

MANEJO DE AGROAMBIENTES PARA LA RESILIENCIA AGROECOLÓGICA AL CAMBIO CLIMÁTICO: LOS SISTEMAS MAÍZ CAJETE Y MAÍZ DE TEMPORAL EN SAN MIGUEL HUAUTLA

*Paul Rogé,²Aida C Ríos,²Silvia V Ruiz,³Patricio Sánchez,⁴Francisco Mora,¹Miguel A Altieri,⁵Marta Astier

¹ Department of Environmental Science, Policy, & Management University of California, CA 94720, Berkeley;

² Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán CP: 71230, México; ³ Área de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos, Edafología. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco Estado de México, CP 56230, México; ⁴ Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, CP: 58190, México; ⁵ Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, CP: 58190, México. E-mail: proge@berkeley.edu

Resumen

Se prevé que el cambio climático global va a generar altos impactos en la precipitación pluvial en el Sur de México. Habrá cambios en la cantidad y en la distribución de las lluvias en el tiempo, lo cual puede tener un efecto en la viabilidad de los sistemas agrícolas de temporal, particularmente en regiones marginales. Las comunidades campesinas en México poseen, por un lado, un acervo importante en cuanto a la agro-diversidad y al conocimiento indígena sobre el manejo del ambiente y la conservación de los recursos naturales; por el otro lado, registran experiencias de prácticas y tecnologías alternativas y novedosas que han sido adoptadas y adaptadas a lo largo de los años. Para poder evaluar la sustentabilidad, la resiliencia y adaptabilidad de estos sistemas en estas regiones del país se hicieron recorridos de campo y talleres participativos en la Comunidad de San Miguel Huautla en la Mixteca Alta Oaxaqueña, además de entrevistas a profundidad y muestreo en parcelas agrícolas en 10 unidades familiares. Se evaluaron en concreto los sistemas agrícolas frecuentemente practicados que son el cajete y el temporal. Los dos sistemas han sido históricamente complementarios en un contexto de alta agro-diversidad, pero el cajete se ha ido abandonando en estas últimas décadas. Se hizo una caracterización del paisaje de comunidad y de los sistemas productivos. Se demostraron: (a) los beneficios en las propiedades del suelo y la productividad del maíz obtenidos a través de la intensiva preparación del suelo que implica la práctica indígena del cajeteo; (b) que las unidades familiares con alta agro-diversidad, que practican el Cajete (C) y el temporal (T), cubren prácticamente el 80% de las necesidades alimentarias y de insumos, pero cuando abandonan el cajete la capacidad productiva y la resiliencia disminuyen drásticamente. Es imperativo mejorar e innovar el cajete para poder conservar sus beneficios y aumentar la eficiencia de la mano de obra invertida.

Palabras clave: Sequía, calidad de suelos, sistemas agrícolas tradicionales, Mixteca Alta, México.

Summary

Management of agroenvironments for agroecological climate resilience: cajete maize and seasonal maize in San Miguel Huautla

It is predicted that global climate change will greatly impact precipitation in Southern Mexico. There will be changes in the quantity and distribution of rainfall in time, which may affect the viability of rainfed agricultural systems, particularly in marginal regions. Farming communities in Mexico possess, on one hand, important reserves of biodiversity and indigenous knowledge about environmental management and the conservation of natural resources. On the other hand, they have a long history of adopting alternative and innovative agricultural practices over the years. To evaluate the sustainability, resilience, and adaptability of farming systems in this region, field visits and participatory workshops were conducted in the territory of San Miguel Huautla in the Mixteca Alta Oaxaqueña. In addition, in-depth interviews and soil samples were made in 10 family units. We evaluated the common cultural practices associated with the *cajete* (C) and *tempo-*

ral (T) production systems. From a historical perspective, the two systems were complementary in the sense of high agricultural biodiversity, but the *cajete* system has undergone a process of abandonment in the last decades. Some families now only practice the *temporal* system. We also characterized the landscape characteristics of the community. Our analysis demonstrated (a) the benefits to soil property characteristics and productivity of maize obtained through an intensive preparation of the soil using indigenous practices; (b) that family units that maintain high levels of agricultural biodiversity through the practice of both *cajete* and *temporal* systems meet practically 80% of their needs for food and agricultural inputs, however when they abandon *cajete* they suffer a dramatic loss in productive capacity and resilience. It is imperative to support the process of farmer-led innovations in the *cajete* system to increase its benefits and to increase its labor efficiency.

Key words: Drought, soil quality, traditional agricultural systems, Mixteca Alta, Mexico.

Introducción

El desarrollo de la agricultura significó para el ser humano un continuo ensayo y error para comprender el por qué de los procesos ecológicos. Principalmente en aquellos lugares del mundo que han sido origen de la agricultura, se desarrolló un conocimiento que aún se aplica y que ahora llamamos *conocimiento local* o *saber tradicional*. La disciplina científica que enfoca el estudio de la agricultura desde una perspectiva ecológica y basada en el saber tradicional se denomina *agroecología*, y se define como un marco teórico cuyo fin es analizar los procesos agrícolas de manera más amplia. El enfoque agroecológico considera a los ecosistemas agrícolas como las unidades fundamentales de estudio; y en estos sistemas, los ciclos minerales, las transformaciones de la energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas son investigadas y analizadas como un todo. De este modo, a la investigación agroecológica le interesa no sólo la maximización de la producción de un componente en particular, sino la optimización del agroecosistema total. Esto tiende a reenfoque el análisis en la investigación agrícola más allá de las consideraciones disciplinarias hacia interacciones complejas entre personas, cultivos, suelo, animales, etc. (Altieri y Nicholls 2006).

La agroecología provee las bases ecológicas para la conservación de la biodiversidad en la agricultura, además del rol que ella puede jugar en el restablecimiento del balance ecológico de los agroecosistemas, de manera de alcanzar una producción sustentable (Altieri y Nicholls 2006). La agroecología emerge como una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre como estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que además, son culturalmente sensibles y socialmente y económicamente viables (Reijntjes *et al.* 1992).

En el Estado Mexicano de Oaxaca – específicamente en la región de la Mixteca – las prácticas agrícolas son

realizadas frecuentemente en terrenos poco o nada apropiados para este fin, lo que ha propiciado el deterioro y la erosión del suelo en grandes extensiones de la entidad. En los últimos veinte años se han registrado cambios en la cantidad y en el patrón de las lluvias en zonas como la Mixteca Alta Oaxaqueña. Los años con eventos extremos de sequía o inundaciones son cada vez más frecuentes. Esta situación pone en riesgo la viabilidad de los sistemas agrícolas campesinos de temporal.

Sin embargo, las comunidades campesinas en México poseen un acervo importante en cuanto al conocimiento indígena del manejo del ambiente, la agrobiodiversidad y la conservación de los recursos naturales. El *saber cómo* de los agricultores tradicionales es el que ha permitido la existencia de muchas estrategias para afrontar, entre otras, las variaciones climáticas y sus efectos, manteniendo a la vez la base de recursos de la que depende la producción. En este trabajo se rescatan prácticas agrícolas prehispánicas con una alto potencial para que los sistemas agrícolas sean resilientes a eventos de sequía.

En este estudio se evaluó la calidad de los suelos de sistemas tradicionales: el sistema cajete (C), basado en intensivas labores de preparación del suelo en jollas y la siembra temprana de maíz raza Chalqueño-Cajetero; y el sistema temporal (T) que es la milpa tradicional, los dos de secano. El cajete es un sistema agrícola que consiste en aprovechar la humedad residual del suelo que proviene del final del periodo de lluvias de verano y otoño. El sistema cajete se realiza en suelos profundos creados expresamente para este fin (antroposoles), con el azolve que origina el arrastre de las lluvias sobre cárcavas o barrancas, conocidos como jollas o bordos de conservación de suelo (Rivas Guevara 2008).

La calidad del suelo permite analizar la “salud” del suelo desde el punto de vista de las propiedades físicas, biológicas y químicas. Este marco metodológico no lleva a determinar un grupo único de indicadores, ya que

cada circunstancia dentro del paisaje biofísico responde a condiciones particulares (Astier *et al.* 2002, Bautista *et al.* 2004).

Este estudio, el cual tuvo el principal propósito de estudiar la capacidad de adaptación de sistemas tradicionales ante un evento climático extremo, se condujo el año 2009 en la Región de la Mixteca Alta de Oaxaca, Mexico. Se evaluó la calidad de los suelos, en particular su capacidad de retención de humedad además de la producción de maíz, en el sistema de cajete con respecto de temporal. La hipótesis de trabajo fue que las prácticas de conservación de suelo y agua en el sistema cajete permiten obtener un mejor nivel de producción de maíz que en el de temporal.

Materiales y métodos

Área de estudio SM Huautla,

El área de estudio se localiza en la Mixteca Alta de Oaxaca (Fig. 1), en la porción noroeste del estado, en 17°44' latitud norte y 97°08' longitud oeste y a una altura de 2,000 metros sobre el nivel del mar. Colinda con las municipalidades de San Pedro Jocotipac y Santa María Ixcatlán al norte, de Santiago Apoala al sur, de San Juan Bautista Coxitlahuaca al oeste, y de Santa María Texcatitlán al este.

San Miguel Huautla es uno de los 570 municipios del estado de Oaxaca, integrante del pueblo mixteco, cuyo nombre deriva del náhuatl y significa *lugar de águilas*, en vocablo mixteco es *Doxa'a*. La cabecera municipal cuenta con una superficie de 111 km². De acuerdo a los resultados que presentó el Censo de Población y Vivienda 2010 el municipio cuenta con un total de 1399 habitantes, de los cuales 659 son hombres representando el 47,1% del total de habitantes y 740 (52,89%) son mujeres, con una tasa de crecimiento del 2000-2005 de -5,48, lo que significa que la población está en decremento (INEGI 2010). La población en la cabecera municipal para el año 2010 es de 508 habitantes, lo cual nos indica un porcentaje de migración en ascenso durante los últimos años. El índice de marginación en este municipio se define como *Muy alto*.

La mayor parte de la municipalidad, y donde se realizó este estudio, es considerado un clima semiárido-templado. Las heladas se presentan al finalizar las lluvias y se prolongan hasta febrero dependiendo del año. Las personas clasifican las heladas en hielo negro y hielo blanco. El hielo negro es el que afecta a los cultivos ya que es más denso e incluso llega a afectar a los árboles de la región y algunas otras plantas que aparentemente son muy resistentes. Éste se presenta generalmente una vez por año durante 3 días consecutivos, siendo el segundo días el de mayor intensidad y el más perjudicial para las plantas, el primer día previene a los productores para realizar acciones de protección a los cultivos (INEGI 2005).

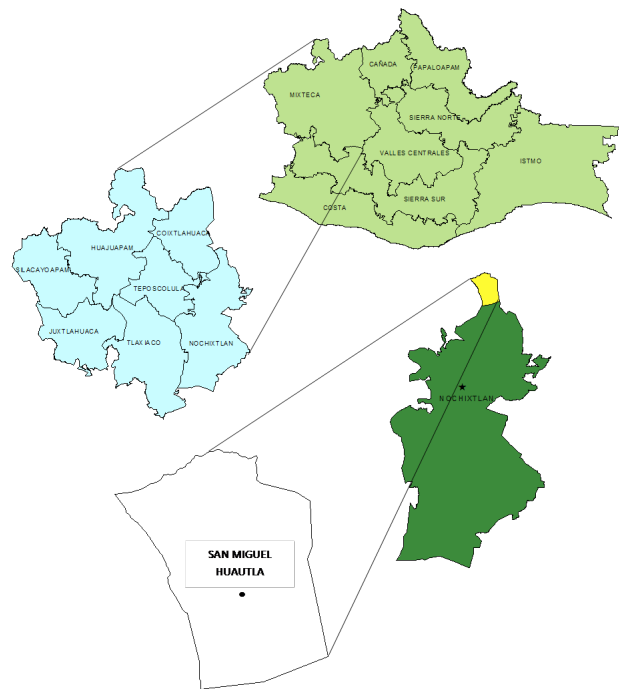


Figura 1. Mapa de localización de la comunidad de San Miguel Huautla, Nochixtlán.

Los terrenos son accidentados y fáciles de erosionarse, con un 70% de lomerío y un 30% de montaña. Las altitudes sobre el nivel del mar oscilan entre los 1900 a 2700 metros aproximadamente. Por tanto, no se presenta un color, estructura y consistencia uniforme. Los principales tipos de suelo, todos de textura fina, que se encuentran en todo del Municipio son: renzina + luvisol crómico + luvisolértico, órtico + regozoleutrico, luvisol órtico + regozoleutrico (INEGI 2005). La mayor parte del suelo es de uso agropecuario y las condiciones climáticas, topográficas y edáficas del área permiten el desarrollo de vegetación principalmente bosque de encino y en menor medida bosque de coníferas.

Caracterización del paisaje, sistemas productivos y selección de parcelas en San Miguel Huautla

En el año 2009 y 2010, se aplicaron entrevistas semiestructuradas en la comunidad de San Miguel Huautla. Esta herramienta permitió el dialogo con los agricultores, y sus familias, además de recabar la información de forma ordenada. Se aplicaron 10 entrevistas a productores que practicaban el sistema cajete y 10 a las que practicaban el temporal, lo cual representó al 10% del total de familias campesinas, el 3% del total de productores activos, y el 23% de productores con sistema cajete.

Para facilitar la recopilación de la información sobre paisajes de la comunidad, se hicieron visitas guiadas con 3 agricultores en las cuales se recorrió la comunidad para identificación y geoposicionamiento de los pisos altitudinales (1800–2000) msnm, caracterización

de la vegetación, suelos y sistemas productivos en cada uno de éstos (Ríos *et al.* 2012). El 6 de mayo 2011, se hizo la caracterización de los suelos mediante la elaboración tres perfiles edáficos (Buol *et al.* 2004).

Además se realizó un grupo focal utilizando la metodología de diagnóstico rural participativo en donde participaron 18 personas (7 mujeres y 11 hombres) que representan al 20% de las familias campesinas que existen en la comunidad y mapeo participativo (Hardcastle *et al.* 2004, McCall y Minang 2005). Esto permitió tener un análisis complejo de los principales agroecosistemas y entender los elementos socio-culturales de la población, los aspectos tecnológicos, económicos y las razones de uso por los productores locales.

Selección de indicadores de calidad de suelos

Los indicadores de calidad de suelos se seleccionaron en base a: (1) objetivos de calidad agronómica y ambiental y (2) los puntos críticos identificados en el sistema agrícola bajo estudio en La Mixteca. La identificación de estos puntos y la selección de los indicadores se realizó teniendo en cuenta a los agricultores y técnicos y a través de herramientas de diagnóstico participativo explicadas en la sección anterior (Astier *et al.* 2002).

Toma de muestras y análisis de suelo y biomasa espontánea

Se colectaron cinco muestras compuestas (25 cm profundidad) en cada una de las 10 parcelas en ambos sistemas el C y el T para cada uno de los 10 agricultores participantes. El muestreo se hizo después de la cosecha de maíz; exceptuando en el caso de las mediciones de humedad gravimétrica, en donde se muestrearon los suelos cada dos semanas durante el periodo de cultivo. Las muestras de suelo se tamizaron a 2 mm, se secaron al aire hasta que se alcanzó una materia seca constante. El pH del suelo se midió en una 1:5 (w/v) suspensión acuosa. Se llevaron a cabo los análisis de concentración de Nitrógeno, Fósforo, y Carbono Orgánico siguiendo los métodos de Olsen y Dean (1965) para fósforo disponible, el método Kjeldahl para Nitrógeno Total y el de combustión húmeda (Nelson y Sommers 1982) para Carbono Orgánico. El análisis de fosfatasa se hizo en el laboratorio de la Dra. Mayra Gavito en el IIES, UNAM, Campus Morelia.

Debido a que en La Mixteca la humedad en los suelos es factor crítico, se midieron los indicadores que dan información sobre la cantidad y disponibilidad de agua en el suelo: Capacidad de Campo (CC), el Punto de marchitez permanente (PMP) y la cantidad de humedad gravimétrica, que se hizo cada dos semanas y se obtuvo después de tener el peso húmedo y seco al dejar secar las muestras y alcanzar una masa seca constante a 105 °C. Con dicha información se obtuvo la curva de humedad gravitacional del suelo en los dos sistemas durante todo el ciclo del cultivo de maíz.

También se realizó la curva de proporción de agua contenida en las plantas espontáneas que se desarrollaron en sistema C y T en la época más crítica de sequía intra-estival (o canícula) en las semanas 27 a la 43 del año. Cada mes se colectaron y pesaron todas las herbáceas presentes en las parcelas, las cuales se muestreadas aleatoriamente utilizando una cuadrante de 1m x 1m. Para poder diferenciar el efecto cajete y hacer estadísticamente más rigurosa la interpretación de este análisis, se incluyeron otras muestras de plantas obtenidas en la misma región de parcelas cultivadas experimentales con suelos de la misma clase originaria. Puesto que el objetivo principal del estudio es determinar las diferencias en efecto entre los sistemas cajete y temporal, el factor de sistema tiene efectos fijos, pues nos interesa estimar el efecto promedio de cada sistema sobre la(s) variable(s) respuesta. Por el contrario, los factores sistema de manejo C y T fueron incluidos sólo para conocer su efecto sobre la variación de la variable respuesta, razón por la cual su efecto se considera aleatorio. Las medidas repetidas pueden considerarse como pseudo-réplicas, en cuyo caso su efecto es aleatorio.

Dado que el diseño incluye entonces una mezcla de factores con efectos aleatorios y fijos, se decidió emplear modelos lineales de efectos mixtos (*mixed-model effects*) para el análisis de los datos. Estos modelos fueron creados empleando la función lme de la biblioteca nlme del programa R (Bates *et al.* 2015, Pinheiro *et al.* 2016, R Core Team 2016). Se realizó un análisis para probar el efecto de los tratamientos sobre el contenido de humedad en el suelo. En este análisis se incluyeron tres diferentes manejos de sistemas C y T. La variable respuesta fue la proporción de agua (p_{agua}) en la muestra de suelo:

$$p_{\text{agua}} = (\text{peso fresco} - \text{peso seco}) / \text{peso fresco}$$

Puesto que la variable p_{agua} es una proporción cuya distribución de probabilidades es binomial, para realizar el análisis se procedió a convertirla al arcsen de su raíz:

$$p_{\text{aguanorm}} = \text{sen}^{-1} \text{raizcuadrada}(p_{\text{agua}})$$

Se realizaron análisis de varianza para todas las variables de respuesta utilizando el SAS (SAS Institute Inc. 1989). Las medias se separaron utilizando la prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD) a $P = 0,05$.

Rendimiento de granos

La metodología usada en el proceso de cosecha se basó en la propuesta por Triomphe (2004). Para definir el tipo de muestreo, primero se determinó el área de muestreo, estableciendo un área de 4m x 6m con 3 sitios (3 repeticiones). Una vez definida el área de muestreo, se cosechan las mazorcas y se realizan las siguientes mediciones: (1) Contar el número total de plantas en el área de

muestreo, considerando las plantas acamadas, (2) Cosechar las mazorcas y amontonarlas en un mismo lugar cerca de la parcela, (3) Separar las mazorcas en: sanas (o con daño menor al 10%), las dañadas y las que no llegaron a llenado total de grano, (4) Pesar cada grupo por separado, (5) Alinear y contar las mazorcas sanas, (6) Seleccionar una muestra al azar de 10% de mazorcas para el desgrane, (7) Alinear las mazorcas dañadas o perdidas y sin llenado de grano y estimar el porcentaje promedio de daño.

Resultados

Caracterización de los sistemas productivos y el paisaje

Dentro de la comunidad existen 350 productores activos de maíz, lo que representa el 69% del total de habitantes; 43 agricultores aún conservan el cultivo de maíz cajete, lo cual corresponde al 12,28% del total (Fig. 2). Todas las familias de la comunidad basan su supervivencia en las actividades que tienen que ver con la agricultura, ganadería y aprovechamiento de las tierras comunitarias con bosques y pastizales. La unidad agrícola de cada familia consiste en varias parcelas que se encuentran esparcidas en los diferentes pisos altitudinales de la comunidad; en total podrían sumar de 1 a 5 hectáreas y en promedio 2,6 ha. Por lo tanto, los que cultivan en tierras favorables para el sistema cajete también lo hacen en tierras para el temporal. La producción agrícola está supeditada a una temporada de lluvias con alta variabilidad, con frecuentes eventos de baja precipitación pero también de excesiva cantidad de lluvia. En esta región los rendimientos de grano de maíz, frijol y trigo no superan una tonelada por hectárea; están muy por debajo de la media estatal.

Existen dos tipos de organización comunitaria que son representativas y que aún persisten en la comunidad, observándose cada día en menor número de comunidades de la región: la *guezza* y el *tequio*, prácticas sociales en las cuales todos los habitantes de la comunidad se ayudan para las diversas actividades ya sea del campo o fiestas patronales, mayordomías, entre otros. Mediante la *guezza* los habitantes de la comunidad se apoyan en la realización de actividades productivas, familiares, festivas o luctuosas (Fig. 2). Evitan con esta forma de ayuda la contratación de mano de obra con lo cual disminuyen los costos de las actividades productivas. El *tequio* es otra forma de organización tradicional característica de las comunidades indígenas: mediante

el *tequio* se realizan actividades que conciernen a toda la comunidad como: la limpieza de calles, mantenimiento de las parcelas escolares, agencia y comisariado, reforestación y obras de beneficio social, con el *tequio* se disminuyen costos y se realizan más rápida y fácilmente las actividades para beneficio de toda la comunidad.



Figura 2. Sembrando en el sistema cajete, bajo la organización de la *guezza*, en tierra colorada San Miguel Huautla.

Los suelos calcáreos y poco profundos de las montañas de La Mixteca, son pobres y poco propicios para la agricultura. Por lo mismo sus habitantes, desde épocas prehispánicas, ingeniaron un sistema de construcción de suelos para la agricultura de maíz. Éste consiste en colocar barreras a lo largo de la pendiente y así se direcciona el suelo que se va acumulando en las partes bajas o *jollas* de las microcuencas. Es en estas *jollas* donde se practica el sistema de cajete (Fig. 3). A los suelos en el cajete se les denomina *cerudos* y son de tonalidad oscura en éstos se siembra el maíz llamado cajete.

Este antroposol en las *jollas* de la Mixteca, guarda la humedad de las lluvias de temporada y de las esporádicas que pueden ocurrir en invierno. Por eso, aunque la temporada de lluvias puede llegar a iniciar a finales de Junio, en estos suelos la siembra ocurre en marzo. La planta de maíz cajete geminará gracias a la humedad residual. Esto prolonga el ciclo de desarrollo de la planta de maíz, y entre otros beneficios, reduce o anula el riesgo de pérdidas por inundación o heladas tempranas. Con el fin de



Figura 3. Paraje las *jollas*, parte baja de una microcuenca, donde se siembra maíz de cajete.

contrarrestar la variabilidad climática, que podría llegar a afectar también al sistema cajete, las familias campesinas de la Mixteca también siembran maíz en tierras bajas, con suelos más pobres, pero que complementan la producción y que se llaman tierra de temporal.

La primera actividad que se realiza en el sistema cajete es el arado del suelo o *barbecho*, la finalidad de éste es remover y revolver la tierra para que empiece a guardar la humedad, también sirve para ventilar el terreno y eliminar algunos organismos que perjudiquen al cultivo. Se hace a lo largo del terreno en sentido contrario a la pendiente. Después hay un segundo arado que se llama *recruza* con la finalidad de romper los terrones que hay en suelo, la tierra se hace más fina para facilitar la próxima actividad que es el surqueado, se deja reposar el terreno. El sentido que se sigue para esta actividad es en forma de cruz a partir del sentido en que se hizo el primer paso de arado o *barbecho* es por eso que le llaman *cruza* o *recruza*. Después, se surquea en el mismo sentido en que se barbechó con el fin de marcar el terreno en líneas rectas y que los sembradores puedan ubicarse. Se siembra a los 8 días a la usanza del cajete; el primer sembrador comienza con el primer cajete en una de las esquinas del terreno y el primer surco sirve de guía para que los demás

sembradores puedan hacerlo en la forma de 3 bolillo. Se utiliza una herramienta llamada barretilla que en un lado tiene una punta y en el otro extremo es una pala chica en forma de media luna, es larga y muy pesada, es por eso que el trabajo únicamente lo realizan los hombres. Se hace el cajete con la parte más ancha de la barretilla y, una vez que ya no se derrumbe el cajete y se encuentre la humedad del suelo, se hace un hoyo con la parte picuda de la barretilla. Se colocan de 3-4 semillas y se tapan. La fertilización en estos terrenos es a base de estiércol y algunos agricultores reciclan directamente el rastrojo del maíz y otros se lo dan a los animales.

Para el sistema temporal, no es necesario tener un tipo de suelo específico ni condiciones demasiado estrictas de clima como es el caso del maíz de cajete, se siembra acorde al inicio del periodo de lluvias de temporal. La mano de obra utilizada es familiar: el jefe de familia prepara el terreno, los hijos y madre siembran y cosechan y desentierran las plantas de maíz al momento del deshierbe o labranza. En ocasiones participan para la preparación de la tierra varias yuntas, pero esto es opcional, no necesario. La siembra y surcado del terreno se realiza con la yunta algunos días después de que las lluvias han iniciado y así evitan que la tierra se seque por el viento o el calor. El levantado del sur-

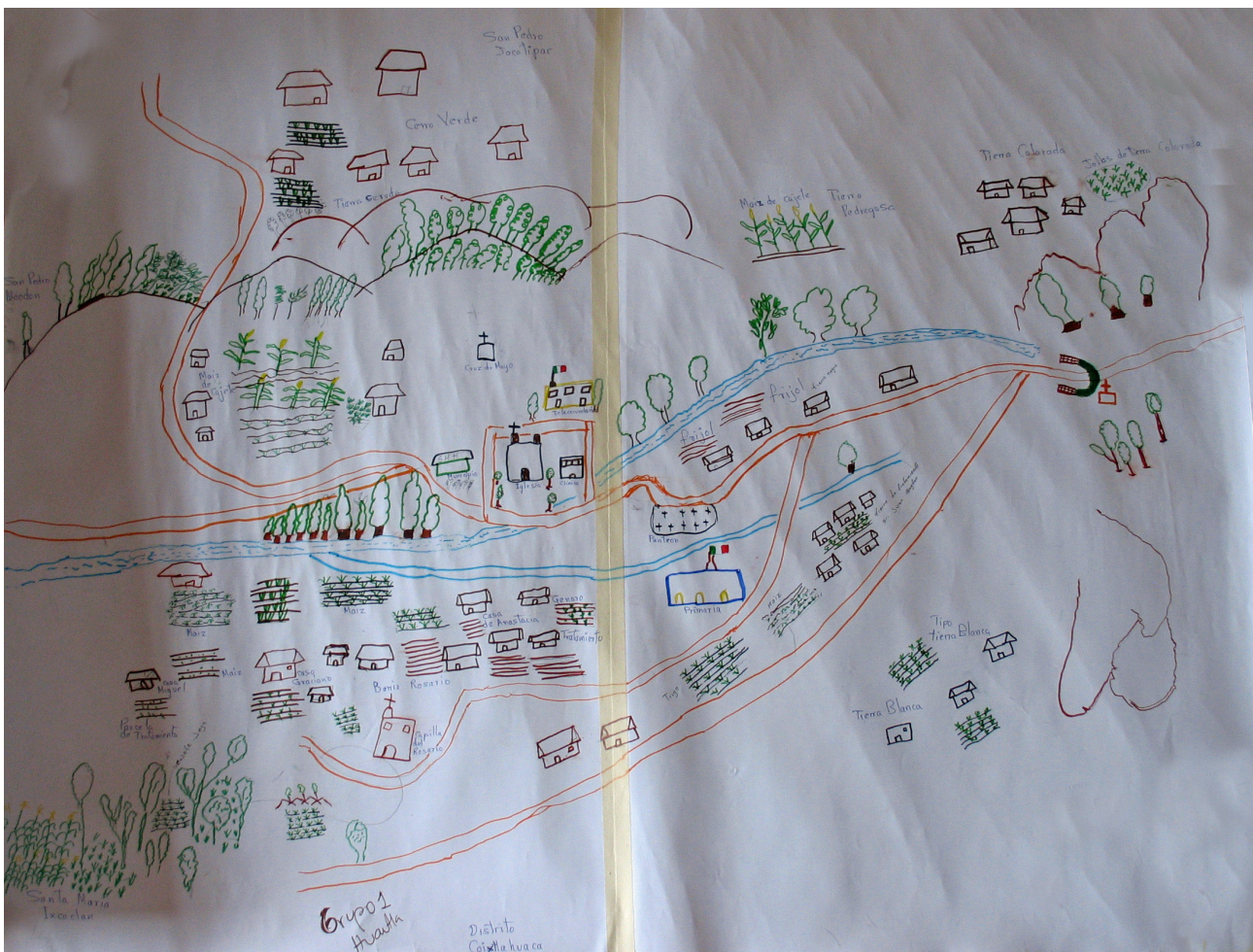


Figura 4. Mapa de la comunidad San Miguel Huautla. Resultado del taller Mapeo participativo, Agosto del 2009.

co y primer deshierbe se hace a las 4 ó 5 semanas después de la siembra siempre y cuando la humedad de la tierra lo permita. Si la tierra está muy mojada, el arado no puede entrar, si está demasiado seco y se labra, el cultivo sufre por la resequeidad que le llega a la raíz y se podría incluso secar. La cosecha se realiza en el mes de noviembre-diciembre y posteriormente se ara o barbecha para dar paso a otro cultivo, ya sea el trigo o el frijol.

Otros recursos naturales son aprovechados en la comunidad como lo es el bosque de donde las familias obtienen: madera, leña, animales, palma –para artesanía- medicina tradicional y pasto. Atraviesan tres arroyos conocidos como *El Ocotol*, *El Grande* y *El Boqueron* (Fig. 3). El agua del Ocotol es clara y muy fría; se utilizada para lavar ropa, los animales y, en periodos prolongados de sequía, para regar los terrenos cercanos. El Río Grande, cuyas aguas se ocupan para riego, es el más importante; el agua se concentra en mayor cantidad en las partes más bajas de la comunidad permitiendo su uso para riego en algunos cultivos ya sea de trigo o de maíz. El Boqueron es el más alejado de la comunidad. El tercero es menos importante que los anteriores. Existe una zona donde desembocan los tres arroyos para formar un solo río. Aunque

es poca la cantidad de agua que fluye por estos, todo el año está disponible para los habitantes aunque en diferentes cantidades. Hay otros pequeños arroyos que no son de mucha importancia pues la poca agua que corre por ellos se filtra muy rápido sobre todo en los meses de sequía. Estos pequeños arroyos se crearon en las barrancas formadas por la erosión del suelo desde hace 40 años aproximadamente pues las personas mayores recuerdan perfectamente su formación. Los habitantes dicen que el agua que corre por los mismos, es la que se va filtrando de las montañas hasta formar el arroyo grande.

El paisaje de SM Huautla: su transecto y pisos ecológicos

Para describir los diferentes nichos ecológicos, tipos de cultivo y usos del suelo que existen en la comunidad, se realizó un transecto definiendo diferentes pisos en base al clima y al piso latitudinal y se especificaron las características de cada uno (Tabla 1). El clima en estos terrenos varía dependiendo del lugar en que se ubique dentro de la comunidad. Sin embargo, es difícil definir rangos de temperaturas pues los productores solo las perciben como *muy frías*, *frías*, *templadas*, y *calientes*. Los meses

Tabla 1. Datos registrados en el transecto. Características de los diferentes pisos ecológicos.

ZONA	PISOS ECOLÓGICO	PENDIENTE	TIPO SUELO	CLASE DE SUELO	VEGETACIÓN PRESENTE	TIPO DE MANEJO
Alta	2251-2300	20°	Tierra colorada y negra. <i>Chromic Haplusterts</i> ¹ <i>Vertisoles háplicos</i> ²	1°	Bosque de encino	Siembra de cajete, temporal, trigo, frutales.
Alta	2200-2250	30°-45°	Negro cerudo, negro chicloso, negro suelto, amarilla, blanca, arcilloso, poroso de color gris oscuro.	1° y 2°	Encinares, pinos y sotoles	Frijol, Trigo Venturero, Trigo Pavón violento, Alberjón. Cultivo de maíz de cajete en la parte baja del cerro, Maíz de temporal en lo alto.
Media	2151-2200	30°	Negro suelto, incorpora materia orgánica inmediatamente después de la cosecha.	1° suelos con humedad de altura.	Encinos y pastizales	Cultivo de maíz de cajete y alverjón
Media	2101-2150	20°-30°	Negro cerudo, suelo gravoso, color gris claro y blanco <i>Typic Calciuster</i> ¹ <i>Vertisoles cálcicos (pélicos)</i> ²	1° y 3°	Encinos, enebros, especies arbustivas chamizos maguey, nopales.	Cultivo de maíz cajete, Milpa, frijol, área de pastoreo de ganado mayor y menor.
Media	2051-2100	25°	Negro, arcilloso y gravoso	1° y 2°	Encinares, enebros y vegetación arbustiva	Cultivo de maíz cajete y de temporal, milpa, trigo, frijol; área de pastoreo controlado.
Baja	1951-2000	20°	Suelo cerudo, tierra pedregosa	1°, 2° y 3° clase	Bosque de encinos, algunos árboles de enebro.	Terrenos de riego, maíz de temporal, cajete, trigo, frijol, árboles frutales
Baja	1900-1950	10°	Negro cerudo, blanco, amarillo, gris oscuro, pedregoso <i>Leptic Calciusters</i> ¹ <i>Vertisoles Cálcicos (pélicos)</i> ²	1°, 2° y 3° clase	Enebros, Sauces, Encinos, árboles frutales	Frijol, maíz de cajete, temporal, trigo. En el centro de la comunidad, atraviesa el Río Gordo.

más fríos son septiembre-octubre hasta febrero con presencia de heladas desde los últimos días de septiembre cuando se adelantan, los más cálidos son de marzo a junio-julio. Se observa la diversidad de cultivos que se establecen en diferentes altitudes, así como la vegetación presente en el lugar, resaltando una amplia variedad en los tipos de suelos, lo cual no representa una limitante marcada para el desarrollo de algunos cultivos.

Propiedades campesinas de suelo

Los productores tienen clasificados sus suelos de acuerdo a la fertilidad de los mismos, para ello se basan en el rendimiento obtenido en cada cosecha y a través de la experiencia obtenida en campo. Los terrenos muestreados tienen una consistencia muy parecida a la plastilina o cera, esta característica los productores la llaman *cerosa* o *ceruda*, y es una de las clasificaciones que ellos utilizan para diferenciar sus terrenos de cultivo. En estos suelos básicamente se siembra maíz de cajete pues sus propiedades le permiten almacenar agua suficiente para germinar y mantener la planta un tiempo considerable mientras se presentan las lluvias de temporal.

Debido a la complejidad y diversidad de sustratos que convergen en el municipio, para los campesinos obtener un suelo de cultivo implica la realización de trabajo muy pesado y continuo, ya que es necesario en varios casos, desenterrar rocas de gran tamaño ubicadas dentro de los terrenos y posteriormente fertilizar de manera constante mediante la aplicación de estiércol del ganado y desechos orgánicos. Esto es solo con algunos terrenos o campesinos. Cada ciclo de cosecha se reincorpora al terreno esquilmos vegetales y especies silvestres que crecieron al lado del cultivo.

Los productores campesinos locales han elaborado clasificaciones de suelo para la localidad que, en cierta medida, les sirven como instrumentos para el uso y manejo. Al realizar la referencia de este tipo de clasificación únicamente resaltaremos los criterios usados comúnmente para clasificar las tierras, y la manera en que se diferencian

unas de otras de acuerdo con estos criterios. Próximamente presentamos perfiles taxonómicos de suelo.

El primer criterio de clasificación de los productores es la textura y el color del suelo, de donde se distinguen 8 clases de suelos: tierra negra ceruda o gris ceruda; tierra negra o tierra negra suelta; tierra colorada suelta; tierra amarilla; tierra colorada ceruda; tierra blanca; y tierra blanca chiclosa. El segundo criterio de clasificación considera la calidad de las tierras, de acuerdo con el concepto de fertilidad de los productores y con la productividad de la tierra dividiéndolas en: tierras de primera, de segunda y de tercera clase.

La clasificación más importante y en la que principalmente se basan los productores para establecer sus siembras, es la calidad de fertilidad y productividad que se observa en los suelos, de la anterior se desglosa la clasificación: por textura y color; la cuál asocia cada una de las texturas con el grado de dificultad que implica el laboreo del suelo; con esto, se tiene que las más difíciles de trabajar son: la tierra amarilla, la blanca y la blanca chiclosa. El color de la tierra negra por ejemplo denota la fuerza, fertilidad o cantidad de abono que contiene, por tanto, existe una menor dificultad para el laboreo. El Tabla 2 indica la clasificación de suelos en la localidad según el tipo y uso que los productores de la localidad designan.

Las clases de tierra según su color y textura admiten más de una serie de suelos de las clasificadas por la taxonomía FAO-UNESCO (FAO 2006). Esto se explica porque la clasificación de los productores se basa en las características de la capa arable y no en todos los horizontes edáficos. Se trata entonces de una clasificación no pedológica y funcional para la agricultura.

Calidad de suelos sistemas campesinos en SM Huautla

De las características y composición del suelo depende la cantidad y calidad de cosecha obtenida por cada productor, por ello fue necesario evaluar la calidad del suelo seleccionando indicadores que reflejaran cam-

Tabla 2. Clasificación de los suelos según su uso por los productores en San Miguel Huautla.

CLASIFICACIÓN LOCAL	DESCRIPCIÓN	TEXTURA Y COLOR	CULTIVOS	FACILIDAD DE LABOREO
1° CLASE	Terreno plano, en jolla y con suficiente abono orgánico con barreras o camellones.	Terreno cerudo, Tierra negra ceruda, Tierra roja ceruda	Maíz, frijol, trigo, haba, frutales	De las menos difíciles de realizar
2° CLASE	No se abonan ni tienen barreras, no se encuentran protegidos, al contrario deslavados por la lluvia.	Terreno delgado, Tierra blanca-caliza, los que se encuentran en ladera, se ubican más en las faldas de los cerros ya que no sostienen el abono.	Maíz, frijol, trigo la cosecha es en menor proporción y la mazorca con menor tamaño en grano.	Punto intermedio para realizarlas
3° CLASE	Terreno en mayor proporción deslavado, se encuentra casi al descubierto, los llamados tepetates.	Tepetate tierra blanca-caliza	Maíz, frijol, trigo, siendo terrenos delgados se puede obtener cosecha aunque en menor proporción que en las otras dos clases de suelo	Demasiado difíciles

bios en la escala de tiempo del estudio. Se observa que no hay diferencias significativas entre las medias reportadas del sistema cajete y del sistema temporal en las variables: densidad aparente (Da), humedad disponible (la cual se determinó sustrayendo la cantidad de humedad reportada en el punto de marchitamiento permanente a la capacidad de campo), pH, niveles de fósforo y carbono. Sin embargo, dichas medias son solo indicativas y hay que tomarlas con mucha cautela ya que no se pueden comparar suelos que son de formación y características muy diferentes. No se pueden comparar los suelos de diferente clase y niveles de fertilidad por su origen y formación. Los suelos “negros cerudos” de primera clase, provienen en su mayoría de tipo Vertisol Cálcico (pélicos), que presentan altos contenido de arcillas expandibles, con acumulaciones de carbonato de calcio y tonalidades oscuras, por lo mismo el pH en estos suelos es elevado.

Por lo anterior, llama la atención que los suelos en el sistema cajete, de origen calcáreo, presentan valores de pH bastante más bajos que en los sistemas de temporal. Esto es muy importante ya que sabemos que cambios mínimos en el pH, de una unidad o décimas, tienen un efecto clave en las propiedades biológicas y químicas de los suelos y, por supuesto en la fertilidad. Los suelos “negros” y “cerudos” son alcalinos por naturaleza con un pH de 7.8 y 7.9. Llamamos la atención, por lo tanto, los valores mucho menores de pH prácticamente neutros.

Los suelos bajo el sistema cajete presentan significativamente mayores niveles de materia orgánica, nitrógeno disponible, capacidad de intercambio catiónico (CIC), y actividad microbológica que los suelos de los sistemas de temporal. La CIC que presentan estos suelos es alta, por tanto pueden retener e intercambiar diferentes elementos minerales en mayor medida. Esta capacidad aumenta notablemente con la presencia de materia orgánica, podría decirse que es la base de lo que llamamos fertilidad del suelo y, estos suelos presentan una fertilidad buena. Para concluir en base a los análisis realizados a los tipos de suelo de maíz cajete la textura promedio de estos suelos es la franco-arcillosa.

Como una medida de la actividad biológica que contribuye a la descomposición de la materia orgáni-

ca y el reciclaje de nutrientes, se determinó la actividad de la enzima fosfatasa, la cual es una enzima producida por las raíces y algunos grupos de microbios que convierte compuestos de fósforo orgánico que no están disponibles para ser usados por las plantas en compuestos inorgánicos solubles que sí pueden ser asimilados por las plantas. En los suelos del sistema cajete y temporal se observó en promedio 102,33 µg/g/h y 5,36 µg/g/h, respectivamente de actividad fosfatasa (Tabla 3). Los valores reportados de esta enzima en suelos de cajete son similares a los que se reportan en suelos de bosques templados (alrededor de 100 µg/g/h, Alvear *et al.* 2007). Esto refleja la gran cantidad de materia orgánica y las buenas condiciones de fertilidad de los suelos en estos sistemas de manejo. Los rendimientos promedio de maíz en sistema C y T, en un año con una sequía intraestival de las más prolongadas conocidas, fueron de 518 kg ha⁻¹ y 347 kg ha⁻¹, respectivamente.

Curva de humedad gravitacional del suelo

La mayor parte de los cultivos principales de la Mixteca dependen de la lluvia. Por esta razón, la escasez de agua es una de las características marcadas de San Miguel Huautla y de la región en general. La percepción de la población es que a partir de los 2000 la variabilidad climática ha aumentado en esta localidad (Rogé *et al.* 2015); también se percibe que las lluvias se están retrasando. Aunque las estadísticas sobre dicho retraso no son concluyentes sí se ha registrado una creciente diferencia entre las lluvias asociadas a la estación primavera “abril a junio” con las que están asociadas a la de verano “julio a septiembre” lo cual explica la percepción de los agricultores sobre la llegada tardía de la temporada de lluvias, como documentan otros autores en estudios hechos en el Caribe (Rogé *et al.* 2015, Gamble *et al.* 2010). Por lo mismo, la capacidad de los suelos para retener agua juega un papel muy importante puesto que determina la viabilidad de los cultivos establecidos en los diferentes suelos. Se observa la tendencia que tuvieron los suelos de los sistemas temporal y cajete en las tierras frías de la comunidad (Fig. 5).

Tabla 3. Índice de calidad de suelos. * p<0,09; ** p<0,07 y, *** p<0,05.

Resultado	Indicador	Unidad	Sistema C	Sistema T
Químicos	MO %	%	5,3* (84%)	3,9* (62%)
	N Kjeldahl %	%	0,28*** (93%)	0,18*** (60%)
	C%	%	2,99 (82%)	2,25 (61,6%)
	P Olsen	ppm	16,67 (50%)	12,17 (37%)
	CIC		39,37** (82%)	30,50** (64%)
	pH	escala	6,83 (98%)	7,3 (95%)
Físicos	Densidad Aparente	g/cm ³	1,52 (84%)	1,47 (87%)
	Humedad disponible	%	12,93 (84%)	11,40 (73.5%)
Biológicos	Fosfatasa	µg/g/ha	102,33*** (100%)	59,36*** (59%)
Índice promedio global		%	84	66,5

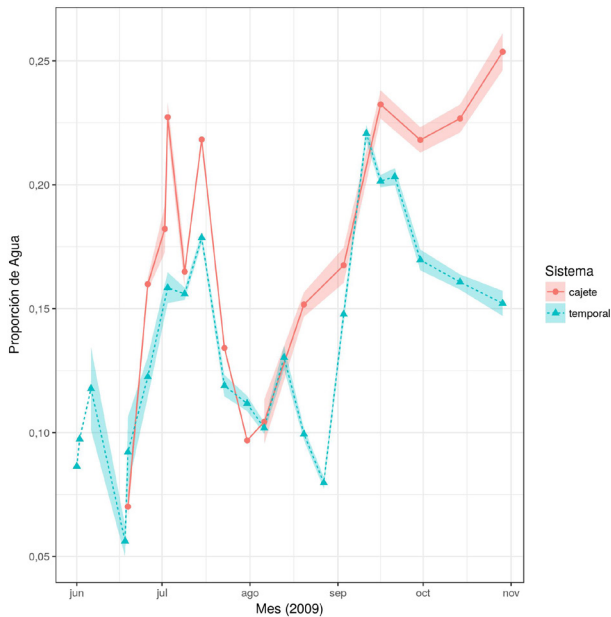


Figura 5. Proporción de agua en los suelos de tierras frías produciendo el sistema da cajete y de temporal

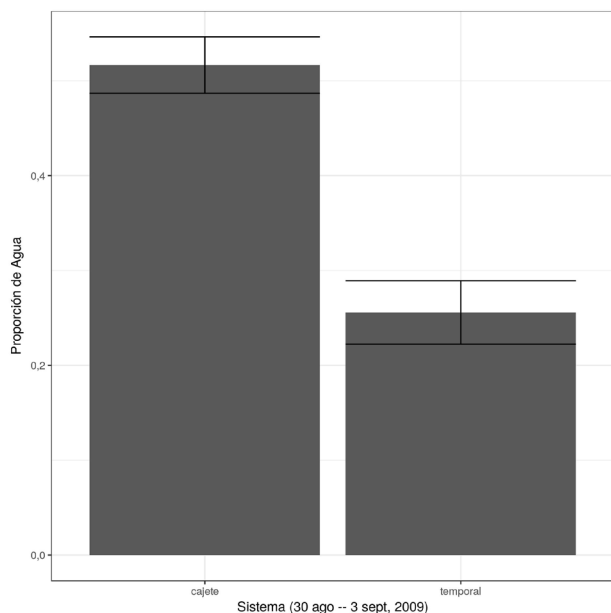


Figura 6. Proporción de agua de las plantas espontáneas en los sistemas de cajete (C) y de temporal (T) en tierras frías.

Los suelos del sistema C presentaron un mayor índice de agua gravitacional durante el periodo de escasez de agua en agosto (la canícula), y también al fin del ciclo productivo en octubre, que los de T. El modelo lineal de efectos mixtos de la proporción de agua normalizada en los suelos demuestra una diferencia significativa ($p = 0,0207$) entre los sistemas, cuando se considera los efectos aleatorios de las semanas y los productores (132 observaciones en 18 grupos). El modelo es todavía más significativo ($p = 0,0011$) cuando los sistemas de tempo-

ral y cajete engloban las tierras frías y tierras templadas (320 observaciones en 14 grupos). En este caso, se considera solamente los productores como efecto aleatorio. Por último, existe una diferencia significativa en la cantidad de agua estimada en la biomasa de plantas espontáneas bajo sistemas de C y cajete y T medida entre el 30 agosto y el 3 septiembre del 2009 (Fig. 6).

Discusión

La agro-biodiversidad expresada en las razas y cultivos presentes y en el manejo de los paisajes agrícolas en la Comunidad de SM Huautla, está asociada a una mayor capacidad de recuperación de los sistemas cuando existe una inclemencia o perturbación climática. Los sistemas de producción diversificados son más resilientes que los que sólo dependen de un cultivo o de un sub-sistema. En este estudio queda demostrado que, en un periodo de sequía aguda intra-estival, los suelos en el sistema C presentan un mayor índice de calidad que en el sistema T además de registrar valores significativamente mayores de humedad gravitacional que los suelos bajo temporal.

La conservación de la humedad se traduce en mayores rendimientos de maíz en el cajete que en el temporal. El sistema cajete, por lo tanto, es un sistema complementario (de soporte) del sistema temporal.

En esta región con alto riesgo de sequía, las familias que practican los dos sistemas, el C y el T, tendrán más posibilidades de garantizar su demanda de granos básicos (maíz, trigo y frijol) que los que sólo dependen de uno de los sistemas, ya sea el C o el T. Con esta práctica combinada las familias garantizan la oferta alimenticia y podrán, por lo tanto, ser más resilientes a eventos climáticos extremos, como el que se presentó en el año del estudio, y, por lo mismo, tienen mayor capacidad de gestión y autonomía.

Conclusiones

Recomendamos el desarrollo de investigaciones para elevar la eficiencia del sistema cajete. Las investigaciones podrían estar orientadas al aumento de la productividad, mediante el uso de cultivos asociados y/o enmiendas orgánicas, y a la reducción de la mano de obra invertida. Es posible que el sistema cajete pueda ser mejorado con la introducción de frijol y calabaza en los meses de mayo y junio (cuando se realiza la labranza y la encajonada). Las prácticas de reciprocidad como el "Tequio" y la "Gueza" son importantes ya que permiten la preparación de los suelos en menor tiempo y se disminuye considerablemente la inversión monetaria, lo cual es fundamental en la economía campesina. Retomando las practicas de preparación del suelo propias del cajete (arado o *barbecho*, *recruza*, *surcado*) se pueden aumentar los valores de los indicadores de calidad de suelos y la conservación de la humedad.

Agradecimientos

Una gran parte de esta investigación se hizo gracias al financiamiento del Proyecto 2008 UC MEXUS-CONACYT Climate Change Research Grant *Testing and scaling up best-bet agro-ecological practices to enhance the resiliency to climatic stress of campesino farming systems in the Mixteca region of Mexico* con el cual se financiaron muchos de los materiales ocupados, los análisis de suelos y las becas. Agradecemos también las asesorías que nos brindaron el M.C. Francisco Mora Ardilla y el Dr. Patricio Sánchez Guzmán además del apoyo del Laboratorio de interacciones planta-microbio-ambiente del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM dado por la Dra. Mayra Gavito y Celina Lemus Herrera. Al Ing. Gabriel Córdova Gámez por el tiempo brindado durante sus asesorías. Al Ing. Juan Bustamante Lujan por sus consejos y las asesorías brindadas. Al Centro de Desarrollo Integral Campesino (CEDICAM) por facilitarnos sus instalaciones durante la fase de campo. Con mucho cariño y aprecio le agradecemos a toda la comunidad de San Miguel Huautla, Nochixtlán, por compartir sus experiencias, técnicas y saberes tradicionales los cuáles fueron objeto de estudio, pero sobre todo su tiempo, amistad y cariño que nos brindaron.

Referencias

- Altieri MA, Nicholls CI. 2006. Agroecología: Principios y estrategias para una agricultura sustentable en la América Latina del siglo XXI. *Agroecology in action*. <http://agroeco.org/doc/pengue.htm> (con acceso el 17 de diciembre de 2016).
- Alvear M, Reyes F, Morales A, et al 2007. Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecología Austral* 17:113–122.
- Astier-Calderón M, Maass-Moreno M, Etchevers-Barra, J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36:605-620
- Bates D, Mæchler M, Bolker B, Walker S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67:1–48.
- Bautista-Cruz A, Etchevers-Barra J, Castillo RF del, Gutiérrez C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* Vol. XIII num. mayo-agosto, pp. 0.
- Buol, SW, Hole SD, Mc Cracken RJ. 2004. Génesis y clasificación de suelos. Ciudad de México. México: Trillas.
- FAO. 2006. World reference base for soil resources: A framework for international classification, correlation and communication. Rome. Italy: FAO
- Gamble D W, Campbell D, Allen TL, Barker D, Curtis S, McGregor D, and Popke J. 2010. Climate change, drought, and Jamaican agriculture: Local knowledge and the climate record. *Annals of the Association of American Geographers* 100:880–893.
- Hardcastle J, Long B, Van Lanh L, Rambaldi G, Son DQ. 2004. The use of participatory three-dimensional modelling in community-based planning in Quang Nam province, Vietnam. *PLA Notes (Participatory Learning and Action)* 49:70-76.
- INEGI. 2005. Carta de uso del suelo y vegetación. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recrenat/uso-suelo/Carta_suelo.aspx(con acceso el 17 de diciembre de 2016).
- INEGI. 2010. Censo de población y vivienda 2010. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=17118&c=27769&s=est#>(con acceso el 8 de diciembre de 2013).
- Mc Call MK, Minang PA. 2005. Assessing Participatory GIS for Community-Based Natural Resource Management: Claiming Community Forests in Cameroon. *The Geographical Journal*. Vol. 171, No. 4, pp. 340-356.
- Olsen SR, Dean LA. 1965. Phosphorus. In *Methods of soil analysis Part. 2 Agronomy*. USA: Black C.A, pp.1035-1049.
- Pinheiro JC, Bates DM, DebRoy S et al 2016. nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1-131, <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>(con acceso el 3 de julio de 2017).
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. Vienna. Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Reijntjes C, Haverkort B, Waters-Bayer A. 1992. Farming for the future: An introduction to low-external-input and sustainable agriculture. London, England: Macmillan.
- Ríos A, Ruiz S, Astier M, León Santos J, Altieri M, Rogé P, Mora F, Gavito M. 2012. Productividad y Resiliencia en Sistemas Agrícolas Tradicionales en la Mixteca Alta Oaxaqueña. III Coloquio Internacional en Geografía Ambiental. Morelia, Michoacán, México.
- Rivas-Guevara M. 2008. Caracterización del manejo de suelo y uso del agua de lluvia en la mixteca alta: Jollas y maíces de cajete. Estudio de caso: San Miguel Tulancingo, Oaxaca. PhD Tesis, Colegio de Postgraduados.
- Rogé P, Astier M. 2015. "Changes in climate, crops, and tradition: Cajete maize and the rainfed farming systems of Oaxaca, Mexico." *Human Ecology* 43 (5): 639–653.
- Triomphe B. 2004. Rendimiento de maíz en milpas de campesinos. En: *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (Zúñiga FB, ed). Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales, pp 331–342.