labores en tiempos similares a los recomendados para agricultura convencional. Los productores fertilizan entre 25 y 30 días después de la siembra, dependiendo la cantidad de arvenses, ya que después del primer deshierbe es que se realiza el abonado y aporque. El deshierbe puede ser manual o con arado. De ser manual, después del mismo se abonan las plantas y posteriormente se realiza el aporque, si las arvenses no han crecido mucho, se abona ignorando las arvenses y el aporque las matará. La generalidad es que el suelo se fertilice con dos manos llenas de estiércol para cada mata (independientemente del tipo de estiércol, vacuno, caprino o composta) y después sea tapado con el suelo cuando se realiza la práctica del aporque.

En esta zona la extracción de N por los cultivos de amaranto y maíz es ligeramente mayor a lo que se aporta en fertilizante orgánico. Estimando que el puño de estiércol que se aplica a cada planta de amaranto pesa 200 gr, y la densidad de siembra de amaranto y maíz de 15,625 plantas, se utiliza cerca de 3,125 kilos de estiércol por ha. De acuerdo a Hue y Silva (2000) esto aportaría alrededor de  $75 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $2.4\% \text{ N kg}^{-1}$  en el estiércol seco de res) que se encuentra ligeramente bajo el nivel recomendado para amaranto y un incremento de esta fertilización tendrá una respuesta significativa en la producción (Clark y Myers, 1994, Apaza *et al.*, 2002). La capacidad de extracción potencial de N de los cultivos está excediendo el N disponible del suelo debido a la cantidad baja de estiércol utilizado así como a la mala temporalidad de este uso (Pang y Letey (2000). Tavitas Fuentes y Hernández Aragón (2012) reportan que la fertilización sintética del amaranto debe realizarse 50% al momento de la siembra y 50% 40 días después. Esto evita que se pierda por emisiones y por lixiviación el lavado, pero asegura que para el día 40 esté disponible la mayor parte del fertilizante, ya que después de esta fecha se encuentra el máximo consumo de N por parte del cultivo. Con las tasas de mineralización modeladas por Pang y Letey (2000) y el consumo de N por parte del amaranto reportado por (Tavitas Fuentes y Hernández Aragón, 2012) la fertilización con tres toneladas de estiércol vacuno como hacen los productores es el mínimo, 4 toneladas sería recomendable pues se aseguraría un mínimo de  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  que es lo recomendado por (Clark y Myers, 1994). La temporalidad con la que se usa el abono, no es eficiente, se aplica durante la siembra y para obtener un mínimo de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N disponible deben pasar alrededor de 120 días, lo que significaría que hay un retraso de 60 días, ya que el amaranto requiere el N a los 40 días. Para el momento en que la planta tiene acceso al N ya se encuentra desnutrida, así mismo, quedará un alto contenido de N residual en el suelo, del cual la mayoría se perderá por lixiviación y volatilización.

El incremento observado y predicho del área producida de forma orgánica en México hace que cualquier sistema que dependa de la adquisición de estiércol sea vulnerable ante la revaloración del mismo. La reducción de insumos comprados siempre aumentará la resistencia del sistema a los

cambios externos. De la misma forma, la reducción en la aplicación de estiércol reduce el riesgo de salinización secundaria (Parr *et al.*, 1990; Li-Xian *et al.*, 2007). Por ello es importante plantearse nuevos paradigmas para la producción orgánica acorde con el contexto socio ambiental del área de trabajo. Es generalizada también la falta de planificación agrícola, que incrementa el problema de fertilización de los suelos al no existir rotaciones adecuadas.

En dos de los tres sistemas la no autosuficiencia del sistema agrícola y la dependencia de insumos y financiamiento externo son un problema al que debe prestarse atención.

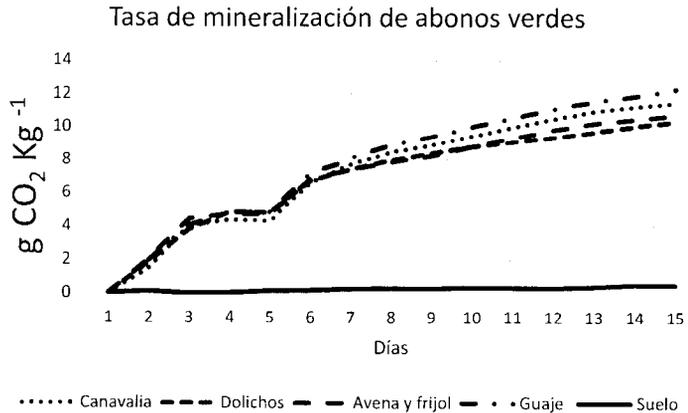
#### 4.2 Mineralización de abonos verdes

Es importante saber para la interpretación adecuada de los resultados de la mineralización, que el día 4 se agotó el oxígeno dentro de todos los frascos, por lo que toda la materia dejó de mineralizarse hasta el día 5 en que se oxigenaron y continuó la mineralización. Fenómeno similar a lo que reportaron Austin *et al.* (2004) que en las ZAS se crea un reservorio de materia altamente mineralizable por la falta de agua, que se degradará muy rápidamente cuando llega la humedad. Parece que ante la falta de oxígeno la MO se comportó de forma similar, ya que durante las 24 horas posteriores a la oxigenación hubo una emisión acelerada que después se regularizó. Es posible ver en las figura 12 y 13 el momento en que la materia orgánica deja de emitir CO<sub>2</sub> por la falta de oxígeno, así como es posible proyectar la tendencia de los primeros tres días al día 6 como si la ausencia de oxígeno nunca hubiera existido (Fig. 10). Es por esto que consideramos válidos los resultados de esta mineralización a pesar del día que las muestras estuvieron sin oxígeno.

El acumulado de las emisiones de CO<sub>2</sub>, presentaron el mismo comportamiento en todos los tratamientos (Fig. 10). Aunque para el día 3 las emisiones de la avena con frijol habían sido ligeramente superiores, a partir del día 5 y hasta la terminación del experimento 10 días después el guaje fue el mayor emisor virtual seguido por canavalia. Dolichos y avena con frijol se comportaron prácticamente igual hasta el día 10 en que avena con frijol superó a dolichos ya permanentemente hasta el fin del experimento. La emisión del tratamiento control con únicamente suelo fue prácticamente nula durante los 15 días.

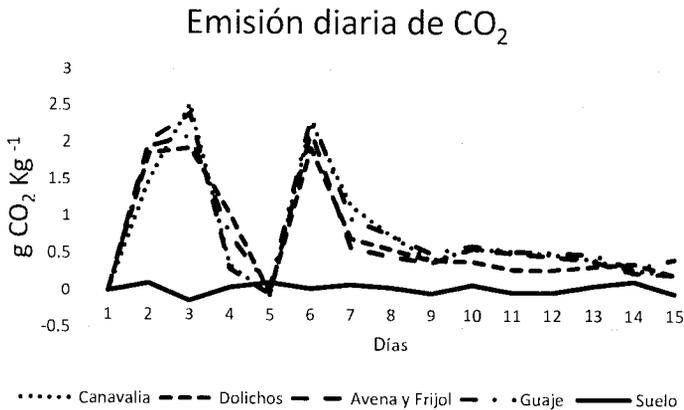
Observando el volumen de las emisiones de CO<sub>2</sub> diario (Fig. 11), se pueden observar dos etapas, una con una tasas más acelerada durante los primeros 7 días, seguida por una emisión menor durante los 8 días restantes. En los primeros 7 días que corresponden al 46.6% de la duración total del experimento se mineralizó el 66.08 % de la materia orgánica del total a mineralizarse durante los 15 días de experimentación. Esto se ve reflejado en las emisiones diarias de CO<sub>2</sub> mayores los primeros 7 días, mientras que del día 8 al día final, la emisión es constante y menor a 0.7 g CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> por día (Fig. 13).

Figura 10. Mineralización de 4 abonos verdes y un control a 15 días. Emisión de CO<sub>2</sub> acumulada a lo largo de 15 días. Todos los tratamientos se comportaron de forma similar con excepción del control. De mayor emisión a menor: guaje, canavalia, avena y frijol, dolichos, suelo sin abono verde (Control).



Fuente: Elaboración original

Figura 11. Emisiones diarias de CO<sub>2</sub> en un experimento de mineralización en laboratorio, como indicador de la respiración del suelo. Es notorio que a partir del día 8 termina la fase exponencial y la emisión comienza a estabilizarse.



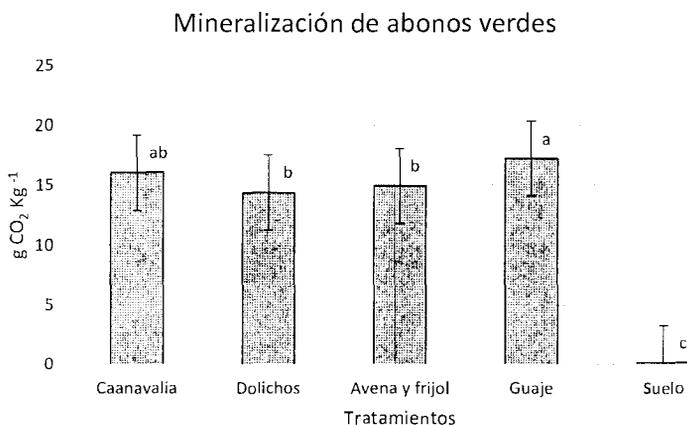
Fuente: Elaboración original.

La rápida mineralización observada durante los primeros 7 días tiene un importante valor agronómico, ya que a diferencia de los estiércoles y compostas que requieren hasta 300 días para liberar los nutrientes que contienen (Pang y Letey, 2000), los abonos verdes lo aportan de forma tan

rápida que es solamente comparable con la disponibilidad de fertilizantes químicos. Es debido a esta rápida mineralización que los abonos verdes deben de ser enterrados instantáneamente para disminuir pérdidas a la atmósfera, por lo que la aplicación más tardía posible sería el día 30 en que se realiza el aporque, aunque por facilidad del manejo se acostumbra sembrar el abono verde antes del cultivo de interés comercial para incorporarlo al momento de preparar los surcos del cultivo subsecuente (Beltrán-Morales *et al.*, 2006; Murillo-Amador *et al.*, 2006a).

Analizando la pérdida absoluta de presión transformada a la respiración del suelo podemos ver que el suelo con guaje emitió más CO<sub>2</sub> que el suelo con Dolichos y que el suelo con avena y frijol, además todos estos emitieron más CO<sub>2</sub> que el suelo sin aportes orgánicos (Figura 12). La emisión de CO<sub>2</sub> es directamente proporcional a la mineralización de la materia orgánica (Westermann y Crothers, 1980), por lo que el guaje se mineralizó ligera pero significativamente en mayor proporción que el dolichos y la avena con frijol. El suelo agrícola tuvo una respiración casi nula, por lo que podemos suponer que la poca materia orgánica que tiene se encuentra estabilizada en gran parte, lo que hace suponer que es la razón de la baja productividad en la zona de estudio.

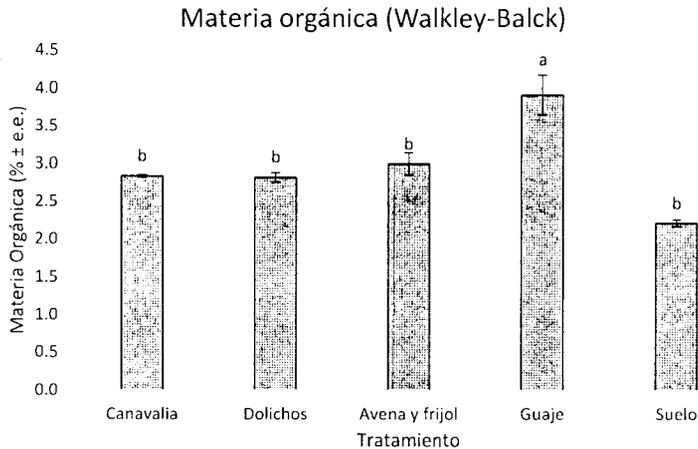
Figura 12. Emisiones totales de C-CO<sub>2</sub> en 15 días de mineralización de 4 abonos verdes. Letras diferentes sobre las columnas denotan diferencias significativas con la prueba *Post-hoc* de Tukey  $p < 0.05$ . Las barras de error representan  $\pm 1$  e.e. Las emisiones mostraron el siguiente patrón guaje > dolichos, avena y frijol, suelo. Canavalia, dolichos y avena con frijol > suelo



Fuente: Elaboración original.

Se encontró diferencia significativa en el porcentaje de materia orgánica del suelo entre tratamientos después de 15 días de mineralización. El tratamiento con guaje fue superior a todos los demás tratamientos con 3.9%; no hubieron diferencias entre los otros tratamientos (Fig. 13). Debido a que el guaje tiene una relación C:N mayor en sus partes no foliares que los otros abonos verdes estudiados, al mineralizarse emite más CO<sub>2</sub> al mismo tiempo que aporta más MO al suelo (Relación C:N guaje: hoja 11, ramas 19).

Figura 13. Porcentaje de materia orgánica en suelo con diferentes abonos verdes (n=3) y suelo sin abono verde (n=2) Letras diferentes sobre las columnas denotan diferencias significativas (T de student  $p < 0.05$ ). Las barras de error representan  $\pm 1$  e.e. Se encontró el siguiente arreglo: guaje > canavalia, dolichos, avena y frijol, suelo.



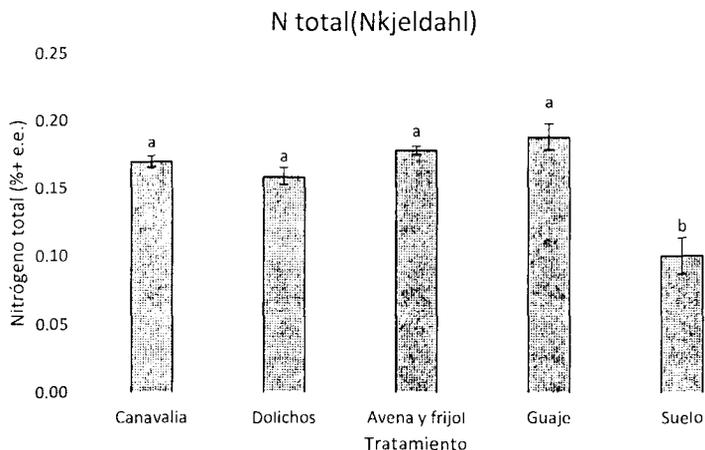
Fuente: Elaboración original.

La materia orgánica del suelo fue aportada en mayor cantidad por el guaje que por los otros abonos verdes, esta diferencia es de extrema importancia y puede tener una alta relevancia en las condiciones físicas del suelo como en la compactación, retención del agua, aminoramiento del efecto del alto pH y la alcalinidad (Aronson *et al.*, 1993, Islam y Weil, 2000, Austin *et al.*, 2004, Magdoff y Weil, 2004, Brady y Weil, 2010).

En nitrógeno total no hubo diferencia significativa entre abonos verdes, pero todos tuvieron significativamente más N total que el suelo (Figura 14). Esto indica que todos los abonos verdes aportaron por gramo igual cantidad de N, por lo que la cantidad neta de N no será un factor de decisión a la hora de elegir el abono verde para el cultivo.

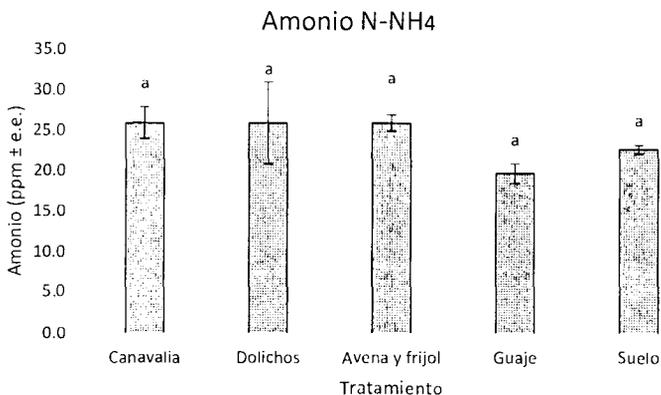
El contenido de amonio en el suelo fue estadísticamente similar entre los diferentes tratamientos (Fig. 15). Lo que indicaría que la mayoría del N se encuentra de forma orgánica o en forma de nitrato.

Figura 14. Porcentaje de nitrógeno total en suelo con diferentes abonos verdes (*canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab*, *Avena strigosa* con *Phaseolus vulgaris* L. y *Leucaena leucocephala*; (n=3) y suelo sin abono verde como control (n=2). Letras diferentes sobre las columnas denotan diferencias significativas (Tukey  $p < 0.05$ ). Las barras de error representan  $\pm 1$  e.e. Se encontró el siguiente arreglo canavalia, dolichos, avena y frijol, guaje > suelo.



Fuente: Elaboración original.

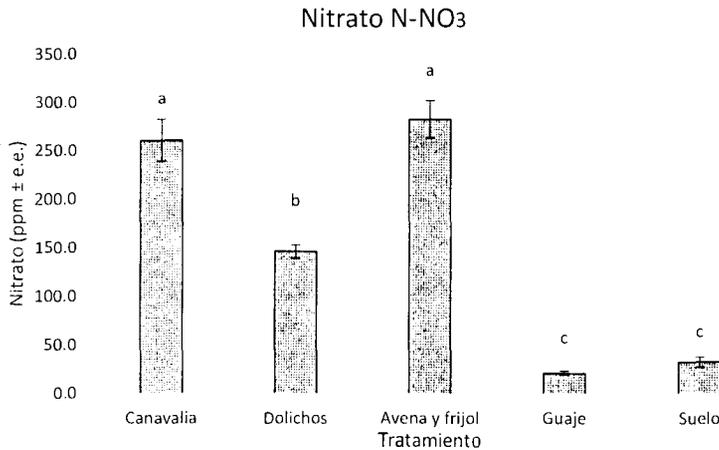
Figura 15. Proporción de amonio (ppm  $\pm$  e.e.) en suelo con diferentes abonos verdes (*Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab*, *Avena strigosa* con *Phaseolus vulgaris* L. y *Leucaena leucocephala*; n=3) y suelo sin abono verde como control (n=2). No se detectaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras de error representan  $\pm 1$  e.e.



Fuente: Elaboración original.

La diferencia en los niveles de nitratos del suelo de la Mixteca con diferentes abonos verdes, después de 15 días de incubación fue significativamente diferente entre los tratamientos (Fig. 16). Los suelos con canavalia y avena con frijol tuvieron mayor contenido que dolichos, y todos los anteriores tuvieron mayor contenido que el guaje y suelo, sin diferencia significativa entre estos dos últimos. El guaje a pesar haber sido el que más se mineralizó, debido a la alta relación C:N de sus ramas aportó menos N que los otros abonos verdes al reservorio inorgánico.

Figura 16. Proporción de nitrato (ppm  $\pm$  e.e.) en un suelo con diferentes abonos verdes (*Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab*, *Avena strigosa* con *Phaseolus vulgaris* L. y *Leucaena leucocephala*; n=3) y suelo sin abono verde como control, después de 15 días de incubación. (n=2) Letras diferentes sobre las columnas denotan diferencias significativas (Tukey;  $p < 0.05$ ). Las barras de error representan  $\pm 1$  e.e. Se encontró el siguiente arreglo canavalia, avena y frijol > dolichos > guaje, Suelo.



Fuente: Elaboración original.

En 15 días que duró la mineralización el guaje no aportó N disponible para las plantas al suelo ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) a pesar de haber sido el abono verde que aportara mayor cantidad de este elemento (Tabla 6). Avena y frijol aportaron la segunda mayor cantidad de N total y la mayor cantidad de N disponible a 15 días de mineralización, canavalia presentó la tercera cantidad de N total y la segunda en disponibilidad. Finalmente dolichos fue el abono verde con menor desempeño en aporte de N total y tercero en disponibilidad.

Dado que los tratamientos agregados al suelo fueron en materia verde con baja relación C:N en comparación a material seco, se asume que se mineralizarán con rapidez (Sumner, 2000). Jama y Nair (1996) reportan velocidades de mineralización en dos fases para *Leucaena leucocephala*, de 12% por semana en la primera fase, que dura 10 semanas y 1% en la segunda fase que dura 8 semanas, esto en condiciones semiáridas y cálidas. Estos datos contradicen los resultados observados en el presente experimento.

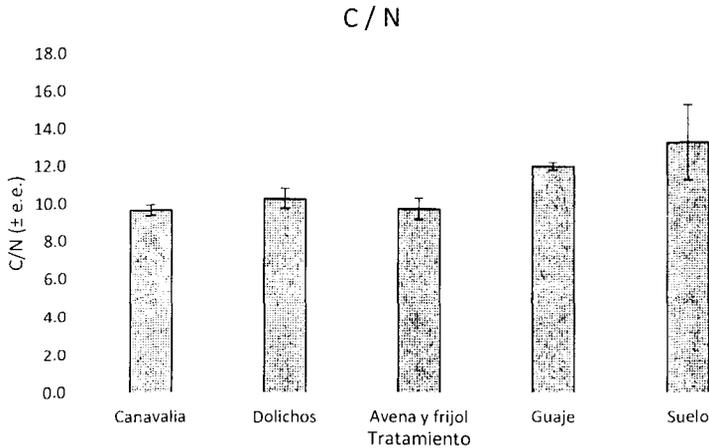
Tabla 6. Nitrógeno orgánico e inorgánico aportado por tratamiento con abonos verdes (N medido en suelo sin abono verde restado al N medido después de 15 días de mineralización). Las letras a la derecha del número denotan diferencias significativas entre tratamiento por renglón. En N total no se encontró diferencia significativa entre tratamientos ( $p < 0.05$ ), si hubo una diferencia significativa en el N inorgánico entre los mismos. Se encontró el siguiente arreglo canavalia, avena y frijol > dolichos > guaje.

	Canavalia	Dolichos	Avena y frijol	Guaje
<b>N total (kg)</b>	1548 (a)	1306 (a)	1727 (a)	1952 (a)
<b>NO<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub>(kg)</b>	544.4 (a)	290.0 (b)	593.7 (a)	0 (c)

Fuente: Elaboración original.

La relación C:N del suelo analizado después de 15 días de mineralización se muestra en la Figura 17. Es posible un error de medición o instrumental ya que no nos es posible explicar la razón por la que el guaje fue el principal emisor de CO<sub>2</sub> y no se encontraron el amonio o nitrato esperados en el suelo posterior a la mineralización.

Figura 17. Relación C:N en un suelo con diferentes abonos verdes (*Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab*, *Avena strigosa* con *Phaseolus vulgaris* L. y *Leucaena leucocephala*; n=3) y suelo sin abono verde como control, después de 15 días de incubación. (n=2).



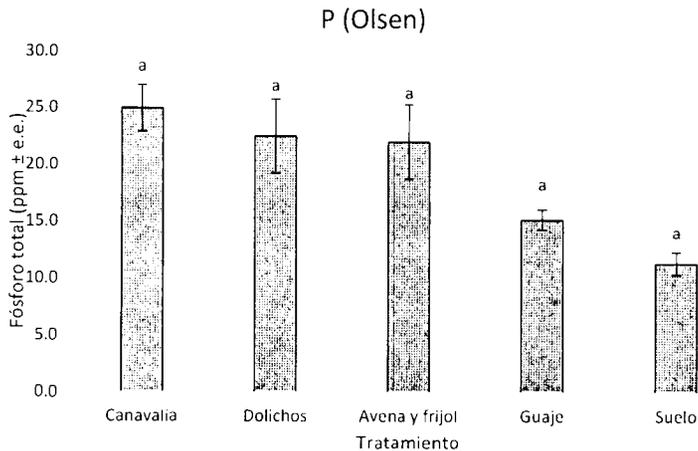
Fuente: Elaboración original.

Como fuente inmediata de nitrógeno la avena con frijol y canavalia mostraron ser más eficientes aportando N disponible para las plantas, seguidos por el dolichos (Fig. 16). Por lo consiguiente podemos recomendar a estos tres abonos verdes como respuesta a necesidades inmediatas, mientras que el guaje puede ser recomendado como tratamiento a largo plazo para el mejoramiento del suelo así como para aportes graduales de N a los cultivos.

La proporción de fósforo no fue significativamente diferente entre tratamientos ( $p < 0.05$ ). Este resultado fue esperado, ya que ninguna de los abonos verdes utilizados se recomienda en la literatura como una fuente importante de fósforo (Fig. 18).

El fósforo obtenido en todos los tratamientos excepto el control corresponde a abundancia alta en la escala de Ramírez *et al.* (1988), el control corresponde a abundancia media. A pesar de la abundancia de P en el suelo, se espera baja biodisponibilidad debido a la formación de fosfato de calcio por el alto pH reportado para la zona (8-8.5; Sumner, 2000). El amaranto realiza asociaciones simbióticas que le permiten solubilizar el fósforo para evitar esta deficiencia (Sharma y Roy, 2015). Se desconoce el alcance de esta capacidad en suelos alcalinos con pH de 8.4 como el presente.

Figura 18. Fósforo total (ppm  $\pm$  e.e.) en suelo con diferentes abonos verdes (*Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab*, *Avena strigosa* con *Phaseolus vulgaris* L. y *Leucaena leucocephala*; n=3) y suelo sin abono verde como control (n=2) Letras diferentes sobre las columnas denotan diferencias significativas (Tukey  $p < 0.05$ ). Las barras de error representan  $\pm 1$  e.e.



Fuente: Elaboración original.

#### 4.3 Propuestas de manejo

En el mismo sentido que Waddington y Heisey (1996), creo que el reto de la fertilidad es tan grande que los campesinos necesitarán combinar cosechas que cumplan una función específica: rompimiento del horizonte de compactación, fertilización, mejora de calidad del suelo, etc., así como deberán experimentar con nuevos manejos agronómicos que para hacer más eficiente el uso de los recursos disponibles.

##### 4.3.1 Mejoramiento del manejo del estiércol

En los tres sistemas agropecuarios analizados en esta investigación se observó un manejo inadecuado del estiércol producido dentro de los sistemas. Para asegurarse la calidad de este fertilizante deberíamos considerar algunas medidas básicas (Trinidad-Santos, 2013):

Debe construirse un estercolero, es decir, un pequeño tejado con paredes bajas y techo alto donde pueda irse almacenando el estiércol producido por los animales, debe estar protegido del sol y la lluvia, ya que la exposición a estos elementos disminuye su calidad. El estercolero debe estar cerca de la fuente de estiércol para disminuir la labor de transporte. Debe existir un desnivel en el

suelo que permita la captación de los lixiviados de la pila de estiércol (4 a 5 %), si el estiércol se calienta mucho o se seca debe ser humedecido con este lixiviado. En caso de haberse agotado se debe usar agua.

El estiércol debe de colectarse cada semana o más frecuentemente, ya que mientras más tiempo pase expuesto menor será su calidad. En caso de estar dentro de un corral protegido cada 15 días es adecuada la colecta. Será acomodado en "ladrillos" de no más de 20 cm de alto cada uno, el volumen de estiércol disponible determinará el tamaño horizontal del ladrillo. Para enriquecer el estiércol, se recomienda agregar una capa vegetal de abono verde entre cada ladrillo, por lo que inmediatamente antes de palear el estiércol, debe cosecharse frijol, guaje o alfalfa para enriquecer con N o tonia para enriquecer con fósforo (Sanginga *et al.*, 1989; Angers, 1992; Jama y Nair, 1996; Jama *et al.*, 2000).

El estiércol porcino posee 3 veces más magnesio que el vacuno y más de 10 veces que el caprino, por lo que este estiércol podría ser utilizado como enriquecedor de composta para la fertilización de suelos productores de amaranto altamente demandante de este elemento (Romero-Lima *et al.*, 1997).

#### 4.3.2 Sincronización de disponibilidad y consumo de nitrógeno: manejo de abonos y necesidades del cultivo

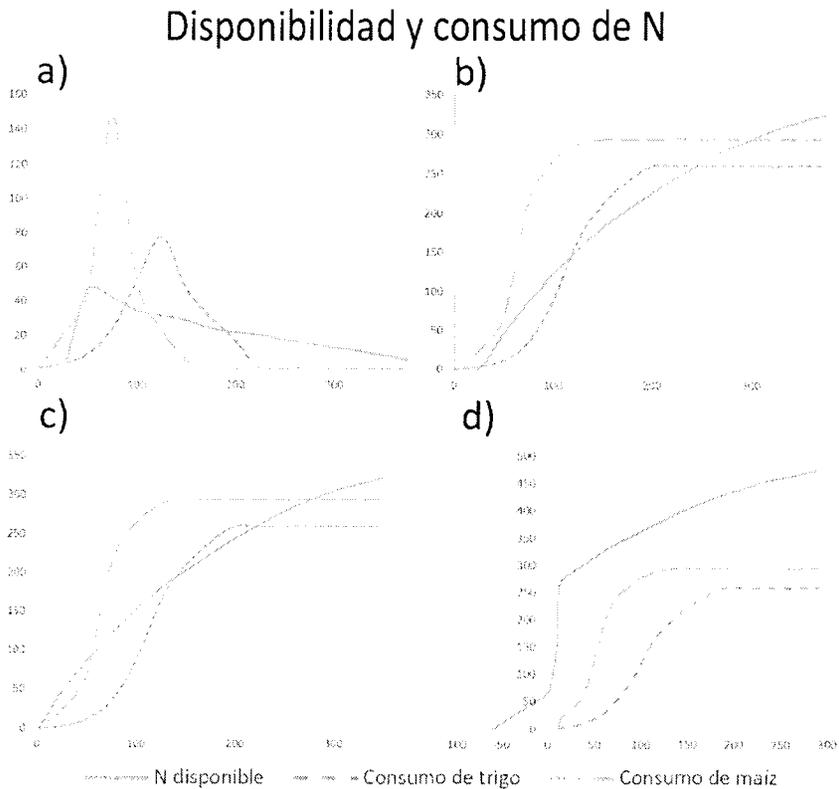
Todos los sistemas analizados presentaron como punto crítico la fertilización, la cual debería estar regida por la idea de sincronización de la disponibilidad de N y los requerimientos de los cultivos Pang y Letey (2000). Utilizando los datos de mineralización de estiércol de res y consumo de N por parte del maíz y trigo así como las fechas de siembra y aplicación de estiércol en la Mixteca, la velocidad de mineralización y aporte de N de la avena con frijol elaboré un nuevo modelo de fertilización. En la búsqueda de literatura no se encontró información sobre el consumo de N por parte del amaranto, aunque es de esperar que se encuentre entre los dos cultivos graficados ya que consume menos N que el maíz, más que el trigo, y pocos cultivos presentan un consumo leptocúrtico tan acentuado como el maíz así como pocos son tan platicúrticos como el trigo (Pang y Letey, 2000, Díaz-Ortega *et al.*, 2004).

Durante la mineralización de abonos verdes obtuvimos que el suelo poseía 55.8 ppm de Nitrógeno inorgánico ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$  Fig. 15 y 16) esto corresponde a 123 kg N  $\text{ha}^{-1}$  a 10 cm de profundidad calculado con base en la densidad aparente. Ya que la muestra se tomó 7 meses posterior al abonado, este suelo todavía será lixiviado por las lluvias invernales y la lluvia de marzo a abril, así como habrá perdido N a la atmósfera, por lo que el suelo al inicio de la siembra se encontrará altamente empobrecido. Podemos notar en la figura 19a cómo el maíz tiene un consumo superior al N aportado por el suelo desde los días iniciales del cultivo, por lo que de no haber suficiente N en el suelo puede ser subóptimo su desarrollo inicial. El trigo no tiene este problema ya que su consumo comienza con menos velocidad que la del maíz. Pero en los mayores picos de consumo de N tanto para trigo como para maíz no hay N disponible, también se observa en la figura 18b.

La disponibilidad y mineralización acumuladas nos permiten ver el panorama completo (Fig. 19b). Los requerimientos de N del maíz siempre se localizaron por encima del N disponible por mineralización, agravándose la situación a partir del día 50 en que comienza el pico de consumo del maíz. El trigo por su consumo moderado no se encuentra con déficit sino hasta el día 125, en que supera al N disponible. En el día 300 el estiércol finalmente se encuentra suficientemente

mineralizado para aportar los 259 y 300 kg N ha<sup>-1</sup> que requerían los cultivos respectivamente, 125 días tarde para el maíz y 100 para el trigo.

Figura 19. Disponibilidad y consumo de N. a) Nitrógeno aportado diariamente por estiércol, y requerimiento de N diario por parte de maíz (*Zea mays*) y trigo (*Triticum aestivum*). El día 0 corresponde a la siembra y en el día 25 a la aplicación del estiércol al momento del aporque b) Mismos datos de la figura 18a mostrados acumulativos. c) Mismos datos de la figura 18c con el estiércol siendo aplicado durante la siembra. d) Con la utilización de abonos verdes previos al cultivo, se realizan los surcos el día 0 enterrando y matando el frijol y la avena junto con la mismas cantidad de estiércol que en los incisos anteriores. Datos originales para la construcción del modelo Fig. 18a (Pang y Letey, 2000).



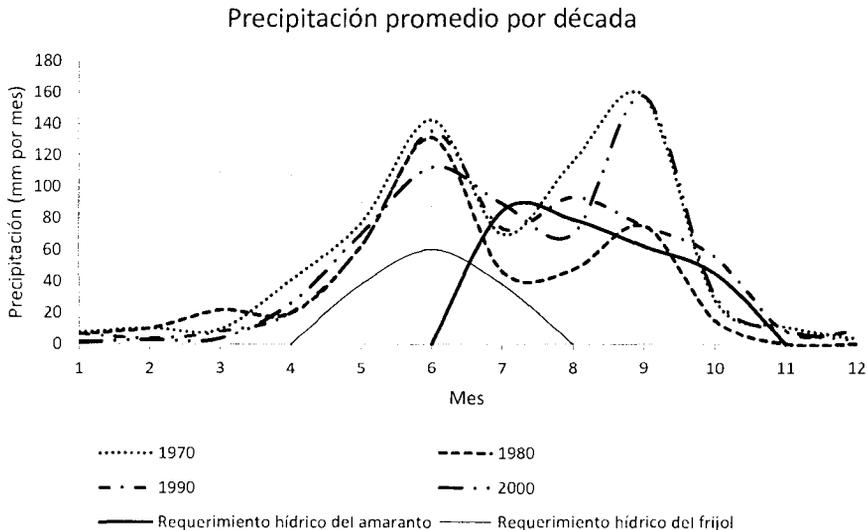
Fuente: Elaboración original.

Con la finalidad de buscar sincronizar los requerimientos del cultivo con el N disponible sin aumentar las labores agrícolas, se simula la aplicación de estiércol en el día cero previo a la

realización de los surcos (Fig. 19c), de esta forma el tractor lo enterrará. Podemos observar que este ajuste no es suficiente, pues se adelantó 25 días y teníamos un retraso de 125 y 100 días, aunque agreguemos el estiércol durante el primer barbecho 25 días antes de la siembra seguiremos con un retraso de 75 y 50 días.

Finalmente, asumiendo que las lluvias comienzan en abril, y por lo tanto hasta ese momento se puede realizar el barbecho, se modeló y se propone lo siguiente: las tres toneladas de estiércol utilizadas normalmente se extienden sobre la parcela para ser posteriormente enterradas por el barbecho. Inmediatamente después se siembra al boleado e intercalado, frijol (20 kg ha<sup>-1</sup>) y avena (30 kg ha<sup>-1</sup>; Fig. 20). El frijol tardará de 6 a 8 semanas en llegar a floración media, crecerá gracias a la humedad de las lluvias y a la mineralización del estiércol aplicado. En junio se utiliza el tractor para incorporar el frijol y la avena al momento de realizar los surcos. En este momento comienza la mineralización de estos abonos verdes que se une a la mineralización del estiércol que ya acumula 60 días en el suelo humedecido.

Figura 20. Lluvia promedio por década y requerimiento hídrico del frijol y el amaranto.



Fuente: Elaboración original con datos de CNA y SMN, 2015.

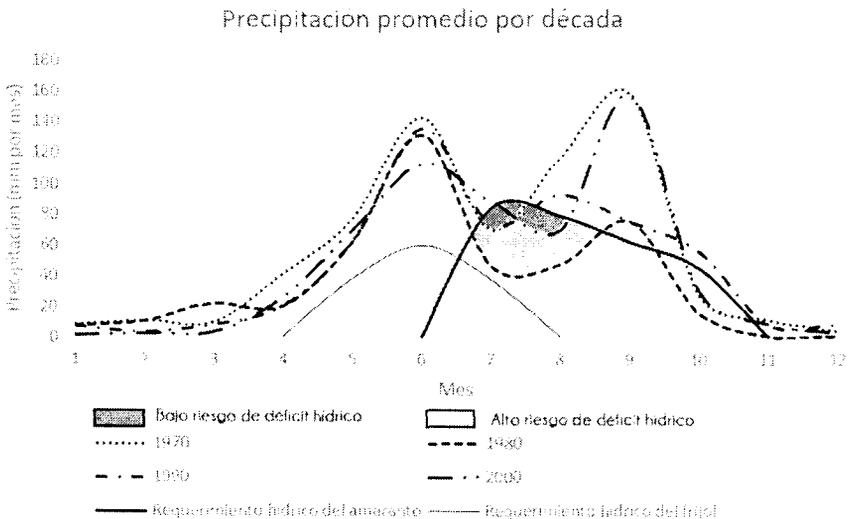
Debido a la lenta mineralización del estiércol podemos observar en la figura 18d que existe una liberación lenta de N desde el día 60. Del día cero al 15 existe una liberación acelerada, la de los abonos verdes aunada a la del estiércol. A partir del día 15 continúa graficada únicamente la liberación de N por parte del estiércol, ya que por falta de datos de velocidad de mineralización de los abonos verdes preferimos subestimar la liberación de N que sobreestimarla. Se sabe que existen 1,727 kg N ha<sup>-1</sup> de N total aportado por los abonos verdes al incorporar 19.5 t ha<sup>-1</sup> incluyendo raíces (Tabla 4) de los cuales únicamente se graficaron 593 kg N ha<sup>-1</sup> que fueron los encontrados en forma inorgánica al día 15 de la mineralización en el oxitop, por lo que posterior al

día 15 permanecen en el suelo  $1134 \text{ kg N ha}^{-1}$  que no fueron graficados en la figura 18. Gracias a esta liberación acelerada de N podemos observar que los requerimientos del cultivo siempre se encontraron satisfechos.

La principal limitante de este manejo es que en lugar de sembrar con las primeras lluvias el cultivo de interés económico, se siembra el abono verde, lo que retrasa mes y medio a dos meses la cosecha comercial, esto hace que la canícula con alta probabilidad de caer en julio (Figura 6) encuentre al cultivo de interés económico más joven que lo acostumbrado y en su pico de necesidad hídrica por lo que es en este momento en que no es tan resistente a la falta de agua (Mapes Sánchez, 2010; Fig. 21). Este mismo desfase puede hacer que heladas tempranas afecten al cultivo antes de su maduración al final del año.

Un manejo integrado que de acceso a los cultivos a los horizontes inferiores del suelo y al agua y nutrientes ahí disponibles disminuirá el déficit hídrico del cultivo, de la misma forma que al incrementar la materia orgánica en el suelo incrementaremos su capacidad de retención de agua (Austin *et al.*, 2004), lo cual podría amortiguar el efecto de la canícula, pero esto posiblemente no ocurra en los primeros años.

Figura 21: Déficit hídrico de dos cultivos. Distribución de lluvia en el municipio de Caltepec, Puebla. Gráfica construida con la información de la estación meteorológica 21002 de la Comisión Nacional del Agua. Las distribuciones muestran la precipitación mensual promedio en la década indicada. En el eje X los meses corresponden de "1" a enero hasta "12" a diciembre. La información en esta figura se construyó con los datos de la CNA de 1970 a 2009. Requerimientos hídricos estimados para el frijol nativo y el amaranto (Díaz-Ortega *et al.*, 2004, Traxco, 2011). En años de poca lluvia y canícula pronunciada el cultivo se encuentra en muy alto riesgo por déficit hídrico, en caso de no ser así existe aún una baja disponibilidad hídrica en julio y agosto.



Fuente: Elaboración original con datos de CNA y SMN, 2015.

En el día 150 se cosecha el maíz, por lo que permanecen en el campo 118 kg N ha<sup>-1</sup> que seguirán incrementando gracias a la mineralización del estiércol, de la misma forma, si cosechamos el trigo en el día 200, persistirán en el suelo 183 kg N ha<sup>-1</sup>, que de no ser utilizados se perderán. En el escenario del maíz, que posee el mismo calendario de cultivo que el amaranto, nos encontramos en el mes de noviembre, con la temporada de lluvia terminando. Sería propicio, sembrar un abono verde a modo de cultivo de cobertura, una opción para valorar sería el rábano forrajero.

#### 4.3.3 Manejo de la compactación del suelo

De León González *et al.* (1997) encontraron efectos nocivos de la compactación del suelo sobre biomasa, productividad y longitud radical del amaranto. Los rábanos (Brassicaceae) y en particular el rábano forrajero (*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*) poseen una poderosa raíz que puede penetrar los horizontes de compactación que generan indeseadamente los tractores, de esta forma los cultivos sucesivos podrán tener acceso a la humedad y nutrientes bajo estos horizontes. El rábano forrajero tendrá acceso a la humedad y nutrientes a profundidades que los cultivos anteriores no tuvieron (Williams y Weil, 2004; Weil *et al.*, 2009).

Los rábanos poseen grandes cantidades de glucosinolatos, que al descomponerse, forman productos secundarios biotóxicos (Isothiocinatos y otros) que tienen el potencial de controlar malezas, enfermedades, insectos y nematodos.

El rábano puede ser sembrado después de la cosecha de amaranto o maíz en noviembre, y crecerá durante diciembre alcanzando su maduración entre 30 y 45 días después de su siembra. El rábano sembrado puede ser utilizado de diferentes maneras. Se puede cosechar una fracción del producto para financiar las labores agrícolas, o permitirse la floración de algunos para producir semilla para el año posterior. Lo demás puede ser matado de forma manual con una pala, y dejado podrir *in situ*.

Dado que al morir el rábano deja una cobertura prácticamente nula, puede ser plantado de forma intercalada con avena u otra planta que genere más cobertura y proteja al suelo durante el barbecho, aunque ha de dejarse suficiente espacio para que el rábano no mate por competencia a la avena (Weil y Kremen, 2007). Si se sembró avena intercalada con frijol al inicio del año como abonos verdes para el amaranto, será recomendable buscar una alternativa diferente que la avena para aportar biomasa ya que el uso de la misma planta dos veces al año favorece la presencia de plagas. Una posibilidad con otras ventajas añadidas sería la siembra de la planta nativa titonia.

#### 4.3.4 Manejo para mejorar la abundancia y disponibilidad de fósforo

En caso de querer mejorar la disponibilidad de fósforo se debería favorecer la presencia en el campo de *Tithonia diversifolia*, conocida localmente como achual (Jama *et al.*, 2000; Sangakkara *et al.*, 2004; Cong y Merckx, 2005; Ikerra *et al.*, 2007; Olabode *et al.*, 2007). El achual es abundante como hierba durante los descansos de las parcelas entre temporadas. Puede aprenderse a identificar en estados tempranos para no eliminarla en los deshierbes para después hacer podas y dejarla tendida sobre el suelo.

La titonia se encuentra compuesta por 3.5% de N, 0.37% P y 4.1% K (Jama *et al.*, 2000). Genera semillas prolificamente y existen diversidad de opciones de manejo, sembrar post-cosecha para dejar a modo de cobertura de invierno matando físicamente antes de la maduración de sus flores y dejando tendida la biomasa como cama. Otra opción recomendada por Jama *et al.* (2000) es la siembra de titonia en los bordes de las parcelas agrícolas, de ser así, antes del aporque se

podrían realizar podas de la titonia para ser extendidas entre los surcos y ser enterrada durante el aporque. La titonia no solamente aporta nutrientes al suelo, también en aplicaciones de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de materia seca disminuye la sorción de P por parte del calcio, incrementando así cantidad y disponibilidad (Nziguheba *et al.*, 1998).

La titonia también es un forraje de alto valor protéico para rumiantes y monogástricos, por lo que en caso abundar más de lo requerido, pueden realizarse podas para alimentar a los animales de traspatio.

#### 4.3.5 Sistemas agroforestales

Es imperante experimentar un sistema de milpa intercalado con árboles frutales para la zona (MIAF) que sirva como fuente de aprendizaje y de sistema demostrativo. La siembra de guaje blanco o rojo cada 12 a 15 surcos (a diseñar para su compatibilidad con la maquinaria utilizada en la parcela), con una densidad de siembra de 30 o 40 cm entre plantas y mantenidas podadas bajas al estilo de seto tiene una de las más altas ventajas para la agricultura de temporal en la zona Mixteca.

El guaje ya sobrevivido su primer año no requiere riego (Swasdiphanich, 1992) dado que sus raíces son suficientemente profundas para vivir de la humedad residual del campo. Las mismas raíces profundas rompen el horizonte de compactación, toman nutrientes del suelo profundo y lo llevan a la superficie mediante el forraje junto con la humedad (Brewbaker *et al.*, 1990). Evita la erosión eólica, favorece la creación de un microclima más húmedo que favorece a los otros cultivos (Cortes Flores *et al.*, 2014). En caso de dejarse florecer el fruto del guaje tiene un alto valor en los mercados locales.

El manejo del guaje es fácil y resiste hasta dos podadas anuales, puede podarse justo antes de la labor del suelo para tenderse sobre el mismo y ser incorporado por el tractor, usado de esta forma tenemos un fertilizante en el campo que no requiere transporte. Podemos dar una segunda poda al guaje para obtener forraje así como evitar que su sombra afecte al cultivo de interés económico. De esta forma el productor puede darse el lujo de dejar un poco más de residuos ricos en carbono cubriendo el suelo, evitando insolación, evaporación y pérdida por erosión (Solorio y Solorio, 2008).

Es trabajo del gobierno, universidades y organizaciones como Alternativas y Quali experimentar con las alternativas como el MIAF o los abonos verdes en sus parcelas. En caso de ser soluciones potenciales para la zona, usar los campos experimentales de forma demostrativa para que los productores puedan observar el proceso y convencerse de experimentar en sus propias parcelas.

En caso de quererse mitigar el efecto de la transformación del sistema que generalmente se traduce en una disminución en la producción durante los primeros años, una transformación gradual puede ser la mejor forma de lograrlo. El área agrícola a transformarse se ha de dividir en 5 fragmentos, cada año transformando uno. De ésta forma la disminución de la producción del sistema en general no disminuye drásticamente.

#### 4.3.6 Propuestas de manejo para los diferentes sistemas Ester

Resultado del presente trabajo fue que Ester decidió experimentar en el uso de abonos verdes para disminuir la cantidad de insumos externos necesarios para el sistema agrícola. Durante

el 2012, cuando la parcela estaba en descanso dejó crecer el pasto nativo "Pasto rojo", en el 2013 lo incorporó con el tractor en lugar de quitarlo o quemarlo, y mencionó haber tenido una mejor cosecha que antes. En el 2014, experimentó sembrando frijol nativo al boleó e incorporándolo al alcanzar floración media, posteriormente en la misma parcela (Figura 4, Melga f) sembró maíz, amaranto y avena (en partes separadas de la parcela) y obtuvo según sus propias palabras: "Las mazorcas más grandes que ha cosechado, y hasta tres o cuatro por planta, y las espigas de avena y panojas de amaranto estaban todas bien llenas". Simultáneamente, en otra parcela sembró de forma intercalada frijol y avena negra (Figura 4, melga b), hizo un primer corte de avena que usó como pastura en septiembre, en diciembre del mismo año cortó el rebrote y lo incorporó al suelo utilizando un pequeño arado tirado por un burro.

La recomendación para Ester es seguir adecuando el uso de los abonos verdes en su sistema productivo. La sincronización de disponibilidad y requerimientos de N es recomendada (Fig. 18d). Ester lombricompostea el estiércol de los animales, este proceso hace que su velocidad de mineralización sea menor (Córdova-Ballona, 2010), aunque no debería de ser un problema si lleva a cabo las acciones de sincronización recomendadas.

Sembrando el primero de abril los abonos verdes y el primero de junio el amaranto y maíz, no es necesario hacer las rotaciones con frijol, ni intercalaciones con otros cultivos, por lo que podría sembrarse cada año un cultivo de interés económico en las parcelas lo cual tendría un beneficio directo sobre la economía familiar. El sistema productivo de Ester es resistente ante la canícula, dado que al contar con lluvias abundantes en la primera mitad del año, durante la canícula el jagüey construido es fuente suficiente de agua para riego de emergencia.

Rafaela.

El sistema agropecuario de Rafaela debe producir la mayor parte de fertilizante orgánico de forma local para depender menos del abono externo al sistema. También es importante que esta nueva forma de obtener fertilizante orgánico no conlleve un mayor consumo de mano de obra humana, ya que por la escasez de la misma sería preferente la contratación de un tractor para realizar alguna labor que la contratación de 3 o 4 jornaleros.

Se platicó con Rafaela sobre la posibilidad de sembrar guaje rojo o blanco (*Leucaena leucocephala* y *Leucaena esculenta* respectivamente) al borde de su campo para que pudiera podarlos en forma de seto para tender la poda sobre el suelo y que el tractor al surcar, lo incorpore, pero teme que el seto compita de forma importante contra sus cultivos. La mano de obra también sería una limitante en el manejo de los guajes, ya que la poda y tendido es una labor ardua que requeriría la contratación de jornaleros.

En el Museo del Agua, propiedad de Alternativas se planea instalar un manejo agroforestal demostrativo con el que probablemente se pueda convencer a los agricultores temerosos de la innovación. Debido a las razones anteriores, el uso de leguminosas como abono verde debería de dar un resultado notorio en la producción así como en la disminución de la mano de obra y de estiércol necesario.

Se implementó un experimento en la melga b, intercalando al amaranto con ebo (*Vicia sativa*), que sería podado e incorporado durante la primera labor 20 días después, junto con el deshierbe y labor tradicional. Lamentablemente el ebo prácticamente no emergió, y cuando lo hizo

creció con mucha dificultad y debilidad, al momento de la labor las plantas más grandes no pasaban de 15 cm de alto, debido a esto se abandonó el experimento.

Los animales de granja se encuentran muy cerca unos de otros, y cerca de las parcelas, lo que facilita el manejo. Ya que por las razones agrícolas, de fuente de trabajo y de alimentación que se han dado anteriormente no se propone alterar ni la composición ni abundancia de los rebaños. Se puede mejorar el manejo de los residuos de estos animales. El manual de mejores prácticas agrícolas de New Hampshire hace observaciones puntuales que son de interés (NHDA, 2011): 1 minimizar la contaminación de los cuerpos de agua por deposiciones animales. Los bueyes que se encuentran amarrados cerca del arroyo deberán ser movidos al menos dos metros lejos del arroyo, para que el estiércol que producen deje de irse por el cauce, de ésta forma incrementa la captación de estiércol así como se disminuye la contaminación del venero; 2 composteo. El composteo reduce el volumen del material original, por lo que aunque incrementa la mano de obra al procesarse, disminuye la mano de obra al transportarlo y aplicarlo. Compostear convierte los nutrientes en formas orgánicas disponibles más lentamente para las plantas, por lo que el mejoramiento acumulado del suelo es mayor y se disminuye la pérdida de nutrientes. Es importante también mejorar el procesado y almacenamiento del estiércol como se analiza en el capítulo 4.3.1.

Un problema no explorado durante esta investigación es la salinización secundaria del suelo por parte de la aplicación de estiércol. Toda la región presenta suelos calcáreos y agua con alto contenido de sales y baja precipitación. Estas condiciones ambientales, aunadas a los bloques de sal que son dados a los animales para su consumo, incrementan este riesgo (Li-Xian *et al.*, 2007). La disminución de estiércol adquirido tendrá una relación directa en la disminución del riesgo de salinización secundaria.

Con el fin de aportar el N necesario para los cultivos, el uso de abonos verdes es recomendado. De la misma forma que se recomendó a Ester, el uso del frijol local puede aportar el nitrógeno necesario para los cultivos, y si se realiza la sincronización de necesidad-disponibilidad de nutrientes propuesto por Pang y Letey (2000) la productividad debería mantenerse o mejorar.

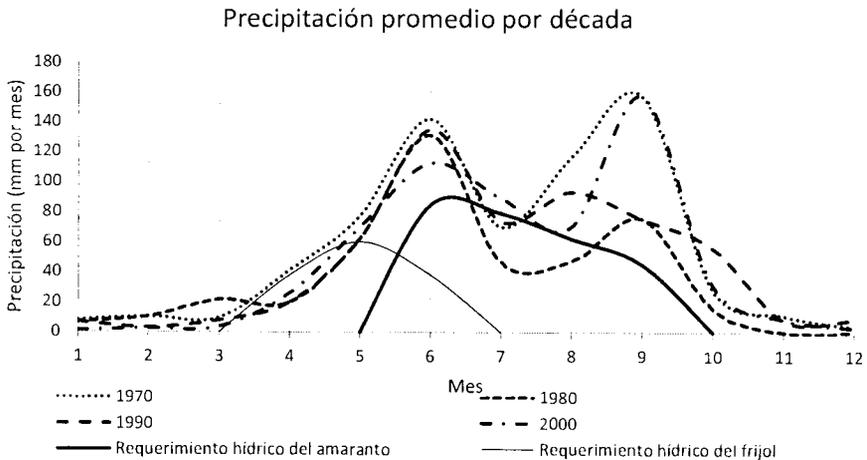
Dado que Rafaela cuenta con riego suficiente, en marzo, en caso de estar endurecido el suelo deberá regarse, para posteriormente extender en el campo el estiércol, e inmediatamente después realizar el barbecho con arado y tractor. Después del barbecho se sembrará al boleto con una densidad de 40 kg ha<sup>-1</sup> el frijol, esto es 6 kg en las melgas medianas de Rafaela. Con esto adelantará un mes todos los cultivos (Fig. 22).

Entre 5 y 6 semanas después del boleto (Mayo), el frijol estará en floración, por lo que deberá ser incorporado al suelo con el tractor utilizando discos para cortarlo en caso de que el surcado no sea suficiente. En este momento continúa el manejo tradicional. Posterior a la cosecha quedan nutrientes disponibles en el suelo, explicado por las series de decaimiento de Pratt *et al.* (1973) por lo que es importante se siembre el abono verde de forma inmediata. Ya que dejar el suelo sin cultivo, favorecerá la pérdida de nutrientes a la atmósfera o por el lavado del suelo e incrementará su erosión.

Se recomienda también en noviembre después de la cosecha del amaranto, sembrar rábano como se recomienda en el capítulo 5.3.3. De esta forma utilizará los nutrientes que permanecen en el suelo después de la cosecha, mantendrá una cobertura vegetal que protegerá el suelo y disminuirá las enfermedades y plagas potenciales para los siguientes cultivos. El año posterior el

horizonte de compactación se encontrará perforado por lo que los cultivos tendrán acceso a más agua y nutrientes.

Figura 22: Sincronización de disponibilidad hídrica y requerimientos de los cultivos. Distribución de lluvia en el municipio de Caltepec, Puebla. Gráfica construida con la información de la estación meteorológica 21002 de la Comisión Nacional del agua. Las distribuciones muestran la precipitación mensual promedio en la década indicada. En el eje X los meses corresponden de "1" a enero hasta "12" a diciembre. La información en esta figura se construyó con los datos de la CNA de 1970 a 2009. Requerimientos hídricos estimados para el frijol nativo y el amaranto (Díaz-Ortega *et al.*, 2004; Traxco, 2011).



Fuente: Elaboración original con datos de CNA y SMN, 2015 y Díaz-Ortega, 2004.

Gracias al adelanto en la cosecha permitida por el riego, disminuye la probabilidad de deficiencia hídrica durante la canícula, por lo que el agua de riego que en esos meses es un recurso escaso puede ser utilizada para regar otros cultivos como la alfalfa.

Cerca del compostero se recomienda se siembre un seto de guajes, de esta forma Rafaela podrá comenzar a familiarizarse con el crecimiento y manejo de esta especie así como podrá facilitar la obtención del material rico en N para enriquecer las pilas de estiércol.

Esta propuesta de manejo atiende la falta de mano de obra ya que ésta se mantiene prácticamente con las mismas labores, y a lo más, incrementa en 1 el uso del tractor. El uso de la composta de estiércol aumentará la materia orgánica del suelo cada año mejorando las propiedades físicas y químicas del mismo, mientras que el abono verde evitará la pérdida de nutrientes y erosión al mismo tiempo que nutre a los cultivos de interés comercial.

Rolando

Rolando está satisfecho con la productividad de sus parcelas pero está dispuesto a experimentar con nuevas ideas que puedan aumentar su rendimiento. La recomendación de sincronizar la mineralización del estiércol con los requerimientos del cultivo también es pertinente, aunque menos imperante que con las dos productoras anteriores. El alto contenido de materia orgánica fruto de las barrancadas, fertilización y residuos de cosechas anteriores hace que haya una mineralización constante en presencia de humedad. Ya que sus campos no tienen suficiente riego no puede darse el lujo de adelantar una cosecha de abono verde como Ester o Rafaela, es por eso que se decidió experimentar con el guaje como abono verde y con el rábano para destruir el horizonte de compactación y mejorar el acceso de las plantas al agua del suelo.

El suelo de las parcelas de Rolando es Franco arenoso, con las primeras lluvias en abril puede utilizar el tractor para realizar el barbecho tradicional, para después sembrar rábano al boleo, ya que los rábanos maduran al mes esto no altera el calendario de siembra del amaranto o maíz, por lo que puede cosechar el rábano en mayo y el suelo estará listo para sembrar el amaranto o maíz en Junio. Gracias a los rábanos los cultivos posteriores tendrán acceso a mayor humedad que antes, y serán menos susceptibles a marchitez en la canícula.

En las cercanías de su terreno existe abundancia de guaje, por lo que después de platicar con él, se decidió utilizarlo para fertilizar la siembra de amaranto. Podará los árboles de guaje locales y agregará un puñado de guaje picado bajo cada vaso de tierra a la hora de hacer el trasplante. De la misma forma en que se ha utilizado *Gliricidia sepium* en Malawi (Chirwa *et al.*, 2003), estimamos que con esto aportará todavía más nitrógeno a su cultivo lo que aumentará la cosecha mejorando el retorno económico de la misma.

La mano de obra es abundante en esta comunidad, y Rolando tiene los medios para invertir en ella, por lo que podrá pagar la mano de obra extra que genera esta propuesta, que es principalmente la de la poda y fragmentación del guaje. El transporte de la poda se hará en su camioneta, y la siembra se hará de la forma acostumbrada, con la única modificación de que bajo el vaso de tierra con la plántula se colocará un puñado de poda de guaje.

## Conclusiones

La caracterización y diagnóstico fue primordial para poder hacer el rediseño de los sistemas productivos. De no haberlo hecho, posiblemente habríamos realizado propuestas para el aumento de la producción de amaranto sin entender que los productores podrían tener otros objetivos, por ejemplo el deseo de disminuir la mano de obra o los insumos externos. Es importante recordar que el rediseño debe ser de manera conjunta con el productor con el propósito de cumplir con los objetivos que ellos determinen para su campo, no los del investigador.

La heterogeneidad de la lluvia en la zona es un reto para la agricultura de temporal, así como la baja disponibilidad de materia orgánica para fertilizar los suelos. La migración también es un factor que ha afectado a los sistemas agrícolas ya que la falta de mano de obra para realizar las labores del campo es generalizada.

Existen características de los sistemas analizados que ponen en peligro su existencia a mediano plazo: Dos de los sistemas son mayoritariamente subsidiados por ingresos no agrícolas, así mismo, los ingresos monetarios y mano de obra dependen principalmente de adultos mayores. La producción agrícola de los sistemas estudiados depende de la compra de insumos externos, los cuales, principalmente el estiércol se está revalorizando y su costo será cada vez mayor.

El hecho de que las prácticas de fertilización, tanto en fechas de aplicación como forma, sean similares para sistemas orgánicos y convencionales es prueba de una adaptación incompleta de las estrategias agrícolas para la conversión a producción orgánica. Tipo de insumos, así como control de plagas y arvenses han sido adaptadas al sistema orgánico, sin embargo las dosis y temporalidad de la fertilización no lo han sido, lo cual sea un factor clave respecto a la baja productividad del cultivo de interés, en este caso el amaranto.

Acorde a los resultados de la presente investigación los abonos verdes podrían ser una alternativa viable en las zonas áridas y semiáridas, ya sea sembrándose antes del cultivo de interés económico o alimenticio, si existen las condiciones ambientales para hacerlo o aplicando podas de arbustos ricos en nitrógeno en caso de que la temporalidad no lo permita.

Los abonos verdes no nativos fueron igual de eficientes que los nativos, por lo que no se recomienda la importación de semillas. El uso de frijol nativo incorporado durante la floración, o de podas de guaje blanco junto con las 3 t de estiércol utilizadas normalmente son suficientes para satisfacer las necesidades del maíz y el amaranto. Es importante explorar el uso no tradicional de estiércol, mediante el tendido antes del barbecho, es posible que esto, junto con la aplicación de abonos verdes cambie la forma en la que se hace agricultura en las zonas áridas de la región.

El uso diversificado de abonos verdes es recomendado ya que cada uno tiene funciones diferentes. Los frijoles aportan altas cantidades de N pero bajas de MO residual, el guaje aporta prácticamente la misma cantidad de N que el frijol, y más MO, de la misma forma la mineralización del frijol es prácticamente total durante el primer mes desde su incorporación mientras que la leucaena libera su N en 70 días (suficientemente rápido para fertilizar maíz y amaranto). La tironia tiene un potencial no utilizado para el aporte y disponibilidad de fósforo en los suelos calcáreos, así como los rábanos permitirán terminar con problemas crónicos del suelo como el horizonte de compactación o abundancia de nematodos.

Debido al tiempo con el que la presente investigación contó, no fue posible medir el efecto de las medidas recomendadas sobre la producción y tamaño del grano de amaranto. Dependerá de Alternativas y Quali implementarlas y medir su eficacia.

Existe en la región la idea que dejar el campo sin producción agrícola durante un año es bueno, y esto no es necesariamente así. Con rotaciones adecuadas para disminuir la presencia de plagas y enfermedades, y uso continuo de abonos verdes y estiércol es posible producir año tras año no solo sin menguar la fertilidad del suelo sino incrementándola. Rotar maíz después del amaranto es altamente indebido dado el alto consumo de magnesio del amaranto y la lenta recuperación de los niveles de magnesio en el suelo por parte de los insumos.

Para investigaciones posteriores sería de interés realizar una evaluación de los pros y contras de la posesión de animales en la familia. Sería necesario hacer un balance detallado del consumo de forraje de los animales. Con ésta información podría evaluarse el efecto de esta biomasa si hubiera sido dejada en el campo en forma de abono verde, contra el retorno económico por la venta de carne de animal así como el estiércol producido y el aporte nutrimental a la familia.

Como propuesta a investigación futura, se propone comparar en mismas condiciones el abonado tradicional de 3 t ha<sup>-1</sup> aplicado mateado o las 3 t ha<sup>-1</sup> aplicado en todo el campo justo antes de la primera labor. Esto para poder evaluar si es preferible focalizar el beneficio del estiércol o sincronizar su mineralización con los requerimientos del cultivo.

Estudios adicionales son necesarios para confirmar los requerimientos hídricos del amaranto estimados en este trabajo así como conocer la tasa de consumo de N por parte de este cultivo en las diferentes etapas fenológicas. Ambas informaciones son de gran importancia para poder realizar ajustes en las fechas de las labores agrícolas.

## Bibliografía

- ADDISON, K. 1957. The effect of fertilizing, espacement and date of planting on the yield of jackbean (*Canavalia ensiformis*). *Rhodesian Agricultural Journal*, 54, 521-532.
- AFFLECK, H. 1961. Jack Bean poisoning in cattle. *Rhodesia Agricultural Journal*, 58.
- AGOSTINI, F., SPARVOLI, E. y SIENA, C. 2003. Improving the physical properties of soil from the Biancana Badlands, Tuscany, Italy, by use of amendment materials. *Soil use and management*, 19, 270-272.
- ALEJANDRE, I. G. y GÓMEZ, L. F. 1990. Ensayo sobre la fertilización y densidad de población en amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *El amaranto (Amaranthus spp.), su cultivo y aprovechamiento*. Montecillo: Colegio de Postgraduados, campus Montecillo.
- ALYOKHIN, A. y ATLIHAN, R. 2005. Reduced fitness of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on potato plants grown in manure-amended soil. *Environmental entomology*, 34, 963-968.
- AMA. 2003. *Amarantum*, *Asociación Mexicana del Amaranto* [Online]. AMA. Available: [Amaranto.com.mx](http://Amaranto.com.mx) [Accessed 26/06/2013 2013].
- ANGERS, D. 1992. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfalfa. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1244-1249.
- APAZA, G. V., ROMERO, S. A., GUILLÉN, P. F. R. y BALTENSPERGUER, D. D. 2002. Response of grain amaranth production to density and fertilization in Tarija, Bolivia. *In: J. Janick y A. Whiphey (eds.) Trends in new crops and new uses*. VA.: ASHS Press Alexandria.
- ARÁMBULA, L. T. 2005. Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México *Revista Chapingo, Serie zonas áridas*, 4, 17.
- ARONSON, J., FLORET, C., FLOCH, E., OVALLE, C. y PONTANIER, R. 1993. Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi - Arid Lands. I. A View from the South. *Restoration ecology*, 1, 8-17.
- ARTEAGA, C. 1999. Construcción de identidades laborales de temporeras/os de frutícolas de Chile: el caso del Palqui. *In: Arturo León López y Carlos Cortéz Ruiz (eds.) Cultura e Identidad en el campo latinoamericano*. México: UAM-Xochimilco. Asociación latinoamericana de Sociología Rural.
- AUSTIN, A. T., YAHDJIAN, L., STARK, J. M., BELNAP, J., PORPORATO, A., NORTON, U., RAVETTA, D. A. y SCHAEFFER, S. M. 2004. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*, 141, 221-235.
- AYODELE, V. Influence of nitrogen fertilisation on yield of *Amaranthus* species. Workshop Towards and Ecologically Sound Fertilisation in Field Vegetable Production 571, 2000. 89-94.
- AYODELE, V., NKABINDE, R. y NGOBENI, T. Production and Quality of *Amaranthus* Species under Different Fertilizer Treatments. IV International Symposium on Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production 852, 2008. 253-260.
- BADARUDDIN, M. y MEYER, D. 1990. Green-manure legume effects on soil nitrogen, grain yield, and nitrogen nutrition of wheat. *Crop Science*, 30, 819-825.
- BALDOCK, J. A. y NELSON, P. N. 2000. Soil organic matter. *In: M. E. Sumner (ed.) Handbook of soil science*.
- BARRALES BRITO, E. 2013. *Balance de carbono y tasa de descomposición de mantillo y horizontes de fermentación de suelos forestales*. Master, Colegio de Postgraduados.

- BAYER, C., MARTIN-NETO, L., MIELNICZUK, J., PILLON, C. y SANGOI, L. 2001. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 1473-1478.
- BELTRÁN MORALES, A., GARCÍA HERNÁNDEZ, J. L., ZAMORA SALGADO, S. y FENECH LARIOS, L. 2006. El uso de los abonos verdes en la agricultura orgánica. In: B. Murillo Amador, A. Beltrán Morales, J. L. García Hernández y Fenech Larios L. (eds.) *La agricultura orgánica en Baja California Sur*. 1a ed. La Paz: Centro de Investigaciones Biológicas del Nordeste, S.C. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- BERNARDO MURILLO, A., RUEDA PUENTE, E. O., GARCÍA HERNÁNDEZ, J. L., H., R. E. F. y BELTRÁN MORALES, A. 2010. *Agricultura orgánica: temas de actualidad*, Centro de Investigaciones Biológicas del Nordeste.
- BLACK C, A. 1965. Methods of soil analysis part 1 number 9 en: American Society of Agronomy (ed.) *Series Agronomy, American Society of Agronomy*. USA: American Society of Agronomy.
- BLACKSHAW, R. E., MOYER, J. R., DORAM, R. C. y BOSWELL, A. L. 2001. Yellow sweetclover, green manure, and its residues effectively suppress weeds during fallow.
- BOLLIGER, A., MAGID, J., AMADO, J. C. T., SKÓRA NETO, F., RIBEIRO, M. D. F. D. S., CALEGARI, A., RALISCH, R. y DE NEERGAARD, A. 2006. Taking Stock of the Brazilian "Zero - Till Revolution " : A Review of Landmark Research and Farmers' Practice. *Advances in agronomy*, 91, 47-110.
- BRADY, N. C. y WEIL, R. R. 2010. *Elements of the nature and properties of soils*, Upper Saddle River, N.J., Pearson Prentice Hall.
- BREMNER, J. y KEENEY, D. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Science Society of America Journal*, 30, 577-582.
- BREWBAKER, J. L., SORENSSON, C. T. y WHEELER, R. 1990. New tree crops from interspecific *Leucaena* hybrids. *Advances in New Crops*. Timber Press, Portland, 283-289.
- BUCIENE, A., ŠLEPETIENĖ, A., ŠIMANSKAITĖ, D., SVIRSKIENĖ, A. y BUTKUTĖ, B. 2003. Changes in soil properties under high - and low - input cropping systems in Lithuania. *Soil use and management*, 19, 291-297.
- CARTER, M. 1992. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. *Soil and Tillage Research*, 23, 361-372.
- CELAYA-MICHEL, H. y CASTELLANOS-VILLEGAS, A. E. 2011. Mineralización de Nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29, 343-256.
- CLARK, K. M. y MYERS, R. L. 1994. Intercrop performance of pearl millet, amaranth, cowpea, soybean, and guar in response to planting pattern and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, 86, 1097-1102.
- CNA y SMN. 2015. *PROYECTO DE BASES DE DATOS CLIMATOLÓGICOS* [Online]. Available: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Mensuales/pue/00021002.TXT>
- CONG, P. T. y MERCKX, R. 2005. Improving phosphorus availability in two upland soils of Vietnam using *Tithonia diversifolia* H. *Plant and soil*, 269, 11-23.
- COPLAMAR 1977. *Coordinación General del Plan Nacional de Zonas Deprimidas y Grupos Marginados: COPLAMAR*, Palacio Nacional.
- CÓRDOVA BALLONA, G. 2010. *Mineralización de nitrógeno de diferentes abonos orgánicos*. Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados.
- CORTES FLORES, J. I., TURRENT FERNÁNDEZ, A., HERNÁNDEZ ROMERO, E., FRANCISCO NICOLÁS, N., TORRES ZAMBRANO, J. P., ZAMBADA MARTÍNEZ, A. y DÍAZ VÁRGAS, P. 2014. Fichas Técnicas

- sobre Actividades del Componente de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA): Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF). en: COLPOS (ed.). SAGARPA.
- CHAGARAY, A. 2005. Estudio de Factibilidad del Cultivo del Amaranto. en: Humberto Gallo (ed.). Catamarca: Ministerio de Producción y Desarrollo.
- CHEN, G. y WEIL, R. R. 2010. Penetration of cover crop roots through compacted soils. *Plant and Soil*, 331, 31-43.
- CHEN, G. y WEIL, R. R. 2011. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. *Soil and Tillage Research*, 117, 17-27.
- CHERR, C., SCHOLBERG, J. y MCSORLEY, R. 2006. Green manure approaches to crop production. *Agronomy Journal*, 98, 302-319.
- CHERR, C. M., SCHOLBERG, J. M. S., MCSORLEY, R. y MBUYA, O. S. 2007. Growth and Yield of Sweet Corn Following Green Manure in a Warm Temperate Environment on Sandy Soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193, 1-9.
- CHIRWA, P., BLACK, C., ONG, C. y MAGHEMBE, J. 2003. Tree and crop productivity in gliricidia/maize/pigeonpea cropping systems in southern Malawi. *Agroforestry systems*, 59, 265-277.
- DE LEÓN GONZÁLEZ, F., PAYAN ZELAYA, F., PÉREZ JERÓNIMO, G., NAVA RODRÍGUEZ, V. y ANGEL AIME, M. 1997. Area foliar, longitud de raíces y producción de grano de *Amaranthus hypochondriacus* L. en un suelo compactado. *Agro Sur*, 25, 170-179.
- DEAN, J. E. y WEIL, R. R. 2009. Brassica cover crops for nitrogen retention in the Mid-Atlantic coastal plain. *J Environ Qual*, 38, 520-8.
- DÍAZ-ORTEGA, A. C., ESCALANTE-ESTRADA, J. A., TRINIDAD-SANTOS, A., SÁNCHEZ-GARCÍA, P., MAPES-SÁNCHEZ, C. y MARTÍNEZ-MORENO, D. 2004. Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra Latinoamericana*, 22.
- DIRVEN, M. 2004. El empleo rural no agrícola y la diversidad rural en América Latina. *Revista de la CEPAL*.
- DISKIN, M. 1990. *La economía de la comunidad étnica en Oaxaca, en Etnicidad y pluralismo cultural: la dinámica étnica en Oaxaca*, México, CONACULTA.
- ELBEHRI, A., PUTNAM, D. H. y SCHMITT, M. 1993. Nitrogen Fertilizer and Cultivar Effects on Yield and Nitrogen-Use Efficiency of Grain Amaranth. *Agron. J.*, 85, 120-128.
- ESPINOSA, G. 1995. La guerra de la tortilla. *Cuadernos Agrarios*, nueva época, enero-diciembre.
- ESPITIA, R. E. 1991. *Informe de avances en la investigación en amaranto*, México.
- ESPITIA, R. E. 1992. *Variabilidad genética e interrelaciones del rendimiento y sus componentes en Alegria (Amaranthus spp.)*. Master, Chapingo.
- ESTEVA, G. y MARIELLE, C. (eds.) 2003. *Sin maíz no hay país*, México.
- ETCHEVERS BARRA, J. D. 2014. *RE: Capacidad de Campo, Método ecológico*.
- FAGERIA, N. 2007. Green manuring in crop production. *Journal of plant nutrition*, 30, 691-719.
- FAO. 2002. *Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza* [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/004/ac349s/ac349s03.htm> [Accessed 16/03/2016 2016].
- FISK, J. W., HESTERMAN, O. B., SHRESTHA, A., KELLS, J. J., HARWOOD, R. R., SQUIRE, J. M. y SHEAFFER, C. C. 2001. Weed suppression by annual legume cover crops in no-tillage corn. *Agronomy Journal*, 93, 319-325.
- FLORENTÍN, M. A. 2011. *Green manure/cover crops and crop rotation in Conservation Agriculture on small farms*, Plant Production and Protection Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FLORES, M. 1993. El uso del frijol lablab. en: CIDICCO (ed.) *Noticias sobre el uso de los cultivos de cobertura*. Honduras: 4.

- FRANTZEN, T. 1993. Amaranth in rotations. *Legacy*, 6, 4-5.
- FRAUSTO-REYES, J. V., VOLKE-HALLER, V., FIGUEROA-SANDOVAL, B., ESTRELLA-CHULÍN, N. y VAQUERA-HUERTA, H. 1991. Estimación de la erosión hídrica laminar. Caso: Paraje Zaayucuanino, del Distrito de Nochixtlán, Oax. *Agrociencia, Serie Agua-Suelo-Clima*, 2, 83-96.
- FUENTES, Y. J. L. 1998. *Técnicas de Riego*, Madrid, Mundi-Prensa.
- GARCÍA HERNÁNDEZ, J. L. 2000. Apuntes de labranza mínima y labranza de conservación: la importancia de la materia orgánica y una nutrición balanceada para el cultivo. *Programa de agricultura en zonas áridas 0*.
- GARCÍA PEREYRA, J. 2004. *Contribuciones tecnológicas preliminares para la producción de grano y forraje de amaranto Amaranthus spp. en el norte y noréste de México*. PhD, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- GARCHINBYAMBA, M. y KANG, H. 2013. Analyzing causes of desertification in Bayankhangai soum, Tuv province, central Mongolia. *Forest Science and Technology*, 9, 59-64.
- GOOGLE 2013. Google Earth Pro. en: Google Inc. (ed.) 7.1.2.2041 ed.: Google Inc.
- GREENLAND, D. J. y SZABOLCS, I. 1994. *Soil resilience and sustainable land use: proceedings of a symposium held in Budapest, 28 September to 2 October 1992, including the Second Workshop on the Ecological Foundations of Sustainable Agriculture (WEFSA II)*, CAB INTERNATIONAL.
- GREGORY, P. 2006. Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science? *European Journal of Soil Science*, 57, 2-12.
- GRIGATTI, M., PÉREZ, M. D., BLOK, W. J., CIAVATTA, C. y VEEKEN, A. 2007. A standardized method for the determination of the intrinsic carbon and nitrogen mineralization capacity of natural organic matter sources. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 1493-1503.
- GUERENA, M. 2006. Nematodes: alternative controls. *A Publication of ATTRA-National Sustainable Agriculture*.
- GUEVARA SÁNCHEZ, G. y ZORRILLA CORTÉS, J. 2005. La semiosfera del maíz: espacio semiótico de convergencia de la naturaleza y de la cultura. *Entretextos: Revista Electrónica Semestral de Estudios Semióticos de la Cultura*, 10.
- GUPTA, S. C. y LARSON, W. E. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. *Water resources research*, 15, 1633-1635.
- HADLEY, N. F. y SZAREK, S. R. 1981. Productivity of desert ecosystems. *BioScience*, 747-753.
- HAO, X. y CHANG, C. 2003. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? *Agriculture, ecosystems & environment*, 94, 89-103.
- HAO, X., CHANG, C. y LI, X. 2004. Long-term and residual effects of cattle manure application on distribution of P in soil aggregates. *Soil science*, 169, 715-728.
- HAUPTLI, H. 1977. Agronomic potential and breeding strategy for grain amaranths. *Proc. Amaranth sem. 1st. maxátawy, PA. Rodale Press, Emmaus, PA*, 71-81.
- HEISEY, P. W. y MWANGI, W. 1996. *Fertilizer use and maize production in sub-Saharan Africa*, CIMMYT.
- HENDERSON, T. L. 1993. *Agronomic evaluation of grain amaranth in North Dakota*. Ph.D.
- HERNÁNDEZ XOLOCOTZI, E. y RAMOS R., A. 1985. Metodología para el estudio de agroecosistemas con presistencia de tecnología agrícola tradicional. *Revista de Geografía Agrícola*, 1, 531-538.

- HERNÁNDEZ XOLOCOTZI, E. y RAMOS RODRÍGUEZ, A. 1977. Reflexiones sobre el concepto de agroecosistema. *Agraecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola/Hernández Xalacatzí, Efraím editar y coordinar.* (531-539).
- HUE, N. y SILVA, J. 2000. Organic soil amendments for sustainable agriculture: organic sources of nitrogen, phosphorus, and potassium. *Plant nutrient management in Hawaii's soils, approaches for tropical and subtropical agriculture. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Manoa.*
- HUITZHUEN, F. J. 1993. Land degradation and sustainability of agricultural growth: some economic concepts and evidence from selected developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 46 69-79.
- IBRAHIM, F. 1978. Anthropogenic causes of desertification in Western Sudan. *GeoJournal*, 2, 243-254.
- IKERRA, S., SEMU, E. y MREMA, J. 2007. Combining *Tithonia diversifolia* and minjingu phosphate rock for improvement of P availability and maize grain yields on a chromic acrisol in Morogoro, Tanzania. *Advances in integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: challenges and opportunities.* Springer.
- INAFED. 2010. *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México* [Online]. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Available: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/index.html> [Accessed 2015 06 05 2015].
- INEGI. 2012. *Información por entidad: Puebla* [Online]. Distrito Federal: INEGI. Available: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx?tema=me> [Accessed 20/06/2013 2013].
- INEGI y SEMARNAP 1998. *Estadísticas del medio ambiente*, México.
- ISLAM, K. y WEIL, R. 2000. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal of soil and water conservation*, 55, 69-78.
- JACKSON, L., WYLAND, L. y STIVERS, L. 1993. Winter cover crops to minimize nitrate losses in intensive lettuce production. *The Journal of Agricultural Science*, 121, 55-62.
- JAMA, B. y NAIR, P. 1996. Decomposition-and nitrogen-mineralization patterns of *Leucaena leucocephala* and *Cassia siamea* mulch under tropical semiarid conditions in Kenya. *Plant and Soil*, 179, 275-285.
- JAMA, B., PALM, C., BURESH, R., NIANG, A., GACHENGO, C., NZIGUHEBA, G. y AMADALO, B. 2000. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. *Agroforestry systems*, 49, 201-221.
- JANSSEN, B. 1993. Integrated nutrient management: the use of organic and mineral fertilizers. In: H. Reuler y W. H. Prins (eds.) *The role of plant nutrients for sustainable food crop production in sub-Saharan Africa.*
- JIMÉNEZ DE SANTIAGO, D. E. 2012. *Protocolo estándar de operación para determinación de carbono orgánico y emisión de carbono en suelo.* Licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo.
- KALAMDHAD, A. S., PASHA, M. y KAZMI, A. 2008. Stability evaluation of compost by respiration techniques in a rotary drum composter. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 829-834.
- KARLEN, D., ANDREWS, S. y DORAN, J. 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Advances in agronomy*, 74, 1-40.
- KARLEN, D., MAUSBACH, M., DORAN, J., CLINE, R., HARRIS, R. y SCHUMAN, G. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4-10.
- KAY, B. D. y Angers, D. A. 2000. Soil structure. In: M. E. Sumner (ed.) *Handbook of soil science.*

- KIDD, C. V. y PIMENTEL, D. 1992. *Integrated resource management: agroforestry for development*, Academic Press Inc.
- KLOCKE, N., WATTS, D. G., SCHNEEKLOTH, J., DAVISON, D. R., TODD, R. y PARKHURST, A. M. 1999. Nitrate leaching in irrigated corn and soybean in a semi-arid climate. *Transactions of the ASAE*, 42, 1621.
- KUMWENDA, J. D., WADDINGTON, S. R., SNAPP, S. S., JONES, R. B. y BLACKIE, M. J. 1997. Soil fertility management in southern Africa. *Africa's emerging maize revolution*, 157-172.
- LAMPKIN, N. 1998. *Organic farming*, EEUU, Farming Press.
- LI-XIAN, Y., GUO-LIANG, L., SHI-HUA, T., GAVIN, S. y ZHAO-HUAN, H. 2007. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. *Science of the total environment*, 383, 106-114.
- LIEBMAN, M. y DYCK, E. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological applications*, 92-122.
- LIEBMAN, M. y OHNO, T. 1997. Crop rotation and legume residue effects on weed emergence and growth: applications for weed management. *Integrated Weed and Soil Management. Ann Arbor Press, Chelsea, MI*, 181-221.
- LÓPEZ RIDAURA, S., MASERA, O. y ASTIER, M. 2000. The MESMIS framework. *Leisa*, 16, 28-30.
- MAFONGOYA, P., GILLER, K. y PALM, C. 1997. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. *Agroforestry systems*, 38, 77-97.
- MAGDOFF, F. y WEIL, R. R. 2004. *Soil organic matter in sustainable agriculture*, CRC Press/LLC.
- MANOJ, K. S. y PRAKASH, K. 2011. *A guide to identifying and managing nutrient deficiencies in cereal crops*, India, IPNI, CIMMYT.
- MAPES SÁNCHEZ, C. 2010. El amaranto (*Amaranthus spp.*) planta originaria de México. *AAPAUNAM Academia, ciencia y cultura*, Octubre-Diciembre, 217-222.
- MASERA, O., ASTIER, M. y LÓPEZ-RIDAURA, S. 2000. *Sustentabilidad y manejo de los recursos naturales*, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A. C.
- MASERA, O., ASTIER, M. y LÓPEZ, S. 1999. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El Marco de evaluación MESMIS*, Ciudad de México.
- MAYER, L., CHANDLER, D. y TAYLOR, M. 1986. Lab-lab purpureus-A fodder crop for Botswana. *Bulletin of Agricultural Research in Botswana*, 5, 37-48.
- MEHARI, A., MREMA, F. A. y WEIH, M. 2005. The suitability of Acacia tortilis as an alternative tree manure crop to Leucaena leucocephala in sub-Saharan Africa. *African Journal of Ecology*, 43, 162-165.
- MEISINGER, J., HARGROVE, W., MIKKELSEN, R., WILLIAMS, J. y BENSON, V. 1991. Effects of cover crops on groundwater quality. *Cover Crops for Clean Water. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa*, 266, 793-799.
- MOAF. 2016. *No-Till: The basics* [Online]. Available: [http://agrienvarchive.ca/download/no-till\\_basics.pdf](http://agrienvarchive.ca/download/no-till_basics.pdf) [2016].
- MORENO-CALLES, A. I., TOLEDO, V. M. y CASAS, A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91, 375-398.
- MORTENSEN, J. 1963. Decomposition of organic matter and mineralization of nitrogen in Brookston silt loam and alfalfa green manure. *Plant and soil*, 19, 374-384.
- MUJICA-SANCHEZ, A. y BERTI, M. 1997. *EL CULTIVO DEL AMARANTO (Amaranthus spp.): producción, mejoramiento genético y utilización*. [Online]. FAO-Universidad Nacional del Altiplano. Available: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro01/home1.htm>.
- MUJICA SÁNCHEZ, A., IZQUIERDO, J. y JACOBSEN, S.-E. 1999. Prueba americana de cultivares de amaranto (*Amaranthus caudatu* L., *Amaranthus hypochindriacus* L., y *Amaranthus cruentus*

- L.). In: Angel Mujica Sánchez, Juan Izquierdo, Jean Pierre Marathee, Cecilio Morón y Sven-Erik Jacobsen (eds.) *Reunión Técnica y taller de formulación de proyecto regional sobre producción y nutrición humana en base a cultivos andinos*. Lima: FAO.
- MURILLO AMADOR, B., GARCÍA HERNÁNDEZ, J. L., ÁVILA SERRANO, N. Y., SERVIN VILLEGAS, R., HOLGUÍN PEÑA, R. J., GONZÁLEZ MICHEL, A., VÁZQUEZ JUÁREZ, R. C. y PALACIOS ESPINOSA, A. 2006a. Experiencias de investigación con productores orgánicos de Mulegé. In: B. Murillo Amador, A. Beltrán Morales, J. L. García Hernández y Fenech Larios L. (eds.) *La agricultura orgánica en Baja California Sur*. 1a ed. La Paz: Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- MURILLO AMADOR, B., R., T. A. S. y BELTRÁN MORALES, A. 2006b. Productores orgánicos del Cabo: Aspectos generales. In: B. Murillo Amador, A. Beltrán Morales, J. L. García Hernández y Fenech Larios L. (eds.) *La agricultura orgánica en Baja California Sur*. 1a ed. La Paz: Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Muzilli, O., Vieira, M.J. y Parra, M.S., 1980. Adubação verde. Manual Agropecuario para o Paraná, Capítulo, 3, pp.76-93.
- NHDA 2011. *Manual of best management practices for agriculture in New Hampshire*, Concord, New Hampshire Department of Agriculture, Markets, and Food.
- NOY-MEIR, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics*, 25-51.
- NZIGUHEBA, G., PALM, C. A., BURESH, R. J. y SMITHSON, P. C. 1998. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. *Plant and soil*, 198, 159-168.
- OJEDA, D. y OJEDA, T. 1996. *Suelos cultivados de la República Mexicana. Catenidad media de nutrientes minerales aprovechables*, Estado de México.
- OLABODE, O., OGUNYEMI, S., AKANBI, W., ADESINA, G. y BABAJIDE, P. 2007. Evaluation of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A gray for soil improvement. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3, 503-507.
- PANG, X. y LETEY, J. 2000. Organic farming challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 247-253.
- PARR, J. F., STEWART, B. A., HORNICK, S. B. y SINGH, R. P. 1990. Improving the Sustainability of Dryland Farming Systems: A Global Perspective. In: R. P. Singh, J. F. Parr y B. A. Stewart (eds.) *Advances in Soil Science*. Springer New York.
- PÉREZ, N., VOLKE, H., MARTÍNEZ, M. y ESTRELLA, C. E. 1998. Erosión, productividad y rentabilidad de dos suelos del estado de Oaxaca. *Agraciencia*, 32, 113-118.
- PHILIPPS, L. y STOPES, C. 1995. The impact of rotational practice on nitrate leaching losses in organic farming systems in the United Kingdom. *Biological Agriculture & Horticulture*, 11, 123-134.
- POPP, J., HOAG, D. y ASCOUGH, J. 2002. Targeting soil-conservation policies for sustainability: New empirical evidence. *Journal of soil and water conservation*, 57, 66-74.
- PRATT, P., BROADBENT, F. y MARTIN, J. 1973. Using organic wastes as nitrogen fertilizers. *California Agriculture*, 27, 10-13.
- RAMÍREZ, R., BEG, M., COLMENARES, O., MELÉNDEZ, E., MARBAL, P., BLANCO, F., GUZMÁN, E., HERNÁNDEZ, C. y CHIRINOS, A. 1988. Relación de la respuesta del maíz a la aplicación de fósforo y el P asimilable del suelo. *Agran. Trop.*, 38, 5-20.
- RAMOS, M. G., VILLATORO, M. A. A., URQUIAGA, S., ALVES, B. J. y BODDEY, R. M. 2001. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using 15 N-isotope techniques. *Journal of biotechnology*, 91, 105-115.
- RODRÍGUEZ, A. y ARIAS R., L. M. 2014. La milpa y el maíz: Retos al desarrollo rural en México y Perú. *Etnobiología*, 12, 76-89.

- ROMERO LIMA, M. D. R. L., TRINIDAD SANTOS, A., GARCÍA ESPINOSA, R. y FERRERA-CERRATO, R. 1997. Abonos orgánicos y químicos en producción, sanidad, absorción nutrimental de papa, y efecto en suelo. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Recursos Naturales. Programa de Edafología.
- ROSOLEM, C. A., PACE, L. y CRUSCIOL, C. A. 2004. Nitrogen management in maize cover crop rotations. *Plant and Soil*, 264, 261-271.
- RUIZ, J., TAMARIZ, V., CALDERÓN, E., TICANTE, J. A. y CRUZ, A. 1998. La desertificación en el estado de Puebla. *Elementos*, 5, 51-55.
- SABINE, G., LEBRON, I. y SUAREZ, D. L. 2000. Soil colloidal Behavior. In: M. E. Sumner (ed.) *Handbook of soil science*.
- SANGAKKARA, U., LIEDGENS, M., SOLDATI, A. y STAMP, P. 2004. Root and shoot growth of maize (Zea mays) as affected by incorporation of Crotalaria juncea and Tithonia diversifolia as green manures. *Journal of agronomy and crop science*, 190, 339-346.
- SANGINGA, N., MULONGOY, K. y AYANABA, A. 1989. Nitrogen fixation of field-inoculated *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit estimated by the  $^{15}\text{N}$  and the difference methods. *Plant and soil*, 117, 269-274.
- SANTÍN, H., LAZCANO, S. y MORALES, J. 1986. Pasado, presente y futuro del amaranto. *FAO. Cuaderno de nutrición*.
- SAUER, J. D. 1950. The Grain Amaranths: A Survey of Their History and Classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 37.
- SAUER, J. D. 1967. The Grain Amaranths and Their Relatives: A Revised Taxonomic and Geographic Survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 54, 103-137.
- SCHLESINGER, W. 1997. Biogeochemistry. An analysis of global change—Academic Press, San Diego.
- Meinen, C., Hertel, D., Leuschner, C. (2009): *Biomass and morphology of fine root in temperate broad-leaved forests differing in tree species diversity: is there evidence of below-ground overyielding*, 99-111.
- SCHULTE, E. E., PETERS, J. B. y KELLING, K. A. 1991. The effect of soil pH and liming on the yield and quality of crops. *Ann. Rpt. to the Wisconsin Dept. Agr.*
- SEMARNAT. 2006. *Los suelos de México* [Online]. Distrito Federal: SEMARNAT. Available: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen/03\\_suelos/cap3.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/03_suelos/cap3.html) [Accessed 25/06/2013 2013].
- SHARMA, S. y ROY, S. 2015. Isolation and Identification of a novel Endophyte from a plant *Amaranthus spinosus*. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 4, 785-798.
- SHELTON, H. y BREWBAKER, J. 1998. *Leucaena leucocephala*-the Most Widely Used Forage Tree Legume. *The Tropical Grassland Society of Australia*.
- SHONE, D. 1961. Toxicity of the Jack Bean. *Rhodesia Agricultural Journal*, 58, 18-20.
- SHUXIN, T., JINHE, S. y ZHIFEN, G. 1999. The root exudation of grain amaranth and its role in release of mineral potassium. *拉丁文] ACTA AGRICULTURAE NUCLEATAE SINICA*, 5, 009.
- SKERMAN, P., CAMERON, D. y RIVEROS, F. 1988. Tropical forage legumes. [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Plant production and protection series. Rome, Italy: FAO*, 609.
- SKERMAN, P. J. y RIVEROS, F. 1990. *Tropical grasses*, Food & Agriculture Org.
- SNAPP, S., MAFONGOYA, P. y WADDINGTON, S. 1998. Organic matter technologies for integrated nutrient management in smallholder cropping systems of southern Africa. *Agriculture, ecosystems & environment*, 71, 185-200.
- SOANE, B. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research*, 16, 179-201.

- SOLORIO, F. y SOLORIO, B. 2008. Manual de manejo agronómico de *Leucaena leucocephala*.
- STALLKNECHT, G. F. y SCHULZ-SCHAEFFER, J. R. 1993. Amaranth Rediscovered. In: J. Janick y J.E. Simon (eds.) *New Crops*. New York: Wiley.
- STOPES, C., MILLINGTON, S. y WOODWARD, L. 1996. Dry matter and nitrogen accumulation by three leguminous green manure species and the yield of a following wheat crop in an organic production system. *Agriculture, ecosystems & environment*, 57, 189-196.
- STUTTE, C. y DA SILVA, P. 1981. Nitrogen volatilization from rice leaves. I. Effects of genotype and air temperature. *Crop Science*, 21, 596-600.
- SUMNER, M. E. 2000. *Handbook of Soil Science*, Taylor & Francis.
- SWASDIPHANICH, S. 1992. *Environmental influences on farage yields of shrub legumes*. PhD, The University of Queensland.
- TAVITAS FUENTES, L. y HERNÁNDEZ ARAGÓN, L. 2012. *Manual de la producción química y orgánica del cultivo del amoranto en el estado de Morelos*, México, Gobierno del estado de Morelos.
- THÖNNISSEN, C., MIDMORE, D. J., LADHA, J. K., HOLMER, R. J. y SCHMIDHALTER, U. 2000a. Tomato crop response to short-duration legume green manures in tropical vegetable systems.
- THÖNNISSEN, C., MIDMORE, D. J., LADHA, J. K., OLK, D. C. y SCHMIDHALTER, U. 2000b. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agronomy Journal*, 92, 253-260.
- THORUP-KRISTENSEN, K. 2006. Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. *Soil use and management*, 22, 29-38.
- TITTONELL, P. y GILLER, K. E. 2013. When yield gaps are poverty traps: the paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Research*, 143, 76-90.
- TITTONELL, P. A. y DE GRAZIA, J. 2011. Un marco conceptual para la identificación y evaluación de alternativas agroecológicas en investigación. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 6.
- TOLEDO, V. M. y SOLÍS, L. 2002. Science for the poor: The Mixteca Region's "Water Forever" program. *Voices of México*, 41-47.
- TRAXCO. 2011. *Riego de judías o frijoles* [Online]. Available: <http://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/judias-o-frijoles> [Accessed 2016 04 12 2016].
- TRINIDAD SANTOS, A. 2013. Utilización de estiércoles (ficha técnica No 7). *Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA*.
- USDA y SCS 1990. Soil erosion by water. *Agriculture Information Bulletin*, 513.
- VITOUSEK, P. M. y MATSON, P. A. 1985. Disturbance, nitrogen availability, and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation. *Ecology*, 1360-1376.
- VOS, J. y VAN DER PUTTEN, P. 2000. Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. I. Input and offtake of nitrogen, phosphorus and potassium. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56, 87-97.
- VOS, J. y VAN DER PUTTEN, P. 2004. Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. II. Effect of catch crops on nitrate leaching in autumn and winter. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 70, 23-31.
- WADDINGTON, S. y HEISEY, P. 1996. Meeting the nitrogen requirements of maize grown by resource-poor farmers in Southern Africa by integrating varieties, fertilizer use, crop management and policies. Developing Drought-and Low N-Tolerant Maize. Proceedings of a Symposium; El Batán, Tex.(Mexico); 25-29 Mar 1996.
- WEIL, R. 2001. Soil Management for Sustainable Intensification: Some Guidelines. *ASA SPECIAL PUBLICATION*, 64, 145-154.
- WEIL, R. y KREMEN, A. 2007. Thinking across and beyond disciplines to make cover crops pay. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 551-557.

- WEIL, R., WHITE, C. y LAWLEY, Y. 2009. Forage radish: new multi-purpose cover crop for the Mid-Atlantic. *Fact Sheet*, 824.
- WEINERT, T. L., PAN, W. L., MONEYMAKER, M. R., SANTO, G. S. y STEVENS, R. G. 2002. Nitrogen recycling by nonleguminous winter cover crops to reduce leaching in potato rotations. *Agronomy Journal*, 94, 365-372.
- WESTERMANN, D. y CROTHERS, S. 1980. Measuring soil nitrogen mineralization under field conditions. *Agronomy Journal*, 72, 1009-1012.
- WHITEHEAD, D. y LOCKYER, D. 1989. Decomposing grass herbage as a source of ammonia in the atmosphere. *Atmospheric Environment (1967)*, 23, 1867-1869.
- WHITFORD, W. G. 2002. *Ecology of desert systems*, Academic Press.
- WILLIAMS, S. M. y WEIL, R. R. 2004. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1403-1409.
- WOOMER, P. L. y SWIFT, M. J. 1994. *The biological management of tropical soil fertility*, John Wiley & Sons.
- WTW. 2011. *OxiTop® PM Kalibrietablette / Calibration tablet* [Online]. Available: <http://envirotest.com.my/productsupport/download/54> [Accessed 2014].
- YWORKS 2014. yED. 3.12 ed.
- ZAHRAN, H. H. 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and molecular biology reviews*, 63, 968-989.
- ZARATE PEDROTE, S. 1994. Revisión del género *Leucaena* en México. *Anales del Instituto de Biología serie Botánica*, 65.