

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRICOLAS
Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas

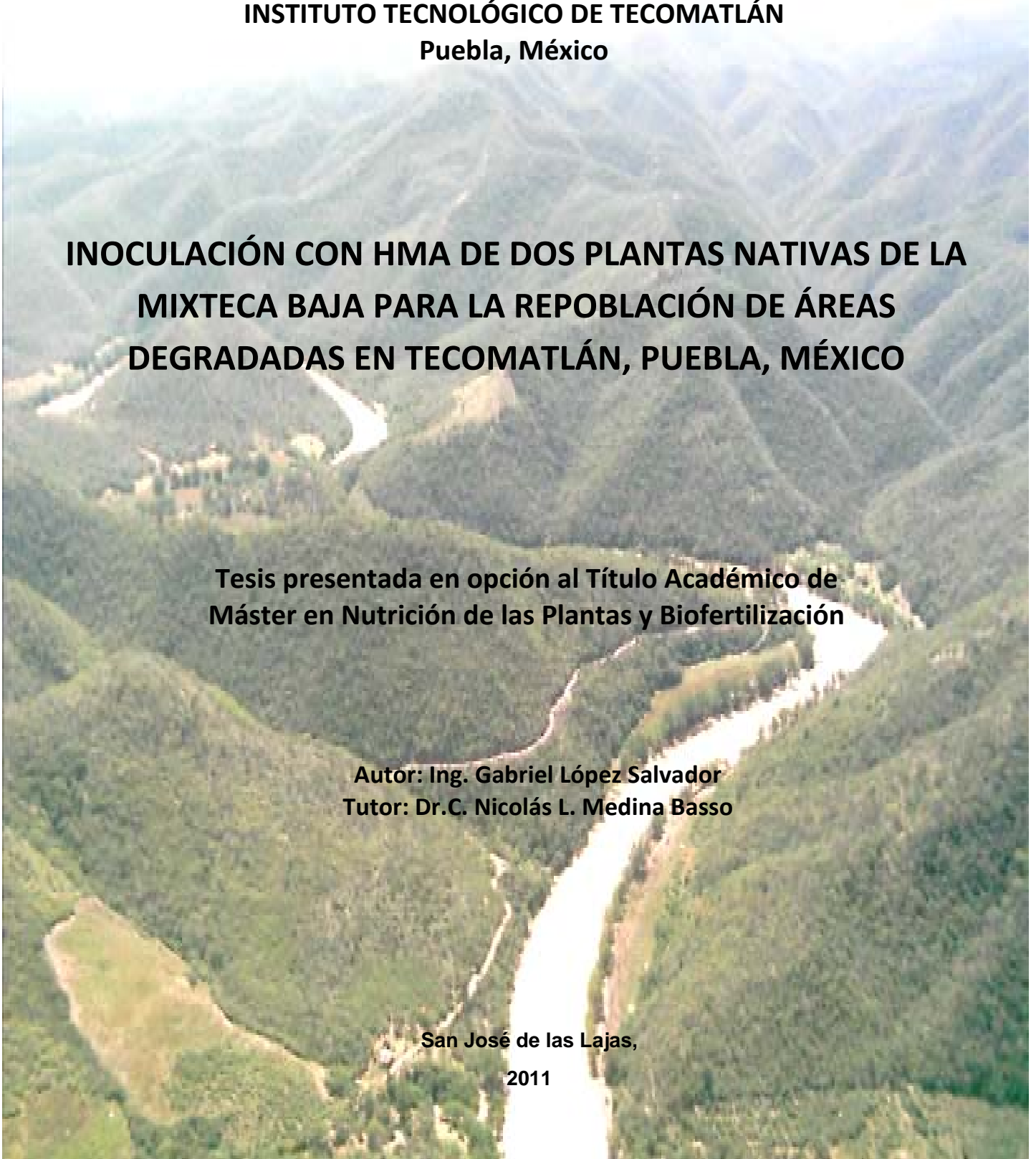
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TECOMATLÁN
Puebla, México

**INOCULACIÓN CON HMA DE DOS PLANTAS NATIVAS DE LA
MIXTECA BAJA PARA LA REPOBLACIÓN DE ÁREAS
DEGRADADAS EN TECOMATLÁN, PUEBLA, MÉXICO**

**Tesis presentada en opción al Título Académico de
Máster en Nutrición de las Plantas y Biofertilización**

Autor: Ing. Gabriel López Salvador
Tutor: Dr.C. Nicolás L. Medina Basso

San José de las Lajas,
2011



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRICOLAS
Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TECOMATLÁN
Puebla, México

**INOCULACIÓN CON HMA DE DOS PLANTAS
NATIVAS DE LA MIXTECA BAJA PARA LA
REPOBLACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN
TECOMATLÁN, PUEBLA, MÉXICO**

**Tesis presentada en opción al Título Académico de
Máster en Nutrición de las Plantas y Biofertilización**

Autor: Ing. Gabriel López Salvador
Tutor: Dr.C. Nicolás L. Medina Basso

San José de las Lajas,

2011

DEDICATORIA

- A la memoria de mi madre, María Teresa Salvador, por guiarme y enseñarme el camino a seguir.
- A mi padre, Abdón López Martínez, por ayudarme en las decisiones que he tomado y apoyarme en mi formación.
- A mis hermanos, Manuel, Mateo y Rosa, por el apoyo moral que en todo momento me han brindado y por la confianza que me tienen.
- A mi Gabrielita, por los momentos que no he podido compartir contigo y dedicarte a tu formación.
- A mi esposa, Enoe, por permitirme tomar la decisión de superarme y apoyarme en todo momento de mi vida para salir adelante, en estos años que has convivido conmigo y próximo a nuestro aniversario te reitero mi profunda admiración, respeto y amor.
- A la organización de Antorcha Campesina por participar en el proceso de mi formación e iluminar mi camino.

AGRADECIMIENTOS

A todos mis compañeros de trabajo del Instituto Tecnológico de Tecomatlán, por su confianza y apoyo en el proceso de mi formación, especialmente al equipo del Consejo Directivo, Gustavo Ortiz, Ana Lilia, Rosa María, Faustino, Fredy, Salvador, Paulina y Jorge.

Al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas por darme la oportunidad de integrarme en la institución para adquirir nuevos conocimientos para mi vida profesional, particularmente a los Doctores y Maestros en Ciencias del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas (Adriano, Ramón Rivera, Gloria, Pedro José) por compartir sus conocimientos. De la misma manera, al personal del Laboratorio de Micorrizas (Yakelín, Kalyanne, Loreli, Laura, Mujica, Aracely, Bannie, Lianne y a Julio Cesar), a los profesores Inés Reynaldo, Walfredo Torres y Alberto Caballero y a todo el personal del INCA, que de una u otra forma me brindaron su cariño amistad y la mano durante mi estancia. También llegue mi agradecimiento al pueblo y campesinos de Cuba por brindarme su hospitalidad y su cariño.

Al doctor Alberto Hernández Hernández, por brindar su tiempo y su dedicación.

A mi tutor Nicolás L. Medina Basso, por sus certeros consejos y por ser una guía en mi vida, y a quien le debo mucho por todo el tiempo dedicado en mi proceso de formación profesional.

A Diana, la madre adoptiva cubana que he tenido en toda mi estancia, por la amistad y el cariño que me ha brindado en todo momento.

A la familia Medina, Laura, Eneida, Amanda, Michel y mi ahijado Thiago, que me acogieron con gran amor y compartieron todos los momentos de mis estancias en Cuba con cariño.

A mis amigos, Reyneiro B., Toledo, Abady, Ariel, por los momentos de convivencia que tuvimos.

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

Se realizó un estudio en el Instituto Tecnológico de Tecamatlán, Puebla, México, en el periodo 2009-2010, con objetivo de determinar los efectos de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA), sola o combinada con otras prácticas, en la propagación sexual y asexual y el desarrollo de plántulas de las especies: cuatomate (*Solanum glaucescens*) y cuahuayote (*Jacarantia mexicana*), nativas de la Mixteca baja poblana, así como se actualizó la caracterización de los suelos predominantes en la zona. Para ello se estudiaron 4 perfiles de suelo y se desarrollaron tres experimentos de vivero en condiciones semicontroladas, empleando un sustrato elaborado a partir de un suelo de la zona y vermicomposta, mientras que la inoculación se llevó a cabo con la cepa de HMA *Glomus hoi-like*. El diseño experimental, en todos los casos, fue completamente aleatorizado con 20 o 30 observaciones, y se evaluaron, al momento de realizar el trasplante, los porcentajes de supervivencia y algunos indicadores del crecimiento de las plántulas, así como la colonización micorrízica. Los resultados fueron evaluados estadísticamente mediante análisis de varianza, empleando la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$) para discriminar las medias. Además, se evaluaron económicamente los mejores resultados de cada experimento. Se encontró que los Regosoles y los Cambisoles eran los tipos de suelos más representativos, ambos con características degradadas, baja capacidad de almacenamiento de agua y fertilidad media a baja. En cuanto a la propagación sexual y asexual de las dos especies estudiadas, se vio favorecida por efecto de la inoculación con HMA, obteniendo incrementos de la supervivencia y el crecimiento de las plántulas, lo que permite llevar al trasplante un mayor número de plantas y con mayor rapidez. Económicamente, la micorrización del material de siembra, para su propagación sexual o asexual, no solo es una actividad rentable sino que permite obtener beneficios.

ÍNDICE

	Página
I INTRODUCCIÓN	1
II REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1 La Mixteca baja poblana y la selva baja caducifolia	5
2.2 Plantas nativas útiles de la Mixteca baja poblana	11
2.2.1 El cuatomate (<i>Solanum glaucescens</i> Zucc.)	11
2.2.2 El cuahuayote (<i>Jacarantia mexicana</i>)	16
2.3 Las asociaciones micorrízicas	20
2.3.1 Efectos de la micorrización sobre el desarrollo de las plantas	22
2.3.2 La micorrización en el manejo de ambientes semiáridos	23
III MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 Condiciones naturales de la zona estudiada	27
3.2 Actualización de la caracterización de los suelos de la zona	30
3.3 Procedimiento experimental	31
3.3.1 Preparación del sustrato y las semillas y atenciones culturales	31
3.3.2 Inoculación con HMA y manejo del material de siembra	33
3.3.3 Descripción de los experimentos	33
3.3.4 Métodos empleados en la evaluación de los indicadores	35
3.3.5 Análisis estadístico	37
3.3.6 Análisis económico	37
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1 Actualización de la caracterización de los suelos en la zona de estudio	38
4.2 Efectos de la inoculación con HMA y un bioestimulante en el crecimiento de plántulas de cuatomate (<i>Solanum glaucescens</i>)	48
4.3 Efectos de la inoculación con HMA y de sustratos con proporciones variables de vermicomposta en la eficiencia de la propagación asexual y el desarrollo radical de plántulas de cuatomate (<i>Solanum glaucescens</i>)	52
4.4 Efectos de la inoculación con HMA y el lavado de la semilla en la propagación sexual y el desarrollo de plántulas de cuahuayote (<i>Jacarantia mexicana</i>)	57

4.5	Evaluación económica de los resultados	61
4.6	Consideraciones generales	63
V	CONCLUSIONES	65
VI	RECOMENDACIONES	67
VII	REFERENCIAS	68

I - INTRODUCCION

La región conocida como Mixteca en lengua náhuatl, Ñuu Savi en lengua nativa y “Pueblo del Agua” en español, está ubicada al sur de México, cubriendo parte de los Estados de Puebla, Guerrero y Oaxaca. Estudios recientes indican que la extensión total de la Mixteca es de 37 229 km², y en dicho territorio se encuentran asentadas 1 752 localidades pertenecientes a 217 municipios (Martínez, 2006).

La cultura mixteca, con más de 3 000 años de antigüedad, es una de las más relevantes de Mesoamérica, destacándose por la extraordinaria calidad de su arte al contar con artesanos considerados entre los mejores del México prehispánico (Spores, 2008). Los pobladores de esta región fueron agricultores, siendo la base de su cultivo el maíz, que siempre iba asociado con un cultivo secundario como el frijol y la calabaza, y en algunos lugares el chile. También hacían la recolección de yerbas, verduras, guajes (leguminosas) y diferentes verduras silvestres estacionales, una adición muy importante en la economía de aprovechamiento de los indígenas, quienes en caso de malas cosechas dependían en gran parte de ellos (Dahlgren, 1966).

La Mixteca baja (Ñuniñe o “tierra caliente”) se encuentra enclavada dentro de la Sierra Madre del Sur. Aproximadamente, la mitad de su superficie está situada entre 1 200 y 1 400 msnm y sus ríos llevan el agua de la Sierra Madre del Sur hacia la cuenca del río Atoyac-Balsas al norte (Guerrero y López, 2004; Van Doesburg, 2008). Cubierta por vegetación semiárida, dominada por arbustos y cactus, la región es rica en diversidad de plantas de importancia global y endemismos, representada por 2 703 especies, incluidas en 189 familias de *Cactaceae*, *Compositae*, *Graminae*, *Orchidaceae* y helechos. Muchas de estas plantas son usadas como alimento, forraje, medicina y combustible (Lomelí, 1998).

No obstante, la Mixteca baja es, hoy en día, una zona aislada y notoriamente marginada (Van Doesburg, 2008), ya que, como consecuencia de procesos históricos de deforestación, sobrepastoreo y expansión de la frontera agrícola que siguió a la conquista española, la erosión ha alcanzado niveles desastrosos,

estimándose que el 83% de los suelos de la Mixteca están de ligera a moderadamente degradados y el 17% muestra signos de erosión severa (Martínez, 2006).

Bajo estas condiciones se desarrolla la vegetación de la Selva baja caducifolia (Sbc) que ocupa 556 500 ha, las que representan el 26,67% de la superficie del sureste del Estado de Puebla, conocida como la Mixteca baja poblana (INIF, 1978), en donde predominan plantas de portes no mayores de 5 metros de altura y especies leguminosas. Esta región se ha caracterizado por ser fuente fundamental de leña, forrajes, alimentos y otros materiales para la población. La excesiva extracción de recursos naturales ha propiciado la devastación de la vegetación nativa, la pérdida de la biodiversidad y la degradación del suelo.

Dentro de la SBC se encuentran distribuidas especies de gran interés social, económico y cultural, entre ellas el cuatomate (*Solanum glaucescens*) y el cuahuayote (*Jacarantia mexicana*), especies que forman parte de la alimentación de los pobladores de la región. Con las mismas se preparan comidas típicas de la zona; así, la primera especie es usada en forma de salsa o en caldos, empleando sus flores y frutos tiernos, y para la segunda especie, el fruto es preparado tierno para caldos y también son consumidas las semillas tostadas (Huerta y col., 2009).

Como consecuencia del exceso de cosechas en su estado natural, de la deforestación y de la heterosis que presentan (se ha encontrado que para *Solanum glaucescens*, a partir de su propagación, se obtiene entre 50 y 60% de plantas masculinas, cuyas flores solo pueden ser sexadas a los 7 meses de vida de la planta, y en el caso de *Jacarantia mexicana* se presenta igual situación, con la característica de que la diferenciación sexual solo se evidencia a los nueve años), están disminuyendo las poblaciones de estas especies, con tendencia a su desaparición (Luna, 1995).

Para garantizar la repoblación de estas especies, las plantas a reproducir deben poseer características deseables para poder ser liberadas con mecanismos de defensa ante las condiciones adversas que se pueden presentar en el medio donde se desarrollarán (tolerancia a la sequía y a la baja fertilidad).

En este sentido es bien conocido que la mayoría de las plantas desarrollan en su hábitat natural las llamadas micorrizas, asociaciones simbióticas entre hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las raíces, mutuamente beneficiosas para el hongo y la planta. Los HMA colonizan las raíces, sin causarles daño alguno y desarrollan una red de hifas externas que se extienden y ramifican en el suelo. Este micelio externo actúa como un sistema radical complementario, muy efectivo y de extraordinaria importancia para la adquisición de nutrientes y agua por las plantas. Adicionalmente, las micorrizas confieren a las plantas una mayor capacidad de resistencia/tolerancia a estreses ambientales, tanto de tipo biótico como abiótico. Se ha demostrado que las micorrizas están presentes en todos los biomas y ecosistemas terrestres desde hace más de 400 millones de años, siendo la simbiosis vegetal más extendida en la naturaleza (Smith y Read, 2008).

En ecosistemas semiáridos, como es el caso de la Mixteca baja, caracterizados por una precipitación baja e irregular a lo largo del año con periodos de sequía recurrentes durante los que las comunidades vegetales se ven sometidas a situaciones de elevado estrés hídrico, los organismos que lo habitan han desarrollado estrategias para superar estas condiciones adversas. En muchos casos se establecen interacciones entre las plantas y los HMA de manera que consiguen un mayor aprovechamiento del agua disponible. Por ejemplo, las especies de HMA adaptados a suelos áridos captan de manera más eficaz los nutrientes y el agua en condiciones de sequía ayudando a las plantas a superar las condiciones adversas (Allen, 2007).

A partir de las consideraciones anteriores, se evidencia como problema científico la necesidad de incorporar tecnologías agrícolas de bajos costos, como la biofertilización con HMA, dirigidas a favorecer la multiplicación y producción de plantas nativas de la Mixteca baja con vistas a su utilización en programas de recuperación, conservación y reintroducción de dicha flora en sus ambientes naturales, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis de trabajo: **la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) favorece la multiplicación de las especies nativas: cuatomate (*Solanum glaucescens*) y**

cuahuayote (*Jacarantia mexicana*) ante factores ambientales adversos, permitiendo obtener plantas con adecuado vigor.

Para confirmar la validez de dicha hipótesis se desarrollaron un grupo de estudios con el objetivo general de evaluar los efectos de la inoculación con HMA en la propagación sexual y asexual de dos plantas nativas: cuatomate (*Solanum glaucescens*) y cuahuayote (*Jacarantia mexicana*) en condiciones de suelos degradados de la Mixteca baja, teniendo como objetivos específicos:

- actualizar la clasificación y caracterización de los suelos predominantes en la zona estudiada, a los efectos de su mejor utilización y manejo;
- determinar la efectividad de la inoculación con HMA, sola o en combinación con otras prácticas, en la propagación sexual y asexual de las plantas nativas estudiadas;
- establecer el efecto económico de las mejores prácticas estudiadas para la propagación de dichas especies vegetales.

Como novedad científica, el estudio aborda por primera vez la inoculación con hongos micorrízicos de especies nativas de la Mixteca baja poblana, como el cuatomate y el cuahuayote, con vistas a mejorar la calidad de las plántulas para su liberación a campo en programas de reforestación.

II - REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 - La Mixteca baja poblana y la Selva baja caducifolia

La región conocida como Mixteca está ubicada al sur de México, cubriendo parte de los Estados de Puebla, Guerrero y Oaxaca. Estudios recientes indican que tiene una extensión total de 37 229 km² (Martínez, 2006). Dentro de ella se ubica la Mixteca baja poblana, situada al sureste del Estado de Puebla.

Desde el punto de vista geológico los estudios muestran que la región ha sufrido un proceso de emersión repetida que data desde el Triásico, hace más de 200 millones de años. Esta serie de movimientos han dado como resultado un relieve montañoso, que son plegamientos de origen sedimentario, fundamentalmente, aunque también existen algunas formaciones volcánicas y, por ende, también se presentan las metamórficas, que son la transformación de aquellas bajo la acción del intemperismo. La composición esencial de la roca madre está integrada por la caliza y la margita, la andesita, el basalto, la riolita y la traquita, el granito y la pizarra cristalina (INEGI, 1987).

La Mixteca baja se caracteriza por una topografía fuertemente accidentada (Figura 1), cuyas geoformas predominantes son las denominadas cerriles (pendientes de 8-30%) y terrenos montañosos (pendientes mayores de 30%), así como pequeñas llanuras aluviales (pendientes de 0-8%) De acuerdo con los rangos de altura, el 24% del territorio se encuentra a 900-1 000 msnm y el 76% restante se encuentra a 1 001-1 500 msnm. (INEGI, 1987).

La región se caracteriza por un clima cálido seco y los suelos más abundantes, según la clasificación FAO-UNESCO, corresponden a Regosoles, Feozems, Cambisoles y Fluvisoles, caracterizados, en general, por ser suelos someros, alcalinos, con una fertilidad limitada (INEGI, 1987).



Figura 1. Paisaje típico de la Mixteca baja poblana

Los Regosoles son los suelos predominantes. Su origen es residual y coluvial. Son muy parecidos al material del que se originan y su color es gris pardo o amarillento; en la capa superficial, la materia orgánica aportada por la vegetación natural (bosques y selvas), no ha tenido todavía una marcada influencia. La textura que presentan puede ser arenosa, loamosa o arcillosa. Su reacción varía de ligeramente alcalinos a alcalinos (pH entre 7,7 y 8,1). Los contenidos de cationes cambiables Ca, Mg y K son muy altos, moderados y bajos,

respectivamente, mientras que el P resulta retenido en formas no asimilables dado el pH alcalino predominante. Estas características les confiere una fertilidad de media a baja a dichos suelos, pero su utilización se ve limitada, ya que, en gran parte, se presentan en la fase lítica (roca a menos de 59 cm de profundidad), razón por la cual son suelos de uso ganadero, fundamentalmente como agostaderos (Ortiz, 2007).

Los Feozems son suelos someros pues están limitados por una fase lítica. Presentan colores pardos oscuros o grises en la parte superficial, que cambian a pardos amarillentos o pardos rojizos a medida que aumenta la profundidad. La textura que domina es loam arcillo-arenosa, pero también se presentan texturas limo-arenosas y limo-arcillosas en los horizontes superficiales, las cuales propician un drenaje interno de moderado a lento. Este tipo de suelos se presenta en angostas franjas, generalmente en la rivera de algunos ríos como el Acatlán y el Mixteco, y presentan fase gravosa (fragmentos de roca o tepetate menores de 7,5 cm de diámetro en el suelo). Son suelos que también se localizan en las áreas de lomerío, principalmente bajo uso agrícola (Ortiz, 2007).

En la Mixteca baja poblana predomina la Selva baja caducifolia (Sbc), ocupando 566 500 hectáreas, que representa el 26,6% de su superficie (INIF, 1978). La característica fundamental de esta formación vegetal consiste en que la mayoría de las especies arborescentes dominantes pierden sus hojas durante la época seca del año, lapso que varía de 6 a 9 meses, dependiendo de la disponibilidad de humedad.

Generalmente se compone de árboles y arbustos cuyos diámetros no sobrepasan los 50 cm y alturas no mayores de 15 m (Figura 2). Este tipo de vegetación se encuentra en suelos pedregosos someros y, a menudo, se localiza sobre laderas de fuertes pendientes (Ortiz y col., 2010). Trejo (1995) reporta a la Sbc, también denominada Bosque tropical caducifolio, como el tipo de comunidad vegetal más extensa que ocupa una inmensa superficie desde el norte de Panamá hasta el noroeste de México, comprendiendo aproximadamente el 8% de este último territorio (Maser y col., 1992; Challenger, 1998).



Figura 2. La Selva baja caducifolia (Sbc), vegetación predominante en la Mixteca baja poblana

En la región Mixteca, desde la época prehispánica, la Sbc ha constituido la fuente fundamental de leña, alimentos, forraje, medicinas y otros productos para las comunidades campesinas; sin embargo, la extracción excesiva de recursos, y las contradicciones económicas que sufre el país han propiciado que el campesino, en general pobre y con economía de subsistencia, sobreexplota sus recursos, generando la devastación de la vegetación nativa, la pérdida de la biodiversidad y del suelo, propiciando con esto la constante emigración de los campesinos (Ortiz y col., 2010).

En la Selva baja caducifolia la principal asociación vegetal es conocida como “cuajiotal” (del náhuatl cuahuatl = árbol y xiotsl = lepra), a partir de plantas con cortezas papiráceas desprendibles, de coloraciones rojizas, con el predominio de especies pertenecientes al género *Bursera*, entre las que sobresalen *Bursera aloexylon*, *B. jorullensis*, *B. odorata*, *B. morelensis*, *B. longipes*, y *B. submoniliformis*.

Asociadas con el “cuajiotal” se encuentran varias leguminosas que, después del género *Bursera*, son las especies que más abundan, las cuales tienen una gran importancia económica y alimenticia para la población. Entre las mismas se encuentran *Pithecellubium dulce* (guamúchil), *Prosopis laevigata* (mezquite), *Leucaena glauca* (guaje blanco), *Leucaena sculenta* (guaje colorado), *Acacia macrocantha* (cubata), *Acacia farnesiana* (huizache), *Mimosa lacerata* (uña de gato) y *Pithecellobium acatlense* (barba de chivo). Frecuentemente, también se encuentran grupos de especies crasicaules, principalmente de la familia de las *Cactáceae*, tales como *Lemaireocereus weberi* (chico), *Escontria chiotilla* (quiotilla), *Cephalocereus senilis* (viejitos), *Lemaireocereus stellatus*, (xoconoxtle), *Cephalocereus mezcalensis* (gigante) y *Opuntia* spp. (nopales) (Huerta y col., 2009).

La vegetación secundaria más sobresaliente es la que se conoce como “cubatera”, constituida principalmente por *Acacia cochliacanta*, así como la formada por huixpancle (*Acacia macilenta*) y uña de gato (*Mimosa lacerata*), la primera generada a partir de los desmontes y terrenos agrícolas abandonados; la segunda debido al efecto de extracción de postes y leña de las especies arbóreas típicas de la Sbc, así como por el constante pastoreo, principalmente de caprinos (Casas y col., 1994)

También se encuentran algunas otras plantas, localizadas y asociadas con el “cuajiotal”, pero que no son predominantes, como son: *Capparis incana* (palo palomo), *Ceiba parvifolia* (pochote), *Amphypterigium adstringens* (cuachalalate), *Ipomea wolcotiana* (cazahuate negro), *Jacarantia mexicana* (cuahuayote), *Cercidium praecox* (palo verde o retamo), *Swietenia humilis* (zopilote), *Crescentia*

alata (cuatecomate), *Cytorcarpa procera* (chupandia o coco de cerro), *Conzattia multiflora* (palo totole) y otras (Rzedowski, 1978).

A través del inventario florístico de la Selva baja caducifolia se identificaron 101 especies vegetales, 60 que corresponde a árboles y 40 a arbustos, que incluyen a plantas nativas en proceso de domesticación en huertos familiares y parcelas agrícolas (Camacho, 1999), de las cuales cinco son predominantes: guaje verde (*Leucaena leucocephala*), cuatomate (*Solanum glaucescens*), chiltepín (*Capsicum frutescens*), ciruela (*Spondias purpurea*) y cuahuayote (*Jacarantia mexicana*) (Ortiz y col., 2010).

2.2 - Plantas nativas útiles de la Mixteca baja poblana

El conocimiento de las especies vegetales comestibles es restringido y solo 3 000 de ellas han sido utilizadas para este fin a lo largo de la historia de la humanidad, las que se encuentran en estado avanzado de domesticación. Las investigaciones etnobotánicas han documentado en México alrededor de 7 000 especies de plantas útiles, de las cuales alrededor de 200 son nativas, 10% de ellas consideradas de mayor importancia (Rzedowski, 1978). Así, el hombre ha creado una dependencia de las plantas que cultiva como alimento, y que constituyen un grupo restringido.

Si se toma en cuenta que México es el cuarto país a nivel mundial en diversidad de flora y fauna, es paradójico reconocer que muchas especies de importancia regional, que tienen demanda y valor económico no son tomadas en cuenta por los investigadores, a pesar que, durante muchos milenios, las culturas autóctonas las han utilizado. Sin embargo, los recursos genéticos producidos por la selección y mejora tradicional de plantas y recolectados en los campos están destinados básicamente al autoconsumo y en ocasiones al intercambio económico. Cuando estos recursos genéticos tradicionales entran al mercado, son castigados al ponerles precios monopólicos a través de un sistema de patentes (Huerta y col., 2009).

Las plantas nativas también llamadas especies nativas, especies autóctonas o especies indígenas, son aquellas especies de flora que pertenecen a una región o ecosistemas determinados, es decir, que crecen en el área biogeográfica de donde son originarias, y que, durante miles de años, se han ido adaptando a las condiciones del suelo y a las condiciones ambientales de una determinada región geográfica. Aunque muchas especies nativas locales son consideradas de poco valor comercial, poseen gran valor ecológico y, además de ser utilizadas con fines de reforestación, algunas tienen un gran potencial como plantas ornamentales, frutales, medicinales o forrajeras. Además, la reintroducción de especies nativas se justifica porque a pesar de que parece muy costosa inicialmente, a largo plazo resulta económicamente más rentable, al garantizar su mantenimiento permanente en cultivo, desplazando gradualmente a la ganadería en el sureste de México (Ricker y Dali, 1998).

2.2.1 - El cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.)

La especie cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) fue localizada por los pobladores entre “cuajiotales” de la Mixteca baja poblana, y es una planta que se encuentra en forma silvestre en el Estado de Puebla, en los municipios de Izúcar de Matamoros, Tehuizingo, Acatlán de Osorio, San Pablo Anicano, Chiautla de Tapia, Izcamilpa de Guerrero, Tecamatlán, Xayacatlán de Bravo, Tulcingo del Valle, Chila de la Sal, Petlalcingo, Coyoacán, Axutla, Chinantla y Guadalupe Victoria (Vargas, 1998).

El cuatomate es una planta arbustiva perenne, caducifolia, de hábito trepador a tutores naturales, con requerimientos bajo de luminosidad y de suelos fértiles. En pequeños huertos, donde está establecido como monocultivo, hay indicios de plagas que lo atacan (gusano del fruto, falso medidor, caracol, pulgón, mosquita blanca y cochinilla) y las enfermedades que se observan con mayor frecuencia para esta especie son la pudrición de la raíz y, en la parte foliar, la fumagina y la cenicilla .

La descripción taxonómica de la planta, según Vargas (1998), es la siguiente:

Reino: Vegetal

Subreino: Embriophyta

Clase: Dicotiledoneae

Orden: Solanales

Familia: *Solanaceae*

Subfamilia: *Solanoideae*

Tribu: *Solaneae*

Genero: *Solanum*

Especie: *glaucescens* Zucc.

Botánicamente, posee una raíz pivotante, cuya longitud puede alcanzar, aproximadamente, menos de 40-60 cm en los casos de reproducción por semilla (Huerta y col. 2009), mientras para plantas que son reproducidas por estacas la raíz solo alcanza hasta 13 cm (Reyes y col., 2009).

El tallo es de forma cilíndrica, de entrenudos cortos, cada uno de 3-12 cm (Figura 3). Su grosor es variable y al salir una hoja, por encima de ella le salen sus yemas, ya sean florales o vegetativas. Puede alcanzar una longitud de 8 m en su medio natural (López, 1990).



Figura 3. Tallo de cuatomate (*Solanum glaucescens*)

La hoja presenta diferentes longitudes de lámina foliar extendida, en función del ambiente dominante (Figura 4). El largo de la hoja oscila entre 14 y 16 cm, con un ancho de 4,5 a 6,5 cm. El color del haz es verde castaño y el del envés es blanquecino, con espinas en la nervadura central (Vargas, 1998).



Figura 4. Hojas de cuatomate (*Solanum glaucescens*)

Respecto a las flores, la inflorescencia es cimosa, ya sea axilar o terminal. Antes de cada inflorescencia existe un brote vegetativo (Figura 5). La flor presenta cinco estambres, uno de ellos más largo que los cuatro restantes. La longitud de las anteras va de 5,5 a 7,5 mm desde la base de la flor, y el estambre más grande tiene de 2 a 2,5 mm, siendo más largo que los normales (Vargas, 1998).



Figura 5. Inflorescencia (flores masculinas) de cuatomate (*Solanum glaucescens*)

Algunas flores son hermafroditas homógamas (autoestériles), liberando y aceptando polen al mismo tiempo; sin embargo, hay mecanismos morfológicos (autoincompatibilidad heteromórfica) y fisiológicos (incompatibilidad homomórfica) que previenen la autopolinización, la autofertilización o el desarrollo de la semilla. La autoincompatibilidad es controlada por los genes de autoincompatibilidad, cuyo efecto es determinado, a veces, vía alelos múltiples. La autoincompatibilidad heteromórfica está caracterizada por diferencias en la estructura floral, que refuerzan la polinización cruzada. Esta especie presenta dimorfismo, llamado esterostilia¹, siendo uno de los problemas actuales que la gran mayoría de los productores enfrenta cuando el proceso de reproducción se realiza mediante la vía sexual.

En el cuatomate se pueden diferenciar frutos de dos colores, blanco y verde (Figura 6), ya sea verde oscuro o verde claro, con leves manchas blancas en la base del fruto (Hernández, 1988).



Figura 6. Frutos de cuatomate (*Solanum glaucescens*)

¹ Fenómeno en virtud del cual ciertas especies de plantas poseen dos o tres clases de individuos cuyos estilos tienen diferente longitud, al paso que varía también la de los estambres (Font, 1970).

Según este mismo autor, la planta, en su primera fructificación produce de 5 a 8 frutos y, a partir del segundo año, fructifica alcanzando su máxima potencialidad. El producto es comercial cuando la textura del fruto es verde y la pulpa de color blanquesino. Al alcanzar la madurez fisiológica, el fruto va adquiriendo una coloración naranja y va perdiendo su consistencia. De acuerdo a sus características, el fruto puede ser almacenado y transportado en cubetas o costales, ya que tiene una buena consistencia y su vida en anaquel es de 20 a 30 días. En la vida silvestre empieza su floración en el mes de julio y termina en los meses de octubre o noviembre. El tiempo que tarda del inicio de la floración hasta el punto o momento de cosecha es de 3-4 semanas.

El fruto es comestible solo cuando está verde, para poder degustar su sabor típico. Se emplea para elaborar guisados² típicos de la región, entre ellos caldo de verduras y salsa³ de cuatomate acompañados de chiltepín (*Capsicum frutescens*). Aquellas flores que no son productivas (masculinas) se emplean en la elaboración de caldos.

La semilla es campilotropa, biconvexa, reniforme, con escotadura en la zona hilar y con el canto de la semilla más engrosado en esta zona, de color rosa pálido. La aparente irregularidad de la superficie seminal es debida a la presencia de falsos pelos (Hernández, 1988).

López (1992) observó que, en condiciones naturales, el periodo de reproducción de la planta es estacional y está restringido a los meses de agosto- septiembre, alcanzando rendimientos de 7 a 8 kg de fruto por planta. Al propagar la especie en forma sexual, Luna (1995) observó que solo el 40% de las plantas fueron fértiles, llamadas hermafroditas, y el resto, 60%, eran masculinas. Esto solo fue posible por medio del sexado en la floración, a los 5-7 meses después de la germinación, cuando aparecieron las primeras flores.

² Es la preparación para alimento caldoso, con tomate, chile, sal agua y agregando frutos tiernos de cuatomate.

³ Composición líquida de la mezcla de chile, sal y cuatomate tierno.

Eslaba y Linares (1998) evaluaron el efecto de distintos enraizadores (Radix 1500 y 10000) sobre estacas de cuatomate. Hallaron prendimiento de yema en un 40% de las plantas, pero sin prendimiento de raíces. Sin embargo, Reyes y col., (2009), con el objetivo de comparar dos tipos de sustratos (arena mezclada con vermicomposta y suelo aluvial más composta), usando Radix 1000 en la base de las estacas para los dos casos, obtuvieron como respuesta, un 91% de supervivencia de plantas con la mezcla arena más vermicomposta, mientras que con suelo aluvial más composta solo alcanzó el 78%. Para los demás indicadores evaluados no se encontraron diferencias.

Galaviz (2010), con el objetivo de desarrollar un protocolo que permitiera la reproducción *in vitro* para esta especie, evaluó diferentes concentraciones de ANA y BAP en meristemas apicales, así como estandarizó la técnica de propagación *in vitro*. Como resultado, obtuvo los primeros explantes y logró la supervivencia hasta la fase de aclimatación, pero se considera que dicha técnica de micropropagación es incipiente aún.

2.2.2 - El cuahuayote (*Jacarantia mexicana*)

Nombre vulgar: bonete, papaya orejona, kumche (lengua maya) cuahuayote, calabaza de árbol (en la lengua azteca).

La *Jacarantia mexicana* es una especie arbórea nativa del neotrópico y originaria de México (Rzedowski, 1978), típica de la Selva baja caducifolia. Debido a la destrucción masiva de su hábitat y a la imposibilidad de la regeneración natural de la especie, está limitada la multiplicación y distribución de la misma, colocándose entre las especies al borde de la extinción. Cabe destacar las múltiples e innumerables cualidades utilitarias que se le confieren a esta especie (Zulueta, 2003) en la Mixteca baja poblana. El fruto tierno de esta especie se consume en guisado⁴, con chile guajillo y el fruto maduro se come crudo. La semilla es secada

⁴ Es la preparación para alimento caldoso, con tomate, chile, sal agua y trozos de cuahuayote.

y preparada con sal y limón para su consumo, acompañando al alimento o en forma de botanas (Huerta y col., 2009).



Figura 7. Planta de cuahuayote (*Jacarantia mexicana*)

Es un árbol grande de la tierra caliente, de 5 a 12 m de altura (Figura 7) y de tallo muy grueso en la base, que produce un fruto semejante a la papaya. Su tronco es cónico y ramificado, cubierto de una epidermis gris y provista de una médula muy gruesa; su madera es poco consistente. Presenta hojas alternas, con peciolo delgado, digitadas, compuestas de siete folíolos acuminados; el central es mayor que los otros, midiendo unos 10 cm de largo por 6 cm de ancho. Las flores masculinas están en racimos compuestos, axilares y terminales; el cáliz es pequeño, pubescente y con cinco divisiones; la corola mide unos 22 mm de largo y

es de color amarillo pálido y presenta cinco divisiones; los estambres son diez, de los cuales cinco llevan filamentos pelosos, de 2 mm, y los otros cinco, con filamentos más cortos y anteras mayores que los otros, llevan un ovario rudimentario (Noriega y col., 2002).

Las flores femeninas están en diferentes árboles, pues la planta es dioica. Son terminales y más grandes que las masculinas, provistas de cinco pétalos verdosos. La planta florece de diciembre a febrero (Lomeli, 1998) y el fruto madura en mayo-abril para la Mixteca baja poblana, antes que se renueven sus hojas (Huerta y col., 2009).

El fruto es una baya carnosa, péndula, de 15 hasta 30 cm de largo por 10-12 cm de ancho; oblongo o cónico, con cinco costillas que llevan en la base otros tantos apéndices, particularidad por la cual se le ha dado el nombre de bonete. Unos tienen costillas rectas y otros curvas. Su color es verdoso con manchas rojizas. La pulpa es pastosa y comestible, aunque menos agradable que la de la papaya, y cuando está verde produce latex, lo mismo que esta. Se utiliza para hacer dulces y conservas.

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados de los análisis químicos del fruto y de los contenidos de nutrientes en diferentes tejidos de la planta, respectivamente.

Tabla 1. Análisis químico del fruto de *Jacarantia mexicana* (Noriega y col., 2002)

Componente	%
Humedad	87,80
Cenizas	1,04
Proteínas	1,62
Extracto etéreo (grasa)	0,11
Fibras crudas (celulosa)	1,55
Carbohidratos totales asimilables	7,88

Tabla 2. Contenido de NKP en algunos tejidos de *Jacarantia mexicana* (Noriega y col., 2002)

Tejido	N total (%)	P total (%)	K total (%)
Hojas	0,75 - 3,62	0,04- 0,20	nd
Floema	0,95	0,60	5,44
Xilema	0,59	0,31	1,83
Flor masculina	3,45	0,55	4,30
Flor femenina	4,74	0,75	3,20
Frutos	0,57 – 2,47	0,10 – 0,28	0,26 – 2,99
Semillas	3,58	0,86	1,57

Las semillas son rugosas, negras, provistas de un arilo. La médula del tallo puede rayarse como la de la papaya, y es comestible. Los indios mayas, en épocas de carestía, mezclaban la rayadura con la masa del maíz para hacer la tortilla (Martínez, 1959). Cada fruto puede producir, aproximadamente, 500 semillas, de 4 a 8 mm de largo y 2 a 5 mm de diámetro, ovoides o subglobosas; esclerotesta lisa o rugosa. El porcentaje de germinación es muy variado, según su manejo.

2.3 – Las asociaciones micorrízicas

El término micorriza fue utilizado por primera vez en 1885 por el botánico de origen alemán Albert Bernard Frank para designar la asociación de hifas de determinados hongos a los órganos subterráneos de las plantas superiores. Etimológicamente, la palabra se ha formado del término griego “mycos” (hongo) y del vocablo latino “rhiza” (raíz) (Rivera y col., 2003)

Las micorrizas se agrupan en tres grupos tomando en cuenta sus características morfoanatómicas y estructurales.

Ectomicorrizas. Las ectomicorrizas se aprecian a simple vista debido a la típica capa o manto de hifas que tejen alrededor de las raíces que colonizan. A partir de esta estructura, las hifas se introducen entre las células de la corteza, sin llegar nunca a penetrarlas y forman de esta manera la red de Harting, ocasionando diversos cambios anatómicos (Garrido, 1988; Strullu, 1991).

Este tipo de micorriza se presenta mayoritariamente en especies arbóreas de interés económico de las familias *Fagaceae*, *Pinaceae* y *Betulaceae*. Sin embargo, se consideran de distribución restringida, principalmente en regiones templadas, presentando una baja frecuencia en los trópicos (Molina y col., 1992).

Ectendomicorrizas. Son básicamente ectomicorrizas, pero con penetración intracelular. Existen diferencias anatómicas en función de la planta hospedera, de manera que se diferencian los subgrupos de las *Pinaceae* y de las *Ericales* (géneros *Arbutus* y *Monotropa*; micorrizas arbutoides) según Molina y col. (1992) y Cuesta (2003).

Endomicorrizas. Estas no son detectadas visiblemente y forman una red externa de hifas menos profusa que la anterior, pero que penetran el interior de las células corticales sin llegar a colonizar el endodermo. Se propagan a través de las raicillas colonizadas, las hifas y las esporas. Este grupo es el más difundido en el planeta y está dividido en varios subtipos, de los cuales, el más representativo e importante es el arbuscular, y cuyos protagonistas son un grupo de zigomicetos pertenecientes al orden Glomales (Rivera y col., 2003).

Las micorrizas arbusculares representan la simbiosis vegetal más extendida sobre el planeta. De acuerdo con Gerdemann (1975), con la excepción de las familias de plantas básicamente ectomicorrizógenas (*Fagaceae*, *Betulaceae* y *Pinaceae*), las que forman endomicorrizas ericoides y orquidoides, y unas pocas familias de plantas no reportadas como micorrizógenas (*Chenopodiaceae*, *Cruciferaeae*, *Fumariaceae*, *Cyperaceae*, *Commelinaceae*, *Urticaceae* y *Polygonaceae*), la vasta mayoría de las especies restantes forma micorrizas arbusculares.

Geográficamente, las micorrizas de este tipo se han reportado desde el Ártico hasta los trópicos, lo que, unido a su amplio espectro de hospederos, hace que muy pocos ambientes naturales no contengan especies con este tipo de simbiosis, siendo las excepciones las plantas que crecen en ambientes acuáticos y los bosques monoespecíficos densos, estrictamente ectomicorrizógenos (Trappe, 1987).

La dependencia micorrizógena es una propiedad intrínseca de las plantas. Estas pueden ser dependientes obligadas o facultativas de la micorrización, lo cual está definido por su habilidad de crecer con y sin hongos micorrízicos en diferentes niveles de fertilidad del suelo. Por ejemplo, en condiciones tropicales, la baja concentración de fósforo en la solución del suelo frecuentemente limita el crecimiento de las plantas, y se señala que uno de los principales efectos de la micorrización es favorecer la obtención de este nutriente por las plantas. Así, plantas que no crecen sin micorrizar a niveles de P de 100 $\mu\text{g/g}$ de suelo (suelo muy fértil), se consideran dependientes obligadas de la micorrización (Siqueira y Franco, 1988).

Por lo general, las plantas con un sistema radical extenso son altamente dependientes de la micorrización; en este caso se encuentran la mayoría de las leguminosas tropicales. Adicionalmente, la dependencia micorrizógena es correlacionada con la morfología de los pelos radicales; las plantas con alta densidad de pelos radicales son menos dependientes de la micorrización que aquellas que los presentan pocos y cortos (Sieverding, 1991).

La dependencia micorrizógena no debe ser confundida con la respuesta del hospedero a los hongos micorrízicos. La respuesta a la micorrización depende de la fertilidad del suelo y está influenciada por las dos entidades envueltas en la micorriza, constituyendo una medida de la efectividad del hongo en la simbiosis, por lo que una planta micotrófica obligada puede mostrar desde una baja hasta una alta respuesta a la micorrización, lo que ocurre de igual forma con las plantas micotróficas facultativas (Siqueira y Franco, 1988; Rivera y col., 2003).

2.3.1 – Efectos de la micorrización sobre el desarrollo de las plantas

Numerosas investigaciones realizadas hasta el momento han mostrado que los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), pueden ser determinantes en la comunidad vegetal, al afectar directa o indirectamente la capacidad de crecimiento y vigorosidad de las plantas (Zulueta, 2003). Así, diferentes autores han destacado que las asociaciones micorrízicas son de gran importancia para el incremento productivo de las plantas en países tropicales (Rubio y col. 2002; Tanaka y Yano, 2005), dado que estos hongos aportan muchos beneficios a su cosimbionte, dentro de los cuales se encuentran:

- Incrementan el volumen de suelo que puede ser explorado (Augé, 2004), ya que los micelios son muy importantes en la captación y transporte de nutrientes y agua hacia la planta (Faber y col., 1991; Sánchez y Honrubia, 1994).
- Reducción de la tensión fisiológica causada por microorganismos patógenos de la raíz (Azcón Aguilar y col., 1992; Linderman, 1992).
- Favorecen el desarrollo de la parte epígea de la planta hospedera, optimizando el proceso fotosintético y por tanto, el crecimiento y supervivencia del vegetal (Eissenstat y Newman, 1990).
- Influyen favorablemente en la dinámica de las comunidades y en la composición de especies microbianas en el suelo (Castillo, 2005), al establecerse microorganismos diazotróficos, mineralizadores y solubilizadores de nutrientes en la micorrizosfera. Se ha demostrado que dichas interacciones microbianas pueden determinar la biodiversidad de las plantas y dirigir las funciones del ecosistema tales como productividad y variabilidad (Van der Heijden y col., 1998).
- Aumentan la capacidad absortiva de las raíces, proporcionan hormonas estimuladoras del crecimiento de las plantas, que incluye auxinas, citoquininas y giberelinas y promueven modificaciones morfológicas y fisiológicas en las raíces.
- Utilizan los nutrientes que se encuentran en formas no disponibles en el suelo, a través de modificaciones en la dinámica del equilibrio de nutrientes entre la fase sólida y líquida del suelo al almacenar temporalmente los nutrientes en la biomasa

micorrízica, contribuyendo a la reducción de la inmovilización causada por las reacciones de adsorción en los coloides del suelo, la precipitación y las pérdidas por lavado.

- Favorecen, en suelos salinos, la tolerancia y el crecimiento de la planta en casos de salinidad (Entry y col., 2002; Yano Melo y col., 2003; Carvalho y col., 2004; Wang y col., 2004; García y col., 2007).

En sentido general, la simbiosis micorrízica tiene un efecto beneficioso sobre el crecimiento y la productividad de la mayoría de los cultivos (Harley y Smith, 1983; Siqueira y Franco, 1988; Fernández, 1999; Rivera y col., 2003).

2.3.2 – La micorrización en el manejo de ambientes semiáridos

Los ecosistemas semiáridos se caracterizan por una precipitación baja e irregular a lo largo del año con periodos de sequía recurrentes, durante los cuales las comunidades vegetales se ven sometidas a situaciones de elevado estrés hídrico. Los organismos que habitan en estos ecosistemas han desarrollado estrategias para superar estas condiciones adversas. En muchos casos establecen interacciones entre plantas y especies de HMA de manera que consiguen un mayor aprovechamiento del agua disponible. Por ejemplo, las especies de HMA adaptados a suelos áridos captan de manera más eficaz los nutrientes y el agua en condiciones de sequía, ayudando a las plantas a superar las condiciones adversas y jugando un papel fundamental en la estructura, diversidad y funcionamiento de las comunidades vegetales (Allen y col., 1998; Allen, 2007).

Dos fenómenos característicos de los ecosistemas semiáridos, que mantienen la humedad del suelo, son la formación de islas de recursos y la redistribución hídrica. En este tipo de ecosistemas la vegetación se distribuye de manera parcheada, creando islas de acumulación de recursos (Pugnaire y col., 1996) donde la red de micelio externo de HMA es muy abundante (Azcón- Aguilar y col., 2003) y juega un papel decisivo en la facilitación entre plantas (Moore y Zobel, 2009). Se ha demostrado que esta red es el principal recurso de inoculación micorrízica de las plántulas en zonas áridas (Requena y col., 1996; Bashan y col.,

2000) lo que facilita su establecimiento y favorece la captación de agua y nutrientes del suelo (Allen y Allen, 1990; Carrillo y Peredo, 1992).

Muy recientemente se ha observado que los cambios en la disponibilidad hídrica pueden provocar grandes variaciones en el estado micorrízico de las plantas. Las raíces de ciertas especies de los géneros *Quercus*, *Eucalyptus*, *Populus* y otros pueden pasar de estar predominantemente colonizadas por ectomicorrizas, durante periodos húmedos, a estar predominantemente colonizadas por HMA, durante periodos de sequía severa (Querejeta y col., 2009),

Lopez (2010), en un estudio realizado en el municipio de Tecomatlan (México), con la finalidad de recuperar los suelos degradados, implementó la reforestación con guaje (*Leucaena esculenta*) inoculado con 3 g de inoculante micorrízico basado en la cepa de HMA *Glomus hoi*-like y un testigo sin inocular, pudiendo observar, a los 12 meses del trasplante, una mayor supervivencia (69,90%) en aquellas plantas inoculadas, en comparación con el testigo (51,42%). De igual forma, la altura de las plantas al 4to mes fue superior en la variante inculada con HMA en comparación con el testigo.

Otros beneficios de la micorrización incluyen un mayor enraizamiento de estacas, incrementos en la regeneración de raíces, aumento de la tolerancia a las sales y reducción del estrés producido por la sequía. Algunos de estos atributos benéficos de las micorrizas pueden ser importantes en el manejo de viveros, mientras que otros son importantes para la supervivencia de las plantas una vez que han sido llevadas al campo (Linderman, 1996). Además, los productores en condiciones de vivero deberán estar conscientes de la interacción de las micorrizas con las enfermedades como otro aspecto de importancia: Las micorrizas protegen a las plantas contra muchos tipos de patógenos, directamente mediante la inducción en estas de mecanismos de defensa (De la Noval, 2008), e indirectamente debido a los beneficios de un crecimiento más vigoroso (Schenck y Smith, 1982).

Las plantas que no están micorrizadas comúnmente, crecen bien en sustratos artificiales, siempre y cuando les sean suministrados agua y nutrientes solubles. En este sentido resulta de gran importancia el empleo de sustratos de alta calidad

mediante el empleo de fuentes inorgánicas y orgánicas, en proporciones adecuadas, que garanticen una buena fertilidad del medio que favorezca la colonización micorrízica de las raíces (Lara, 1999; Calderón, 2004). Los pelos absorbentes de las raíces de este tipo de plantas no podrán obtener el agua y los nutrientes de manera adecuada del suelo, una vez plantadas en campo, hasta que formen asociaciones micorrízicas. Se ha observado que las plantas no micorrizadas presentan retraso en el crecimiento y disminución de su supervivencia, al igual que aquellas que fueron inoculadas con hongos ectomicorrízicos “adaptados al vivero”, una vez plantadas en localidades que requieren de un rápido establecimiento para poder sobrevivir (Castellano y Molina, 1989).

De acuerdo a estos mismos autores, independientemente de cómo la inoculación micorrízica afecte el crecimiento en los viveros, las plantas deben establecerse y crecer una vez que han sido plantadas en campo. La inoculación micorrízica puede no producir incremento del crecimiento de las plantas en el vivero, pero pueden proporcionar a éstas una mejor oportunidad para sobrevivir o crecer mejor, una vez que sean trasplantadas.

Un incremento significativo en la supervivencia, la altura del tallo y su diámetro puede justificar el costo de la inoculación. La respuesta post-plantación a la inoculación diferirá en distintos tipos de hábitats, especies de plantas hospedantes y de hongos. En los sitios que son extremadamente difíciles de regenerar (aquellos que han sido reforestados en numerosas ocasiones sin buenos resultados), la supervivencia de las plantas es fundamental (Castellano y Molina, 1989).

Al respecto, numerosas investigaciones han mostrado que los HMA pueden ser determinantes en la funcionalidad y la composición de las comunidades vegetales (Rillig, 2004; Fitter, 2005). Por tal motivo, Ortiz (2007) propone la necesidad de generar alternativas de fácil acceso a los productores para la reproducción y producción de las especies *Solanum glaucescens* y *Jacarantia mexicana* ante la posibilidad de su extinción. En consecuencia, considera que la micorrización

puede ser trascendente en el establecimiento de dichas especies vegetales, aunque hasta el momento no hay reportes de su asociación con estos microorganismos.

III - MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 - Condiciones naturales de la zona estudiada

Los trabajos experimentales se desarrollaron en el municipio de Tecamatlán, ubicado al sur del Estado de Puebla, México (Figura 8). Su localización geográfica lo sitúa entre los paralelos 17°53'18'' y 18°07'24'' de latitud Norte y los meridianos 98°12'42'' y 98°21'54'' de longitud Oeste. Tiene una superficie de 181,5 km² que lo ubica en el 71° lugar con respecto a los demás municipios del Estado (Huerta y col., 2009).

Geológicamente, en la zona predominan las rocas del Jurásico y del Cretácico, en parte metamorfoseadas, que posteriormente han recibido sedimentos (depósitos lacustres y fluviales) en las partes bajas del relieve. La composición esencial de las rocas madres está integrada por andesita, riolita y traquita. El relieve del municipio es montañoso, predominando las elevaciones medias con alturas entre 800 y 1 200 msnm. En general, se manifiestan los suelos de laderas, con pendientes muy fuertes (mayores de 16%) y otras que, aunque son inestables, dan la posibilidad de formas de cultivo (4-16%). (Huerta y col., 2009; Ortiz y col., 2010).

La gran mayoría de estos sitios presentan características desfavorables para el desarrollo de los cultivos, debido a que están sustentados sobre suelos de textura arenosa, pH alcalino (7,6 a 8,2), sin estructura, bajos contenidos de materia orgánica (0,50 a 0,97%), solo presentando horizontes B poco desarrollado y C, siendo suelos poco evolucionados, jóvenes, con alto grado de erosión (Ortiz, 2007). Los suelos que se han formado en estas condiciones son, principalmente, Regosoles y Feozems (Figura 9), de acuerdo a la Clasificación FAO-UNESCO (INEGI, 1987).

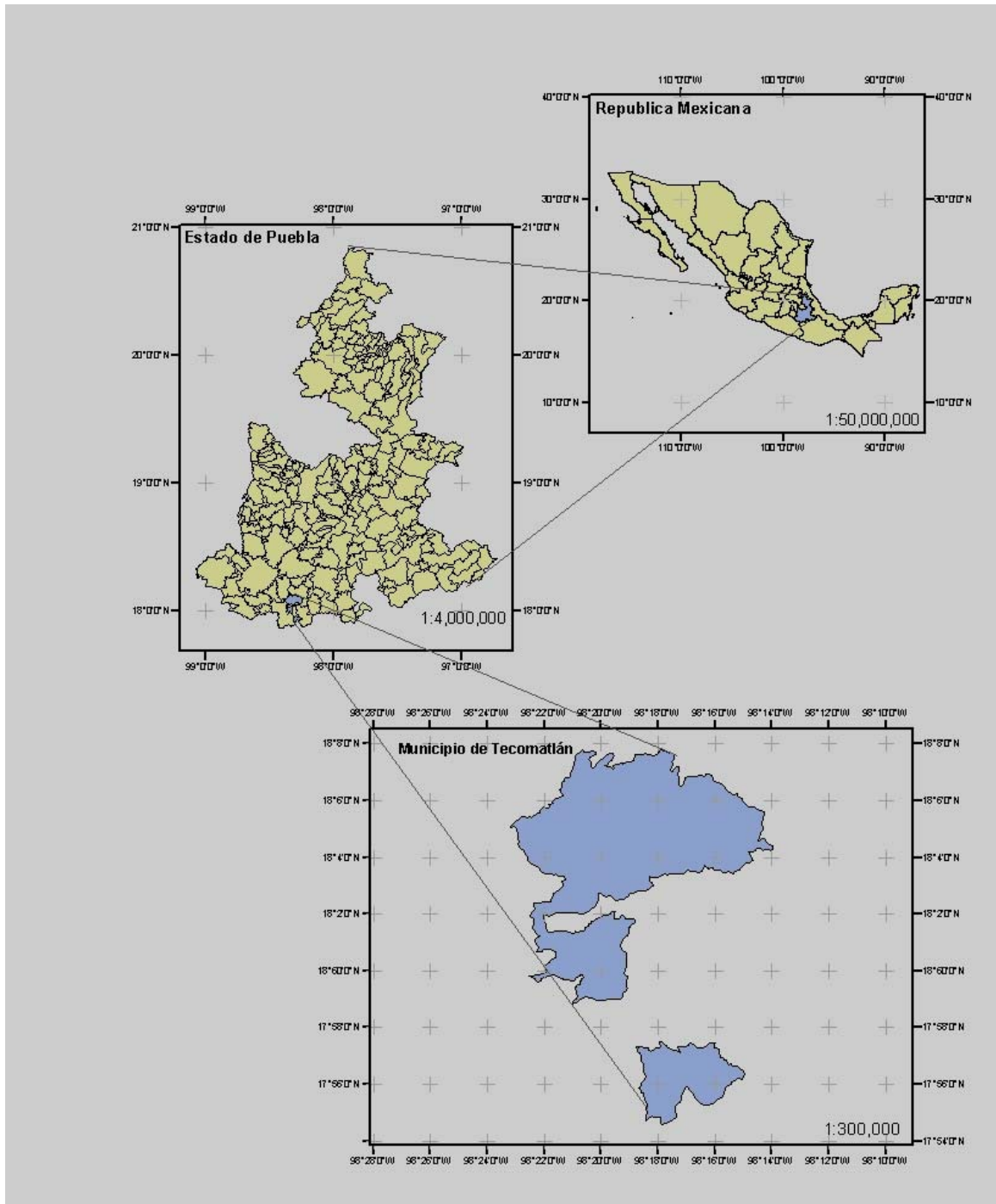


Figura 8. Ubicación geográfica del municipio Tecmatlán

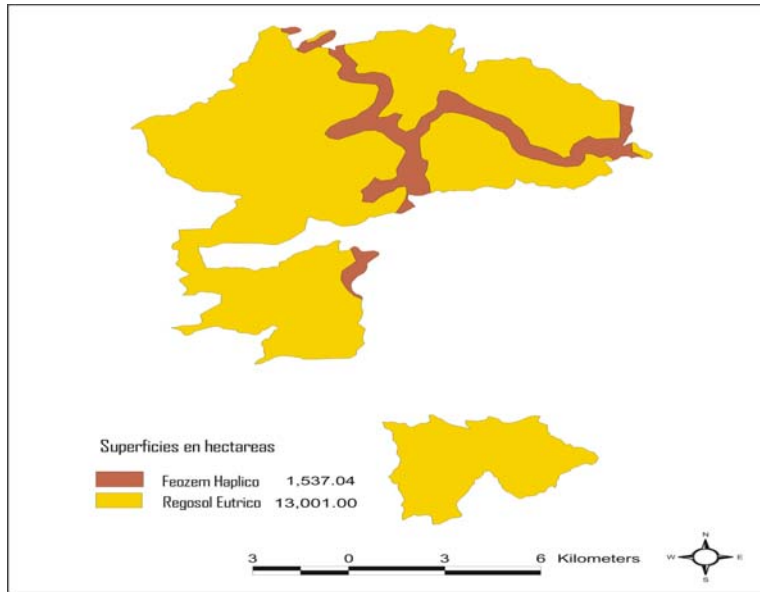


Figura 9. Suelos predominantes en Tecomatlán (INEGI, 1987)

La vegetación natural está transformada en gran medida por el hombre, en parte por cultivos y en parte por vegetación secundaria. Según Huerta y col. (2009), la deforestación y el cultivo continuado trajeron como consecuencia la manifestación del proceso de erosión en los suelos, con predominio de la erosión hídrica (Figura 10).

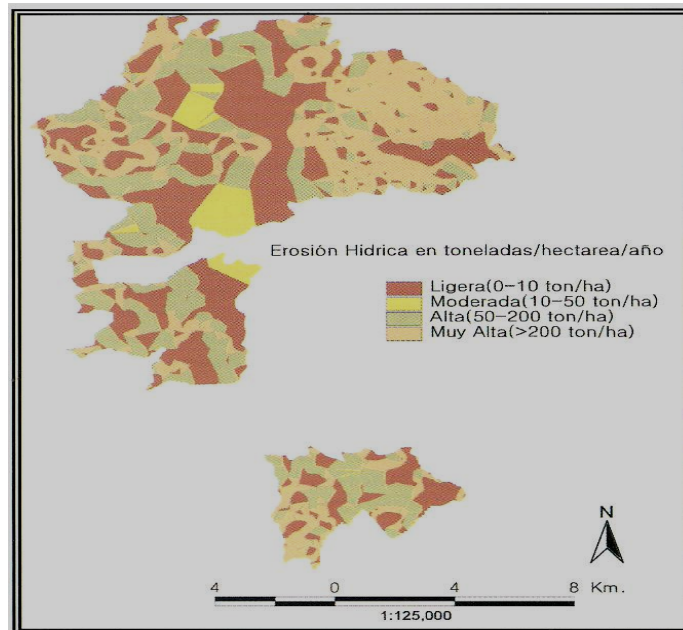


Figura 10. Erosión hídrica en Tecomatlán (Huerta y col., 2009)

Están representados cuatro tipos de climas, según la clasificación de Koppen con modificaciones para México (García, 1973, citado por Huerta y col., 2009), el cálido seco [BS1(h¹w)], que ocupa el 84,8% de la superficie del municipio, el cálido subhúmedo [Awo], el templado seco [BS1hw] y el templado subhúmedo [(A)C(w1)]. Como se muestra en el climagrama para el municipio (Figura 11), el promedio anual de lluvia es de unos 750 mm, con dos periodos bien diferenciados; seco (de octubre a mayo) y lluvioso (de junio a septiembre), con una temperatura media anual de 32-33°C.

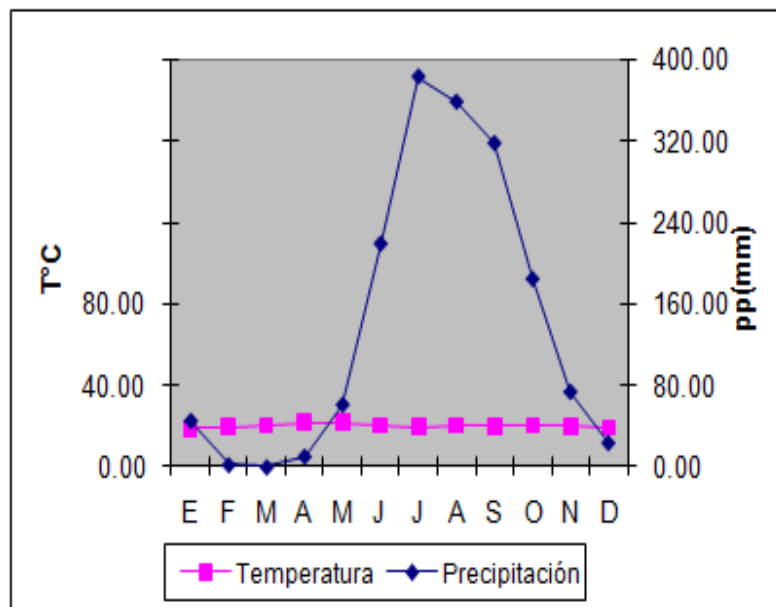


Figura 11 – Climagrama del municipio de Tecmatlán (Huerta y col., 2009)

3.2 – Actualización de la caracterización de los suelos de la zona

A los efectos de su mejor utilización y manejo, se puso al día la caracterización de los suelos de la zona de Tecmatlán, aplicando la clasificación de suelos WRB - World Reference Base- (IUSS, 2008). Para ello se estudiaron 4 perfiles, ubicados en terrenos de productores y representativos de los suelos predominantes en el área (INEGI, 1987), los que fueron descritos según el Manual para la Cartografía Detallada y Evaluación Integral de los Suelos (Hernández y col., 1995).

La composición mecánica se determinó por el método de Bouyoucos, utilizando pirofosfato de sodio para destruir la materia orgánica y, a partir de los porcentajes de partículas, se estableció la textura siguiendo el triángulo textural. El color de los horizontes en cada perfil fue determinado por la Tabla de Colores Munsell.

Complementariamente, se muestreó la capa superficial (0-20 cm) cada perfil y se determinaron las siguientes características, en los laboratorios de la Universidad Autónoma de Chapingo:

- pH en agua, potenciométricamente, con relación suelo-agua 1:2
- Nitrógeno total, por el método Kjeldahl
- Potasio y calcio cambiables, por extracción con NH_4Ac . 1N y determinación por espectrometría de absorción atómica
- Fósforo asimilable, por el método de Olsen

3.3 – Procedimiento experimental

De acuerdo a los problemas que presenta la propagación de las plantas en estudio, cuatomate (*Solanum glaucescens* y cuahuayote (*Jacarantia mexicana*), ya descritos en epígrafes previos (2.2.1 y 2.2.2), y para evaluar el efecto de la inoculación con HMA, sola o combinada con otras prácticas que pudieran favorecer la multiplicación del material de siembra sexual y asexual de dichas especies, se realizaron 3 experimentos de vivero en condiciones de casa de cultivo semicontrolado ubicada en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tecamatlán, durante el periodo noviembre 2009 a agosto 2010.

3.3.1 - Preparación del sustrato y las semillas y atenciones culturales

Para la preparación del sustrato empleado en los tres experimentos se utilizó un suelo Regosol, según la clasificación FAO–UNESCO (INEGI, 1987), predominante en la zona (ver Figura 9), cuyas principales características químicas se muestran en la Tabla 3, mezclado con vermicomposta fresca a diferentes proporciones

según el experimento. En la Tabla 4 se muestran las principales características químicas del sustrato para la proporción suelo-vermicomposta: 1-1.

Tabla 3. Principales características químicas del suelo utilizado en la preparación del sustrato empleado en los experimentos

pH	M.O. %	P mg.kg⁻¹	K mg.kg⁻¹	Ca mg.kg⁻¹
7,9	0,60	26	378	3 121

Tabla 4. Principales características química del sustrato utilizado en los experimentos, para la proporción suelo-vermicomposta: 1-1

pH	M.O %	P mg.kg⁻¹	K mg.kg⁻¹	Ca mg.kg⁻¹
8,1	8,2	35	453	5 421

Los sustratos empleados fueron esterilizados con solución de formaldehído al 5% por 5 días, y posterior lavado con agua corriente hasta la eliminación de los restos del producto. A continuación, se procedió al llenado de bolsas de polietileno de 800 g de capacidad con sustrato esterilizado.

Las semillas utilizadas también fueron esterilizadas con una solución de hipoclorito de sodio al 10%, durante 5 minutos para el cuatomate y durante 10 minutos para el cuahuayote (Ortega y Rodés, 1986), y posterior lavado con agua corriente antes de ser sembradas.

Se realizaron las labores culturales necesarias para garantizar que los experimentos se mantuvieran libres de malezas y las plantas dispusieran del agua requerida para su germinación y normal desarrollo.

3.3.2 - Inoculación con HMA y manejo del material de siembra

En el Experimento 1, con semillas de cuatomate, se aplicaron 2 o 5 g, según el tratamiento, de inoculante micorrízico en cada bolsa, en el orificio donde fueron depositadas posteriormente 2 semillas. En este experimento se aplicó, adicionalmente y en 2 tratamientos, una solución del bioestimulante BioVeg (a partir del análogo de brasinoesteroide Biobras 16), a una dosis de 0,5 mL⁻¹ de agua, la que fue asperjada a los 30 días después de la siembra.

En el Experimento 2, también en cuatomate, el procedimiento fue similar al seguido en el experimento 1 pero aplicando 3 g del inoculante micorrízico, y a continuación se plantaron los propágulos (estacas) de la planta, a razón de 1 por bolsa.

Para el Experimento 3, con semillas de cuahuayote, la inoculación con HMA se hizo en el momento de la siembra mediante la metodología del recubrimiento de la semilla (Fernández y col., 1999), en relación 1:10 (1 g de inóculo por 10 g de semilla), empleando agua como humectante.

En los tres experimentos el inóculo utilizado fue de la cepa de HMA *Glomus hoi-like*, procedente del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) de Cuba, con categoría comercial (mínimo 20 esporas.g⁻¹ de inóculo). Todo el proceso de inoculación se efectuó a la sombra para evitar que la incidencia de los rayos solares afectara la calidad biológica del producto.

3.3.3 - Descripción de los experimentos

Experimento 1. Efectos de la inoculación con HMA y un bioestimulante en el crecimiento de plántulas del cuatomate.

Se evaluaron 5 tratamientos que incluían el empleo de HMA a dos dosis y de un bioestimulador (BioVeg) en semillas de cuatomate, según el siguiente esquema experimental:

Tratamiento	Variantes estudiadas
T1	Sustrato (suelo 50% + vermicomposta 50%)
T2	Sustrato (suelo 50% + vermicomposta 50%) + BioVeg
T3	Sustrato (suelo 50% + vermicomposta 50%) + HMA (2g)
T4	Sustrato (suelo 50% + vermicomposta 50%) + HMA (2g) + BioVeg
T5	Sustrato (suelo 50% + vermicomposta 50%) + HMA (5g)

El diseño empleado fue completamente aleatorizado, con 30 observaciones para cada variante. En cada una de ellas se evaluaron la altura de las plantas, el diámetro y la masa fresca y seca del tallo, el largo de la raíz, la masa seca de la planta y los indicadores de colonización micorrízica, al momento del trasplante (110 días después de la siembra).

Experimento 2. Efectos de la inoculación con HMA y de sustratos con proporciones variables de vermicomposta en la eficiencia de la propagación asexual y el desarrollo radical de plántulas de cuatomate.

Fueron evaluados 10 tratamientos que incluían la inoculación o no con HMA así como diferentes proporciones de suelo y vermicomposta para la preparación del sustrato en el que se plantaron propágulos (estacas) de cuatomate. Dicho material de siembra, de 0,6-0,8 cm de diámetro y 20 cm de longitud, se tomó de plantas madres donadoras, saludables y con un vigor adecuado.

Las variantes evaluadas fueron:

Trat.	Variantes estudiadas	Trat.	Variantes estudiadas
T1	Suelo 100%	T6	Suelo 100% + HMA
T2	Suelo 75% + Vermicomposta 25%	T7	Suelo 75% + Vermicomposta 25% + HMA
T3	Suelo 50% + Vermicomposta 50%	T8	Suelo 50% + Vermicomposta 50% + HMA
T4	Suelo 25% + Vermicomposta 75%	T9	Suelo 25% + Vermicomposta 75% + HMA
T5	Vermicomposta 100%	T10	Vermicomposta 100% + HMA

Se empleó un diseño completamente aleatorizado con 30 observaciones para cada variante, en las cuales se evaluaron el porcentaje de supervivencia, el número de brotes, el largo de la raíz, el volumen radical y los indicadores de colonización micorrízica, al momento del trasplante (60 días después de la plantación).

Experimento 3. Efectos de la inoculación con HMA y el lavado de la semilla en la propagación sexual y el desarrollo de plántulas de cuahuayote.

Se evaluaron 4 tratamientos que alternaban la inoculación o no con HMA y el lavado o no de las semillas con agua corriente, para eliminar material mucilaginoso, según el siguiente esquema:

Tratamientos	Variantes estudiadas
T1	Semilla no lavada
T2	Semilla no lavada + HMA
T3	Semilla lavada
T4	Semilla lavada + HMA

El diseño empleado fue completamente aleatorizado con 20 observaciones por cada variante, donde se evaluaron el porcentaje de supervivencia, la altura de la planta, el número de hojas, el diámetro del tallo y los indicadores de colonización micorrízica, al momento del trasplante (53 días después de la siembra).

3.3.4 - Métodos empleados en la evaluación de los indicadores

Supervivencia de las plantas (%). Mediante cálculo, cuando las plantas estaban listas para su trasplante al campo.

Altura de la planta (cm). Con regla graduada y precisión de 1 mm, en 10 plántulas por tratamiento, midiendo hasta el punto de inserción de la última hoja, al momento del trasplante.

Diámetro del tallo (mm). Utilizando un pie de rey digital, en 10 plántulas por tratamiento, tomando como base el cuello de estas a nivel del terreno, al momento del trasplante.

Longitud de la raíz (cm). Con regla graduada y precisión de 1 mm, en 10 plántulas por tratamiento, tomando la raíz principal.

Numero de hojas (u). Por conteo, en 10 plántulas por tratamiento, tomando como base las primeras hojas verdaderas

Masa fresca (g). Por pesada con balanza analítica, en 10 plántulas por tratamiento, para diferentes órganos, de acuerdo al experimento, al momento del trasplante.

Masa seca (g). Por pesada con balanza analítica, después de permanecer en estufa a 70°C hasta obtener valor constante, en 10 plántulas por tratamiento, para diferentes órganos, de acuerdo al experimento, al momento del trasplante.

Volumen radical (cm³). Por diferencia de volumen, utilizando una probeta graduada, en 10 plántulas por tratamiento, al momento del trasplante.

Indicadores micorrízicos. En las raíces de 3 plántulas por tratamiento, siguiendo el procedimiento de tinción y clareo de raíces propuesto por Phillips y Hayman. El conteo se realizó por el método de los interceptos propuesto por Giovanetti y Mosseae y los porcentajes de colonización y de densidad visual fueron calculados mediante las expresiones descritas por Trouvelot y col. (Medina, 2010). Todas las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Micorrizas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)

3.3.5 - Análisis estadístico.

Los resultados obtenidos para cada indicador evaluado fueron analizados estadísticamente mediante análisis de varianza, de acuerdo al diseño experimental empleado, utilizando el paquete estadístico S.A.S. versión 6.8. En los casos donde se encontraron diferencias significativas, las medias fueron comparadas mediante la dódima de rango múltiple de Tukey, con un nivel de significación del 5% de probabilidad del error.

3.3.6 - Análisis económico

Se realizó un análisis económico de los resultados de cada experimento mediante el programa ANPRO versión 1.5, desarrollado por Servín y Carrión (1994) en la Universidad Autónoma de Chapingo, valorado a 5 años, el cual toma en consideración los siguientes indicadores:

Costo total (CT): a partir de la sumatoria de todos los costos de producción (materiales, labores culturales, mano de obra, herramientas, entre otros).

Beneficio bruto total (BBT): a partir del número de plantas obtenidas en cada variante por el costo de cada planta.

Valor actual neto (VAN): por diferencia entre los beneficios actualizado con respecto a los costos actualizados, a una tasa de interés determinada, en nuestro caso al 15%. Si el VAN es negativo, significa la existencia de pérdidas, por lo que se consideran favorables todas las variantes cuyo VAN sea mayor o igual que cero.

Relación beneficio/costo (B/C): Es el resultado de dividir la sumatoria de los beneficios actualizados (BBTA) entre la sumatoria de los costos actualizados (CTA). La relación beneficio/ costo expresa los beneficios obtenidos por unidad monetaria total invertida. Por lo tanto, son aceptables todas las variantes cuyo valor de B/C sea mayor o igual que uno.

Todos los valores se expresaron en pesos mexicanos (PM).

IV - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 - Actualización de la caracterización de los suelos en la zona de estudio

A los efectos de su mejor utilización y manejo, se puso al día la caracterización de los suelos de la zona de Tecamatlán, aplicando la clasificación de suelos WRB - World Reference Base- (IUSS, 2008). Para ello, se hizo el estudio de 4 perfiles, representativos de los tipos de suelo predominantes en la zona (ver Figura 9). A continuación se presentan las descripciones de los mismos.

Perfil 1

Localización: Tomado en parcelas del propietario Edvinio.

Coordenadas: N 353.567; E 346.432

Factores de formación

Relieve: Mesorrelieve con pendiente de 30%.

Altura: 980 msnm.

Condiciones climáticas: Precipitación anual: 650 mm; temperatura media anual: 32°C.

Material de origen: Rocas Ígneas de composición ácida con cuarcitas y mezcla de algunas rocas metamorfoseadas.

Uso del suelo: Terrenos perturbados por el impacto de ganado caprino en pastoreo, con presencia de pocos árboles de porte mayor y predominio de arbustos. Primer año del establecimiento de huertos con plantas nativas asociadas, bajo sistema de siembra en curvas a nivel.

Factores limitantes del suelo para los cultivos: Poca profundidad y estructura desfavorable del suelo, que limitan la retención del agua. Además bajo contenido en materia orgánica y fósforo (baja fertilidad).

Clasificación del suelo: Regosol epiléptico (éutrico, arénico) (Figura 12)

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A ₀	Superficial	Presencia de material vegetal fraccionado sin descomposición, seco.
A ₁₁	0-2	Color pardo grisáceo (10YR5/2), textura franco arenosa, estructura granular poco estable, seco, friable, poroso, con presencia de materia orgánica finamente descompuesta, no reacciona al HCl, transición algo notable.
A ₁₂	2-12	Color pardo grisáceo (10YR5/2), textura franco arenosa, estructura de bloques subangulares poco estables, que se desmenuza en grumosa, seco, ligeramente compactado, buena porosidad, abundante presencia de raíces, presencia de material transportado de la parte superior del relieve, no reacciona al HCl, transición notable.
(B)	12-18	Horizonte B en formación, color pardo pálido (10YR6/3), textura arenosa, estructura en bloques angulares pequeños que se destruyen muy fácilmente, friable, seco, menos poroso, con presencia de raíces, pero menos que el anterior, sin reacción al HCl, transición notable
C	18 - 43	Presencia de material transportado, con material de origen intemperizado.
CR	+ 43	Roca ígnea intemperizada



Figura 12. Imagen del perfil 1: Regosol epiléptico (éutrico, arénico)

Perfil 2

Localización: Tomado en parcelas de la propietaria Dolores

Coordenadas: N 353.567; E 346.432

Factores de formación

Relieve: Mesorrelieve con pendiente de 25 %.

Altura: 970 msnm.

Condiciones climáticas: Precipitación anual: 650 mm; temperatura media anual: 32°C.

Material de origen: De origen ígneo, con presencia de cuarcita y material metamórfico.

Uso del suelo: Terreno de ladera, semiperturbado por pastoreo, con asociación de arbóreas y arbustivas; primer año de establecida una plantación con plantas autóctonas en asociación, bajo sistema de siembra en curva a nivel.

Factores limitantes del suelo para los cultivos: Poca profundidad y estructura desfavorable del suelo, las que limitan la retención del agua. Además, bajos contenidos de materia orgánica y de fósforo (baja fertilidad).

Clasificación del suelo: Regosol epiléptico (éutrico, arénico) (Figura 13)

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ao	Superficial	Poca presencia de material vegetal fraccionado sin descomposición, seco.
A ₁₁	0-9	Color pardo grisáceo (10YR5/2), textura arenosa, muy poco estructurado, friable, seco, poroso, sin presencia de organismos vivos, con pocas raíces finas, sin reacción al HCl, transición notable.
AC	9 - 16	Color gris (10YR6/1), en algunas partes con manchas de color olivo pálido (5Y6/3), textura arenosa, estructura poco apreciable, seco, friable a suelto, sin raíces ni organismos vivos, sin reacción al HCl, transición notable.
C	16 – 40	Presencia de rocas metamorfoseadas con proceso de intemperismo, de color pardo rojizo (5YR5/4) y algunas machas de color olivo pálido (5Y6/3).



Figura 13. Imagen del perfil 2: Regosol epiléptico (éutrico, arénico)

Perfil 3

Localización: Tomado en parcelas del propietario Andrés.

Coordenadas: N: 353.567; E: 346.432

Factores de formación

Relieve: Terreno con pendiente de 8% y presencia de nanorrelieve.

Altura: 975 msnm.

Condiciones climáticas: Precipitación anual: 650 mm; temperatura media anual: 32°C.

Material de origen: De origen ígneo, con presencia de cuarcita y material metamórfico.

Uso del suelo: Terreno de siembra continua con maíz y sorgo; actualmente, primer año de establecida una asociación de plantas autóctonas en curvas a nivel.

Factores limitantes para los cultivos: Profundidad media y estructura desfavorable del suelo, que limitan la retención del agua. Además, bajos contenidos de materia orgánica y de fósforo (baja fertilidad).

Clasificación del suelo: Cambisol endoléptico (éutrico) (Figura 14)

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0 - 9	Color pardo grisáceo (10YR5/2), textura franco arenosa, estructura terronosa poco estable, seco, friable, poroso, sin presencia de organismos vivos, abundante presencia de raíces finas, no hay reacción al HCl, transición notable.
B	9 - 25	Color pardo grisáceo (10YR5/2), textura franca, estructura enlosada que se desintegra fácilmente, compactado, seco, medianamente poroso, con algunas raíces, sin presencia de organismos vivos, no hay reacción al HCl, transición gradual.
BC	25 - 50	Color pardo (10YR5/3), textura franco arenosa, sin estructura, friable, seco, poroso, muy pocas raíces finas, sin presencia de organismos vivos, no hay reacción al HCl, transición neta.

C	50 - 60	Material de origen con proceso de intemperismo avanzado, de color pardo oliváceo claro (10YR5/3), arenoso, sin estructura, suelto a friable, seco, sin raíces, sin reacción al HCl.
CR	+ 60	Roca ígnea metamorfoseada, intemperizada que se vuelve más dura a los 70 cm de profundidad.



Figura 14. Imagen del perfil 3: Cambisol endolético (éutrico)

Perfil 4

Localización: Tomado en parcelas del Instituto Tecnológico de Tecamatlán (ITT).

Coordenadas: N: 353.567; E: 346.432

Factores de formación

Relieve: Alomado, con pendientes de 26% y presencia de nanorrelieve.

Altura: 960 msnm.

Condiciones climáticas: Precipitación anuales: 650 mm; Temperatura media anual: 32°C.

Material de origen: De origen ígneo, con presencia de cuarcita y material metamórfico.

Uso del suelo: Fue de los primeros terrenos del ITT donde se establecieron cultivos. Inicialmente fue la guayaba que, por escasez de agua, se discontinuó al culminar su ciclo biológico y comenzó la regeneración con vegetación de la región. Desde hace 3 años se iniciaron los trabajos con el establecimiento de plantas nativas (cuatomate, cuahuayote, linaoe, chiltepín), con sistema de siembra por contorno. Es una de las parcelas piloto y de referencia para los estudios de vegetación y suelo en la región.

Factores limitantes para los cultivos: Muy poca profundidad y estructura desfavorable del suelo, que limitan la retención del agua. Además, bajos contenidos de materia orgánica y de fósforo (baja fertilidad). Se observan fragmentos de piedra en la superficie del terreno.

Clasificación del suelo: Cambisol epiléptico (éutrico) (Figura 15)

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ao	0 -0.5	Con presencia de hojas y pequeñas ramas
A	0.5 - 8	Color pardo grisáceo (10YR5/2), textura arenosa, muy poco estructurado, ligeramente compactado, seco, poroso, con presencia de materia orgánica descompuesta, y micelios de hongos, con abundantes raíces finas, no hay reacción al HCl, transición gradual.

B	8 - 23	Zona de transición, de color pardo grisáceo (10YR5/2), arenoso, poco estructurado, con presencia de fragmentos de roca metamórficas intemperizadas, de color grisáceo, sin reacción al HCl, transición notable.
CR	23 - 38	Roca metamórfica, en proceso de intemperización, sin reacción al HCl.



Figura 15. Imágenes del perfil 4: Cambisol epiléptico (éutrico)

La clasificación del tipo de suelo correspondiente a cada perfil se realizó en base al sistema World Reference Base (WRB), de amplio empleo internacional (IUSS, 2008), lo cual permite disponer de un enfoque muy actualizado para identificar los suelos de la zona y servir de base a la elaboración de programas para su mejor utilización y manejo, así como para otros estudios científicos que requieren una adecuada caracterización edáfica.

Puede observarse que los suelos de la región están representados por dos Grupos Referenciales de Suelos, los Regosoles y los Cambisoles. Los Regosoles son de perfil ACR, sin un horizonte B cámbico definido o en proceso de formación (ver descripción del perfil 1 y Figura 12), mientras que los Cambisoles son suelos más evolucionados, de perfil ABCR, que tienden a ser un poco más profundos. Sin embargo, en ambos casos predomina, en las partes altas y de pendientes, la presencia de una roca dura a menos de 100 cm de profundidad, que le otorga el calificativo léptico a la clasificación de estos suelos. Cuando la roca está a menos de 50 cm le da el calificativo epiléptico y cuando está entre 50 y 100 cm, entonces es endoléptico.

En el caso de los Regosoles predomina el calificativo epiléptico, lo que indica la poca profundidad del suelo, mientras que para los Cambisoles hay epi y endoléptico. No obstante, la limitación para almacenar agua en un medio relativamente escaso de lluvia, en suelos arenosos, conjuntamente con la presencia de un relieve de laderas, resultan limitantes muy fuertes para el uso de estos suelos en la agricultura.

En la Tabla 5 se presentan algunos datos de la fertilidad de los suelos estudiados, a la profundidad 0-20 cm. En todos los casos se encuentran bajos contenidos de materia orgánica y de nitrógeno total, mientras los de fósforo asimilable y potasio cambiante son altos, estos últimos posiblemente condicionados por la presencia de minerales primarios muy intemperizados, sobre todo mica y feldspatos, que resultan la fuente principal de abastecimiento de este nutriente. De igual forma, son altos los niveles de calcio cambiante, lo que determina el carácter moderadamente alcalino del pH en todos los suelos.

Lo antes analizado evidencia que la fertilidad de estos suelos se encuentra en un rango de media a baja, dados los grandes desbalances en los contenidos de los principales nutrientes (Paneque y Calaña, 2001). Asimismo, se comprueba el carácter éutrico de estos suelos, dado que valores de pH superiores a 7,0 indican la existencia de un grado de saturación por bases mayor de 50%.

Tabla 5. Algunos componentes de la fertilidad en el nivel superior de los suelos estudiados (0 - 20 cm)

Suelo	pH	M.O. (%)	N total (mg/kg)	P asim. (mg/kg)	K camb. (mg/kg)	Ca camb. (mg/kg)
Perfil 1	7,5	1,3	14	24	345	3 657
Perfil 2	7,3	1,0	23	34	587	4 987
Perfil 3	7,9	0,9	16	18	308	3 121
Perfil 4	7,1	1,2	16	32	569	5 367

La actualización de la clasificación y caracterización de los suelos predominantes en la zona de Tecmatlán, analizada anteriormente, confirma el carácter degradado de los mismos señalado por otros autores (Martínez, 2006, Ortiz y col., 2010), evidenciando la necesidad de emplear medidas agronómicas que ayuden a su recuperación.

Entre dichas medidas, posiblemente la reforestación sea de las más rápidas y efectivas, sobre todo si se lleva a cabo con la utilización de especies nativas, adaptadas a las condiciones ambientales predominantes (Huerta y col., 2009). Entre dichas especies se encuentran el cuatomate (*Solanum glaucescens*) y el cuahuayote (*Jacarantia mexicana*), cuyas principales características ya han sido señaladas (ver epígrafes 2.2.1 y 2.2.2, respectivamente), entre ellas las dificultades para su propagación, tanto sexual como asexualmente.

4.2 - Efectos de la inoculación con HMA y un bioestimulante en el crecimiento de plántulas de cuatomate (*Solanum glaucescens*)

Al analizar los efectos de la micorrización y la aplicación de un bioestimulante sobre algunos indicadores del crecimiento de plántulas de cuatomate al momento del trasplante (110 días después de la siembra), los resultados mostraron (Tabla 6) que los tratamientos T3 y T5, con la aplicación de HMA a 2 y 5 g.bolsa⁻¹,

respectivamente, sobresalieron significativamente sobre los demás para las variables altura de la planta y masa fresca del tallo; en los otros indicadores evaluados, si bien no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, muestran una tendencia a presentar valores más elevados en las variantes micorrizadas, todo lo cual pone de manifiesto que esta planta presenta dependencia de los HMA para su crecimiento.

Tabla 6. Efectos sobre algunos indicadores del crecimiento (110 dds) de plántulas de cuatomate (*Solanum glaucescens*)

Tratamiento	Altura planta (cm)	Diám. tallo (mm)	Masa fresca tallo (g)	Masa fresca hoja (g)	Masa fresca raíz (g)	Masa seca planta (g)	Long. raíz (cm)
S (T1)	36,86 c	2,66	4,16 b	8.41	2,61	1,02	24,12
S+Be (T2)	49,54 bc	2,85	5,93 b	11.01	3,86	1,44	39,08
S+HMA(2g) (T3)	70,28 a	3,16	8,90 a	12.58	4,04	1,52	36,38
S+HMA(2g)+Be (T4)	40,56 c	2,89	4,76 b	9.43	3,38	1,39	31,66
S+HMA(5g) (T5)	60,46 a	2,94	7,00 ab	13.20	2,99	1,53	29,10
ES_x	1,87*	0,08	0,40*	0,68	0,23	0,06	2,44

S - Sustrato; **Be** - Bioestimulador; **HMA** – Hongo micorrízico arbuscular.

dds – días después de la siembra.

* - Significativo a $p < 0,05$ según dócima de rango múltiple de Tukey.

Este resultado confirma la efectividad de los HMA para promover la capacidad de crecimiento y vigorosidad del cuatomate, reportadas para múltiples cultivos tropicales (Rubio y col., 2002; Zulueta, 2003) y también encontrada para el guaje

colorado (*Leucaena esculenta*), otra especie típica de la Mixteca (López, 2010). Asimismo, al no existir diferencias entre las respuestas a las dos dosis de inoculación, puede establecerse que, para el cuatomate reproducido por semilla en vivero, 2 g de inoculante micorrízico por bolsa resulta una dosis efectiva.

Por otra parte, el hecho de que, con la dosis de HMA más efectiva (T3), las plántulas de cuatomate hayan alcanzado un crecimiento que casi duplica al de aquellas sin inocular (T1) al momento del trasplante, tiene una gran importancia práctica para su propagación a gran escala, dado que se puede lograr una mayor precocidad en su desarrollo, lo cual permite acelerar la identificación de las plantas hermafroditas, que en la actualidad solo se puede hacer a los 5-7 meses después de la germinación (Luna, 1995), asegurando además una plantación con plantas 100% productoras.

También se observa que la aplicación del bioestimulante BioVeg, solo (T2) o combinado con HMA (T4), no tuvo efectos sobre el crecimiento de las plantas, e incluso, en este último tratamiento, no se manifestaron los efectos positivos de la micorrización de la planta ya analizados.

Núñez (2000) y Núñez y Robaina (2000) señalan la respuesta positiva de múltiples cultivos a la aplicación de análogos de brasinoesteroides, principio activo del BioVeg, por lo que esta falta de respuesta a la bioestimulación puede haber estado asociada a su aplicación en un momento no adecuado (la aspersion se realizó al aparecer la primera hoja verdadera, 30 días después de la siembra) o al empleo de una dosis inferior a la necesaria.

En relación al comportamiento de los indicadores colonización micorrízica de esta especie, los resultados obtenidos (Tabla 7) son los primeros para plantas nativas de la Mixteca baja poblana. Se aprecia que los mayores valores de colonización y de densidad visual se alcanzaron en las variantes micorrizadas (T3, T4 y T5), muy superiores a los que presentaron los tratamientos no inoculados (T1 y T2). Estos últimos, a su vez, presentan valores de ambos indicadores algo elevados, tomando en cuenta que el sustrato empleado fue esterilizado previamente a la siembra, lo cual es indicativo de la existencia de colonización por cepas nativas

de HMA. De aquí puede inferirse que la esterilización del sustrato no fue totalmente efectiva.

Tabla 7. Comportamiento de algunos indicadores de colonización micorrízica en plántulas de cuatomate (*Solanum glaucescens*)

Tratamientos	Colonización (%)	Densidad visual (%)
S (T1)	9	0,12
S+Be (T2)	13	0,54
S+HMA(2g) (T3)	40	2,24
S+HMA(2g)+Be (T4)	35	2,00
S+HMA(5g) (T5)	38	1,90

S - Sustrato; **Be** - Bioestimulador; **HMA** – Hongo micorrízico arbuscular.

Debe destacarse que la similitud que muestran los valores del colonización y densidad visual en los tratamientos T3 y T5, inoculados respectivamente con 2 y 5 g.bolsa⁻¹ de HMA, indican que, para esta planta, el empleo de dosis de inoculante superiores a 2 g no incrementan la colonización micorrízica, lo que permite explicar el comportamiento similar de los indicadores de crecimiento de la planta en estas dos variantes y que fue analizado previamente.

En sentido general, los valores de los porcentajes de colonización y de densidad visual son similares a los reportados por José y col. (2006), al inocular con HMA plantas de tomate de árbol (*Physalis oxycarpa*), especie que también pertenece a la familia *Solanáceae*, donde el porcentaje de colonización alcanzado fue de 32 a 58%. De igual forma, Terry (1998) y Fundora y col. (2008), en experimentos de

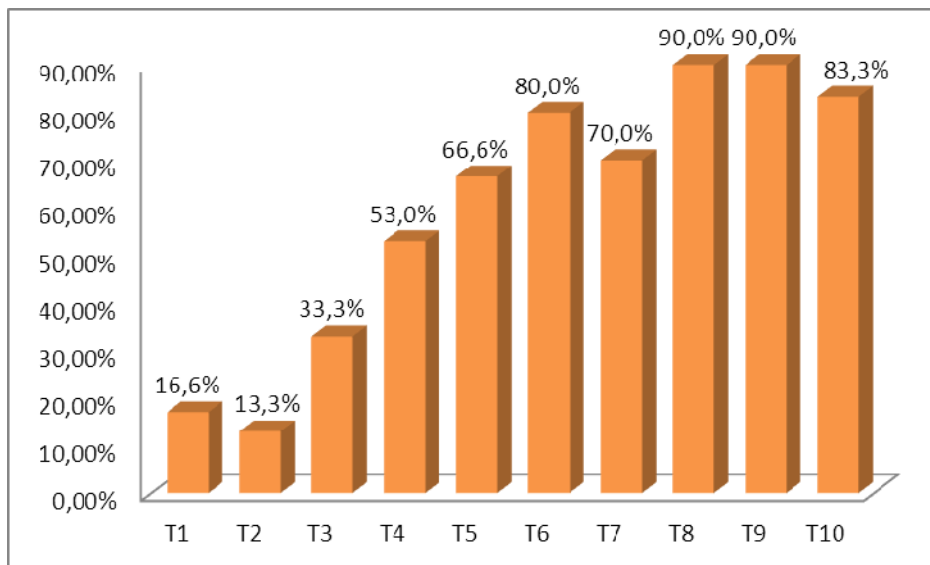
biofertilización de tomate (*Solanum lycopersicum*) con HMA, alcanzaron niveles de colonización del 30 al 40% y de densidad visual entre 2 y 3%.

Todo lo antes analizado demuestra que el cuatomate (*Solanum glaucescens*) es susceptible a la colonización por HMA, lo que a su vez, en condiciones de propagación en vivero, le permite a la plántulas alcanzar un mayor y más rápido desarrollo, con la aplicación de dosis bajas de inoculante (2 g.bolsa⁻¹).

4.3 - Efectos de la inoculación con HMA y de sustratos con proporciones variables de vermicomposta en la eficiencia de la propagación asexual y el desarrollo radical de plántulas de cuatomate (*Solanum glaucescens*).

Al estudiar el efecto de la micorrización sobre la eficiencia de la propagación del cuatomate con material de siembra agámico (estacas), evaluada a través del porcentaje de supervivencia de las plántulas, 60 días después de la plantación, (Figura 16), se encontró que los mejores resultados se alcanzaron, en general, en las variantes inoculadas con HMA (T6 a T10), con valores bastante homogéneos entre si y que promediaron un 85%. En comparación, en las variantes no inoculadas (T1 a T5) el mejor comportamiento solo alcanzó un 67% de supervivencia (T5).

Lo anterior indica que la micorrización incrementó la supervivencia de las plantas propagadas asexualmente en no menos de un 20%, aunque si se comparan el valor máximo obtenido (90% en T8 y T9) con el alcanzado por el testigo (T1, sustrato con 100% de suelo) de solo 17%, este incremento alcanza casi un 75%. Estos bajos valores de supervivencia cuando las plantas crecen solo en suelo están determinados, muy probablemente, por las características desfavorables de suelo, analizadas previamente (ver Tabla 3 y epígrafe 4.1).



T1 – S(100); **T2** – S(75) + V(25); **T3** – S(50) + V(50); **T4** – S(25) + V(75); **T5** – V(100);
T6 – S(100) + HMA; **T7** – S(75) + V(25) + HMA; **T8** – S(50) + V(50) + HMA;
T9 – S(25) + V(75) + HMA; **T10** – V(100) + HMA

Figura 16. Supervivencia de plántulas de cuatomate (*Solanum glaucescens*) propagadas asexualmente, 60 días después de la plantación

A los efectos del objetivo a alcanzar en este estudio, lo antes analizado tiene una gran importancia práctica, pues evidencia que en el desarrollo de viveros para la propagación de la especie resulta indispensable disponer de un sustrato de la mayor calidad agronómica (Lara, 1999; Peña, 2001; Calderón, 2004), como el preparado mezclando el suelo con vermicomposta en la proporción 1:1 (empleado en el Experimento 1 y en las variantes T3 y T8 del presente estudio), con una fertilidad superior (ver Tabla 4), capaz de abastecer a las plantas de los nutrientes necesarios para su adecuado desarrollo.

Lo anterior puede ser corroborado al observar (Figura 16) como se incrementa gradualmente el porcentaje de supervivencia de las plantas al aumentar la proporción de vermicomposta en el sustrato (0% en T1 a 100% en T5).

En las variantes micorrizadas (T6 a T10) este efecto se ve atenuado en función de la demostrada capacidad de los hongos micorrizicos de explorar, con su red de hifas, volúmenes de suelo muy superiores en comparación con el sistema radical

de las plantas no micorrizadas, permitiendo una mayor absorción de agua y nutrientes (Rivera y col., 2003). Reyes y col. (2009), también trabajando con cuatomate propagado por estacas, en una prueba de comparación de sustratos donde utilizó vermicomposta y suelo pero sin micorrizar, obtuvieron resultados de supervivencia inferiores, aunque llegaron a alcanzar el 78%.

Nuevamente, corroborando lo obtenido en el Experimento 1 para la propagación por semilla, el incremento de la supervivencia de las plántulas al inocularlas con HMA tuvo un efecto importante para el cultivo al provocar una mayor precocidad en la aparición de flores femeninas y frutos en un periodo relativamente corto (90 días después de plantación), como se puede apreciar en la Figura 17.

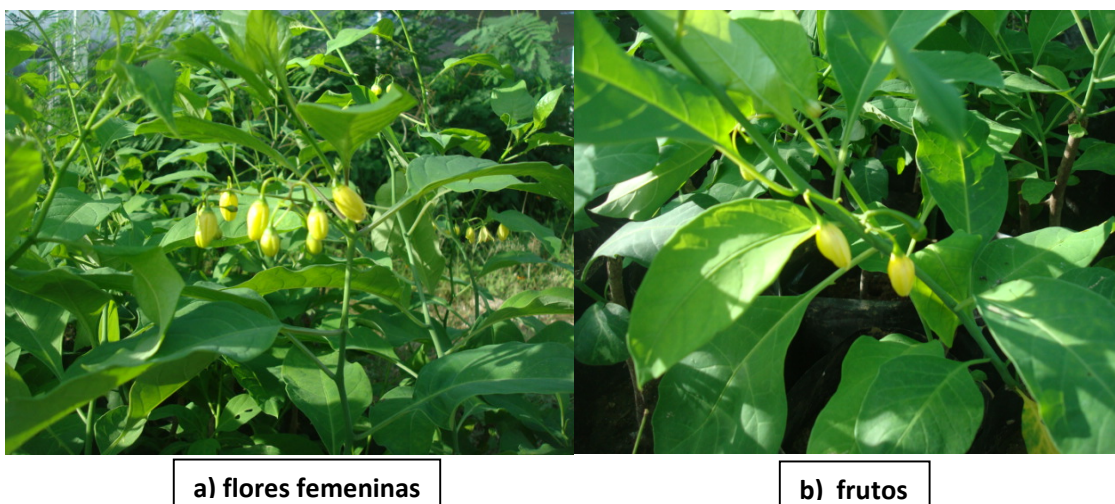


Figura 17. Aparición de flores femeninas y frutos de cuatomate (*Solanum glaucescens*), propagado asexualmente y micorrizado, 90 días después de plantación

El desarrollo radical de plántulas de cuatomate propagadas asexualmente (Tabla 8) se evaluó mediante los indicadores longitud de la raíz principal y volumen radical. El primero no mostró diferencias significativas entre variantes, mientras que el segundo evidenció, en sentido general, un efecto positivo en los

tratamientos micorrizados (T7, T8 y T9) con valores significativamente superiores, indicativos de una mayor cantidad de raíces.

Tabla 8. Desarrollo radical de plantas de cuatomate (*Solanum glaucescens*) propagadas asexualmente, 60 días después de la plantación

Tratamientos		Largo raíz (cm)	Volumen radical (cm ³)
(T1)	S(100)	25,9	12,0 d
(T2)	S(75)+V(25)	27,8	21,0 abcd
(T3)	S(50)+V(50)	22,5	30,0 a
(T4)	S(25)+V(75)	25,4	26,6 abc
(T5)	V(100)	24,3	15,0 cd
(T6)	S(100) + HMA	30,3	11,6 d
(T7)	S(75)+V(25) + HMA	24,3	28,3 ab
(T8)	S(50)+V(50) + HMA	20,6	26,6 abc
(T9)	S(25)+V(75) + HMA	23,6	18,0 abcd
(T10)	V(100) + HMA	25,6	17,0 bcd
ES_x		0,90	1,62⁺

S – Suelo; **V** – Vermicomposta; **HMA** – Hongo micorrízico arbuscular

* Significativo a $p < 0,05$ según dócima de rango múltiple de Tukey

Esto parece ser debido a la capacidad de estimular la formación de raíces laterales en las estacas, por la actividad fisiológica de estos endófitos, capaces de sintetizar hormonas reguladores del crecimiento vegetal como auxinas y citokininas (Azcón-Aguilar y col., 1992). En este sentido, Alarcón y col. (1994), trabajando con ciruela (*Prunus salina*) obtuvieron brotaciones laterales y generación de raíces a los 200 días después de la inoculación con HMA, al favorecer la formación de primordios y raíces laterales.

Por otra parte, también se puede observar que en las variantes no micorizadas se incrementa significativamente el volumen de raíces al aumentar la proporción de vermicomposta en la composición del sustrato (T1 a T4), efecto muy probablemente asociado a una elevación gradual del aporte de nutrientes a las plantas, permitiendo un mejor desarrollo integral de las plantas, raíces incluidas. Esto permite explicar, en buena medida, el comportamiento similar mostrado por la supervivencia de las plántulas, analizado previamente.

Al evaluar los indicadores de colonización micorrízica (Tabla 9), resulta evidente que tanto la colonización como la densidad visual son muy superiores en las variantes micorizadas (T6 a T10), destacándose el tratamiento T8 con los mayores valores absolutos para ambos indicadores.

Tabla 9. Comportamiento de algunos indicadores de colonización micorrízica en plantas de cuatmate (*Solanum glaucescens*) propagadas asexualmente, 60 días después de la plantación

Tratamientos		Colonización (%)	Densidad visual (%)
(T1)	S(100)	5,0	0,09
(T2)	S(75)+V(25)	15,0	0,18
(T3)	S(50)+V(50)	14,0	0,46
(T4)	S(25)+V(75)	16,0	0,18
(T5)	V(100)	13,0	0,23
(T6)	S(100) + HMA	35,0	2,78
(T7)	S(75)+V(25) + HMA	30,0	2,71
(T8)	S(50)+V(50) + HMA	73,0	6,88
(T9)	S(25)+V(75) + HMA	55,0	4,32
(T10)	V(100) + HMA	54,0	4,33

S – Suelo; **V** – Vermicomposta; **HMA** – Hongo micorrízico arbuscular

Mujica (2009), trabajando con tomate (*Solanum lycopersicum*) inoculado con la misma cepa de HMA (*Glomus hoi-like*), también obtuvo valores elevados de los indicadores de colonización micorrízica, los que parecen estar asociados a condiciones óptimas del medio que favorecen el establecimiento de la simbiosis.

Los resultados obtenidos son consistentes con los alcanzados en el Experimento 1, confirmando que la inoculación con HMA es una práctica efectiva en la propagación en viveros de cuatomate, tanto mediante propagación sexual como asexual, logrando mayores índices de crecimiento de las plántulas y una mayor precocidad en el desarrollo de sus órganos reproductivos.

En lo referente a la composición del sustrato a emplear, se destaca que la combinación suelo 50% - vermicomposta 50% resultó la más efectiva en el desarrollo del sistema radical de las plántulas (T3 y T8) y bajo condiciones de inoculación mostró los mayores valores de colonización micorrízica (T8), variante que, a su vez, alcanzó los mayores niveles de supervivencia de las plántulas.

4.4 - Efectos de la inoculación con HMA y el lavado de la semilla en la propagación sexual y el desarrollo de plántulas de cuahuayote (*Jacarantia mexicana*).

El efecto de la micorrización en la efectividad de la propagación sexual del cuahuayote (*Jacarantia mexicana*) fue evaluado a través del comportamiento de la supervivencia de las plántulas y de algunos indicadores del crecimiento de las mismas.

Como fue analizado en un epígrafe anterior (2.2.2), esta especie presenta dioicismo, y una forma común de esta variación en el género es la producción de estructuras femeninas en individuos masculinos, los que comúnmente se denominan masculino-fructíferos. Esto genera que la germinación y supervivencia de la especie disminuya hasta en tres veces su potencial, lo que provoca que en los campos disminuya su población.

El análisis de los resultados obtenidos (Figura 18) mostró que las plántulas micorrizadas (T2y T4) mostraran entre 10 y 15% de incremento en la supervivencia en comparación con las no inoculadas con HMA (T1 y T3).

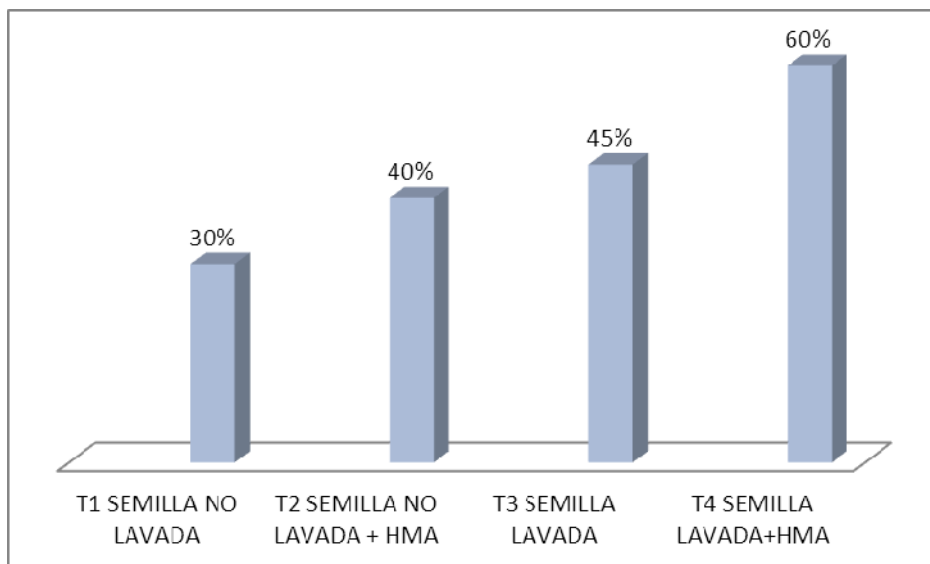


Figura 18. Supervivencia (%) de plántulas de cuahuayote (*Jacarantia mexicana*) propagadas sexualmente, 53 días después de la siembra

Adicionalmente, se analizó el efecto de lavar o no con agua las semillas a los efectos de eliminar el material mucilaginoso que las envuelve en condiciones naturales, dado que, según los criterios empíricos de algunos productores, esta práctica favorece tanto la germinación como la supervivencia de las plantas. En este sentido, también puede apreciarse que en las variantes donde se lavaron las semillas, la supervivencia fue entre 15 y 20% mayor, lo que parece confirmar la bondad de dicha práctica.

La combinación de la micorrización con el lavado previo de las semillas (T4) presentó los valores de supervivencia más elevados, un 30% mayores que los obtenidos con la variante tradicional de manejo de las semillas (T1 – no lavado y no inoculado), lo que sugiere que sería recomendable introducir dicha técnica,

económica y sostenible, en los viveros que propagan la especie a los efectos de incrementar su efectividad.

Sin embargo, para los indicadores del crecimiento evaluados: altura de las plántulas, número de hojas y diámetro del tallo (Tabla 10), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos al momento del trasplante, 53 días después de la siembra.

Zulueta (2003), obtuvo resultados similares para la misma especie ante la inoculación con HMA, no alcanzando diferencias significativas para las variables altura de la planta y número de hojas a los 120 días. Todo parece indicar que el cuahuayote es una especie con micorrización facultativa, la cual en dependencia de las condiciones bióticas y abióticas predominantes en el medio, es capaz o no de establecer la simbiosis planta–microorganismo y generar mecanismos de estimulación como los observados y discutidos para la supervivencia de las plántulas.

Tabla 10. Efectos sobre algunos indicadores del crecimiento, 53 días después de la siembra, de plántulas de cuahuayote (*Jacarantia mexicana*) propagadas sexualmente,

Tratamiento	Altura planta (cm)	Diám. tallo (mm)	Número hojas (u)
Semilla no lavada (T1)	24,3	2,5	5,2
Semilla no lavada + HMA (T2)	25,2	3,1	5,8
Semilla lavada (T3)	25,3	2,8	5,5
Semilla lavada + HMA (T4)	25,8	3,2	5,5
ES_x	0,2	0,01	0,1

El análisis de los indicadores de colonización micorrízica (Tabla 11) mostró que los tratamientos inoculados con HMA (T2 y T4) alcanzaron valores de los porcentajes de colonización y densidad visual muy superiores a los obtenidos para las variantes no micorrizadas (T1 y T3), una de las cuales, incluso, no parece haber sido colonizada por cepas nativas de HMA (T2) al ser nulos los valores de los indicadores.

Tabla 11. Comportamiento de algunos indicadores de colonización micorrízica en plántulas de cuahuayote (*Jacarantia mexicana*) propagadas sexualmente, 53 días después de la siembra

Tratamientos	Colonización (%)	Densidad visual (%)
Semilla no lavada (T1)	0,0	0,00
Semilla no lavada + HMA (T2)	21,0	0,28
Semilla lavada (T3)	8,0	0,12
Semilla lavada + HMA (T4)	28,4	0,91

Resultados similares alcanzaron Zangora y col. (2003), con valores de colonización entre 12,7 y 19,0% y Zulueta (2003), con niveles de 2,3 a 19.1% de colonización, trabajando también con cuahuayote micorrizado en condiciones de invernadero.

También se puede observar que, en las variantes donde no se lavaron previamente las semillas (T1 y T2), los valores de ambos indicadores evaluados fueron menores en valor absoluto, en comparación con los obtenidos cuando se realizó el lavado (T3 y T4), lo que pudiera estar relacionado con la eliminación del

mucílago que recubre la testa, el cual, al estar constituido fundamentalmente por compuestos carbonados, puede constituir un medio muy favorable para el desarrollo de otros microorganismos edáficos que compiten con los hongos micorrízicos por la asociación con la planta, lo que no facilita el establecimiento de la simbiosis hongo-planta.

Al integrar resultados, destaca la variante de lavar la semilla previo a la siembra e inocularla con HMA (T4), donde se logró alcanzar un 30% más de supervivencia de las plántulas en comparación con la práctica tradicional de no lavar y no inocular (T1).

A partir de lo analizado, puede plantearse que el cuahuayote responde moderadamente a la inoculación con HMA, lo que, si bien no mostró efectos positivos sobre el crecimiento de las plántulas en el vivero, si actuó favorablemente en el incremento de la tasa de supervivencia de las plántulas en las mismas condiciones. Por estas razones, la micorrización de esta especie puede constituir una práctica agrónoma adecuada en los programas de propagación de la especie, dirigidos a repoblar la Mixteca baja poblana, de donde es nativa.

4.5 Evaluación económica de los resultados

A partir del programa ANPRO (Servín y Carrión, 1994) se realizó la evaluación económica de los mejores resultados obtenidos en cada experimento, los que se muestran a continuación. En todos los casos los valores están expresados en pesos mexicanos (PM)

Experimento 1. Efectos de la inoculación con HMA y un bioestimulante en el crecimiento de plántulas del cuatomate (*Solanum glaucescens*).

El mejor resultado agronómico de este estudio se obtuvo con la variante T3 - Sustrato + HMA (2g), la cual se comparó con la variante T1- Sustrato (testigo de producción), según se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Evaluación económica del Experimento 1

Tratamiento	Costo total (PM)	Beneficio bruto total (PM)	Valor actual neto (PM)	Relación B/C
T1	10 700	17 636	33 170	1,65
T3	11 420	29393	108 295	4,18

Debe señalarse que el beneficio bruto total dependió del valor de venta de las plántulas obtenidas, el cual estuvo determinado por el tamaño de las mismas y por la presencia de flores hermafroditas. Los valores del VAN para ambas variantes fueron positivos, por lo que resultan aceptables, pero puede observarse que en la variante T3 es más de 3 veces superior, lo que determina que esa misma variante muestre valores de relación beneficio/costo (B/C) de 4,18, lo que significa que por cada peso invertido se recuperarían 3,88 de beneficio, mientras que para el testigo T1, con un B/C de 1,65, solo se recuperarían 65 centavos por peso invertido.

Experimento 2. Efectos de la inoculación con HMA y de sustratos con proporciones variables de vermicomposta en la eficiencia de la propagación asexual y el desarrollo radical de plántulas de cuatomate.

Para este experimento, la variante más destacada fue T8 – Suelo 50% + Vermicomposta 50% + HMA, la cual se comparó con la variante T1- Suelo 100% (testigo de producción), según se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Evaluación económica del Experimento 2

Tratamiento	Costo total (PM)	Beneficio bruto total (PM)	Valor actual neto (PM)	Relación B/C
T1	34 820	19 800	-75 835	0,56
T8	35 820	83 535	259 430	2,81

Para este experimento, el beneficio bruto total dependió, fundamentalmente, de la supervivencia de plántulas alcanzada en cada variante, la cual, al ser muy baja en el testigo, determinó un valor del VAN negativo y, por tanto, no aceptable, con una relación B/C menor de 1, indicativa de que se tienen pérdidas en la producción. Por el contrario, la variante más destacada alcanzó un valor elevado del VAN, muy positivo, siendo este de 2,81 para la relación beneficio/costo, lo que permite la recuperación de 1,81 pesos por cada peso invertido.

Experimento 3. Efectos de la inoculación con HMA y el lavado de la semilla en la propagación sexual y el desarrollo de plántulas de cuahuayote.

Para este experimento, la variante más destacada fue T3 – Semilla lavada inoculada con HMA, la cual se comparó con la variante T1- Semilla no lavada y no inoculada (testigo de producción), según se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Evaluación económica del Experimento 3

Tratamiento	Costo total (PM)	Beneficio bruto total (PM)	Valor actual neto (PM)	Relación B/C
T1	10 700	12 370	26 805	1,80
T3	11 420	18 560	55 700	2,68

También en este experimento, el beneficio bruto total dependió de la supervivencia de plántulas alcanzada en cada tratamiento. Para ambas variantes se alcanzaron valores aceptables del VAN, aunque el correspondiente a la variante recomendada (T3) duplica al obtenido para el testigo, determinando mayor valor de la relación B/C. De esta forma, económicamente, la variante T3 es más efectiva al permitir recuperar 1,68 pesos por cada peso invertido, mientras que en la variante T1 solo se recuperan 0,80 pesos.

4.6 Consideraciones generales

El funcionamiento de un ecosistema terrestre depende en gran medida de la actividad microbiana del suelo, ya que esta juega un papel fundamental en su regulación, influyendo decisivamente en la productividad, diversidad y estructura de la comunidad vegetal. No sólo los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes son regulados por los microorganismos, sino que, además, los componentes de la microbiota del suelo protagonizan diversas acciones beneficiosas para el crecimiento y desarrollo de las plantas con las que se asocian. Además, en los procesos de formación de los suelos, el factor biológico, representado mayoritariamente por los micoroganismos, juega un papel clave.

Tomando en cuenta lo anterior, el estudio desarrollado da pautas para la búsqueda de alternativas que permitan mejorar las propiedades desfavorables de los suelos que predominan en el municipio de Tecamatlán, Puebla, México, así como para que los campesinos mixtecos dispongan de más especies vegetales para mejorar su alimentación, aprovechando, en primer término, las que son nativas del ecosistema natural y, finalmente, generar nuevos recursos económicos por el valor cambio de las producciones agrícolas desarrolladas en la región.

Los resultados obtenidos permiten recomendar la aplicación de tecnologías de propagación masiva para dos especies nativas, el cuatomate (*Solanun glaucescens*) y el cuahuayote (*Jacarantia mexicana*) con la aplicación de biofertilizantes a base de hongos micorrízicos arbusculares, lo que permitirá

aumentar las poblaciones de dichas plantas de una manera eficiente, económica y ecológicamente adecuadas, mediante su manejo en armonía con el hábitat de la región, y poder ir recuperando gradualmente el paisaje natural que el mismo hombre ha alterado durante siglos para satisfacer sus necesidades básicas.

Adicionalmente, la factibilidad técnica y económica de implementar los resultados obtenidos para estas dos plantas, alientan la ejecución de estudios similares en otras especies nativas que son de utilidad potencial y tampoco han sido explotadas.

V – CONCLUSIONES

- Se actualizó la clasificación de los suelos predominantes en el municipio de Tecamatlán, Puebla, México mediante el sistema World Reference Base (WRB), identificando a los Regosoles y los Cambisoles como los más representativos, ambos con características degradadas, baja capacidad de almacenamiento de agua y fertilidad media a baja, constituyendo estos los principales factores limitantes a mejorar agroproductivamente para su recuperación.
- La inoculación con HMA del cuatomate (*Solanum glaucescens*), para su propagación sexual y asexual en condiciones de vivero, estimula el crecimiento de las plántulas y permite acelerar el proceso de identificación de aquellas que son hermafroditas, lo que garantiza que todas las plántulas trasplantadas sean productivas.
- La propagación asexual del cuatomate (*Solanum glaucescens*), mediante estacas inoculadas con HMA resulta un procedimiento alternativo simple, que posee las ventajas de permitir obtener un alto número de plántulas homogéneas, con gran rapidez y a bajo costo, por lo que resulta una práctica agrícola sostenible y ecológicamente aceptable.
- La inoculación de semillas de cuahuayote (*Jacarantia mexicana*) con hongos micorrízicos arbusculares para su propagación en condiciones de vivero resulta una práctica promisoriosa al incrementar la supervivencia de las plántulas, aunque no tuvo efectos sobre su crecimiento al momento del trasplante.
- El empleo de sustratos donde se combinan suelo y vermicomposta, en proporciones equivalentes, permite un mejor desarrollo de las plántulas de las especies estudiadas en condiciones de vivero, favoreciendo además la colonización micorrízica de las mismas.

- Desde el punto de vista económico y para ambas especies estudiadas, el cuatomate (*Solanum glaucescens*) y el cuahuayote (*Jacarantia mexicana*), la micorrización del material de siembra, para su propagación sexual o asexual, no solo es una actividad rentable sino que permite obtener beneficios.

VI – RECOMENDACIONES

- Extender el empleo de la metodología de inoculación con hongos micorrízicos arbusculares del material de siembra para la propagación sexual o asexual del cuatomate (*Solanum glaucescens*) y del cuahuayote (*Jacarantia mexicana*), a los efectos de incrementar la obtención de plantas dirigidas a la repoblación de las áreas deforestadas de la Mixteca baja poblana con especies nativas de utilidad comunitaria.
- Desarrollar investigaciones similares en otras especies nativas de la Mixteca baja poblana entre las que destacan el chiltepín (*Capsicum frutescens*), el lináloe (*Bursera aloexylon*), el zopilote (*Swietenia humilis*) y el cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*) mediante el empleo de la inoculación con HMA y otras alternativas sostenibles, para el establecimiento de huertos agroforestales.
- Ampliar los estudios sobre el empleo de bioestimuladores del crecimiento de las plantas y otras prácticas como el lavado de las semillas previo a la siembra, en especies nativas como las estudiadas y otras de interés, a los efectos de confirmar o no su efectividad en la supervivencia y desarrollo de las plantas propagadas en condiciones de vivero.
- Incorporar los resultados de la presente investigación a los programas de estudios agronómicos en la enseñanza media superior y superior, fundamentalmente en los Centros de estudio ubicados en la región Mixteca.

VII - REFERENCIAS

1. **Alarcon, A., Chavez, R.G., Ferrera-Cerrato, R. and Villegas, A.** (1994). Effect of two endomycorrhizal fungi on the rooting of plum tree and their interaction with indole butyric acid. Proc. XV Int. Congress of Soil Science, Vol. 4b. Acapulco, México.
2. **Allen, M.F.** (2007). Mycorrhizal fungi: highways for water and nutrients in arid soils. *Vadose Zone Journal*. 6: 291-297.
3. **Allen, B.E. and Allen, M.F.** (1990). The mediation of competition by mycorrhizae in successional and patchy environments. In: Grace, J.B. and Tilman, D. (eds.). *Perspectives on Plant Competition*. Academic Press, London.
4. **Allen, B.E., Rincón, E., Allen, M.F., Pérez, J.A. and Huante, P.** (1998). Disturbance and seasonal dynamics of mycorrhizae in a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica*. 30: 261–274.
5. **Augé, R.M.** (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relation. *Can. J. Soil Sci.* 84: 373-381.
6. **Azcón-Aguilar, C., Barcelo, A. and Vidal, M.** (1992). Further studies on the influence of mycorrhizae on growth and development of micropropagated avocado plants. *Agronomie*, 12: 837 - 840.
7. **Azcón-Aguilar, C., Palenzuela, J., Roldán, A., Bautista, S., Vallejo, R. and Barea, J.M.** (2003). Analysis of the mycorrhizal potential in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened Mediterranean shrublands. *Applied Soil Ecology*, 22: 29-37.
8. **Bashan, Y., Davis, E.A., Carrillo-Garcia, A. and Linderman, R.G.** (2000). Assessment of VA mycorrhizal inoculum potential in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. *Applied Soil Ecology*, 14: 165-175.

9. **Calderón, A.** (2004). Estudio de sustratos y micorrizas arbusculares en la adaptación de vitroplantas de banano (*Musa sp.*). Tesis de Maestría en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes, INCA, La Habana.
10. **Camacho Villa, T.C.** (1999). Conservación de los recursos fitogenéticos: un acercamiento. Dpto. Fitotecnia, Univ. Aut. Chapingo. México.
11. **Carrillo R.G. y Peredo, R.** (1992). Simbiosis micorrícica en comunidades boscosas del Valle Central en el sur de Chile. *Rev. Bosque*. 13 (2): 57–67 (Chile).
12. **Carvalho, L.M., Jones, C. and Liebmann, B.** (2004). The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *J. Climate*, 17: 88-108.
13. **Casas, A., Viveros, J.L. y Caballero, J.** (1994). Etnobotánica mixteca. Conaculta, México.
14. **Castellano, A.M. y Molina, R.** (1989). Manual de vivero para producción de especies forestales en contenedores. Vol. 5. El componente biológico: plagas, enfermedades y micorrizas en el vivero. Agric. Handbook 674.. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Washington, DC.
15. **Castillo, C.G.** (2005). Biodiversidad y efectividad de hongos micorrícico-arbusculares en ecosistemas agroforestales del Centro Sur de Chile. Tesis Doctoral, Universidad de La Frontera, Chile.
16. **Challenger, A.** (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F.
17. **Cuesta, M.I.** (2003). Importancia de la inoculación de *Glomus mosseae*-*Bacillus subtilis* y *Glomus mosseae*-*Pseudomonas fluorescens* sobre el crecimiento y micorrización de plántulas de *Swietenia macrophylla* x *mahagoni* en vivero. Tesis de Maestría en Microbiología, Fac. Biología, Univ. de La Habana.

18. **Dahlgren, B.** 1966. La Mixteca: su cultura e historia prehispánica, UNAM. México D.F.
19. **De la Noval, B.M.** (2008). Efecto de la interacción hongos micorrízicos arbusculares-sistema-tomate (*S. lycopersicon* L. var. Amalia) sobre proteínas de defensa y respuesta a patógenos. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas, UNAH, La Habana.
20. **Eissenstant, D.M. and Newman, E.I.** (1990). Seedling establishment near large plants: effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas on intensity of plant competition. *Funct. Ecol.*, 4: 95-99.
21. **Entry, J.A., Rygielwicz, P.T., Watrud, A.L.S. and Donnell, P.K.** (2002). Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. *Adv Environ Res.*, 7: 123-138.
22. **Eslaba, B. y Linares, R.** (1998). Respuesta de dos tipos de enraizadores a la propagación por estacado del cuatomate (*Solanum glaucescens*). Tesis de Ing. Agrónomo. ITA 32, Tecamatlán, México.
23. **Faber, B.A., Zasoski, R.J., Munns, D.N. and Schakel, K.** (1991). A method for measuring hyphal uptake in mycorrhizal plants. *Can. J. Bot.*, 69: 87-94.
24. **Fernández, F.** (1999). Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares en la producción de posturas de cafeto. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas, UNAH, La Habana.
25. **Fernández, F., Rivera, R., Noval, B. y col.** (1999). Metodología de recubrimiento de la semilla con inóculo micorrizógeno. [Patente Cubana No 22641], La Habana.
26. **Fitter, A.H.** (2005). Darkness visible: Reflections on underground ecology. *J. of Ecology*, 93: 231–243.
27. **Font Quer, P.** (1970). Diccionario de Botánica. Ed. Revolucionaria, La Habana.

28. **Fundora, L.R., Rodríguez, Y., Mena, A., González, P.J., Rodríguez, P. y Gonzalez, P.D.** (2008). Estabilidad de la eficiencia de la cepa *Glomus mosseae* en la respuesta del tomate a condiciones de estrés hídrico fuera de su periodo óptimo. *Cultivos Tropicales*, 29 (2): 47-53 (Cuba).
29. **Galaviz, L.** (2010). Reproducción y producción del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) a partir de meristemas apicales por medio de la técnica del cultivo *in vitro*, Tesis de Ing. Agrónomo, Inst. Tecn. Tecamatlán, México.
30. **García, I., Mendoza, V. and Rodolfo, E.** (2007). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant symbiosis in a saline-sodic soil. *Mycorrhiza*, 17: 167–174.
31. **Garrido, N.** (1988). Agaricales und irhe Mykorrhizen in den Nothofagus-Waldern Mittelchiles. *Bibliotheca Mycologica*, 120: 1-258.
32. **Gerdemann, J.W.** (1975). Vesicular arbuscular mycorrhizae. En: Torrey, J.C. and Clarkson, D.T. (Eds.). *The Development and Function of Roots.*: Academy Press. London.
33. **Guerrero, C.A. y López, L.M.G.** (2004). Rentabilidad en producción y comercialización de cabras criollas en sistemas rustico, en la Mixteca baja poblana. Tesis de Lic. en Empresas Agropecuarias. Inst. Tecn. Tecamatlán, México.
34. **Harley, J.L and S.E. Smith.** (1983). *Mycorrhizal symbiosis.* Academic Press. New York.
35. **Hernández, A., Paneque, J. y Pérez, J.M.** (1995) Metodología para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos. Instituto de Suelos, La Habana.
36. **Hernández, G.** (1988). Morfología y fenología del cuatomate. Informe del Proyecto: Domesticación del cuatomate. IITA 32, Tecamatlán, México.
37. **Huerta, Z.S., Vidal, C.A., Rodríguez, R.J., Bonilla, B.M., Mora, P.M., Vázquez, M.S., Ortiz, R.A. y Bravo, H.F.** (2009). Principales árboles y arbustos en la Selva baja caducifolia de la Mixteca baja Poblana. Ed. El Errante, Puebla.

38. **INEGI.** (1987). Síntesis geográfica, nomenclatura y anexo cartográfico del Estado de Puebla. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México D.F.
39. **INIF.** (1978). Inventario florístico del Estado de Puebla, Pub. No. 44. Dirección General del Inventario Nacional Forestal, México D.F.
40. **IUSS (Working Group WRB).** (2008). Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
41. **José, B.M., Alberto, R.C. y Franco, A.S.G.** (2006). Micorrizas arbusculares asociadas a los cultivos de mora, lulo y tomate de árbol, en Antioquia, Valle Risaralda y Caldas, Colombia. Corp. Colombiana Invest. Agropecuaria, Bogota.
42. **Lara, D.O.** (1999). Evaluación de sustratos y biofertilizantes para el cultivo del tomate (*Solanum esculentum* Mill.) utilizando la tecnología de cepellones. Tesis de Maestría en Nutrición de las plantas y Biofertilizantes. INCA, La Habana.
43. **Linderman, R.G.** (1996). Contribution of microbial associates of VA mycorrhizae to mycorrhiza effects on plant growth and health. Proc. ICOM1 First International Conference on Micorrhizae.
44. **Lomelí, S.J.A.** (1998). Flora del valle de Tehuacán – Cuicatlán, Puebla, México, UNAM. México D.F.
45. **López, G.** (1990). Estudio fenológico del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) en condiciones naturales, Memoria XI Congreso Nacional Agropecuario, DGTA, Acapulco, México.
46. **López, G.** (1992). Fenología del cuatomate en el municipio de Tecamatlán, Memoria XII Congreso Nacional Agropecuario DGTA, México D.F.
47. **López, G.F.** (2010). Restauración con leucaena (*Leucaena esculenta*) de suelos erosionados de la Selva baja caducifolia en Tecamatlán, Puebla, México. Tesis de Ing. Agrónomo. Inst. Tecn. Tecamatlán, México.

48. **Luna, C.J.** (1995). Reproducción sexual del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.). Tesis de Ing. Agrónomo, ITA 32, Tecamatlan, México.
49. **Martínez, J.** (2006). Manejo del agua y restauración productiva en la región indígena mixteca de Puebla y Oaxaca. Resultados de los estudios y recomendaciones para los tomadores de decisiones de las comunidades y organizaciones de la sociedad civil. Banco Mundial, México D.F.
50. **Martínez, M.** (1959). Plantas útiles de la flora mexicana. Ed. Botas. México D.F.
51. **Masera, O., Ordoñez, M.J. and Dirzo, R.** (1992). Carbon emission from deforestation in México: Current situation and long term scenario. En W. Makundi y J. Sathaye (Eds.). Carbon emission and sequestration in forests: case studies from seven developing countries: Vol. 1. México.
52. **Medina, L.R.** (2010). Respuesta del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo estrés salino a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares adaptados a esta condición. Tesis de Maestría en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes. INCA, La Habana.
53. **Molina, R., Massicotte, H. and Trappe, J.** (1992). Specificity phenomena in micorrhizal symbioses: Community-ecological consequences and practical Implications. In: Allen, M.J. (Ed.) Mycorrhizal functioning an integrative plant-fungal process.
54. **Montero, L.** 2008. Producción de pimiento (*Capsicum annum* L) con el uso de biofertilizantes micorrízicos y diferentes niveles de humedad en el sustrato. Tesis de Maestría en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes. INCA, La Habana.
55. **Moore M. and Zobel, M.** 2009. Arbuscular mycorrhiza and plant-plant interactions – impact of invisible world on visible patterns. En: Pugnaire, F.I. (Ed.), Positive plant interactions and community dynamics. CRC Press, Boca Ratón.

56. **Mujica, Y.** (2009). Efectividad de la inoculación líquida con HMA en la nutrición del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Tesis de Maestría en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes, INCA, La Habana.
57. Noriega A.F., Vega, J.V., García, A.N. y Quesada, M. (2002). Historia natural de chamela (*Jacarantia mexicana* A.DC.; Caricaceae, Bonete). UNAM, México D.F.
58. **Núñez, M.** (2000). Análogos de brasinoesteroides como biorreguladores en la agricultura. Informe Final de Proyecto. INCA, La Habana.
59. **Núñez, M. y Robaina, C.** (2000). Brasinoesteroides: nuevos reguladores del crecimiento vegetal con amplias perspectivas para la Agricultura. Pub. No. 68, Instituto Agronómico Campinas (IAC), Sao Paulo.
60. **Ortega, E. y Rodés R.** (1986). Manual de prácticas de laboratorio de Fisiología Vegetal. Ed. Pueblo y Educación, La Habana.
61. **Ortiz G.A.** (2007). Metodología para el desarrollo sostenible sobre la selección de plantas nativas arbóreas y arbustivas de la Selva baja caducifolia del municipio de Tecamatlan, Puebla, Mexico. Tesis de Maestría en Agroforestería, UPR, Pinar del Río, Cuba .
62. **Ortiz, G.A., Vidal, C.A., Rodríguez, R.J., Bonilla, B.M., Mora, P.M. Vázquez, M.S. Huerta, Z.S., Lopez, G., Ortiz, S.G. y Bravo, H.F.** (2010). Criterios básicos para la definición del manejo sostenible de plantas nativas de la Mixteca poblana. Guía para el establecimiento de huertos agroforestales en la Mixteca poblana, Ed. El Errante, Puebla.
63. **Paneque, V.M. y Calaña, J.M.** (2001). La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su recomendación. INCA, La Habana.
64. **Peña, E.** (2001). Fuentes y proporciones en sustratos para organopónicos. Tesis de Maestría en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes. INCA, La Habana.

65. **Pugnaire, F.I., Haase, P. and Puig de Fabregas, J.** (1996). Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology*, 17:1420-1426.
66. **Querejeta, J.I., Egerton-Warburton, L.M. and Allen, M.F.** (2009). Topographic position modulates the mycorrhizal response of oak trees to interannual rainfall variability. *Ecology*, 90: 649-662.
67. **Requena, N., Jeffries, P. and Barea, J.M.** (1996). Assessment of natural mycorrhizal potential in a desertified semiarid ecosystem. *Applied and Environmental Microbiology*, 62: 842-847.
68. **Reyes, G.R., Vidal, A.; Rodríguez, J., López, G. y Ortiz G.A.** (2009). Comparación de dos tipos de sustrato en la propagación por estacas en cuatomate (*Solanum glaucescens*) en el municipio de Tecamatlán, Puebla, México., Memoria Congreso Internacional Simfor 2009, La Habana.
69. **Ricker, M y Dali, C.D.** (1998). Botánica económica en bosques tropicales. Ed. Diana, Mexico D.F.
70. **Rillig, M.C.** (2004). Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. *Ecology Letters*, 850: 740–754.
71. **Rivera, R., Fernández, F., Hernández, A. y Martín, J.R.** (2003). La Simbiosis micorrízica arbuscular. En: Rivera, R. y Fernández, F. (Eds.) El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. INCA, La Habana.
72. **Rubio, R., Borie, F., Schalchli, C., Castillo, C. and Azcón, R.** (2002). Plant growth responses in natural acidic soil as affected by arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus sources. *J. Plant. Nutrition*, 25: 1389-1405.
73. **Rzendoeski, J.** (1978). Vegetación de México, Ed. Limusa, Mexico D.F.
74. **Sánchez, M. and Honrubia, M.** (1994). Water relations and alleviation of drought stress in mycorrhizal plants. En: Gianninazi, S. and Schuepp, H.

(Eds) Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. Birkhauser Verlag, Basel.

75. **Schenck, N.C. and Smith G.S.** (1982). Additional new and unreported species of endomycorrhizal fungi(*Endogonaceae*) from Florida. *Micologia*, 74: 77-92.
76. **Servín, M. y Carrión, J.** (1994). Analisis de proyectos (ANPRO) versión 1.5. Univ. Aut. Chapingo, México.
77. **Sieverding, E.** (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
78. **Siqueira, J.O. y Franco, A.A.** (1988). Biotecnologia do solo. Fundamentos e perspectiva. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, Brasilia.
79. **Smith, S. and Read, D.** (2008). Mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry, En: Mycorrhizal Symbiosis, Academic Press, London.
80. **Spores, R.** (2008). La mixteca y los mixtecos. 3000 años de adaptación cultural. *Arqueología Mexicana*, Vol,XV, Núm. 90: 28-33.
81. **Strullu, D.G.** (1991). Les mycorrhizes des arbres et plantes cultivees. Technique et Documentation Lavoisier, Paris.
82. **Tanaka, Y. and Yano, K.** (2005). Nitrogen delivery to maize via mycorrhizal hyphae depends on the form of N supplied. *Plant Cell and Environment*, 28: 1247-1254.5
83. **Trappe, J.M.** (1987). Phylogenetic and ecologic aspects of micotrophyin the angisperms from an evolutionary standpoint. En: Safir, G.R. (Ed.) Ecophysiology of VA micorrhizal fungus. Chemical Press, Boca Raton.
84. **Terry, E.** (1998). Efectividad agronómica de biofertilizantes en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas, ISCAH, La Habana.

85. **Trejo, V.** (1995). Características del medio físico de la Selva baja caducifolia en México, *Investigación Geográfica*, 95-100
86. **Van der Heijden, M.G., Boller, T., Wiemken, A. and Sanders, J.A.** (1998). Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology*, 79 (6): 2082- 2091.
87. **Van Doesburg, S.** (2008). Los documentos pictográficos de la Mixteca baja. *Arqueología Mexicana*, Vol. XV, Núm. 90: 53 -59.
88. **Vargas, M.** (1998). Estudios etnobotánicos y caracterización agronómica del cuatomate (*Solanum glaucescens* Zucc.) en la Mixteca poblana. Tesis Profesional, Univ. Aut. Chapingo, México.
89. **Wang, Y., Xiangui, L. and Rui, Y.** (2004). Heavy metal uptake by arbuscular mycorrhizas of *Elsholtzia splendens* and the potential for phytoremediation of contaminated soil. *Plant and Soil*, 269: 225-232.
90. **Yano-Melo, A., Saggin, O. and Maia, L.** (2003). Tolerance of mycorrhized banana (*Musa* sp. cv. Pacovan) plantlets to saline stress. *Agric Ecosystem Environ.*, 95: 343-348.
91. **Zangaro, W., Nisizaki, S.M.A., Domingos, J.C.V. and Nakano, E.M.** (2003). Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil. *J. Tropical Ecology*, 19: 315-324.
92. **Zulueta, R.R.** (2003). Eficiencia de morfoespecies de hongos formadores de hongos micorrizico arbusculares aislados en raíces en la rizósfera de *Jacarantia mexicana* para promover la absorción de fosforo, Tesis de Doctor en Ciencias en Biotecnología, Colima, México.