



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD VEGETAL AÉREA Y  
SUBTERRÁNEA DE DIFERENTES COBERTURAS EN EL  
VALLE DEL MEZQUITAL Y SUS IMPLICACIONES EN EL  
CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**B I Ó L O G O**

P R E S E N T A

**EDGARDO GERMÁN VENEGAS**

DIRECTORA DE TESIS: Dra.Christina D. Siebe Grabach

ASESOR INTERNO: Dr.Efraín R. Ángeles Cervantes



México, D. F. Abril, 2014

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres:**

Simplemente no me quedan palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí, siempre detrás como un valiosísimo apoyo moral en todo momento, a pesar de las limitaciones que en ocasiones ha habido, ustedes siempre han sabido salir a flote y así me han enseñado a hacerlo también. Agradezco por que me han impulsado a crecer, madurar y aprender a valorar las cosas de la vida, por pequeñas que estas sean.

En esos momentos de flaqueza, depresión y caídas dolorosas, cuando muestran su preocupación por ayudar y uno no tiene la suficiente entereza, visión y calma para saber escuchar sus sabios consejos y sin embargo están ahí.

También agradezco por compartir los pequeños y grandes momentos de mi vida, algunos de ellos provocando cambios drásticos que siempre son para bien, y que a pesar de la distancia, no se pierde la cercanía entre nosotros.

### **A mi princesa:**

Mi hija Aranza quien llegó en un momento de confusión y de etapas inconclusas en mi vida, fue lo mejor que me ha pasado en la vida, que a pesar de no contar con ello, significó un cambio radical y como consecuencia a cambiar la vida de los que me rodean, enseñándome a vivir con mayor intensidad cada día y aprendiendo a valorar lo que se tiene y luchar por más cada día hasta alcanzarlo. Por enseñarme a identificar mis debilidades y querer ser mejor cada día como persona. Eres lo mejor que me ha pasado en la vida. Te amo.

### **Al amor de mi vida:**

A mi pareja, esposa, amiga, amante, confidente y apoyo incondicional que en todo momento ha estado conmigo desde el día en que la conocí, sin pensar en las maravillas y bellas sorpresas que me traería el compartir mi vida con ella.

Agradezco por todos esos momentos que hemos pasado juntos, por esos altibajos, alegrías, enojos y frustraciones que aunque parecieran no tener solución, al final salimos a flote. Sobre todo esas situaciones difíciles que hemos tenido que afrontar a veces por separado pero estando juntos, y que nos han puesto a prueba, pero que a pesar de todo seguimos aquí, más unidos y más fuertes.

Por ese apoyo incondicional que me has mostrado ante cualquier situación, y por enseñarme a afrontar los problemas de la vida que por más pequeños que parezcan a veces no se puede solo con ellos, y a ser un poquito más tolerante de lo que era antes.

Pero sobre todo por compartir este logro que al fin llega a su culminación pero es el inicio de una nueva etapa de vida y que significa mucho para mí y del cual tienes todo que ver.

Gracias por estar en mi vida, no me arrepiento de haberte conocido. Te amo preciosa.

A mis amigos Verito, Itzel y John quienes en diferentes momentos y etapas de mi vida han estado presentes y me han brindado su lealtad y amistad incondicional ante cualquier situación favorable o adversa. Además de recibir su apoyo de diferentes formas cuando más lo he necesitado, sin esperar nada a cambio. Gracias a ustedes por compartir un logro tan importante en mi vida y por estar en ella. Los quiero mucho.

A mi único hermano, quien a pesar de ser tan diferentes somos muy buenos amigos, espero nuestra relación se fortalezca cada día más a pesar de la distancia, te dedico esto por que sé por las andanzas, tropiezos y caídas dolorosas que has pasado, en todos aspectos me refiero, y has ido recuperándote poco a poco y has logrado un gran avance, gracias a tu esfuerzo, perseverancia y fortaleza del día a día, el cual verás que sin darte cuenta rendirá frutos.

Con esto te digo que lo que quieras se puede, siempre y cuando sigas aferrado a eso que tanto te mueve, hasta alcanzarlo, no hay metas imposibles. Sabes que cuentas conmigo, para lo que necesites, no lo dudes. Te quiero mucho.

A mis compañeros Verito, Itzel, Blanca, Diana, Osvaldo, Paulina, Licha y a todos aquellos con quienes compartí salón de clases, laboratorio y prácticas de campo durante la carrera, de quienes aprendí muchas cosas y con quienes pase muy buenos momentos y anécdotas que quedarán para el recuerdo, por ser parte de este proyecto y por brindarme su apoyo durante el desarrollo del mismo. Gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al proyecto SEP-CONACyT CB 83767 por el apoyo financiero otorgado para los análisis de laboratorio y trabajo de campo. Así como, al Instituto de Geología (UNAM), por la beca otorgada que hizo posible mi estancia en el mismo, y sin los cuales no habría podido llevar a cabo este proyecto.

A la Dra. Christina Siebe por su entereza, firme dedicación, esfuerzo, paciencia y valiosísimos consejos que me ayudaron a desarrollar y concretar este trabajo.

Al Dr. Efraín Ángeles, quien me transmitió sus conocimientos durante el desarrollo de este trabajo, otorgándome una visión más amplia sobre el mismo.

A los dueños de las parcelas de los poblados de Ulapa, Tetepango, Santiago Tezontlale, Juandhó y El Tigre, que nos permitieron coleccionar muestras de sus tierras.

A los agricultores que amablemente proporcionaron información para las encuestas realizadas sobre sus parcelas.

A la maestra Kumiko Shimada, por su amabilidad y paciencia en indicarme los procedimientos de laboratorio y por los análisis químicos realizados en el Laboratorio de Edafología Ambiental, así como a los miembros de su equipo Roberto y Lucero Cabrera.

A la Q. Águeda Pérez, responsable del Laboratorio de Análisis Químico y Toxicológico de Alimentos, que se encuentra en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) y a los técnicos que en él laboran, por las facilidades otorgadas para el análisis de las muestras vegetales.

Al Biól. Mario Cayetano, quien proporcionó algunas muestras vegetales de alfalfa y maíz, ambos cultivos dentro del marco de su tesis de maestría.

Al Dr. Víctor Peña, por sus generosos comentarios, sugerencias y apoyo durante la conclusión de este trabajo.

A los técnicos de las oficinas de SAGARPA-CONAGUA en el municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, por haber proporcionado con toda amabilidad, algunos datos sobre rendimientos de biomasa fresca de alfalfa y maíz.

A todos los profesores de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza que durante mi carrera tomaron parte en mi formación, quienes me brindaron sus conocimientos y me dieron la confianza y ayudaron para adquirir una visión más amplia y un pensamiento analítico que me permitiera resolver problemáticas inmersas en el aprendizaje durante la carrera, que bien pueden aplicarse a la vida real. Extiendo mi más sincero respeto por haberme brindado sus sabios consejos durante este proceso.

A la máxima casa de estudios que me vio crecer personal, intelectual y profesionalmente, de la cual me siento orgulloso de formar parte, gracias Universidad Nacional Autónoma de México.

“¡Goya goya, cachún cachún ra ra, cachún cachún ra ra, goya, Universidad!!”

## ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. HIPÓTESIS	5
3. OBJETIVO GENERAL	6
3.1. Objetivos particulares	6
4. MATERIALES Y MÉTODOS	7
4.1. Diseño de muestreo	7
4.2. Rendimientos históricos de biomasa seca aérea en cultivos de alfalfa y maíz (censos 1950-2010, datos CNA-SAGARPA)	9
4.3. Determinación de la productividad aérea en parcelas cultivadas de alfalfa y maíz a través de la aplicación de encuestas.	9
4.4. Cuantificación de biomasa seca	10
4.4.1 Biomasa aérea arbórea	10
4.4.2 Biomasa aérea arbustiva	11
4.4.3 Biomasa aérea de herbáceas	13
4.4.4 Biomasa subterránea	15
4.5. Determinación de carbono en el suelo	16
4.6. Análisis bromatológico (calidad de materia orgánica)	16
5. RESULTADOS	17

<b>5.1.</b>	Rendimientos históricos de biomasa seca aérea en cultivos de alfalfa y maíz	17
<b>5.2.</b>	Productividad aérea en parcelas cultivadas de alfalfa y maíz bajo riego con base en la aplicación de encuestas.	22
<b>5.2.1</b>	Uso de fertilizantes en cultivos de alfalfa y maíz	24
<b>5.2.2</b>	Efecto de los años de riego con agua residual sobre la productividad de cultivos de alfalfa y maíz	27
<b>5.3.</b>	Biomasa seca aérea en matorral y mezquital	32
<b>5.4.</b>	Biomasa seca subterránea (raíces finas) en las diferentes coberturas	34
<b>5.5.</b>	Determinación de carbono en el suelo bajo diferentes coberturas	35
<b>5.6.</b>	Calidad de la materia orgánica	38
<b>5.6.1</b>	Contenido de proteína cruda en biomasa seca aérea de cultivos de alfalfa y maíz bajo riego	38
<b>5.6.2</b>	Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en biomasa seca subterránea (raíces finas) de diferentes coberturas	39
<b>6. DISCUSIÓN</b>		41
<b>6.1.</b>	Rendimientos históricos de biomasa seca aérea en cultivos de alfalfa y maíz	41
<b>6.2.</b>	Factores determinantes de la productividad aérea en parcelas cultivadas de alfalfa y maíz bajo riego con base en la aplicación de encuestas	44
<b>6.3.</b>	Biomasa seca aérea en matorral y mezquital	47
<b>6.3.1</b>	Árboles	47
<b>6.3.2</b>	Arbustos	48
<b>6.3.3</b>	Herbáceas	50
<b>6.4.</b>	Cuantificación de biomasa seca subterránea	51
<b>6.4.1</b>	Cultivos de riego y temporal de alfalfa y maíz	51
<b>6.4.2</b>	Matorral y mezquital (raíces finas)	52



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla.</b>	<b>Página</b>
1. Tipo de muestras colectadas bajo cada cobertura.	8
2. Tamaño de apertura de malla empleado con respecto al tamaño de muestra de suelo y contenido vegetal.	15
3. Censo realizado en 2007 en cada estado de la República sobre producción de alfalfa y maíz (amarillo-blanco) bajo riego.	20
4. Tabla comparativa sobre el uso de fertilizantes y producción de biomasa seca (BS) entre cultivos de alfalfa y maíz bajo riego por municipio con base en las encuestas aplicadas a los agricultores. Se muestra el porcentaje de encuestados sobre el tipo de fertilizante por municipio, así como el promedio de fertilizante utilizado.	26
5. Porcentaje del tipo de semilla utilizada (mejorada y criolla), con base en las encuestas aplicadas a los agricultores, especificando las variedades de semilla.	31
6. Biomasa seca total registrada en matorral, estimada en toneladas por hectárea.	32
7. Biomasa seca total aérea registrada en mezquital, estimada en toneladas por hectárea.	33
8. Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes coberturas.	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura.</b>	<b>Página</b>
1. Localización del área de estudio. Ubicación de sitios de muestreo pertenecientes a los municipios de Ajacuba y Tetepango en el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo.	8
2. La función trigonométrica Tangente del ángulo $\theta$ fue empleada para estimar la altura de los árboles.	10
3. La superficie de cada rectángulo empleado para estimar la biomasa aérea de los arbustos fue de 500 m <sup>2</sup> .	12
4. Forma geométrica similar a organismos vegetales medidos en matorral.	12
5. Diagramas de cobertura. Las áreas oscuras corresponden a la cobertura de hierbas (porcentaje 1/100).	14
6. Producción de alfalfa registrada en los diversos municipios del Valle del Mezquital en los censos INEGI entre 1950 y 2007, y producción de alfalfa según SAGARPA (2010).	19
7. Producción de mazorca de maíz registrada en los diversos municipios del Valle del Mezquital en los censos INEGI entre 1950 y 2007 y por SAGARPA (2010).	19
8. Producción anual de biomasa seca de alfalfa en función de la profundidad del suelo en parcelas de diversos municipios del Valle del Mezquital. Datos recabados a través de encuestas a los productores.	23
9. Producción anual de biomasa seca de maíz (grano), en función de la profundidad del suelo en parcelas de diversos municipios del Valle del Mezquital. Datos recabados a través de encuestas a los productores.	23
10. Porcentaje de los encuestados que aplica fertilizantes en cultivos de alfalfa, considerando todos los municipios.	24
11. Porcentaje de los encuestados que aplica fertilizante, en cultivos de maíz, considerando todos los municipios.	25

<b>12.</b>	Rendimientos en función de los años de riego reportados por los agricultores con agua residual sobre cultivos de alfalfa.	28
<b>13.</b>	Rendimientos en función de los años de riego reportados por los agricultores con agua residual sobre cultivos de maíz.	29
<b>14.</b>	Relación entre la producción de alfalfa y los años de riego.	29
<b>15.</b>	Ajuste de una función logarítmica a los rendimientos de maíz en función del tiempo bajo riego.	30
<b>16.</b>	Producción de biomasa seca aérea registrada en matorral y mezquital. Datos colectados en campo y procesados en laboratorio.	34
<b>17.</b>	Producción de biomasa seca subterránea (raíces finas) entre las diferentes coberturas.	35
<b>18.</b>	Comparación del contenido de carbono orgánico bajo las diferentes coberturas: matorral, mezquital, cultivos de alfalfa de riego y maíz de temporal.	36
<b>19.</b>	Promedio del contenido de proteína cruda en biomasa seca aérea de 5 parcelas diferentes de cultivos de alfalfa y maíz (zacate) bajo riego, respectivamente.	38
<b>20.</b>	Contenido de celulosa en BS subterránea de los diferentes sitios de muestreo matorral, mezquital, cultivos de temporal y riego de maíz y alfalfa.	39
<b>21.</b>	Contenido de hemicelulosa en biomasa seca subterránea (raíces finas) de los diferentes sitios de muestreo matorral, mezquital, cultivos de temporal y riego de maíz y alfalfa.	40
<b>22.</b>	Contenido de lignina en biomasa seca subterránea (raíces finas) de los diferentes sitios de muestreo matorral, mezquital, cultivos de temporal y riego de maíz y alfalfa.	40

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo.	Página
1. Censos registrados de 1950 a 2007 (INEGI); 2010 (SAGARPA), sobre la Producción de biomasa seca de alfalfa.	78
2. Biomasa seca en la alfalfa al momento del corte, suponiendo que los datos fueron colectados en biomasa húmeda al 67 % ( <i>Santana, 1999; Heath, 1985</i> ).	79
3. Censos registrados de 1950 a 2007 (INEGI); 2010 (SAGARPA), sobre la producción de maíz.	80
4. Datos obtenidos en las encuestas realizadas a agricultores de diferentes municipios sobre alfalfa.	81
5. Datos obtenidos en las encuestas realizadas a agricultores de diferentes municipios sobre maíz.	83
6. Cuadro de datos obtenidos de las alícuotas colectadas de algunos especímenes en campo, para calcular la razón peso seco peso húmedo.	85
7. Datos obtenidos de las muestras colectadas y pesadas en campo, para conocer volumen y biomasa seca total de especímenes muestreados en el sitio.	86
8. Desglose de mediciones obtenidas de matorral. Biomasa seca aérea de especímenes arbustivos.	87
9. Desglose de mediciones obtenidas de matorral. Biomasa seca aérea de cactáceas.	92
10. Valores obtenidos en campo, procesados para conocer el contenido de biomasa seca de herbáceas por hectárea en matorral.	96
11. Datos obtenidos sobre estimaciones de altura en organismos arbóreos en el mezquital.	97
12. Cálculos sobre mediciones obtenidas de matorral. Biomasa seca aérea de organismos arbóreos.	98

<b>13.</b>	Valores capturados en campo, procesados para conocer el contenido de biomasa seca de herbáceas en toneladas por hectárea en mezquital.	100
<b>14.</b>	Desglose de cálculos sobre contenido de biomasa subterránea (raíces finas) en las diferentes parcelas de cultivos de temporal.	101
<b>15.</b>	Desglose de cálculos sobre contenido de biomasa subterránea (raíces finas) en las diferentes parcelas de cultivos de riego.	104
<b>16.</b>	Desglose de cálculos sobre contenido de biomasa subterránea (raíces finas) en matorral y mezquital.	107
<b>17.</b>	Contenido de carbono en el suelo, por centímetro de profundidad bajo diferentes coberturas.	109
<b>18.</b>	Contenido de proteína cruda en biomasa seca aérea de cultivos de alfalfa y maíz de riego.	110
<b>19.</b>	Contenido en porcentaje de celulosa, lignina y hemicelulosa en biomasa seca subterránea (raíces finas-rastrojo) de cultivos de riego y temporal de alfalfa y maíz, matorral y mezquital.	111
<b>20.</b>	Formato de encuesta	112

## RESUMEN

El Valle del Mezquital es una zona semiárida con una cobertura natural de matorral xerófilo localizada al suroeste del estado de Hidalgo. El poblamiento de esta región desde hace más de mil años ha propiciado cambios en el uso de suelo. A partir del siglo XX se implementaron sistemas de riego con aguas residuales, provocando un cambio radical en el régimen de humedad y nutrimentos, repercutiendo en la productividad primaria y con ello en la dinámica y el almacén de la materia orgánica del suelo. Las diferentes coberturas, como el matorral, los pastizales, el maíz de temporal, la rotación de cultivos de maíz-alfalfa bajo riego, tienen una productividad característica, reflejada en una aportación de materia orgánica al suelo en forma de tejidos vegetales muertos y residuos de cosecha específica. Este aporte es distinto bajo cada cobertura en cantidad, como en calidad. El objetivo de este estudio fue comparar la productividad primaria aérea y subterránea de un matorral xerófilo y un sitio de mezquital con la de cultivos de temporal de maíz y rotativos de alfalfa-maíz regados con agua residual y relacionarla con la cantidad del carbono orgánico del suelo bajo cada cobertura. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica sobre los censos agrícolas (INEGI, 1950-2010) y se aplicaron encuestas a agricultores. Se realizaron mediciones en campo de la biomasa aérea de individuos arbóreos, herbáceas, arbustos, y cactáceas. Se colectaron muestras de suelo superficial para determinar la biomasa subterránea contenida bajo las diferentes coberturas, y analizar su contenido de lignina, celulosa, hemicelulosa y proteína. También se cuantificó el contenido de carbono orgánico en el suelo. En muestras vegetales de alfalfa y maíz (zacate) se determinó el contenido de proteína cruda. Los censos registraron la mayor producción de alfalfa en Tlahuelilpan con  $86.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , sin especificar unidades de masa fresca o seca. Para el maíz blanco se reportaron rendimientos máximos de  $20.5 \text{ t ha}^{-1}$  en Mixquiahuala. Las encuestas indicaron la mayor producción de alfalfa en el municipio de Fco. I. Madero con  $34.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y de maíz de riego con  $17.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , en el municipio de Tezontepec. El sitio de mezquital registró la mayor producción de biomasa aérea con  $109.78 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que los cultivos de alfalfa registraron el mayor contenido de biomasa subterránea con  $5.6 \text{ t ha}^{-1}$ . El carbono por centímetro de profundidad en el suelo, fue más elevado en el mezquital con  $0.42 \text{ t ha}^{-1}$ , seguido por el de la rotación alfalfa-maíz, los cuales superan a los del matorral. El menor contenido de carbono orgánico se registra bajo maíz de temporal. Se concluye que la rotación alfalfa-maíz bajo riego con agua residual permite la recuperación de los almacenes de carbono del suelo a niveles comparables con las coberturas naturales.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Valle del Mezquital es una zona semiárida localizada al suroeste del estado de Hidalgo, cuya cobertura vegetal natural corresponde a matorral xerófilo (*González, 1968*). Sin embargo el poblamiento de esta región desde hace más de mil años ha propiciado varios cambios en el uso de suelo. En la época prehispánica este cambio se dio localmente a sistemas agrícolas de milpa, sobre todo en la región cercana a Tula (*Mastache et al., 2002*). Posteriormente durante el virreinato se fomentó el pastoreo extensivo y el cultivo de cereales de temporal (*Melville, 1990; Hunter, 2010*). A partir del siglo XX se implementaron sistemas de riego con aguas residuales provenientes de la ciudad de México (*Cruz, 1965*). Estos últimos han cambiado radicalmente el régimen de humedad y de nutrimentos en los suelos, lo cual a su vez ha repercutido en la productividad primaria y con ello en la dinámica y el almacén de la materia orgánica del suelo.

El riego con agua residual es una práctica común en muchos países del mundo. En México fue adoptada por la creciente demanda que exigía la producción de alimentos (*Tejeda, 1991*) debido al crecimiento demográfico. No obstante, esta agua presenta limitaciones para ser utilizada con este fin por su contenido de desechos domésticos e industriales. Sin embargo, a través del tiempo ha sido altamente valorada por los agricultores, ya que el agua residual cruda, parcialmente tratada o mezclada con agua de lluvia, aumenta la productividad por su carga de nutrientes (*SARH, 1994; CNA, 1995; Peña, 2002*). En el valle del Mezquital el agua residual de la ciudad de México recibe un tratamiento a través de su infiltración en el suelo, el cual es equivalente o superior al tratamiento secundario convencional de agua residual (*Convenio IDRC-OPS/HEP/CEPIS, 2002*). Con el aporte de agua la cobertura vegetal del valle se ha transformado, cambiando su vegetación de matorral xerófilo o de pastizal, donde regularmente existían arbustos, herbáceas y árboles pequeños, a una zona agrícola altamente productiva. Siebe (1994) y Chapela (2011) compararon parcelas bajo riego por diferentes lapsos de tiempo con parcelas de temporal en el valle del Mezquital y encontraron un incremento en el almacén de carbono del suelo de 3-6 kg/m<sup>2</sup> bajo agricultura de temporal a 4-9 kg/m<sup>2</sup> después de más de 50 años bajo riego.

Las diferentes coberturas, como el matorral, los pastizales, las gramíneas de temporal, la rotación de cultivos de maíz-alfalfa bajo riego, tienen una productividad característica, la cual se ve reflejada en una aportación de materia orgánica al suelo en forma de tejidos vegetales muertos

y residuos de cosecha. Este aporte es distinto bajo cada cobertura no sólo en términos de cantidad, sino también de calidad.

En los suelos agrícolas de temporal el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) es frecuentemente menor que el que presentan sitios con coberturas de vegetación natural en la misma región, debido a que la erosión, la labranza y el uso de fertilizantes químicos, fomentan la mineralización de la MOS. Los horizontes superficiales del suelo suelen contener entre el 1 y el 3 % MOS según el tipo de cultivo producido. En estos ambientes las redes radicales subterráneas contribuyen de forma importante al aporte de materia orgánica (*García et al., 2003*).

La MOS es un indicador de la calidad del suelo y su productividad (*Quiroga y Funaro, 2004; Silva, 2004*), ya que incide directamente sobre propiedades edáficas, como estructura, disponibilidad de carbono y nitrógeno (*Gregorich et al., 1994*). Usualmente, el clima y la vegetación en conjunto influyen los contenidos de materia orgánica del suelo. Generalmente, la productividad vegetal originada por un ambiente bien provisto de agua proporciona mayores aportes a la reserva de materia orgánica del suelo. En los pastizales los residuos contienen una proporción relativamente mayor de materia radicular, que se descompone más lentamente y contribuye más eficientemente a la formación de humus del suelo que la hojarasca de un bosque (*Labrador, 1996; UBA, 2000*). Dos terceras partes de la materia orgánica se descompone por lo general en un año, después de lo cual, el proceso se hace más lento debido a que se forman sustancias estables que resisten los subsecuentes ataques microbianos (*Álvarez, 2000*).

Es de esperarse por lo tanto, que bajo cada cobertura se establezca con el tiempo un contenido de materia orgánica característico, el cual resultará del balance entre el aporte de residuos orgánicos y la mineralización y humificación de los mismos. En dicho proceso de descomposición están involucradas la trituración o descomposición mecánica, la lixiviación o lavado, el catabolismo o mineralización (*Swift et al., 1979*) y la humificación (neoformación de compuestos húmicos). A través de la mineralización los nutrientes pueden ser utilizados nuevamente por las plantas y completarse así, el ciclo de nutrientes (*Álvarez, 2000*).

Las actividades agrícolas, provocan por lo general una disminución en la cobertura natural de la superficie terrestre, alterando los ciclos biogeoquímicos y los procesos de descomposición de materia orgánica, lo que imposibilita su reincorporación al suelo (*De la Fuente y Suárez, 2008*). El equilibrio entre producción de biomasa y la mineralización-humificación de la misma se interrumpe, modificando la disponibilidad de nutrimentos y humedad del suelo (*Ugalde et al.,*

2008), propiciando en mayor o menor medida, alteraciones en el ecosistema (*De la Fuente y Suárez, 2008*). Una vez efectuado el cambio de uso de suelo, el nuevo sistema tenderá a alcanzar un estado de meta-equilibrio (*Clapp et al., 2005*), el cual se manifestará en la aproximación de un contenido de materia orgánica humificada característico de cada región y de cada sistema de utilización de la tierra.

La labranza convencional puede producir pérdidas del carbono del suelo del 40% o más durante un período de 40 años. Sin embargo, algunos sistemas antrópicos alcanzan a incrementar notablemente los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS) a través de la incorporación de abonos verdes, composta, biosólidos, la incorporación al suelo de rastrojos, manteniendo o incrementando los niveles de MOS por el aumento de la productividad primaria (*Píccolo et al., 1998*).

El contenido de materia orgánica en un suelo es determinante para la productividad del ecosistema, ya que se encuentra involucrada en un gran número de procesos, tales como el suministro de nutrientes para la producción vegetal en ecosistemas naturales y cultivados (*Píccolo et al., 1998*), la formación y estabilización de agregados, el ciclo biogeoquímico de nutrientes, el amortiguamiento del pH del suelo, el balance de agua y energía, la retención de humedad, entre otros (*Nelson y Sommers, 1996*). Otro aspecto importante es su papel en los procesos de óxido-reducción de cualquier elemento químico (*Sauvé et al., 1998; Yermiyahu et al., 1995*) y muy particularmente su papel regulador en muchas de las transformaciones en el ciclo del nitrógeno (*Johnsson et al., 1987*). La MOS influye en la porosidad del suelo y con ello interviene en el transporte de agua y solutos, el intercambio de gases, la respiración, la velocidad de infiltración, la estabilidad estructural (*Silva, 2004*), la adsorción-desorción de pesticidas (*Benoit et al., 1996; Barriuso et al., 1992*), hidrocarburos aromáticos (*Totsche et al., 1997*) y metales pesados (*Gu et al., 1994; García et al., 2003*).

La evaluación de la productividad primaria, a través de la medición de la biomasa seca (peso seco en gramos), aérea y subterránea, indica la cantidad de energía disponible para consumidores y descomponedores, que en su oportunidad influyen en otros procesos importantes del ecosistema, tales como ciclos biogeoquímicos, tasas de descomposición entre otros. Shen et al. 2005, investigó la variación de la productividad primaria en el Desierto de Sonora y encontró variaciones de entre 11.3 hasta 229 g año<sup>-1</sup>. Debido a que es un sistema altamente variable, es

necesario realizar estudios acerca de los factores determinantes, entre los que se encuentra el cambio de uso del suelo.

En este trabajo se pretende comparar la productividad de biomasa aérea y subterránea en cultivos de temporal, de riego con agua residual, de un matorral y un mezquital. Además se pretende caracterizar la calidad de la biomasa subterránea producida y cuantificar el contenido de carbono orgánico en el suelo. Con ello se discutirá el impacto que el cambio de uso de suelo ha tenido sobre la productividad primaria y el almacén de carbono orgánico en el suelo del valle del Mezquital.

## 2. HIPÓTESIS

**Con base en las reflexiones descritas en el capítulo introductorio se formularon las siguientes hipótesis:**

- El cultivo rotativo de alfalfa-maíz con riego de agua residual tiene mayor productividad primaria que el cultivo de temporal e incluso una mayor productividad que el matorral, dado que en este sistema de uso de suelo se eliminan las limitaciones de disponibilidad de agua y de nutrientes. Su productividad podría incluso superar a la de la cobertura de mezquital, la cual representa la condición de máxima productividad en esta región semiárida bajo condiciones naturales.
- Los cambios en la calidad de la materia orgánica del suelo se pueden explicar a través de la composición bromatológica de la biomasa aérea y subterránea de las diferentes coberturas. Dado que la biomasa superficial de la alfalfa es más rica en compuestos nitrogenados y tiene menos lignina, celulosa y hemicelulosa, se degradará rápidamente. Sin embargo, la alfalfa deja una importante cantidad de raíces en el suelo, las cuales contienen proporciones importantes de lignina, celulosa y hemicelulosa, lo cual puede contribuir al almacén de materia orgánica del suelo. Es por ello que se espera un incremento en los contenidos de carbono del suelo (COS) y un cambio en la calidad de la materia orgánica bajo la rotación de alfalfa-maíz bajo riego en comparación con los contenidos de COS bajo maíz de temporal y cobertura de matorral.

### 3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del cambio de uso de suelo en el Valle del Mezquital en el contenido del carbono orgánico del suelo, comparando la productividad primaria de un matorral xerófilo y un mezquital con la de un cultivo de temporal de maíz y uno rotativo de alfalfa-maíz regado con agua residual y relacionarla con la cantidad del carbono orgánico del suelo bajo cada cobertura.

#### 3.1. Objetivos particulares

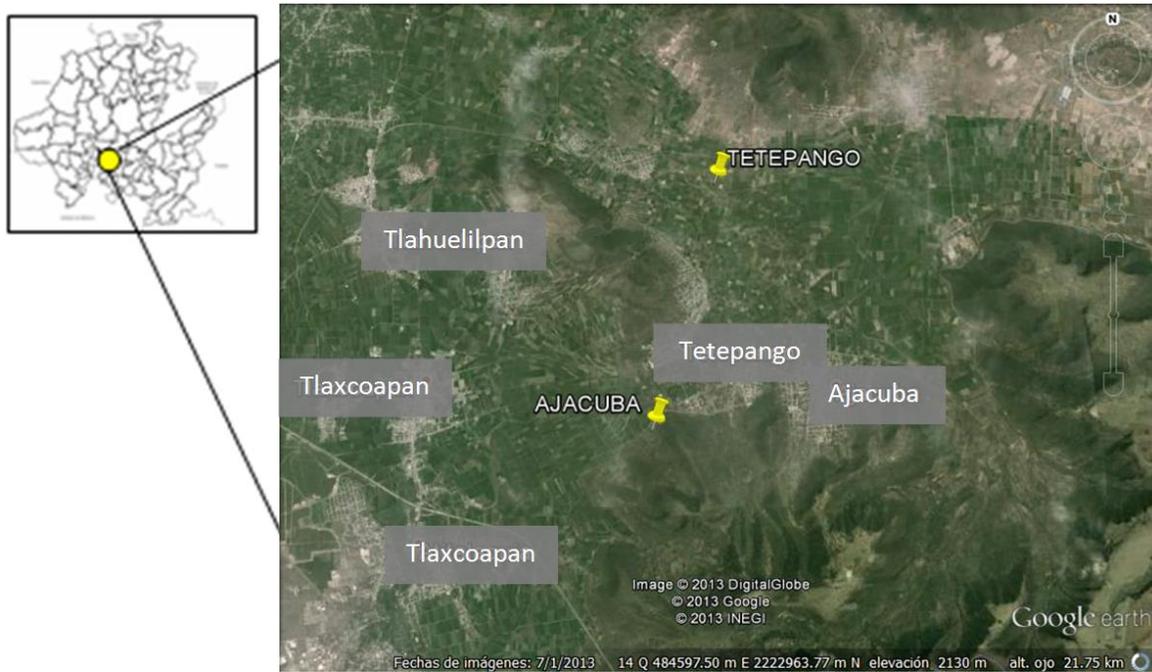
- Cuantificar la producción de biomasa superficial y subterránea (raíces finas) de un matorral xerófilo, de un sitio bajo cobertura de mezquital, de cultivos de temporal y de riego.
- Comparar los rendimientos históricos sobre alfalfa y maíz bajo riego, en los censos realizados por el INEGI entre 1950 y 2007 con las encuestas realizadas en 2011 a agricultores de diferentes municipios del Valle del Mezquital.
- Caracterizar la calidad de biomasa subterránea (raíces finas) en un matorral, mezquital, cultivo de temporal y cultivo de riego.
- Comparar la cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo en los cuatro sistemas.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Diseño de muestreo

En el área de estudio los sitios para el muestreo de los cultivos fueron ubicados en la localidad de El Tigre (coordenadas UTM: 482793 mE 2220674 mN) en el municipio de Ajacuba; Ulapa (coordenadas UTM: 484483 mE, 2227072 mN), Juandhó (coordenadas UTM: 480097 mE y 22228670 mN) y Santiago Tezontlale (coordenadas UTM 488757 mE, 2229815 mN), correspondientes al municipio de Tetepango, en el Valle del Mezquital, pertenecientes al estado de Hidalgo (Figura 1). Se seleccionaron parcelas con coberturas de maíz de agricultura de temporal y rotación maíz-alfalfa de riego (80-100 años de riego). Adicionalmente se muestreó un lote con cobertura de matorral, que se ubicó también en El Tigre (coordenadas UTM 482793 mE, 2220674 mN), el cual representa la cobertura natural dominante en la zona, aunque actualmente estos matorrales se encuentran muy perturbados por pastoreo extensivo. Ambos sitios de esta localidad se encuentran desarrollados sobre el piedemonte de tobas volcánicas en suelos de tipo Phaeozem (*González-Méndez et al., 2014*) pertenecientes al valle de Ajacuba. Además se estudió un lote con cobertura de mezquital que se localiza en el municipio de Tetepango (coordenadas UTM: 484483.00 mE, 2227071.97 m N). Se ubica junto a un estanque de acuacultura y cuyos árboles tienen aparentemente edades de más de 80 años. Este es el único sitio en el que aún se conserva una cobertura de mezquital en la zona. Este lote se localiza en la parte más baja del valle de Ajacuba y el suelo corresponde a un Vertisol (*González-Sánchez com. Pers.*). El mezquital representa la cobertura natural de mayor productividad en el área.

En cada parcela se estimó la biomasa aérea (árboles, arbustos, cactáceas y herbáceas), y subterránea (raíces finas), así como la cantidad de C en el suelo. En la Tabla 1 se resume el diseño de muestreo.



**Figura 1.** Localización del área de estudio. Ubicación de sitios de muestreo pertenecientes a los municipios de Ajacuba y Tetepango en el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo.

**Tabla 1.** Tipo de muestras colectadas bajo cada cobertura.

	Árboles	Arbustos	Cactáceas	Hierbas	Biomasa subterránea	C suelo
<b>Mezquital</b>	X			X	2X	2X
<b>Matorral</b>		X	X	X	2X	2X
<b>Maíz temporal</b>					3X	3X
<b>Alfalfa riego</b>					3X	3X

#### **4.2 Rendimientos históricos de biomasa seca aérea en cultivos de alfalfa y maíz (censos 1950-2010, datos CNA-SAGARPA)**

Se realizó una revisión bibliográfica sobre los censos agrícolas registrados en los últimos 60 años (1950-2010), comparando la productividad en los cultivos de riego de alfalfa y maíz en algunos municipios del valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, tales como: Ajacuba, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Chilcuautila, Fco. I. Madero, Mixquiahuala de Juárez, Tezontepec, Tlahuelilpan y Tlaxcoapan con la finalidad de conocer las variaciones que ha habido durante este período de tiempo. Además se realizó una visita a las oficinas de CNA-SAGARPA, ubicadas en Mixquiahuala de Juárez, Hgo., donde se obtuvieron los registros de productividad de cultivos de alfalfa y maíz bajo riego, de los municipios antes mencionados en el año 2010.

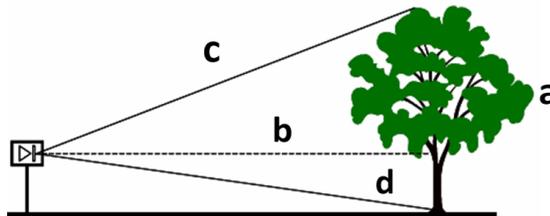
#### **4.3 Determinación de la productividad aérea en parcelas cultivadas de alfalfa y maíz a través de la aplicación de encuestas.**

Se aplicaron encuestas (ver el formato de encuesta en Anexos) a agricultores para conocer la productividad de parcelas regadas con aguas residuales, según el cultivo, alfalfa o maíz, o ambos, y diferenciando por tipo de suelo suelos someros (Leptosoles), suelos de profundidad mediana y textura franco arcillosa (Phaeozems), y suelos profundos arcillosos (Vertisoles). Las encuestas se aplicaron a campesinos dueños y/o encargados de las parcelas, y se hicieron preguntas adicionales sobre el tamaño de las parcelas, el uso de fertilizantes, cantidad aplicada y tipo de fertilizante, períodos de riego, corte y siembra, densidad de siembra y sobre la rotación de cultivos. Con los datos obtenidos se caracterizaron los sistemas de utilización de la tierra y se analizó su influencia en la productividad (rendimiento).

## 4.4 Cuantificación de biomasa seca

### 4.4.1 Biomasa aérea arbórea

Los individuos fueron considerados como árboles si presentaban un perímetro a la altura del pecho de 10 cm o más y una altura de 3 m o más. El mezquital fue la única cobertura vegetal con árboles, dominado exclusivamente con organismos del género *Prosopis*. En la parcela se trazaron dos cuadros de 10 x 25 m (500 m<sup>2</sup>) se registraron todos los individuos arbóreos, y se midió el perímetro de todas las ramificaciones por individuo; estos datos sirvieron para calcular el diámetro (DAP). Debido a lo cerrado del dosel no se pudo registrar la altura de cada individuo. Esta variable era similar en todos los árboles por lo que se decidió obtener una altura promedio, a partir de los datos de 9 individuos. Para estimar la altura (a) se midió el ángulo de inclinación que se forma al fijar el clinómetro en la punta más alta de la copa desde una distancia conocida (b). Posteriormente, al ángulo se le aplicó la función trigonométrica tangente de  $\theta$  y se multiplicó por el valor de "b" para obtener la altura (Figura 2) (Meza y Osuna, 2003). A esta medida se le agregó la altura hasta los ojos de la persona que registró el ángulo de inclinación con el clinómetro, de acuerdo a la siguiente ecuación:



**Figura 2.** La función trigonométrica Tangente del ángulo  $\theta$  fue empleada para estimar la altura de los árboles.

$$\text{Tan } \theta = \frac{a}{b}$$

$$a = \text{Tan } \theta \cdot b$$

**Donde:**

**a=** Altura

**b=** Distancia desde la toma de lectura con clinómetro hasta el árbol (m)

**c=** Tangente del ángulo de inclinación que se obtuvo al fijar el clinómetro en la punta más alta de la copa.

**d=** Altura hasta los ojos de la persona que registró el ángulo de inclinación.

Posteriormente, los datos obtenidos se emplearon en la ecuación alométrica reportada por Nívar et al. (2004) para estimar la biomasa seca total de cada individuo de *Prosopis sp.* La sumatoria de la biomasa seca de cada individuo en los 500 m<sup>2</sup>, fue interpolada a toneladas por hectárea:

$$BSA = [-0.14775+0.000659D^2H+0.118172D]+[-2.981+0.006699D^2H+1.221108D] \\ +[-0.62634+0.001711D^2H+0.133902D]$$

**Donde:**

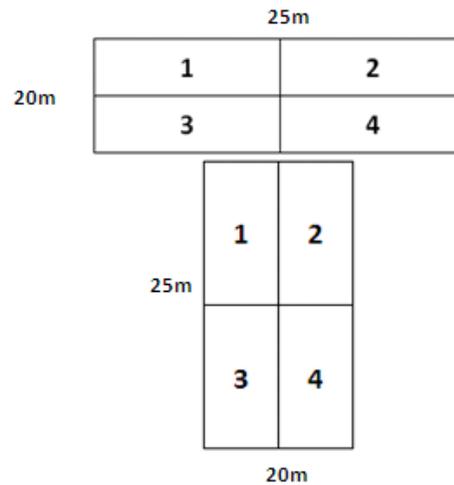
**BSA=** Biomasa seca total de cada individuo de *Prosopis sp.*(kg)

**D=** Diámetro a la altura del pecho (cm)

**H=** Altura (m)

#### 4.4.2 Biomasa aérea arbustiva

En la parcela del matorral xerófilo se trazaron dos rectángulos de 25×20 m (1000 m<sup>2</sup> en total), que formaban entre ellos una "T" (Rendón y Soto, 2007). Cada rectángulo se subdividió en cuatro (Figura 3) para facilitar el registro de los arbustos.



**Figura 3.** La superficie de cada rectángulo empleado para estimar la biomasa aérea de los arbustos fue de 500 m<sup>2</sup>.

En los rectángulos se seleccionaron individuos arbustivos, ramificados a la base y con altura de hasta 3 m (Parrotta, 1992; CONABIO, 2009). Se midió el diámetro basal (DB), se obtuvo el diámetro mayor (DM) y menor (Dm) de la copa para calcular la cobertura, y se midió la altura total (h) (Acosta et al., 2002; Espinosa et al., 1989; López et al., 2003; Verwijst y Björn, 1999). En esta categoría se incluyeron las cactáceas, registrando las mismas variables. Posteriormente, con base en la forma de los arbustos y cactáceas encontradas en el matorral (Figura 4), se aplicó la siguiente ecuación con la que se obtuvo su volumen (Bonham, 1989):

**Volumen de cono invertido**

$$V = \frac{\pi r^2 \cdot h}{3}$$



**Figura 4.** Forma geométrica similar a organismos vegetales medidos en matorral (Bonham, 1989).

Para estimar la biomasa seca a partir del volumen se hizo un muestreo destructivo. En cada especie se seleccionaron al azar tres individuos previamente ubicados, que fueron cortados para conocer su peso húmedo total. Una alícuota fue pesada también en fresco y en el laboratorio secada en estufa a 60°C hasta obtener un peso seco constante (Mendoza, 2008; Etchevers et al.,

2005; López et al., 2003). La razón peso seco/peso húmedo obtenida en cada arbusto fue empleada para estimar el peso seco.

$$\text{BST} = \text{PSa} / \text{PHa} * \text{PHT}$$

**Donde:**

**BST=** Biomasa seca total del arbusto (kg)

**PSa=** Peso seco de la alícuota del arbusto (kg)

**PHa=** Peso húmedo de la alícuota del arbusto (kg)

**PHT=** Peso húmedo total del arbusto (kg)

Los datos del volumen y del peso seco obtenido para cada arbusto cosechado fueron promediados y con la razón peso seco/volumen se calculó el peso seco de los arbustos a partir del volumen.

$$\text{BST} = \text{PSPAR} / \text{VPAR} * \text{VAR}$$

**Donde:**

**BST=** Biomasa seca total del arbusto (kg)

**PSPAR=** Peso seco promedio de los 3 arbustos cosechados (kg)

**VPAR=** Volumen promedio de los 3 arbustos cosechados (m<sup>3</sup>)

**VAR=**Volumen calculado para cada arbusto a partir de las mediciones de campo (m<sup>3</sup>)

Después de haber obtenido la biomasa seca en kilogramos de cada arbusto se hizo la sumatoria en 1000 m<sup>2</sup> y posteriormente se extrapolo a una hectárea para obtener toneladas de biomasa seca por hectárea.

#### 4.4.3 Biomasa aérea de herbáceas

La biomasa de las herbáceas se estimó por medio de 3 cuadros de 0.5 m de lado (0.25 m<sup>2</sup>), que fueron seleccionados aleatoriamente dentro del cuadrante establecido para la medición de biomasa arbórea y arbustiva. Se midió la altura máxima de las hierbas (*h máx*), la altura predominante (*h dom*) de los pastos y se obtuvo un promedio con ambas alturas.

El porcentaje de cobertura se estimó con base en diagramas preestablecidos (Figura 5) y se definió con la ecuación que describen Rendón y Soto (2007):

$$f_c = c \times h$$

**Donde:**

**fc** = Factor de cobertura

**c** = Porcentaje de cobertura (entre 0 y 1) dentro de un cuadro de 0.25m<sup>2</sup>, obtenidos por comparación con los diagramas (Figura 5).

**h** = (h máx + h dom)/2 = Altura promedio de las plantas

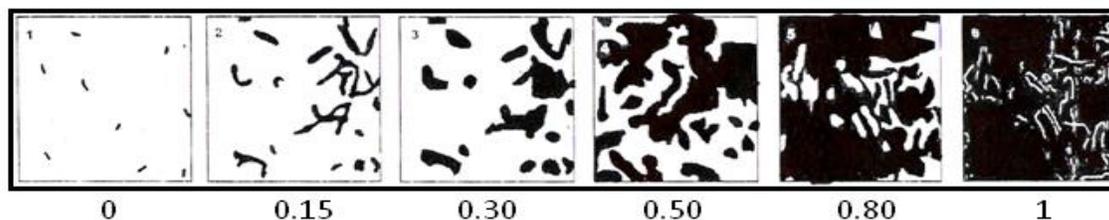
Con los resultados obtenidos sobre el factor de cobertura se empleó otra ecuación (Rendón y Soto, 2007), empleada para obtener el peso seco de las herbáceas.

$$BSH = (f_c/0.37)-11.62$$

**Donde:**

**BSH** = Biomasa seca en gramos por cada cuadro (0.25m<sup>2</sup>).

El resultado se utilizó para conocer la biomasa en kg para una superficie de 0.25 m<sup>2</sup>, que fue extrapolada a una hectárea para reportar la biomasa seca de herbáceas en toneladas por hectárea.



**Figura 5.** Diagramas de cobertura. Las áreas oscuras corresponden a la cobertura de hierbas (porcentaje 1/100) (Rendón y Soto, 2007).

#### 4.4.4 Biomasa subterránea

En cada parcela se colocó aleatoriamente un marco cuadrado de 0.25 m<sup>2</sup> (0.5×0.5 m) al ras del suelo, con 2 repeticiones. Dentro de la superficie del cuadro se recolectó el suelo, las raíces y el rastrojo, hasta 15 cm de profundidad; todo fue depositado en costales. Para la cuantificación de material vegetal (raíces y rastrojo) se trabajó con una alícuota de 21 kg de la muestra total extraída de cada sitio. Con este valor fue posible realizar la comparación del contenido total de raíces. Cada muestra se pesó antes de tamizarla, para conocer el peso húmedo total (biomasa-suelo).

Las muestras colectadas se tamizaron con diferentes tamaños de apertura de malla, extrayendo el contenido vegetal sobre el tamiz, derivándose submuestras más pequeñas (según el tamaño de las raíces y contenido vegetal). Se registró el peso total del suelo pasado por cada tamiz así como la materia vegetal extraída (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tamaño de apertura de malla empleado con respecto al tamaño de muestra de suelo y contenido vegetal.

Peso de muestra en húmedo (g)	Apertura malla (mm)
Muestra original (variable)	5
1000	2
20	0.84
5	0.5-0.25

Se obtuvo un tamizado y un residuo de suelo (los cuales se guardaron por separado para su utilización posterior), cada uno de ellos se pesó en húmedo y seco, para conocer el contenido de humedad. La biomasa (raíces finas y rastrojo) de todos los tamaños de muestra, se secó en estufa a 60°C hasta peso constante, el tamizado y residuo de suelo se secaron en estufa a 105°C hasta peso constante (*Mendoza, 2008; Etchevers et al., 2005*).

Posteriormente se hizo una sumatoria de la biomasa extraída en cada tamizado para calcular el contenido de biomasa seca por unidad de superficie de suelo (0.25 m<sup>2</sup>). Con ello se calculó el contenido de biomasa en toneladas por hectárea.

#### 4.5. Determinación de carbono en el suelo

La determinación del contenido de carbono en el suelo de todos los sitios de muestreo se llevó a cabo en el Laboratorio de Edafología Ambiental, del Instituto de Geología de la UNAM. Las muestras de suelo utilizadas para la estimación de biomasa subterránea fueron tamizadas con una malla de 2 mm, secadas en una estufa a 105°C por 48 horas y molidas finamente utilizando un molino de Fritsch con mortero de ágata. Posteriormente se secaron nuevamente en una estufa a 105°C por 2 horas, para eliminar la humedad ambiental adquirida durante el proceso de molienda (*Siebe y Herre, 1999*). En cada muestra se obtuvo una alícuota de 15 mg, con dos repeticiones, en las que se midió la concentración del carbono total utilizando un analizador automático elemental CHN/O Perkin Elmer 2400 Series II.

Para calcular la cantidad de C en  $\text{kg/m}^2$  se multiplicó la concentración (%), por el espesor (1 cm) y la densidad aparente del suelo ( $1.15 \text{ kg dm}^{-3}$ ) (*Siebe, 1994*).

$$C \text{ kg/m}^2 = (C\%) * (1.15 \text{ kg/dm}^3) * (0.1 \text{ dm})$$

Dado que se conocía la densidad aparente del suelo, no fue necesario realizar el cálculo de la misma y se asume una densidad aparente de  $1.15 \text{ kg dm}^{-3}$  (*Siebe, 1994*). Los contenidos de carbono en el suelo ( $\text{t C ha}^{-1}$ ) se reportan por cm de suelo.

#### 4.6 Análisis bromatológico (calidad de materia orgánica)

Las muestras de biomasa aérea de cultivos de riego de alfalfa y maíz (zacate) y biomasa subterránea de mezquital, matorral, cultivos de temporal y de riego, se enviaron al Laboratorio de Análisis Químico y Toxicológico de Alimentos, en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ).

Las muestras de biomasa aérea de alfalfa y maíz (zacate) de riego, fueron proporcionadas por el M.en C. Mario Cayetano, del Instituto de Geología, quien muestreó ambos cultivos en las mismas zonas dentro del marco de su tesis de maestría. Estas muestras fueron analizadas para conocer su

contenido de proteína cruda en base húmeda (*Official Methods of Analysis, 1990; Tejada, 1992*), con fines comparativos para este estudio.

Las muestras de biomasa subterránea (raíces finas), colectadas en campo, fueron analizadas para conocer el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, utilizando los métodos estándar de determinación del contenido de Fibra Detergente Neutro (FDN) y determinación del contenido de Fibra Detergente Ácido (FDA) (*Official Methods of Analysis, 1990; Tejada, 1992*).

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Rendimientos históricos de biomasa aérea en cultivos de alfalfa y maíz

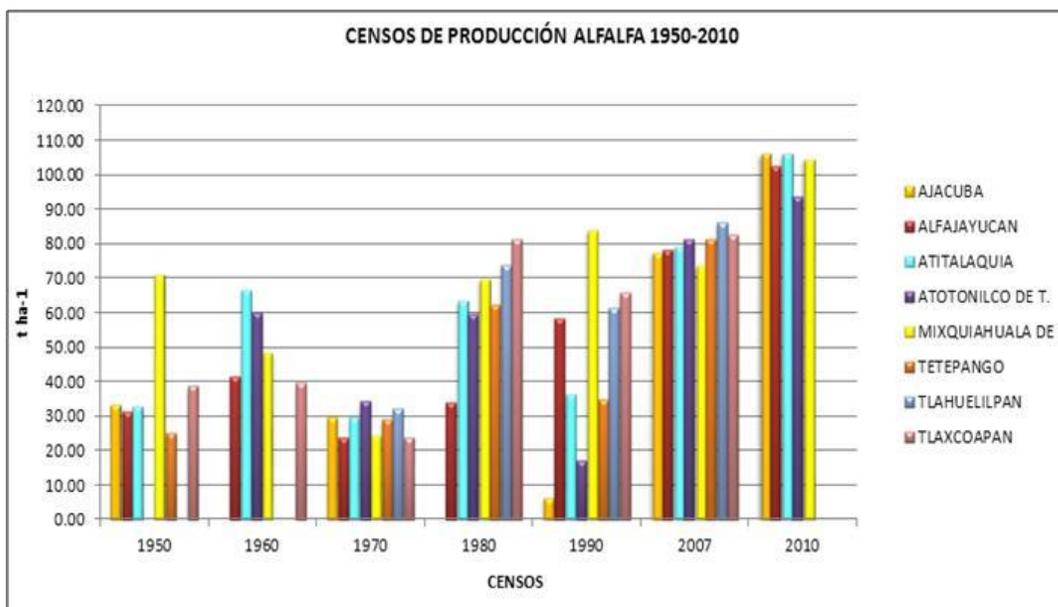
Los rendimientos de los censos realizados por INEGI (1950-2007) muestran que la mayor producción de alfalfa se obtuvo en el municipio de Tlahuelilpan con  $86.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , seguido del de Mixquiahuala con  $84.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , el primero en el año 2007 y el segundo en el año 1990 (Figura 6). Sin embargo, no se especifica si los datos se refieren a masa seca o masa fresca. Es claro que los datos del año 2010, proporcionados en las oficinas de SAGARPA (2010), muestran los valores de biomasa en peso fresco de alfalfa, pero no queda claro si los datos de los censos de INEGI de los años 1950 y 1960 pudieran estar reportados en unidades de masa seca. Se trató de recabar información sobre la obtención de los datos en las oficinas de INEGI, por medio electrónico, obteniendo como respuesta que no existe un registro como “masa seca ni húmeda” sino “en base al peso en grano seco”, además de que no cuentan con los registros correspondientes a censos anteriores a 1980 en bases de datos electrónicas. Sin embargo, los registros se encuentran impresos en la literatura, mismos que fueron revisados y no especifican si se trata de masa seca o húmeda.

En la producción de alfalfa se puede observar de forma general que existe una tendencia de incremento desde el censo de 1950 hasta el año 2007. Sin embargo, los municipios que presentan los valores más altos de producción no son los que muestran un crecimiento constante. Se puede observar que Alfajayucan es el único municipio que registra un incremento constante desde 1970 con  $23.7 \text{ t ha}^{-1}$  hasta 2007 con  $78.2 \text{ t ha}^{-1}$ . Atitalaquia y Mixquiahuala han mantenido un incremento constantemente en su producción, de  $29.9 \text{ t ha}^{-1}$  a  $79.4 \text{ t ha}^{-1}$  para el primero, y de

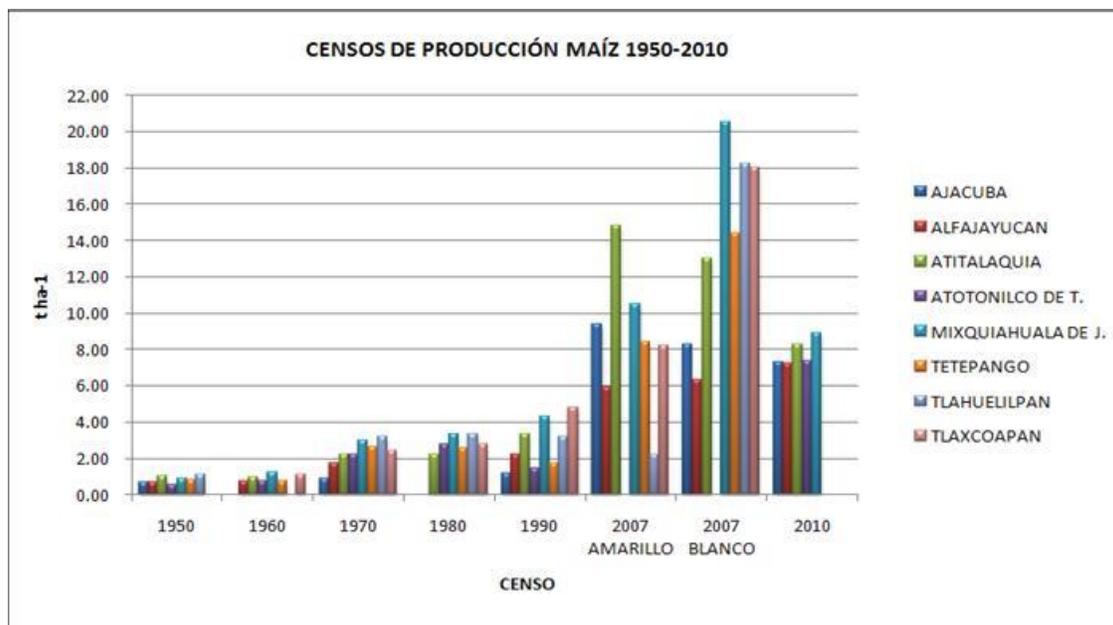
24.8 a 84.1 t ha<sup>-1</sup> para el segundo, entre 1970 y 2010. Ajacuba, municipio al que pertenece el valor más alto de producción registrado en el periodo, mostró un decremento en la producción de 33.8 a 6.60 t ha<sup>-1</sup> entre 1950 y 1990, y fue hasta el censo de 2007 donde se registró un incremento en la producción hasta 77.7 t ha<sup>-1</sup> (Figura 6). Lo que se puede observar es que los municipios mencionados han tenido cambios a través del tiempo, con algunas variaciones dentro del promedio, pero en la región en general se muestra un incremento de la producción entre 1950 y 2007.

La mayor producción de maíz blanco se obtuvo en el municipio de Mixquiahuala con 20.5 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, seguido del municipio de Tlahuelilpan con 18.2 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> ambos en el año 2007 (Figura 6).

La producción de maíz, al igual que la producción de alfalfa, registra un incremento desde el año 1950 hasta el año 2007. En el año 2010 disminuye esa producción casi a la mitad de la que se registró en 2007. Alfajayucan es el único municipio donde se puede observar que existe un crecimiento en la producción de maíz desde 1950 hasta 2010 con una producción de 0.7 a 7.20 t ha<sup>-1</sup>, incluyendo ambos tipos de maíz en 2007. El valor más alto de producción se encuentra registrado en el municipio de Mixquiahuala de Juárez, que muestra un crecimiento de 0.87 a 20.50 t ha<sup>-1</sup> en la producción de 1950 hasta 2007. Los municipios de Ajacuba, Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan y Tlaxcoapan también registran un aumento con el paso del tiempo (Figura 7).



**Figura 6.** Producción de alfalfa registrada en los diversos municipios del Valle del Mezquital en los censos INEGI entre 1950 y 2007, y producción de alfalfa según SAGARPA (2010). *Nota: No se especifica si se trata de biomasa seca o fresca o si son rendimientos a humedad de campo.*



**Figura 7.** Producción de mazorca de maíz registrada en los diversos municipios del Valle del Mezquital en los censos INEGI entre 1950 y 2007 y por SAGARPA (2010).

En la Tabla 3 se comparan los rendimientos promedio registrados en el estado de Hidalgo con los registrados en el resto de los estados de la República. Se observa que los rendimientos que se obtienen en el Valle del Mezquital son mayores que los que se reportan como promedio del estado de Hidalgo, e incluso en los demás estados de la República.

**Tabla 3.** Censo realizado en 2007 en cada estado de la República sobre producción de alfalfa y maíz (amarillo-blanco) bajo riego.

(Fuente: INEGI, VIII Censo Agropecuario, 2007).

Producción de alfalfa y maíz bajo riego por estado 2006-07			
ESTADO	Alfalfa 07 t ha <sup>-1</sup>	Maíz amarillo 06-07 t ha <sup>-1</sup>	Maíz blanco 06-07 t ha <sup>-1</sup>
Aguascalientes	76.5	11.9	7.8
Baja California	64.4	7.5	6.7
Baja California Sur	72.8	6.1	11.3
Campeche	71.3	2.9	2.9
Coahuila De Zaragoza	82.3	6.1	6.2
Colima	SC	10.6	8.0
Chiapas	71.3	2.9	3.7
Chihuahua	73.9	10.8	3.8
Distrito Federal	77.8	9.3	5.3
Durango	77.2	4.9	5.4
Guanajuato	86.3	9.0	10.9
Guerrero	72.0	5.0	4.1
<b>Hidalgo</b>	<b>79.6</b>	<b>4.3</b>	<b>5.5</b>
Jalisco	74.9	9.7	11.4

---

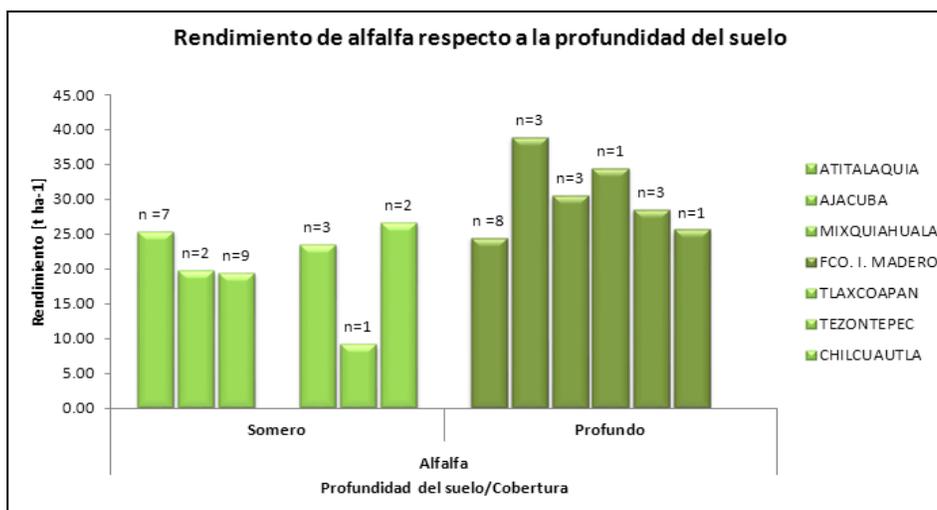
México	78.6	5.8	3.8
Michoacán De Ocampo	76.6	7.3	8.4
Morelos	83.6	10.4	7.5
Nayarit	74.2	8.2	9.2
Nuevo León	73.9	6.4	2.7
Oaxaca	74.7	3.8	3.6
Puebla	72.9	4.5	3.8
Querétaro	79.5	6.4	5.0
Quintana Roo	81.2	2.2	2.5
San Luis Potosí	83.2	4.2	3.6
Sinaloa	72.6	14.3	20.9
Sonora	56.3	15.6	13.5
Tabasco	70.5	2.3	2.6
Tamaulipas	71.3	14.3	6.7
Tlaxcala	86.4	4.6	4.3
Veracruz	71.9	4.4	4.3
Yucatán	71.3	1.7	2.2
Zacatecas	73.2	3.9	4.4
<b>PROMEDIO</b>	<b>75.3</b>	<b>6.9</b>	<b>6.3</b>

---

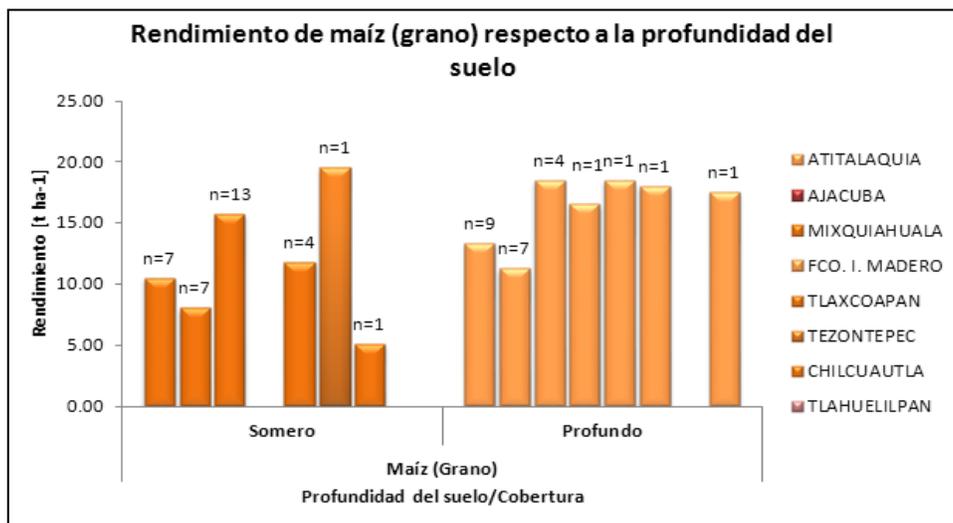
## 5.2 Productividad aérea en parcelas cultivadas de alfalfa y maíz bajo riego con base en la aplicación de encuestas.

Dado que no se conoce el contenido de humedad en los rendimientos reportados en los censos, se aplicaron encuestas a los productores. Se realizaron 100 encuestas a agricultores de 8 diferentes municipios del estado de Hidalgo, que cultivan parcelas bajo riego con aguas residuales. La mayor producción de alfalfa la reportan en el municipio de Fco. I. Madero (n=1) con 34.5 t BS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, seguido del municipio de Ajacuba (n=5) con 31.2 t BS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Figura 8). Los rendimientos más altos de maíz se reportan en los municipios de Tezontepec (n=2) con 17.8 BS t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y en Tlahuelilpan (n=1) con 17.5 t BS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Figura 8).

En los cultivos de alfalfa se reportaron mayores rendimientos en suelos profundos, tal es el caso de los valores más altos registrados en los municipios de Ajacuba (n=3) con 38.9 t BS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, seguido de Fco. I. Madero (n=1) con 34.5 t BS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Sin embargo, en el caso del maíz pareciera indicar que se obtuvieron mayores rendimientos en suelos someros, como en el municipio de Tezontepec (n=1) con 19.5 t BS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, seguido de Mixquiahuala (n=4) con 18.5 t BS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en suelo profundo. Se puede observar que los rendimientos para ambos cultivos, fueron obtenidos por diferente número de encuestados (Figura 9). No obstante al comparar ambos cultivos, se observa una tendencia en promedio de producción más elevada en suelos de mayor profundidad. En ambos casos se aplicó la prueba t-student, considerando la profundidad del suelo de cada cultivo. Esta prueba indicó que no existen diferencias significativas entre los rendimientos y la profundidad del suelo en cultivos de alfalfa (t=0.0018), y maíz (t=0.005).



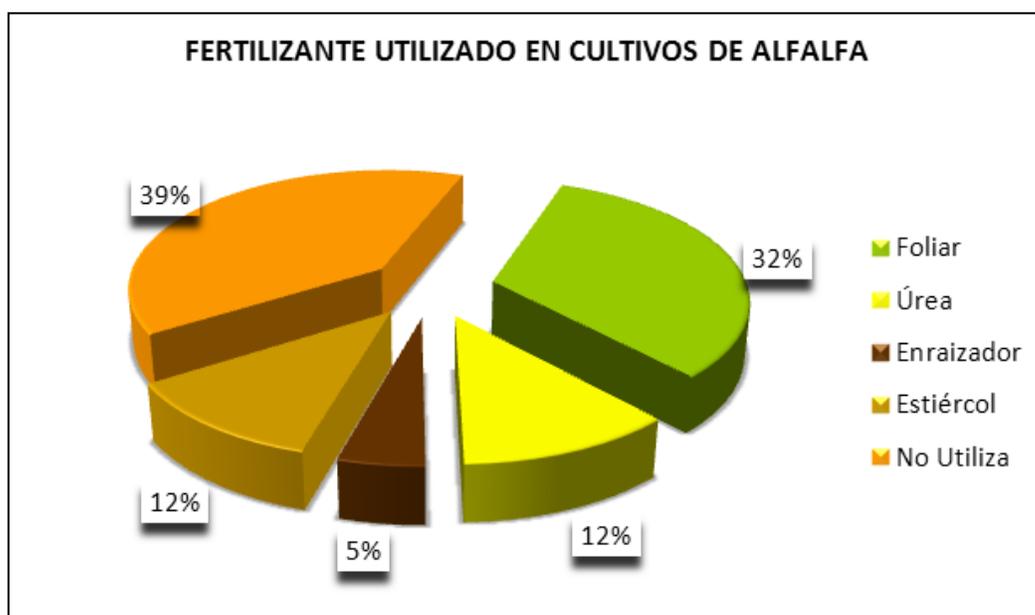
**Figura 8.** Producción anual de biomasa seca de alfalfa en función de la profundidad del suelo en parcelas de diversos municipios del Valle del Mezquital. Datos recabados a través de encuestas a los productores.



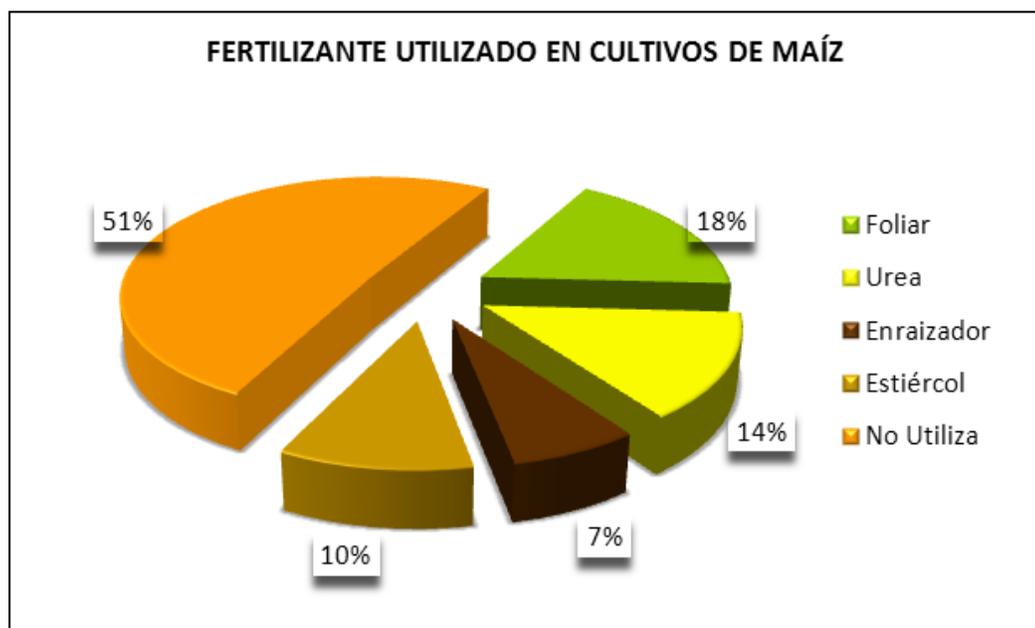
**Figura 9.** Producción anual de biomasa seca de maíz (grano), en función de la profundidad del suelo en parcelas de diversos municipios del Valle del Mezquital. Datos recabados a través de encuestas a los productores.

### 5.2.1 Uso de fertilizantes en cultivos de alfalfa y maíz

El 50.9% de los encuestados con parcelas de maíz (n=29), y el 39.5% con parcelas de alfalfa (n=17) no utilizan ningún tipo de fertilizante. El fertilizante más usado en ambos cultivos es el foliar (P, K, S, B, fitohormonas) con 32.6% para cultivos de alfalfa, seguido de 17.5% para cultivos de maíz. El fertilizante utilizado con menor frecuencia es el enraizador (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg, S, Complejo auxínico), del cual el 7.0% de los encuestados utiliza para cultivos de maíz y 4.7% para cultivos de alfalfa (Figuras 10 y 11).



**Figura 10.** Porcentaje de los encuestados que aplica fertilizantes en cultivos de alfalfa, considerando todos los municipios.\*Contenido de fertilizantes: Foliar (P, K, S, B, Fitohormonas); Enraizador (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg, S, Complejo auxínico).



**Figura 11.** Porcentaje de los encuestados que aplica fertilizante, en cultivos de maíz, considerando todos los municipios.\*Contenido de Fertilizantes: Foliar (P, K, S, B, Fitohormonas); Enraizador (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg, S, Complejo auxínico).

Los valores de urea registrados en los cultivos de alfalfa (n=5), indican un promedio de 100 kg ha<sup>-1</sup> (n=3), sin embargo hay quienes lo aplican en forma líquida con un promedio de 1.3 L en 200 L de agua por hectárea (n=2) (Tabla 4); para maíz (n=8) utilizan en promedio 95 kg en 200 L de agua por hectárea (n=4), y en forma líquida, 1.15 L en 120 L de agua por hectárea (Tabla 4).

Se observa que en la comparación de los diferentes fertilizantes predomina el porcentaje de los agricultores que no los utiliza en ambos cultivos, no obstante los agricultores de los municipios presentan una variación en la producción ya que, el municipio que presenta la mayor producción de BS es Ajacuba con 31.2 t ha<sup>-1</sup> y es uno de los municipios que registra porcentajes muy bajos en el uso de fertilizantes, indicando el 50% (n=1) para estiércol. Por otro lado, el municipio que presenta mayor porcentaje en el uso de fertilizantes es Atitalaquia con una producción de 24.8 t ha<sup>-1</sup>, donde el 60% (n=3) de los encuestados dijo emplear urea como fertilizante.

En el caso del maíz, el municipio que presenta una mayor producción es Tezontepec con 18.8 t ha<sup>-1</sup>, sin embargo el porcentaje más alto en el uso de fertilizantes en este municipio es de 12.5% (n=1) de los encuestados, los cuales utilizan urea como fertilizante. El municipio que presenta un mayor porcentaje en el uso de fertilizantes es Atitalaquia, donde el 62.5% (n=5) de los encuestados dijo utilizar urea, con una producción de 12.2 t ha<sup>-1</sup>. En resumen, de acuerdo a los encuestados el fertilizante más utilizado en ambos cultivos por municipio, derivado del porcentaje total, es la urea.

**Tabla 4.** Tabla comparativa sobre el uso de fertilizantes y producción de biomasa seca (BS) entre cultivos de alfalfa y maíz bajo riego por municipio. Se muestra el porcentaje de encuestados sobre el tipo de fertilizante por municipio, así como el promedio de fertilizante utilizado.

Uso de fertilizantes respecto a la producción de biomasa seca de alfalfa y maíz por municipio					
Municipio	Producción (BS)		Fertilizante	Porcentaje de encuestados/ municipio	
	Alfalfa	Maíz		Alfalfa (n=43)	Maíz (n=57)
	t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>			(%)	
Ajacuba	31.2 (n=5)	9.6 (n=14)	Foliar	7.1 (n=1)	30.0 (n=3)
			Urea	-	-
			Enraizador	50.0 (n=1)	50.0 (n=2)
			Estiércol	20.0 (n=1)	33.3 (n=2)
			No Utiliza	11.8 (n=2)	24.1 (n=7)
Atitalaquia	24.8 (n=15)	12.2 (n=13)	Foliar	28.6 (n=4)	30.0 (n=3)
			Urea	60.0 (n=3)	62.5 (n=5)
			Enraizador	-	-
			Estiércol	20.0 (n=1)	16.7 (n=1)
			No Utiliza	41.2 (n=7)	24.1 (n=7)
Chilcuautla	26.6 (n=2)	5.1 (n=1)	Foliar	-	-
			Urea	-	-
			Enraizador	-	-
			Estiércol	20.0(n=1)	-
			No Utiliza	5.9 (n=1)	3.4 (n=1)
Fco. I. Madero	34.5 (n=1)	16.5 (n=1)	Foliar	7.1 (n=1)	-
			Urea	-	-
			Enraizador	-	-
			Estiércol	-	-
			No Utiliza	-	2.0 (n=1)

Mixquiahuala	22.2 (n=12)	16.4 (n=17)	Foliar	42.9 (n=6)	30.0 (n=3)
			Urea	-	12.5 (n=1)
			Enraizador	50.0 (n=1)	50.0 (n=2)
			Estiércol	20.0 (n=1)	33.3 (n=2)
			No Utiliza	23.5 (n=4)	31.0 (n=9)
Tezontepec	17.4(n=2)	18.8 (n=2)	Foliar	-	-
			Urea	20.0 (n=1)	12.5 (n=1)
			Enraizador	-	-
			Estiércol	-	-
			No Utiliza	5.9 (n=1)	3.4 (n=1)
Tlahuelilpan	0.0 (n=0)	17.5 (n=1)	Foliar	-	10.0 (n=1)
			Urea	-	-
			Enraizador	-	-
			Estiércol	-	-
			No Utiliza	-	-
Tlaxcoapan	26.0 (n=6)	13.1 (n=5)	Foliar	14.3 (n=2)	-
			Urea	20.0 (n=1)	12.5 (n=1)
			Enraizador	-	-
			Estiércol	20.0 (n=1)	16.7 (n=1)
			No Utiliza	11.8 (n=2)	10.3 (n=3)
<b>Fertilizante</b>	<b>Promedio de los diferentes fertilizantes utilizados</b>				
	<b>Alfalfa (n=43)</b>		<b>Maíz (n=57)</b>		
<b>Foliar</b>	1.3 Lt/190-200 Lt agua--2.2kg/200 Lt agua		1.6 Lt/200 Lt agua--1kg/200 Lt agua		
<b>Urea</b>	1.3Lt/200 Lt agua--100 kg/200 Lt agua		1.15 Lt/150 Lt agua--95 kg/200 Lt agua		
<b>Enraizador</b>	1 Lt/200 Lt agua		1.4 kg/180 Lt agua--2 kg/200 Lt agua		
<b>Estiércol</b>	150 kg		125 kg		

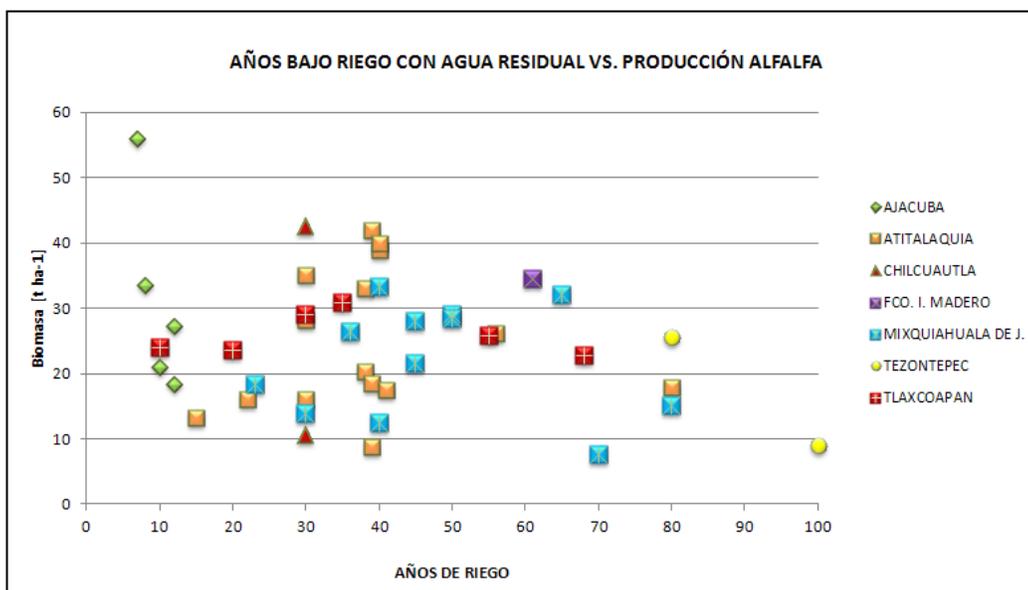
### 5.2.2 Efecto de los años de riego con agua residual sobre la productividad de cultivos de alfalfa y maíz

Según la información obtenida de las encuestas, la producción más alta de biomasa de alfalfa la registró un agricultor en el municipio de Ajacuba con  $56.0 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , con 7 años bajo riego. El cultivo con mayor número de años bajo riego se encuentra en el municipio de Tezontepec, que registra un riego de 100 años, manteniendo una producción de  $9.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en los últimos años (Figura 12). En la figura 14 se muestra un ajuste de una ecuación exponencial a los datos de rendimientos en función del tiempo bajo riego. La ecuación ajustada muestra un muy bajo

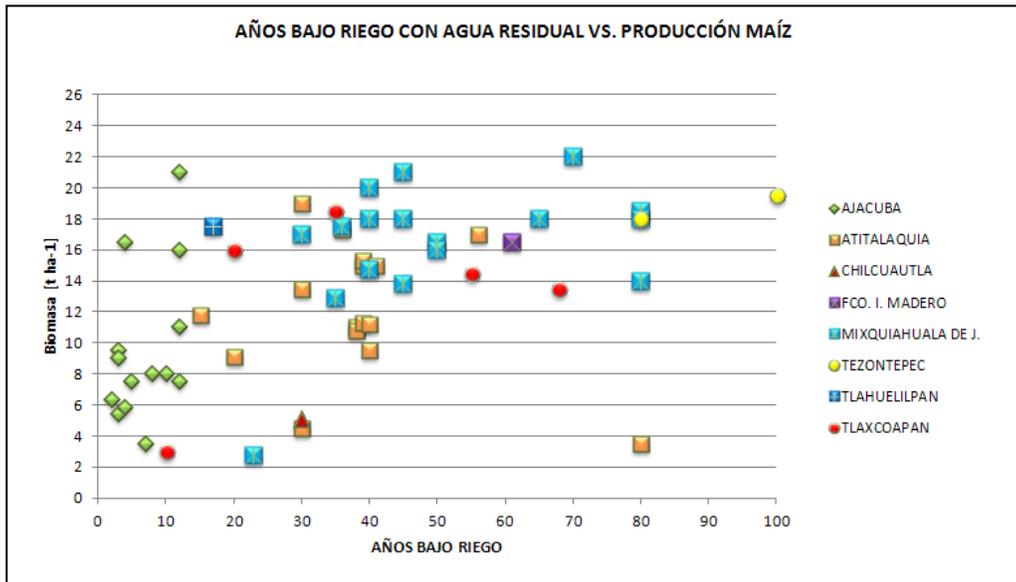
coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.06$ ), indicando que no hay un efecto del tiempo bajo riego sobre el rendimiento.

En el caso del maíz (grano), la producción más alta fue registrada por un agricultor cuya parcela pertenece al municipio de Mixquiahuala de J. con  $22.0 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , en una parcela con 70 años bajo riego. Sin embargo, el municipio de Tezontepec es en el que los agricultores reportaron un mayor número de años bajo riego con agua residual (100 años), y ahí se reporta una producción de  $19.5 \text{ t BS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Figura 13). En la figura 15 se muestra un ajuste de una ecuación logarítmica los datos de la producción de maíz en función del el tiempo bajo riego. El coeficiente de determinación es de 0.27.

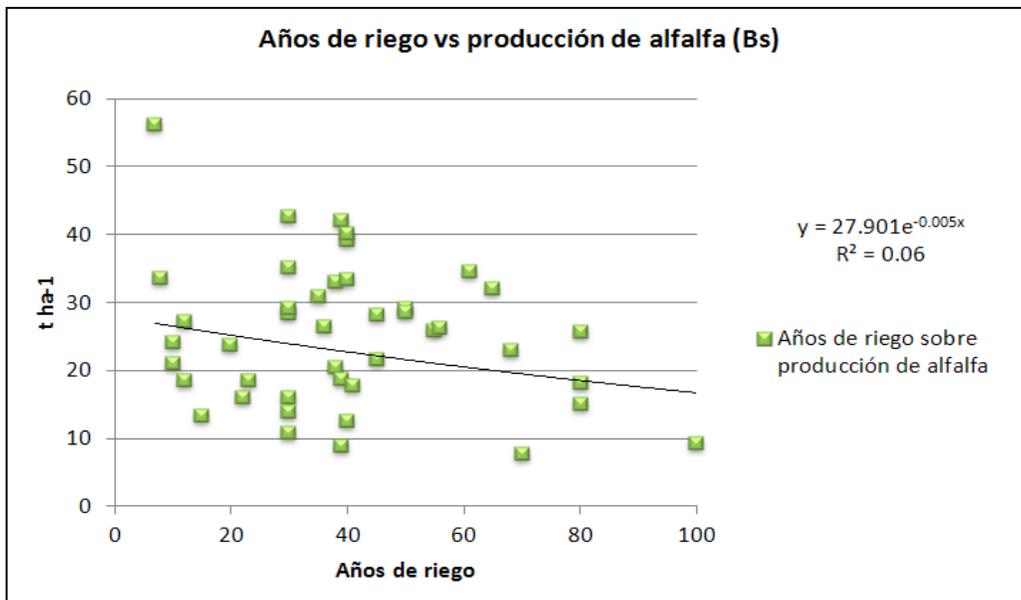
En la tabla 5 se muestra el porcentaje sobre el uso de semilla mejorada de alfalfa y maíz, enlistando las variedades utilizadas.



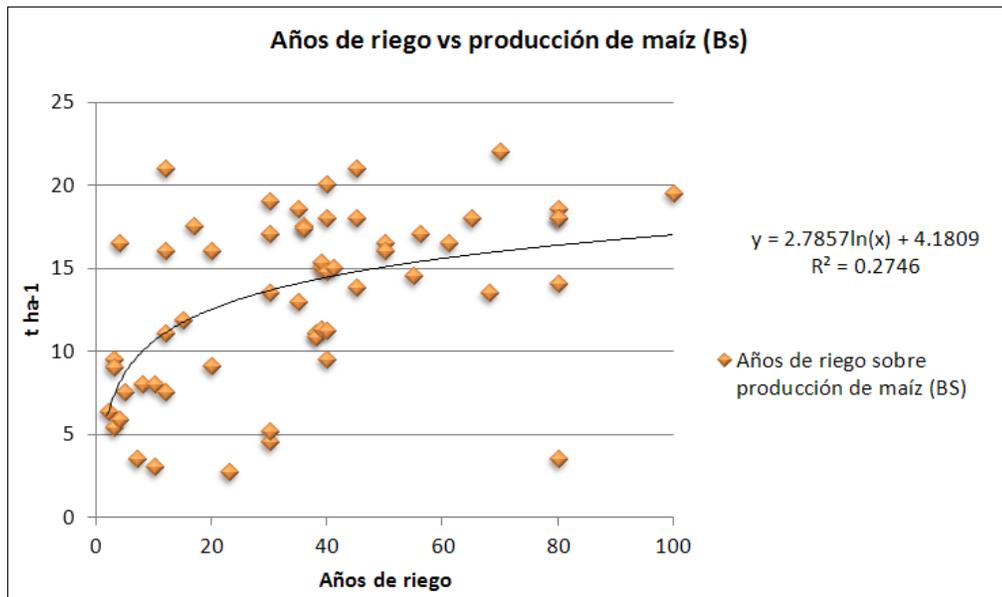
**Figura 12.** Rendimientos en función de los años de riego reportados por los agricultores con agua residual sobre cultivos de alfalfa.



**Figura 13.** Rendimientos en función de los años de riego reportados por los agricultores con agua residual sobre cultivos de maíz.



**Figura 14.** Relación entre la producción de alfalfa y los años de riego.



**Figura 15.** Ajuste de una función logarítmica a los rendimientos de maíz en función del tiempo bajo riego.

**Tabla 5.** Porcentaje del tipo de semilla utilizada (mejorada y criolla), con base en las encuestas aplicadas a los agricultores, especificando las variedades de semilla.

<b>Porcentaje del uso de semilla utilizada</b>	
<b>Alfalfa</b>	<b>%</b>
Semilla criolla	69.8 (n=30)
Semilla mejorada	30.2 (n=13)
<b>Variedad</b>	<b>%</b>
San Miguel	53.85 (n=7)
Pionner	38.46 (n=5)
Valenciana	7.69 (n=1)
<b>Maíz</b>	<b>%</b>
Semilla criolla	15.8 (n=9)
Semilla mejorada	84.2 (n=48)
<b>Variedad</b>	<b>%</b>
Leopardo	10.4 (n=5)
Cimarrón	4.2 (n=2)
Jabalí	8.3 (n=4)
Caimán	8.3 (n=4)
Rino	10.4 (n=5)
Pionner	12.5 (n=6)
Pantera	14.6 (n=7)
Cristiani	2.1 (n=1)
Asgro	6.3 (n=3)
Lobo	2.1 (n=1)
Oso	4.2 (n=2)
Tigre	2.1 (n=1)
Cobra	6.3 (n=3)
H-35	2.1 (n=1)
H-37	2.1 (n=1)
H-135	2.1 (n=1)
H-133	2.1 (n=1)

### 5.3 Biomasa seca aérea en matorral y mezquital

En la tabla 5 se muestran los datos obtenidos de biomasa seca aérea (arbustos, cactáceas y herbáceas) en toneladas por hectárea en el matorral. El desglose de los cálculos para obtener la biomasa seca total se encuentra en el apartado de Anexos.

En el matorral la especie arbustiva *Acacia farnesiana* (huizache) fue la que registró mayor producción de biomasa seca con 2.8 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 6). El estrato perteneciente a las cactáceas, específicamente a la especie *Cylindropuntia imbricata* (cardenche) fue el que registró la menor producción, con 0.003 t ha<sup>-1</sup>. La producción total de biomasa aérea en el matorral fue de 4.5 t ha<sup>-1</sup> (Figura 16), lo cual correspondería a 2.25 t de C ha<sup>-1</sup>, asumiendo un contenido de carbono del 50%.

**Tabla 6.** Biomasa seca total registrada en matorral, estimada en toneladas por hectárea.

Biomasa seca (Bs) total por hectárea en matorral				
Clave	Nombre de organismos	Organismos/1000 m <sup>2</sup>	Bs	
			kg/1000m <sup>2</sup>	t ha <sup>-1</sup>
Ab	<i>Acacia farnesiana</i>	81	274.8	2.8
Ab	<i>Barkleyanthus salicifolius</i>	6	25.84	0.26
C	<i>Opuntia streptacantha</i>	101	4.86	0.04859
C	<i>Cylindropuntia imbricata</i>	10	0.29	0.00289
Hb	-	-	133.7	1.34
			<b>TOTAL</b>	<b>4.5</b>

**Ab:** Arbustiva; **C:** Cactácea; **H:** Herbácea; **Bs:** Biomasa seca.

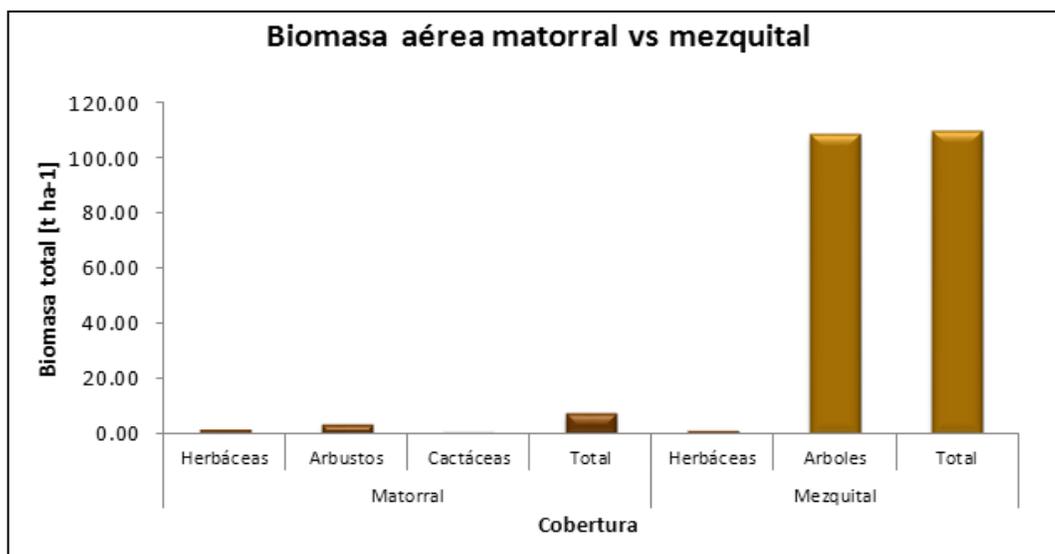
En la tabla 7 se muestran los datos obtenidos de biomasa seca total en el mezquital; los cálculos desarrollados para obtener estos valores se encuentran en el apartado de Anexos.

El mezquital solo presentó dos estratos, el arbóreo y el herbáceo. De éstos, los organismos del género *Prosopis sp.* (Mezquite) aportaron la mayor producción de biomasa seca, con  $108.65 \text{ t ha}^{-1}$ . El estrato herbáceo aporta una producción de  $1.13 \text{ t ha}^{-1}$ , representando el 1.04% del total en el sitio (Tabla 7). La producción total de biomasa aérea del sitio se estimó en  $109.78 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 16), lo cual correspondería a  $54.89 \text{ t C ha}^{-1}$ , asumiendo un contenido de carbono del 50%.

**Tabla 7.** Biomasa seca total aérea registrada en mezquital, estimada en toneladas por hectárea.

Biomasa seca (Bs) total por hectárea en mezquital				
Clave	Nombre de organismos	Organismos/500 m <sup>2</sup>	Bs	
			kg/500 m <sup>2</sup>	t ha <sup>-1</sup>
Ar	<i>Prosopis sp.</i>	32	5432.54	108.65
Hb	Herbáceas	-	56.28	1.13
			<b>TOTAL</b>	<b>109.78</b>

**Ar:** Árboles; **Hb:** Herbáceas; **Bs:** Biomasa seca



**Figura 16.** Producción de biomasa seca aérea registrada en matorral y mezquital. Datos colectados en campo y procesados en laboratorio.

#### 5.4 Biomasa seca subterránea (raíces finas) en las diferentes coberturas

Los cultivos de alfalfa (bajo 100 años de riego) muestran la mayor producción de biomasa seca subterránea con un promedio de  $5.6 \text{ t ha}^{-1}$ , lo que correspondería a  $2.8 \text{ t C ha}^{-1}$  asumiendo el 50% del contenido de carbono.

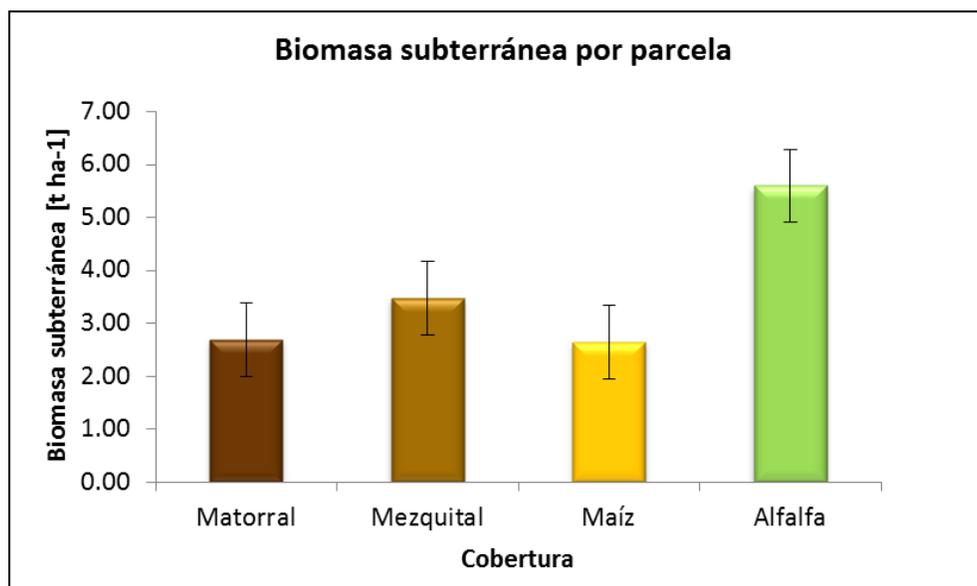
Los cultivos de maíz de temporal (0 años de riego) registraron la menor producción de biomasa subterránea obteniendo un promedio de  $2.65 \text{ t ha}^{-1}$  (ver anexos) y un contenido de  $1.32 \text{ t C ha}^{-1}$ .

Al comparar ambos cultivos (Figura 17), se observa que la alfalfa, no obstante la gran variabilidad, produce una mayor cantidad de biomasa subterránea que el maíz.

El mezquital registró una producción más elevada (raíces finas) que el matorral, con  $3.47 \text{ t ha}^{-1}$  y  $2.68 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente (ver anexos).

Al comparar las diferentes coberturas, los cultivos de alfalfa fueron los que, en promedio, mostraron la mayor producción de biomasa subterránea, siendolos de maíz de temporal, los que

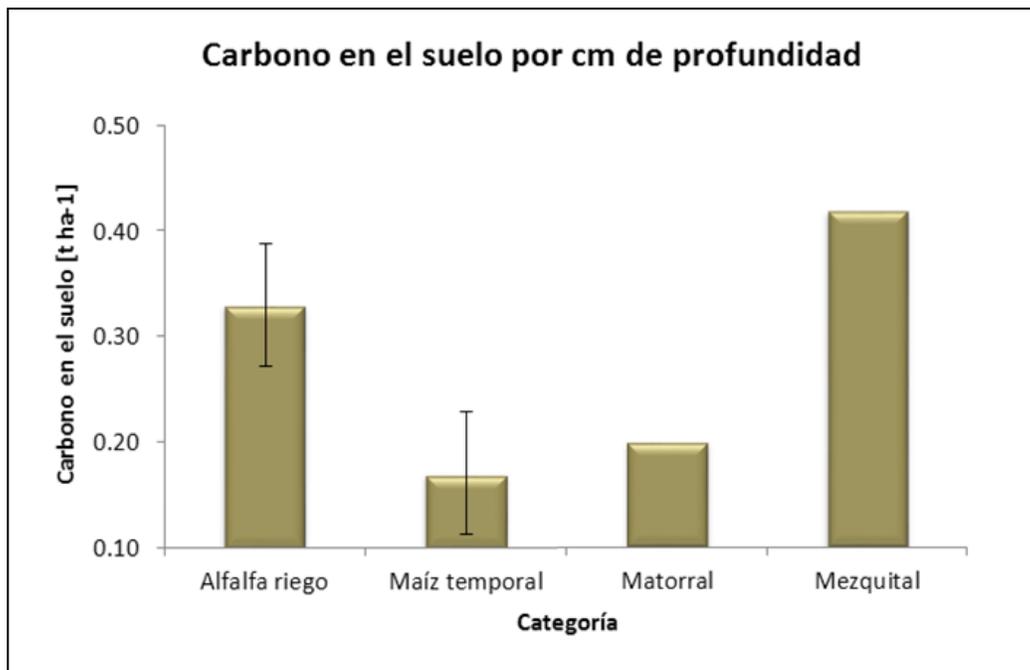
registraron la producción más baja, lo que representa una diferencia del 52.6% entre el sitio de mayor y el de menor producción (Figura17).



**Figura 17.** Producción de biomasa seca subterránea (raíces finas) entre las diferentes coberturas.

### 5.5. Determinación de carbono en el suelo bajo diferentes coberturas

En el suelo el contenido de carbono más elevado por centímetro de profundidad, fue registrado en el mezquital con  $0.42\text{t ha}^{-1}$ , seguido de los cultivos de alfalfa con  $0.33\text{t ha}^{-1}$ . El matorral registró el contenido más bajo con  $0.20\text{t ha}^{-1}$  de COS, (Figura 18), lo que representa una diferencia del 52.3 % entre el sitio de mayor y menor contenido de carbono orgánico en el suelo. En la tabla 8 se muestran los valores promedio de carbono orgánico en el suelo de las diferentes coberturas (Cuadro desglosado, ver anexos).



**Figura 18.** Comparación del contenido de carbono orgánico por centímetro de profundidad en el suelo ( $t C ha^{-1}$ ) bajo las diferentes coberturas: matorral, mezquital, cultivos de alfalfa de riego y maíz de temporal.

**Tabla 8.** Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes coberturas.

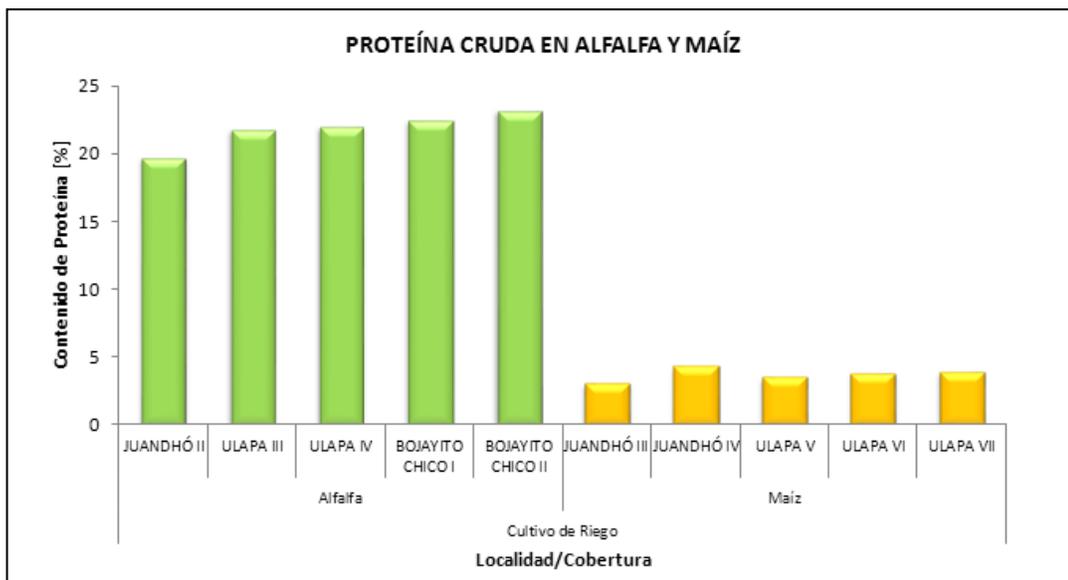
Contenido de carbono en el suelo por cm de profundidad		
Sitio	Profundidad	t C ha <sup>-1</sup>
Matorral	0.13	0.2
Mezquital	0.08	0.42
Alfalfa	0.10	0.33
Maíz	0.17	0.17

## 5.6 Calidad de la materia orgánica

### 5.6.1 Contenido de proteína cruda en biomasa seca aérea de cultivos de alfalfa y maíz bajo riego

En la figura 19 se observa que el contenido de proteína cruda es más elevado (92% de diferencia) en los cultivos de alfalfa que en los de maíz. El valor más alto correspondió a la localidad de Bojayito Chico II con 23.2% y el más bajo a Juandhó II con 19.7%. En promedio, los cultivos de alfalfa registraron un contenido de 21.84% (ver anexos).

El contenido más alto de proteína cruda en maíz se registró en Juandhó IV con 4.3%, y el más bajo en la localidad de Juandhó III con 3.0%. En promedio, los cultivos de maíz, registraron un contenido de 3.7% de proteína cruda (ver anexos).

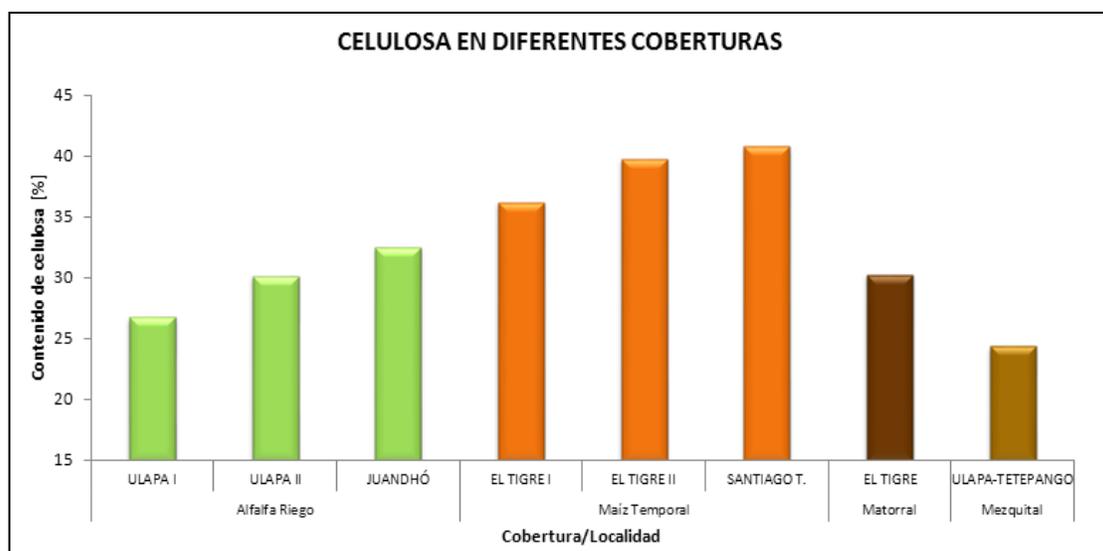


**Figura 19.** Promedio del contenido de proteína cruda en biomasa seca aérea de 5 parcelas diferentes de cultivos de alfalfa y maíz (zacate) bajo riego, respectivamente.

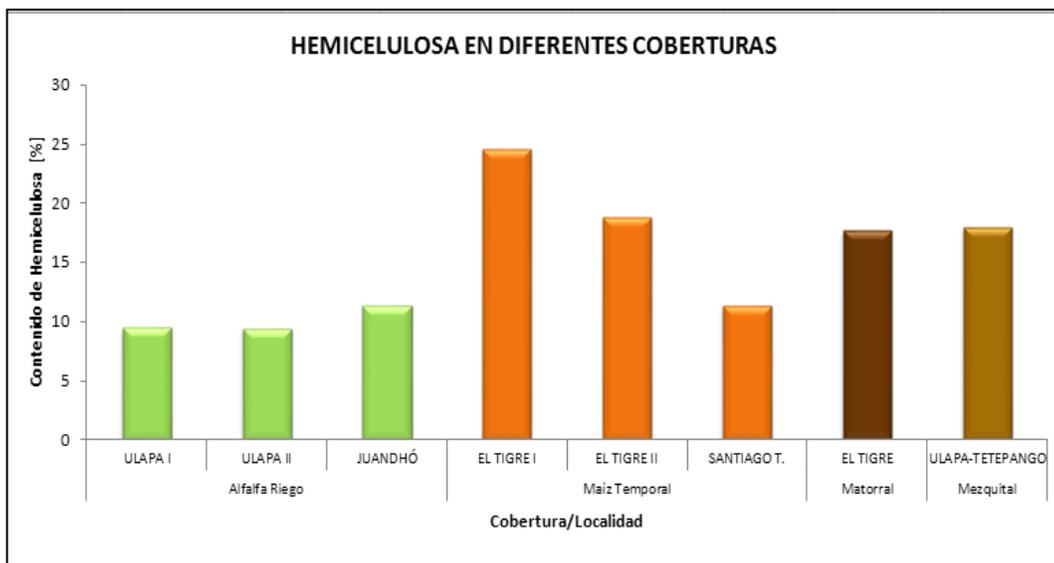
### 5.6.2 Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en biomasa seca subterránea (raíces finas) de diferentes coberturas

Las raíces finas de maíz muestran el mayor contenido de celulosa (38.9%) y hemicelulosa (18.23%) que los obtenidos en las demás coberturas (Figuras 20y 21). El contenido de lignina es ligeramente mayor en las raíces finas de alfalfa (17.31%) (Figura 22).

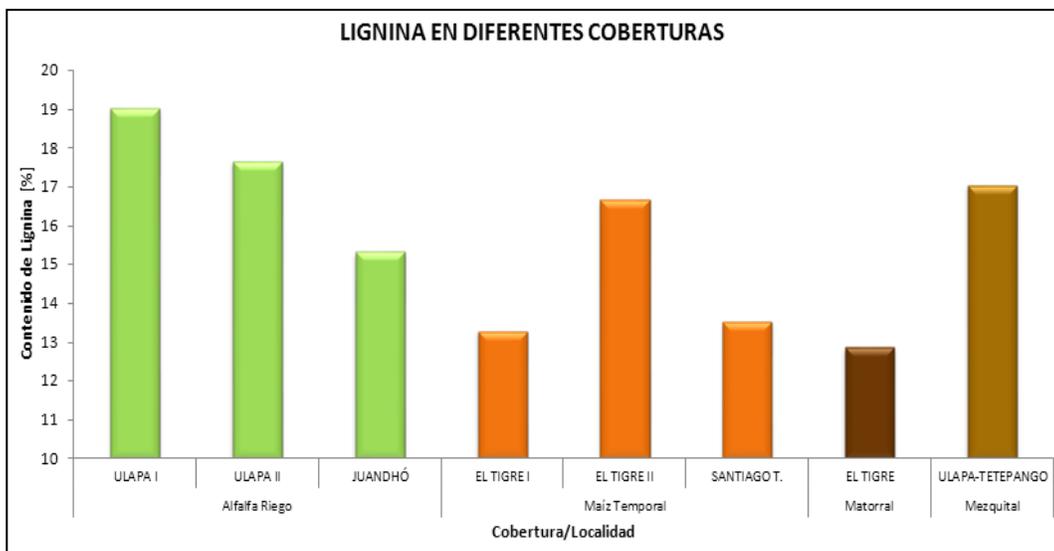
Las raíces finas de matorral y mezquitil registraron los porcentajes más bajos de celulosa, registrando una diferencia de 11.6% con respecto a los cultivos de maíz de temporal. El contenido promedio de hemicelulosa en las raíces finas fue muy similar en matorral, mezquitil y maíz de temporal(ver anexos).



**Figura 20.** Contenido de celulosa en BS subterránea de los diferentes sitios de muestreo matorral, mezquitil, cultivos de temporal y riego de maíz y alfalfa.



**Figura 21.** Contenido de hemicelulosa en biomasa seca subterránea (raíces finas) de los diferentes sitios de muestreo matorral, mezquital, cultivos de temporal y riego de maíz y alfalfa.



**Figura 22.** Contenido de lignina en biomasa seca subterránea (raíces finas) de los diferentes sitios de muestreo matorral, mezquital, cultivos de temporal y riego de maíz y alfalfa.

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. Rendimientos históricos de biomasa seca aérea en cultivos de alfalfa y maíz

Los rendimientos de alfalfa registrados muestran una tendencia al aumento con el tiempo. Sin embargo, también se observa una muy alta variabilidad en los registros de los diferentes municipios para algunos de los años. Parece que en algunos de los censos el rendimiento no se reporta en masa seca. Sobre todo en los dos últimos registros, el reporte más bien parece que fuera de masa fresca, ya que lo reportado en los censos coincide en orden de magnitud con los rendimientos que reportaron los agricultores en las encuestas para masa fresca. Los datos reportados en los censos se obtienen generalmente por medio de estimaciones que realizan los técnicos extensionistas de cada región, y muy rara vez corresponden a datos cuantificados mediante pesaje de los camiones que recogen la cosecha. Pareciera entonces que los datos de los censos corresponden a la masa al contenido de humedad al momento de la recolecta. La tendencia de incremento en los rendimientos con el tiempo pudiera por lo tanto confundirse con una tendencia a recolectar la cosecha con un mayor contenido de humedad en las últimas dos décadas.

Vázquez et al. (2010) reportan en la población Fresno del Norte en Coahuila, México, un rendimiento de alfalfa de  $4.28 \text{ t BS ha}^{-1}$ , en temporada de lluvia, con la aplicación de  $120 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol bovino, en un sitio con clima muy seco, semicálido con  $250 \text{ mm}$  de precipitación, empleando riego subsuperficial a  $40 \text{ cm}$  de profundidad. Lo anterior indica que el incremento en la productividad puede ser favorecido por la aplicación de fertilizante natural, en poco tiempo, a pesar de las condiciones adversas del lugar. No obstante, se encuentra muy por debajo de rendimientos reportados por el INEGI en este estudio.

Yu et al. (2009) evaluaron la productividad de biomasa aérea de alfalfa y maíz en cultivos intercalados de diferentes edades en la meseta baja semiárida de Zhonglianchuan, en la región montañosa norte de Yuzhong County, Gansu China. Obtuvieron el rendimiento más alto de alfalfa en 2005 con  $6.93 \text{ t ha}^{-1}$ , perteneciente a la parcela con cinco años de cultivo convencional y en 2002 registraron la productividad más alta de maíz con  $6.75 \text{ t ha}^{-1}$ , en cultivo rotativo.

Berardo y Marino (2001) evaluaron la producción de forraje de alfalfa con diferentes niveles de nutrición fosfatada en el sudeste bonaerense (Argentina), con clima semiárido, a aplicando riegos por aspersión, empleando de 8 a 12 cortes por año, dependiendo de las precipitaciones. Obtuvieron el rendimiento más alto con 20.24 t ha<sup>-1</sup> en el primer año, con una aplicación de 100 kg P ha<sup>-1</sup>.

Rendimientos de alfalfa promedio a nivel global se reportan en 8 t BS ha<sup>-1</sup>, obtenidos en 3 a 4 cortes al año; sin embargo, bajo condiciones climáticas favorables y usando riego, es posible realizar hasta 12 cortes al año y obtener rendimientos de 20 t ha<sup>-1</sup> (*Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Alfalfa>*, consultado el 28.07.2013). Los rendimientos reportados en promedio en los censos de las décadas 1950 y 1970 para el valle del Mezquital se encuentran dentro de intervalos de rendimiento esperados para alfalfa con contenidos de humedad alrededor de 65%; en todos los demás reportes de los censos de INEGI los rendimientos son mucho mayores, por lo que se debe asumir que se refieren a masa fresca. El contenido de humedad de alfalfa al corte es de 75-85%, sin embargo, suele tener escurrimientos, sabor amargo, alta concentración de ácido butírico, reduciendo el consumo en los animales, por ello los agricultores dejan que disminuya a 65-70% maximizando la preservación de nutrientes (*Heath, 1985, Santana, 1999*). Considerando que el rendimiento en promedio de 102.66 t ha<sup>-1</sup> reportado para 2010 por los técnicos de las oficinas de SAGARPA correspondiera a la masa colectada cuyo contenido de humedad fuese del 67.5% (*Santana, 1999*), el rendimiento en masa seca sería de 33.4 t ha<sup>-1</sup>. Estos rendimientos corresponden en orden de magnitud con los reportados para sitios en los que se pueden realizar entre 8 y 10 cortes por año, lo cual es el caso en el valle del Mezquital. Por lo anterior pareciera que los rendimientos reportados por INEGI corresponden con la masa a humedad de campo, es decir que aún contienen entre un 40 a 70% de humedad.

El rendimiento de maíz (grano) más alto registrado corresponde al municipio de Mixquiahuala de Juárez, seguido de Tlahuelilpan, ambos en 2007 para maíz blanco, mostrando un incremento de 93.27% en promedio con los demás municipios desde 1950 (*CENSOS INEGI, 1950-2007*). Este aumento podría deberse al riego con aguas residuales proveniente de la ciudad de México desde hace más de 100 años, ya que éste aporta agua y nutrientes, lo que permite aumentar la productividad (*SARH, 1994; CNA, 1995; Peña, 2002*). La productividad no sólo aumenta en grano,

sino también se incrementan los residuos de cosecha y la cantidad de raíces (Yu et al., 2009; Wen et al., 2012), lo que lleva a un incremento del contenido de materia orgánica del suelo (García et al., 2003, Chapela, 2011). A través de los diferentes procesos de descomposición, los nutrientes contenidos en estos residuos de cosecha pueden ser utilizados nuevamente por las plantas completando el ciclo (Álvarez, 2000). También el uso de semillas genéticamente modificadas (semillas mejoradas), asegura una mayor producción y de mejor calidad, gracias a las características que presentan a las adversidades ambientales, resistencia a pesticidas, etc. En la zona las semillas mejoradas comenzaron a usarse con mayor frecuencia a partir de 1990, lo que puede explicar el incremento relativo en los rendimientos a partir del censo de 2007, donde los rendimientos aumentan en más del doble.

Existen diferentes estudios donde se observa una elevada productividad que se ve influenciada por diversos factores que en conjunto se complementan para reflejar una mejor calidad en el cultivo:

Grassini et al. (2011) evaluaron el potencial de cultivos de maíz mejorado de alto rendimiento, empleando diferentes cantidades de irrigación, y obtuvieron la mayor productividad anual con 15.3 t ha<sup>-1</sup> con un riego superficial de 265mm. Jensen et al. (2003) evaluaron la producción de maíz utilizando diferentes tratamientos con fertilizantes y riego moderado en una zona semiárida en el Este de África, a una altura de 1370 m.s.n.m. cuya temperatura es de 20°C y humedad del 80%, con precipitaciones de hasta 900 mm en períodos cortos; obtuvieron la mayor productividad con 14.52 t ha<sup>-1</sup>, utilizando un elevado suministro de nitrógeno (144 kg N ha<sup>-1</sup>) y fósforo (40 kg P ha<sup>-1</sup>). Carter et al. (2002) evaluaron la productividad aérea de maíz intercalado con cebada y ryegrass italiano utilizando diferentes tipos de labranza en una zona cuyo suelo es de textura franco-arenosa, con una precipitación de 500 mm anuales, bajo un clima frío húmedo (5°C) en el atlántico de Canadá; obtuvieron un rendimiento de 11 t ha<sup>-1</sup> de maíz con labranza secundaria.

El promedio de producción de alfalfa registrado a nivel nacional es de 75.22 t ha<sup>-1</sup>. El promedio obtenido en el estado de Hidalgo, es de 79.56 t ha<sup>-1</sup>. En la zona de estudio los rendimientos de alfalfa se encuentran por encima de los promedios nacionales y estatales, probablemente debido a las mejores condiciones de humedad y el aporte de nutrimentos por el riego con agua residual. Para el caso del maíz amarillo y blanco se observa que el promedio nacional es de 6.91 t ha<sup>-1</sup> y 6.31

t ha<sup>-1</sup> respectivamente, comparados con la producción estatal cuyos rendimientos son de 4.28 t ha<sup>-1</sup> y 5.49 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (INEGI, VIII Censo Agropecuario, 2007). También los rendimientos de maíz registrados en la zona de estudio superan a los promedios nacionales y estatales.

Cabe mencionar que los valores obtenidos para los rendimientos de maíz y alfalfa en este estudio fueron proporcionados a través de encuestas realizadas a los agricultores, dueños y encargados de las parcelas correspondientes a cada municipio. Estos datos se correlacionaron con la información proporcionada por los agricultores del tiempo que ellos estiman llevan bajo riego sus parcelas. Para alfalfa no se observa un cambio de los rendimientos con el tiempo, mientras que para el maíz se observa un ligero aumento con el tiempo. Es probable que no todos los agricultores conozcan con certeza cuando inició el riego en las parcelas que trabajan, sobre todo si las parcelas ya llevan más de 50 años regándose, y los agricultores son jóvenes.

Algunos agricultores mencionaron que los rendimientos en sus parcelas presentaron algunas mejoras, entre ellas un ligero incremento al introducir el riego, sin embargo, no todos coinciden con ello. Algunos agricultores (n=4) mencionaron rendimientos bajos (7-18 t ha<sup>-1</sup>) a pesar de contar con varios años bajo riego (80-100 años). Lo anterior indica que el incremento en la productividad no depende únicamente del tiempo bajo riego sobre los cultivos, sino de varios factores en conjunto. Es por ello que sería deseable aumentar el número de encuestados. Esto es particularmente importante para evaluar también el efecto de las diferentes prácticas de manejo sobre los rendimientos como se discute a continuación.

## **6.2. Factores determinantes de la productividad aérea en parcelas cultivadas de alfalfa y maíz bajo riego con base en la aplicación de encuestas**

La productividad de los cultivos depende de varios factores tales como la biomasa (raíces y rastrojo) acumulados en la superficie y en las primeras capas del suelo, la cual favorece el aporte de nutrientes, y además proporciona una mayor estructura al suelo y mejora la retención de humedad.

También el uso de fertilizantes químicos y naturales en cantidades adecuadas al desarrollo del cultivo incrementan el rendimiento. El uso de semilla mejorada puede incrementar la adaptabilidad y resistencia a factores ambientales adversos (temperaturas extremas, baja humedad, baja fertilidad en el suelo). En las encuestas se trató de registrar información referente a estos factores, y a continuación se discuten las relaciones encontradas.

El fertilizante más utilizado en los cultivos de alfalfa y maíz en todos los municipios es el foliar, ya que está compuesto de elementos que le proporcionan a la planta mayores cualidades para un mejor crecimiento fortaleciendo su desarrollo, como fósforo, potasio y fitohormonas entre otros, sin embargo, no se aprecia un efecto en el rendimiento de su aplicación, ya que muchos agricultores que no utilizan fertilizantes presentan rendimientos similares en promedio, y los que usan fertilizantes no reportan rendimientos mayores.

El municipio con mayor edad de riego con agua residual según lo reportado por los encuestados fue Tezontepec (100 años), sin embargo, no registró la mayor producción de alfalfa, a pesar de utilizar urea como fertilizante, debido al suelo somero y no utilizar semilla mejorada. Cruz Campa (1965) menciona que las primeras zonas que fueron regadas en el Mezquital fueron la vega de Mixquiahuala y Ulapa de Ocampo. A pesar de presentar condiciones de suelo somero, los municipios con los más altos rendimientos como Ajacuba, utilizaron en algunos cultivos ( $n=2$ ) fertilizante, semilla mejorada y tienen entre 10 y 12 años bajo riego

Los municipios con mayores rendimientos como Atitalaquia, Chilcuautila, Mixquiahuala de J. y Tlaxcoapan, tienen en común el uso conjunto de dos o varios factores que pueden determinar el aumento en la producción, aunque la edad del riego llega a ser muy variable de acuerdo a lo declarado por los agricultores, por lo que no se aprecia un efecto.

En el caso del maíz (grano), Tezontepec fue el municipio con mayor edad de riego según los agricultores (100 años), aunque no el de mayor producción, misma que pertenece al municipio de Mixquiahuala de J. con 70 años bajo riego. El primero utilizó urea como fertilizante y semilla mejorada (*jabali*), aunque el suelo es somero. El municipio de Mixquiahuala, registró el mayor rendimiento ( $22 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), utilizó solamente semilla mejorada (*H-133*) y se encuentra en suelo somero, por lo tanto la diferencia entre uno y otro es la variedad de semilla, que por sus

características pudiera tener mayor capacidad de adaptación a dichas condiciones, aunado al riego con agua residual, de menor edad.

No obstante se observa mayor semejanza en los municipios de Atitalaquia, Mixquiahuala de J. y Tlaxcoapan, que tienen en común el tiempo bajo riego, que va de los 30 a los 65 años, el uso de semilla mejorada (de diferentes variedades) utilizada en la mayoría de los casos y el uso de diferentes fertilizantes (foliar, urea, estiércol y enraizador).

Con ello, se puede observar con base en las encuestas realizadas que la edad de riego no aparenta representar un factor importante en el aumento de la productividad. Los datos muestran una tendencia a alcanzar el rendimiento máximo en un período de 30 a 65 años, el cual después pareciera disminuir. Para confirmar esta tendencia sería importante realizar estudios más detallados en parcelas con diferente tiempo bajo riego, en los cuales se cuantificara con precisión el rendimiento durante varios ciclos de cultivo.

Con base en las encuestas realizadas se puede observar que el uso de semilla mejorada, por sí sola, no fue un factor determinante en el aumento de la productividad. Los rendimientos mencionados por los agricultores varían independientemente del uso de semilla modificada. No obstante, el rendimiento más elevado, con base en las encuestas, en cultivos de maíz ( $22 \text{ t ha}^{-1}$ ) fue registrado utilizando solo semilla mejorada aunado al riego con agua residual. Este factor, como indican los datos de la encuesta, por sí solo no aparenta ser determinante en el incremento en la productividad.

Sin embargo, las propiedades de las semillas mejoradas, pueden favorecer el desarrollo de la planta, una mejor adaptabilidad y resistencia a condiciones ambientales adversas (temperaturas extremas, escasez de humedad, etc.). En conjunto con los demás factores, puede ser una herramienta importante para obtener mayores rendimientos y estabilidad en la producción a largo plazo.

### 6.3. Biomasa seca aérea en matorral y mezquital

#### 6.3.1 Árboles

El contenido de biomasa aérea del mezquital ( $109.78 \text{ t ha}^{-1}$ ), considerando herbáceas y árboles, fue mayor que en el matorral. Se observó que los individuos arbóreos pertenecían solo a una especie del género *Prosopis*, lo que podría indicar que desde hace varios años, por la talla de los organismos (5-6m), la separación entre sí (3m aproximadamente) y algunos indicios de corte en los tallos, se haya establecido un cultivo de mezquite para abastecimiento de madera, carbón o forraje. Se generaron algunas dudas sobre la elevada productividad y las condiciones bajo las cuales se han desarrollado dichos organismos. Sin embargo, la localización en una zona baja, en la cual el nivel freático se encuentra a pocos metros de profundidad, la gran profundidad del suelo y la presencia de sistemas agropastoriles y pastizales desde hace varios años (Melville, 1990), pueden ser los factores que hayan favorecido las condiciones de humedad, temperatura y acumulación de biomasa, logrando una estabilidad en los almacenes de carbono desde entonces y así una elevada productividad.

Singh y Toky (1995), quienes evaluaron cultivos de *Leucaena leucocephala* durante 8 años, reportan valores muy similares ( $119 \text{ t ha}^{-1}$ ) a los de este estudio, los cuales se consideran comparables debido a la similitud de condiciones que favorecen un óptimo desarrollo de los árboles, que son especies de rápido crecimiento y fácil adaptación.

Otros estudios indican rendimientos muy variables y por debajo de lo obtenido en este trabajo. Sin embargo, todos éstos se encuentran en sitios perturbados, cuyas condiciones (suelos alcalinos, ambientes semiáridos, temperaturas extremas, bajos niveles de humedad) podrían impedir el desarrollo óptimo de las especies presentes. Entre las especies evaluadas en estos trabajos se encuentran *Prosopis juliflora* con  $68.7 \text{ t ha}^{-1}$ , *Casuarina glauca* con  $68.19 \text{ t ha}^{-1}$  (Goel y Behl, 2001 y 2005); *L. leucocephala*, *Vitex negundo* con  $52.9 \text{ t ha}^{-1}$  y  $15.7 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente (Tewari et al., 2004); *Prosopis cineraria* con  $19.8 \text{ t ha}^{-1}$  (Singh et al., 2007); *L. leucocephala* con  $10.05 \text{ t ha}^{-1}$  (Glumac, 1987); *Prosopis glandulosa* con  $8.9 \text{ t ha}^{-1}$  (Duff et al., 1994); *Prosopis alba* X *P. glandulosa* var. *Torreyana* con  $7.4 \text{ t ha}^{-1}$  (Felker, 1989); *Acacia tortilis*, *Balanites aegyptica*, *Boscia coriácea* y

*Maerua crassifolia*, con  $9.18 \text{ t ha}^{-1}$  (Rosenschein et al., 1999). Turlan (2011) reportó individuos de *P. glandulosa*, var. *Torreyana* con un peso de 0.5 toneladas y 9.7 m de altura.

Todas estas especies tienen en común la capacidad de establecerse fácilmente en cualquier sitio, sin importar sus condiciones. Cuentan con la habilidad de fijar nitrógeno atmosférico, lo cual permite rehabilitar suelos perturbados incrementando su fertilidad.

Si comparamos con otros estudios que consideran especies similares, pero que se desarrollan bajo diferentes condiciones, encontramos que pueden alcanzar productividades mucho mayores:

Montès et al. (2002) reportan un valor de  $209 \text{ t ha}^{-1}$ , en la especie *Juniperus thurifera*, en un sitio semiárido localizado cerca del monte Tubqal, (4167m) el punto más alto del gran Atlas Marroquí, con una cobertura de 53-100%, una pendiente de  $30^\circ$ , 500mm de precipitación y vientos húmedos. Maguire et al. (1990) reportan un valor de  $599.2 \text{ t ha}^{-1}$  en la especie *Acacia nilotica* en cultivos de alta densidad (1,000-50,000 tallos por hectárea) en Sind, Pakistán. Las condiciones ambientales y otros factores, entre ellos la densidad de individuos, pueden determinar la variación de la productividad en un sitio, sobre todo cuando se trata de este tipo de especies.

Por tanto, se considera que los valores registrados en el mezquital de este trabajo, fueron elevados, debido a las óptimas condiciones del sitio, entre ellos la densidad de organismos y la calidad del sitio.

### 6.3.2 Arbustos

El matorral se encuentra establecido en el piedemonte alto, sobre tobas volcánicas con suelos someros y con el nivel freático a decenas de metros de profundidad. Las especies presentes (arbustos de hasta 2.5m y cactáceas de hasta 1.5m de altura), mostraron una productividad ( $3.16 \text{ t ha}^{-1}$ ) mucho menor que la del mezquital. Por ello, no se podría comparar uno con otro en cuanto a productividad, debido a que la calidad de sitio es distinta y repercute en los diferentes estratos vegetales presentes en cada sitio así como en sus tallas.

Sin embargo, se considera que la productividad registrada en este estudio, es muy baja comparada con otros autores. Návar et al. (2004) reporta una productividad de  $44.4 \text{ t ha}^{-1}$  en especies como *Prosopis glandulosa*, *Acacia berlandieri* y *Diospyros texana* (todos ellos en su forma arbustiva) valor que está muy por encima del obtenido en este estudio. La diferencia puede radicar en la profundidad del suelo, mayor contenido de humedad y temperatura, debido a la ubicación de los sitios, que presentan clima semiárido y subtropical así como en el grado de perturbación.

No obstante al comparar con Navarro y Blanco (2006) que evaluaron diferentes especies como *Pistacia lentiscus* ( $19.7 \text{ t ha}^{-1}$ ), Singh (1988) *Sesbania aegyptica* ( $18.32 \text{ t ha}^{-1}$ ); Flombaum y Sala (2007) *Adesmia campestris* ( $12.25 \text{ t ha}^{-1}$ ), se observa que obtuvieron valores muy elevados. La productividad en estos sitios puede estar determinada por la presencia de pastizales y la asociación con pastos de diferentes especies, como también por la densidad de individuos, requeridos para la obtención de combustible y/o forraje, sin importar bajo que condiciones se encuentren.

Suganuma et al. (2012) reportan una productividad de ( $4.22 \text{ t ha}^{-1}$ ) en *Artemisia herba-alba*, la cual corresponde al porcentaje más alto de cobertura (40%) y se encuentra asociada con un pasto (*Stipa tenacissima*). Este valor es el más parecido al obtenido en este trabajo, debido a la semejanza con las condiciones de cobertura y humedad.

No obstante, algunos autores mencionan valores más bajos como Oñatibia et al. (2010) quienes reportan un valor de  $0.022 \text{ t ha}^{-1}$  en arbustos pequeños de *Adesmia volckmannii*, en una zona semiárida de la Patagonia. El tamaño de los arbustos, puede ser un indicio de las condiciones en que se encuentra el sitio. En este caso, los arbustos pequeños indican una baja productividad, debido a la escasez de humedad en suelos poco profundos y perturbados por el sobrepastoreo. No obstante las especies utilizadas para forraje, en ocasiones tienen la función de restaurar el suelo en que se encuentran, lo cual no necesariamente significa que mantengan una productividad elevada.

### 6.3.3 Herbáceas

El muestreo en ambos sitios (matorral y mezquital) permitió conocer la productividad de pastos y herbáceas en relación con la cobertura.

Los valores obtenidos en el matorral ( $1.34 \text{ t ha}^{-1}$ ) son similares a lo obtenido en el mezquital ( $1.13 \text{ t ha}^{-1}$ ). Esta similitud pudo deberse a la presencia de diferentes especies vegetales, cuya cobertura fue mayor en el matorral, aunque de menor altura, cubriendo casi en su totalidad el suelo del sitio. Los pastos y herbáceas se desarrollan mejor en lugares bien provistos de sombra y humedad, como debajo del dosel de los árboles o arbustos. Los resultados obtenidos en este estudio no permiten apreciar ese efecto, debido a que las herbáceas encontradas en el mezquital presentaban una mayor altura, pero se encontraban más dispersas. Al comparar con otros autores, se observa que bajo condiciones similares de cobertura y humedad, los valores de este estudio son muy bajos. Castro y Freitas (2009) reportan que la cobertura de *Cistus ladanifer* induce el aumento de la productividad en sitios perturbados con sucesión avanzada obteniendo  $11.68 \text{ t ha}^{-1}$ , en un sitio semiárido. Con ello se observa que a pesar de la perturbación y sequía, la productividad tiende al aumento cuando existen especies capaces de establecerse y asociarse con las que ahí se encuentran.

Sin embargo, algunos estudios reportan valores más bajos de productividad, que los encontrados en este trabajo. Bustos et al. (1994) reportan valores de  $0.66 \text{ t ha}^{-1}$  en la especie *Nassauvia glomerulosa*, en sitios semiáridos muy perturbados, con baja precipitación. En este sitio existe la presencia de varias especies, sin embargo, *Nassauvia glomerulosa* predomina en el sitio, y se utiliza como recurso forrajero natural. Theunissen (1995) reporta una productividad de  $0.084 \text{ t ha}^{-1}$  en *Themeda triandra*, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, simulando baja precipitación, en un sitio semiárido al sur de África. Esta especie es utilizada y cultivada para forraje. Ambos casos coinciden en que el sobrepastoreo en zonas semidesérticas ha provocado la degradación del suelo, lo cual se ve reflejado en la productividad de ambos sitios.

Se considera que la productividad registrada en este estudio, se encuentra por encima de estos valores, debido al contenido de humedad, la posible asociación con otras especies y no se encuentra bajo condiciones de sobrepastoreo.

No obstante, se considera que los valores de este trabajo resultaron ser demasiado bajos con base en las condiciones de cada sitio. Estos resultados pueden sugerir la aplicación de un muestreo distinto en ambos sitios que permita comparar lo obtenido en este estudio. Se sugiere monitorearlos durante todo el año para conocer el desarrollo de los organismos ahí presentes. Se propone determinar las especies de todos los estratos vegetales presentes (incluidas las herbáceas) para poder evaluar con mayor precisión los factores involucrados en la productividad de estos sitios.

#### **6.4. Cuantificación de biomasa seca subterránea**

##### **6.4.1 Cultivos de riego y temporal de alfalfa y maíz**

Los cultivos de alfalfa registraron el más alto contenido de raíces finas ( $5.6 \text{ t ha}^{-1}$ ), probablemente debido a que el riego con aguas residuales durante 100 años ha generado mejores condiciones a través de la humedad y aporte constante de nutrientes. El riego juega un papel muy importante al proporcionar la humedad necesaria para favorecer el desarrollo de la planta, no solo aérea sino también a través de la producción de raíces. A pesar de extraer la parte aérea de la planta durante la cosecha, la biomasa restante (raíces) es capaz de aportar materia orgánica al suelo. Aunado a ello, la rotación de cultivos, sobre todo cuando se trata de algunas leguminosas (alfalfa, frijol, avena), permiten incorporar nitrógeno al suelo.

La productividad subterránea obtenida en este trabajo, es similar a los valores reportados por Wen y Ling (2003) que obtuvieron  $5.16 \text{ t ha}^{-1}$  de raíces de alfalfa, con tratamiento de irrigación de baja frecuencia. Esto indica que el riego moderado y la temperatura son determinantes para obtener valores más elevados de raíces en los cultivos de alfalfa.

En los cultivos de temporal de maíz (0 años bajo riego), se registró una productividad subterránea en promedio de  $2.6 \text{ t ha}^{-1}$ . Sin embargo, cuando se realizó el muestreo, una de las parcelas estaba cubierta por residuos de biomasa aérea y raíces pertenecientes a una especie de la familia *Poaceae*. Esta acumulación de biomasa pudo inducir un aporte extra de materia orgánica al

suelo. A pesar de ello, se consideró que la productividad, en promedio, fue la más baja, comparada con otros autores.

Wen et al. (2012) reportan una productividad de 3.14 t ha<sup>-1</sup> en raíces de maíz de alto rendimiento, considerando que se desarrolló bajo condiciones de precipitación y temperatura controladas. Kunelius et al. (1992) reportan una productividad de 3.43 t ha<sup>-1</sup> de raíces de rye grass italiano (*Lolium multiflorum Lam.*), utilizando especies intercaladas en sus cultivos. Ozpinar y Baytekin (2006) reportan una productividad de 3.02 t ha<sup>-1</sup> de garrobillita (*Vicia sativa L.*), cuya acumulación se vio favorecida por emplear labranza convencional en suelo arcilloso-arenoso bajo condiciones semiáridas.

Es importante mencionar que el aporte extra de biomasa en uno de los cultivos de maíz, reflejó un alto contenido de raíces. Lo anterior pudo inducir una tendencia de aumento en la productividad aérea (variable no observada en este trabajo) y mejoramiento en la calidad del suelo. Por ello se propone realizar muestreos sobre los rendimientos de maíz en el mismo sitio, considerando la presencia de especies oportunistas.

Se considera que la productividad de raíces de maíz en este trabajo, se vio favorecida por el aporte de biomasa de especies oportunistas establecidas en el período posterior a la cosecha. Dicha acumulación ayudó a proteger el suelo de la erosión y a mantener la humedad restante.

#### **6.4.2 Matorral y mezquital (raíces finas)**

El matorral (2.68 t ha<sup>-1</sup>) y el mezquital (3.47 t ha<sup>-1</sup>) registraron menores contenidos de raíces finas que en los cultivos de alfalfa. En los cultivos de alfalfa existe una constante reincorporación de nutrientes a través de la biomasa subterránea. Al retirar la parte vegetal aérea, se produce la muerte de raíces, quedando disponibles para su aprovechamiento en el suelo, por tanto el contenido puede ser mayor. Se considera que el riego, favorece el desarrollo del cultivo. En los sitios naturales, donde no hay riego, la baja producción de raíces puede deberse a la poca disponibilidad de agua por precipitación, como en los cultivos de temporal.

Guo et al. (2012) reportan una productividad de  $6.8 \text{ t ha}^{-1}$  en la especie *Leymus chinensis*, sin pastoreo y  $0.75 \text{ t ha}^{-1}$  con defoliación severa. Esto indica que existe una relación directamente proporcional entre la producción de raíces y la productividad aérea de la planta. Cuando la planta es extraída de forma constante, sin permitir su desarrollo completo (por el pastoreo), se inhibe su crecimiento. Las raíces mueren, por tanto se encuentran en menor cantidad. Esto podría estar ocurriendo en el matorral, por la posible presencia de ganado perteneciente a habitantes de zonas cercanas. Esto aunado a la poca profundidad del suelo y la falta de humedad.

La productividad obtenida por Gang et al. (2012) fue de  $1.47 \text{ t ha}^{-1}$  de la especie *Salix gordeyevii*, sobre dunas móviles. Comparado con este estudio, las condiciones del suelo tal vez no favorecieron su desarrollo. Aunado a ello, el contenido de humedad puede que sea menor, debido a que la evaporación del sitio es mayor a la precipitación, causada por la temperatura.

Sundarapandian y Swamy (1996) reportan una productividad de  $3.1 \text{ t ha}^{-1}$  en un bosque tropical caducifolio con dosel abierto y de  $20.2 \text{ t ha}^{-1}$  en un bosque tropical perennifolio bajo dosel cerrado, con una precipitación por encima de los 3000 mm anuales.

Con esta comparación se considera que los factores que pueden influir en la productividad de raíces son la humedad, la temperatura, la profundidad del suelo y la densidad de organismos.

## 6.5. Contenido de carbono en el suelo

### 6.5.1 Cultivos de alfalfa y maíz

El contenido de carbono en el suelo registrado por centímetro de profundidad, fue mayor en el mezquital ( $0.42 \text{ t ha}^{-1}$ ), seguido de los cultivos de alfalfa ( $0.33 \text{ t ha}^{-1}$ ) y el más bajo se registró en los cultivos de maíz de temporal ( $0.17 \text{ t ha}^{-1}$ ). El contenido de carbono en los cultivos de alfalfa es muy similar al del mezquital, debido a la elevada producción de raíces en los cultivos, que durante varios años ha recibido una importante aportación de nutrimentos. Ocurre lo contrario en los cultivos de maíz, donde el aporte de nutrimentos y acumulación de biomasa se ve disminuida, debido a la ausencia de riego. Se considera que el carbono en el suelo se ha incrementado a través

de la acumulación de la biomasa subterránea de los cultivos de alfalfa, aproximando un nuevo equilibrio, a pesar de la extracción de la biomasa aérea con la cosecha.

López y Pardo (2011) reportan un contenido de carbono de  $42.33 \text{ t ha}^{-1}$ , en 0 a 30 cm de profundidad utilizando cultivos de cebada (*Hordeum vulgare* L. cv. Volley) y chícharo (*Cicera rietinun* L. cv) intercalados anualmente. El contenido indicó una tendencia de aumento al cabo de 8 años utilizando labranza cero, debido a la acumulación de biomasa aérea. Álvaro et al. (2009) reportan un contenido de carbono de  $1.3 \text{ t ha}^{-1}$  a una profundidad de 0-20cm en monocultivos de cebada en condiciones semiáridas con una precipitación de 340 mm anuales, aunque no menciona si se encontraba bajo riego. En este caso, emplearon labranza convencional, con la cual observaron una mayor acumulación de carbono en la parte superficial del suelo.

En ambos casos se obtuvo un impacto positivo sobre la acumulación de carbono. Al emplear labranza cero (no labrar), el rastrojo de cultivos anteriores cubre el suelo (*Boletín de Aguas y Tierras de la FAO, 2009*). La labranza convencional, aunque el suelo queda desnudo, mezcla los residuos con el suelo y facilita su descomposición (*Boletín de Aguas y Tierras de la FAO, 2009*). Esto provoca que la humedad se mantenga conforme a la temperatura, optimizando la mineralización de materia orgánica. Por tanto, al existir una mayor incorporación de biomasa, el contenido de carbono se incrementa también.

La producción y permanencia de raíces, pueden ser los factores que se considera determinan el aumento de carbono en el suelo bajo los cultivos. El valor registrado en los cultivos de alfalfa, se considera que ha ido incrementándose hasta registrar un valor muy similar al registrado en el mezquital. Un mayor aporte de rastrojo en parcelas cultivadas y regadas podría incrementar dicho contenido con el tiempo. El incremento de la producción de la biomasa aérea y subterránea en este sistema de uso de la tierra (cultivos de alfalfa y maíz en rotación bajo riego) al parecer favorece el incremento de carbono en el suelo.

### 6.5.2 Matorral y Mezquital

El mezquital registró el mayor contenido de carbono por centímetro de profundidad en el suelo, lo cual puede adjudicarse a su elevado contenido de biomasa aérea y subterránea. Dado que, parece desarrollarse en un sitio cuyas características de suelos profundos y mantos freáticos cercanos a la superficie han permitido una mayor densidad de vegetación y con ello una mayor acumulación de carbono en el suelo. Al comparar los valores obtenidos en este trabajo con otros autores, se observan valores por encima de lo registrado en la literatura:

Becerril (2007) reportó un contenido de  $53.3 \text{ t ha}^{-1}$ , en una profundidad de hasta 30cm, en una microcuenca, con vegetación dividida en diferentes estratos. Se encuentra cubierta en su mayoría por comunidades de pastos. Cuenta con suelo somero, alta precipitación (781mm), y temperaturas de hasta  $31^{\circ}\text{C}$ . Es una cuenca bien irrigada por ríos y canales que la rodean. Pérez et al. (2011) reportan un contenido de  $32.5 \text{ t ha}^{-1}$  en 50cm de profundidad. El sitio se encuentra en una zona semiárida de baja precipitación (153mm) y temperaturas de 5 a  $26^{\circ}\text{C}$ . Los suelos se encuentran ligeramente perturbados, producto del pastoreo. El elevado contenido de carbono puede ser propiciado por la acumulación de raíces del pastizal.

El contenido registrado en este trabajo, comparado con otros estudios se encuentra por debajo de lo registrado en la literatura, posiblemente por algunos factores, como la precipitación, la profundidad del suelo y la cobertura vegetal. En el primer sitio llueve más, pero en el segundo llueve mucho menos. La temperatura en ambos sitios es similar y la profundidad del suelo es diferente. Con ello se puede observar que la precipitación puede determinar una mayor productividad de biomasa y así una mayor acumulación de carbono, a pesar de la profundidad del suelo. El pastoreo, en el segundo sitio, pudo propiciar la acelerada producción de raíces en los pastizales, reflejada en el elevado contenido de carbono. La presencia de diferentes estratos vegetales y la cobertura, en cada sitio reflejan una mayor acumulación de carbono. No obstante, los valores son muy parecidos, aunque inferiores, a los registrados en los cultivos de riego y temporal.

Se recomienda realizar muestreos comparativos en sitios de cobertura natural, empleando una metodología, donde se realice la recolecta de suelo empleando un cilindro de volumen conocido

que permita determinar la densidad aparente del suelo en cada sitio. En este estudio pudo verse alterado el contenido de carbono, al coleccionar la muestra en costales, sin considerar el volumen que ocupa. Además se deben coleccionar muestras de la misma profundidad en todos los sitios.

## 6.6. Calidad de la biomasa aérea de las diferentes coberturas

### 6.6.1 Proteína cruda

La complejidad en la estructura de los detritus orgánicos (materia orgánica muerta), determina el nivel en el proceso de humificación, mismo que se ve reflejado en la velocidad y tiempo de degradación, debido al contenido celular ([biologia\\_y\\_geologia.org/unidad\\_bio/bio1/u3\\_g\\_externa/u3\\_t3/11\\_humificacin\\_y\\_mineralizacin.html](http://biologia_y_geologia.org/unidad_bio/bio1/u3_g_externa/u3_t3/11_humificacin_y_mineralizacin.html), consultado el 12.08.13). Al tratarse de proteínas y carbohidratos, los detritus orgánicos pueden ser degradados y asimilados más rápido por los microorganismos, caso contrario con los que contienen mayor cantidad de celulosa y lignina (Elosegi y Sergi, 2009). Durante el proceso de humificación, el material vegetal se transforma en compuestos más sencillos, para que pueda ser mineralizado. Una vez que esto ocurre, queda disponible para ser absorbido y aprovechado por las plantas. La temperatura y humedad elevadas son factores que favorecen las actividades microbianas, para que se lleven a cabo dichos procesos (Labrador, 1996).

El contenido celular de cada planta, como la alfalfa y el maíz, es muy variable, por pertenecer a diferentes familias. Por un lado, las gramíneas (maíz) presentan porcentajes de celulosa y hemicelulosa más elevados que las leguminosas (alfalfa) (Kononova, 1982). En ambos casos el contenido de fibras digeribles y proteína es mayor en etapas tempranas de madurez, donde es más conveniente utilizarlos como forraje (Bowman, 1945).

El contenido de proteína más elevado fue registrado en los cultivos de alfalfa, tal como se espera de acuerdo a la literatura. La alfalfa es una de las plantas que produce más proteínas por hectárea y moviliza una gran cantidad de nitrógeno en las raíces, ya que se asocia con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (Zanin, et al., 1998).

Parada (1975) reporta un contenido del 27% de proteína cruda en alfalfa, derivado de la producción de concentrados proteínicos. Vázquez et al. (2010) reportan un contenido de proteína cruda en alfalfa de 23.9. Petisco et al. (2006), reportan un contenido del 25.5 % de proteína cruda, mientras que Bates (2007) reporta un contenido de entre 17 y 22% de proteína cruda en forraje de alfalfa. Los valores registrados en este estudio son similares a los reportados en otros estudios.

El valor registrado en este estudio de proteína cruda en maíz fue muy bajo (3.7%). Molina (2005) reportó un contenido de 6.8% a los 40 días de siembra. Observó que el contenido de proteína disminuía conforme se desarrollaba la planta. En este estudio, se observó un contenido similar con el obtenido a los 40 días. La FAO (1993) reporta un contenido de 8.4% en maíz blanco y 8.1% en maíz amarillo, sin embargo, no menciona la etapa de desarrollo. En este trabajo no se puede observar la variación en el contenido de proteína, dado que los cultivos no fueron monitoreados durante su desarrollo.

Dado que el contenido de proteína, es mayor en la alfalfa, la mineralización en estos cultivos, ocurre con mayor rapidez, por tanto es desintegrada de forma más eficaz por los microorganismos y a su vez los nutrientes liberados son absorbidos por las plantas en menos tiempo. En cambio, el contenido de proteína en maíz es mucho más bajo, lo cual propicia que la degradación sea más lenta y que exista una mayor acumulación de materia orgánica en el suelo. El bajo contenido de proteína limita la disponibilidad de nitrógeno que a su vez disminuye la mineralización.

#### **6.6.2. Contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina en biomasa subterránea**

La biomasa radicular de maíz registró el contenido más alto de celulosa y hemicelulosa, mientras que el de lignina correspondió con el de la alfalfa. En el mezquital, el contenido de lignina fue muy similar al de la alfalfa. La lignina es el compuesto que perdura más tiempo en los suelos y que más contribuye a la formación de compuestos húmicos. Lo anterior explica, junto con la mayor productividad de biomasa subterránea, que bajo alfalfa y mezquital se hayan encontrado los mayores contenidos de materia orgánica en el suelo.

## 7. CONCLUSIONES

Se determinó que la productividad primaria aérea evaluada en los cuatro sitios fue mayor bajo mezquital. No obstante, la producción de biomasa subterránea (raíces finas), fue mayor bajo los cultivos de alfalfa-maíz en rotación bajo riego.

Se cuantificó la cantidad de proteína cruda en biomasa aérea de cultivos bajo riego y de temporal, siendo mayor la obtenida en cultivos de alfalfa bajo riego.

Se determinó que en los cultivos de alfalfa y en el mezquital, el contenido de lignina (en la biomasa radicular) fue mayor.

Se determinó y comparó la cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo en los cuatro sitios, siendo el mezquital el que mostró los contenidos más elevados, seguido por los cultivos de alfalfa. Éstos mostraron un mayor contenido de carbono orgánico en el suelo, que el matorral, y éste a su vez contiene más carbono en el suelo que las parcelas de maíz de temporal.

El cambio de uso de suelo de mezquital y matorral a cultivos de temporal, ha generado un decremento en los contenidos de carbono orgánico en el suelo, que a su vez se refleja en la baja calidad de la biomasa y en la fertilidad del suelo, indicada por la productividad. Sin embargo, el cambio de cultivos de temporal a cultivos de riego ha propiciado un incremento en el contenido de carbono del suelo hasta alcanzar el contenido almacenado en los sitios de cobertura naturales. Esto indica que el manejo adecuado de cultivos de diversas especies comestibles, entre ellas leguminosas y gramíneas, incluso silvopastoriles bajo riego, aumentan la productividad de un sitio, no solo aérea, sino también subterránea. Esta biomasa subterránea puede recuperar suelos perturbados que han perdido materia orgánica.

Los agricultores pueden obtener diversos beneficios entre ellos una mayor productividad al mejorar las condiciones físicas del suelo y la reserva de N, la cual a su vez tendrá beneficios económicos al obtener mayores rendimientos. También podrían solicitar remuneraciones por el pago del servicio ambiental de la captura de carbono.

## LITERATURA CITADA

Acosta M., M.; Vargas H., J.; Velásquez M., A.; Etchevers B., J. D., (2002); **“ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA MEDIANTE EL USO DE RELACIONES ALOMÉTRICAS EN SEIS ESPECIES ARBÓREAS EN OAXACA, MÉXICO”**. *Agrociencia* 36: 725-736

Álvarez S., J., (2000); **“DESCOMPOSICIÓN Y CICLO DE NUTRIENTES, EN ECOSISTEMAS TERRESTRES DE MÉXICO”**. Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias, UNAM. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria 04510, MÉXICO, D.F.

Álvaro F., J.; López M. V.; Arrúe J. L.; Moret D.; Paustian, K., (2009); **“TILLAGE AND CROPPING EFFECTS ON SOIL ORGANIC CARBON IN MEDITERRANEAN SEMIARID AGROECOSYSTEMS: TESTING THE CENTURY MODEL”** *Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, USA; Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Zaragoza, España. Department of Soil and Crop Sciences, Colorado State University, USA. Agriculture, Ecosystems and Environment No. 134, pp. 211–217.*

Barriuso, E.; Baer, U.; Calvet, R.; (1992); **“DISSOLVED ORGANIC MATTER AND ADSORPTION-ESORPTION OF DIMEFURON, ATRAZINE, AND CARBETAMIDE BY SOILS”**. *J. Environ. Qual* 21: 359-67

Bates, G., (2007); **“HIGH-QUALITY HAY PRODUCTION”**. *Foraging Ahead for a Greener Tomorrow. University of Tennessee Institute of Agriculture, U.S. pp. 1-8*

Becerril P., R. (2007); **“ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO Y CAPTURA DE CARBONO EN ZONAS SEMIÁRIDAS MICROCUENCA EL CARMEN, GTO.”** Tesis de Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, Querétaro. 70 pp.

Benoit, P.; Barriuso, E.; Houot, S.; Calvet, R., (1996); **“INFLUENCE OF THE NATURE OF SOIL ORGANIC MATTER ON THE SORPTION-DESORPTION OF 4-CHLOROPHENOL, 2,4-DICHLOROPHENOL AND THE HERBICIDE 2,4-DICHLOROPHENOXYACETIC ACID (2,4- D)”**. *European Journal of Soil Science*, 47: 567-578

Berardo, A. y Marino, M. A., (2001); **“PRODUCCIÓN DE FORRAJE DE ALFALFA BAJO DIFERENTES NIVELES DE NUTRICIÓN FOSFATADA EN EL SUDESTE BONAERENSE”**. Unidad Integrada, Facultad de Ciencias Agrarias. UNMdP. EEA INTA. Balcarce. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 20 No. 2: 93-101.

Boletín de Aguas y Tierras de la FAO, (2009); **“MANUAL DE PRÁCTICAS INTEGRALES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS”**. Servicio de Gestión de las Tierras y nutrición de las Plantas. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. Subdirección de Ingeniería Agrícola de la Dirección de Sistemas de Apoyo a la Agricultura de la FAO. Instituto internacional de Agricultura Tropical. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). 220 pp.

Bonham C., D., (1989); **“MEASUREMENTS FOR TERRESTRIAL VEGETATION”**. Editorial John Wiley & Sons. New York, U.S.A.

Bowman, A. E., (1945); **“PRODUCE HIGH QUALITY HAY”**. Wyoming Agricultural Extension Service. Cooperative Extension Work in Agriculture and Home Economics. The University of Wyoming College of Agriculture Cooperating. Circular 85. 19 pp.

Bustos, P.; Villegas, S.; Castro, I.; Nakamatsu, V.; Bertolami, M., (1994); **“EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA AÉREA NETA EN EL ÁREA DE PAMPA VACA (CHUBUT)”**. *Multequina* 3: 51-54.

Castro, H.; H. Freitas, (2009); **“ABOVE-GROUND BIOMASS AND PRODUCTIVITY IN THE MONTADO: FROM HERBACEOUS TO SHRUB DOMINATED COMMUNITIES”**. Centre for Functional Ecology, Department of Botany, University of Coimbra, 3000-456 Coimbra, Portugal. *Journal of Arid Environments* 73, pp. 506–511

Carter, M. R.; Sanderson, J. B.; Ivany, J. A.; White, J. R., (2002); **“INFLUENCE OF ROTATION AND TILLAGE ON FORAGE MAIZE PRODUCTIVITY, WEED SPECIES, AND SOIL QUALITY OF A FINE SANDY LOAM IN THE COOL–HUMID CLIMATE OF ATLANTIC CANADA”**. Agriculture and Agri-Food Canada, Crops and Livestock Research Centre, Charlottetown, PEI, Canada. *Soil & Tillage Research* 67: 85–98

Clapp, C.E., M.H. B. Hayes, A. J. Simpson y W.L. Kingery (2005); **“CHEMISTRY OF SOIL ORGANIC MATTER. EN: TABATABAI, M.A Y D. L. SPARKS: CHEMICAL PROCESSES IN SOIL”**. SSSA Book Series 8, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA: 1-151.

Chapela L., M., (2011); **“VARIACIÓN TEMPORAL EN EL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN SUELOS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES”**. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias de la Tierra. 77 pp.

CNA, (1995); **INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA JEFATURA DE LOS DISTRITOS DE RIEGO DEL VALLE DEL MEZQUITAL**, Comisión Nacional del Agua, Mixquiahuala, Hidalgo, México.

Convenio IDRC-OPS/HEP/CEPIS. 2000-2002. **“ESTUDIO COMPLEMENTARIO DEL CASO MEZQUITAL, ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO”**. Proyecto Regional. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial.

Cruz C. S. de la (1965); **“REHABILITACIÓN INTEGRAL DEL DISTRITO DE RIEGO 03, TULA, HGO.** Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México, 163 p.

De la Fuente, E. B.; Suárez, S. A., (2008); **“PROBLEMAS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD HUMANA: LA AGRICULTURA”**. Cátedra de Cultivos Industriales, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Orientación Morfología Vegetal, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias Exactas Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Asociación Argentina de Ecología. *Ecología Austral*. AGRICULTURA Y PROBLEMAS AMBIENTALES 18:239-252.

Duff, A. B.; Meyer, J. M.; Pollock, C.; Felker, P., (1994); **“BIOMASS PRODUCTION AND DIAMETER GROWTH OF NINE HALF-SIB FAMILIES OF MESQUITE (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) AND A FAST GROWING *Prosopis alba* HALF-SIB FAMILY GROWN IN TEXAS”**. Center for Semi-Arid Forest Resources, Caesar Kleberg Wildlife Research Institute, Texas A&M University-Kingsville, Campus Box 218, Kingsville, TX, USA. *Forest Ecology and Management* 67: 257-266

Elosegi, A.; Sergi, S., (2009); **“CONCEPTOS Y TÉCNICAS EN ECOLOGÍA FLUVIAL”**. Ed. Fundación BBVA. pp. 141-144

Espinosa A., J.; Vera C., G.; Carrillo A., F.; Rodríguez F., C., (1989); **“TABLAS DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y LEÑA COMBUSTIBLE DE *Acacia retinoides Schlecht*”**. Memoria del Simposio Agroforestal en México. Sistemas y métodos de uso múltiple del suelo. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Tomo II. Pp. 40-56

Etchevers B., J. D.; Monreal M., C.; Hidalgo M., C.; Acosta M., M.; Padilla C., J.; López R., R. M., (2005); **"MANUAL PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO EN LA PARTE AÉREA Y SUBTERRÁNEA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN LADERAS"**. Colegio de Postgraduados, México. 29 p.p.

Felker, P.; Smith, D.; Wiesman, C. and Bingham, R.L., (1989); **"BIOMASS PRODUCTION OF PROSOPIS ALBA CLONES AT TWO NON-IRRIGATED FIELD SITES IN SEMIARID SOUTH TEXAS"**. Center for Semi-Arid Forest Resources, Caesar Kleberg Wildlife Research Institute, Texas A&I, University, Kingsville, Texas USA. *Forest Ecology and Management*, 29:135-150

Flombaum, P.; Sala, O.E., (2007); **"A NON-DESTRUCTIVE AND RAPID METHOD TO ESTIMATE BIOMASS AND ABOVEGROUND NET PRIMARY PRODUCTION IN ARID ENVIRONMENTS"**. *Ecology and Evolutionary Biology*, Brown University, USA. *Journal of Arid Environments* 69: 352 -358

García S., D.; Moreno V., C. M.; Atienza del R., A.; Marinero D., P.,(2003); **"VARIABILIDAD ESPACIAL DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO DE UNA PLANTACIÓN DE VIÑEDO"**. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI*. J. Álvarez-Benedí y P. Marinero. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, Valladolid. pp. 1-6

Gang, H.; Xue-yong, Z.; Yu-qiang, L.; Jian-yuan, C., (2012); **"RESTORATION OF SHRUB COMMUNITIES ELEVATES ORGANIC CARBON IN ARID SOILS OF NORTHWESTERN CHINA"**. Fukang Desert Ecology Station, State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing South Road, China. Naiman Desertification Research Station, Cold and Arid Regions and Environmental & Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lan Zhou, China. *Soil Biology & Biochemistry* 47: 123-132.

Glumac, E.L.; Felker, P. and Reyes, I., (1987); **"CORRELATIONS BETWEEN BIOMASS PRODUCTIVITY AND SOIL AND PLANT TISSUE NUTRIENT CONCENTRATIONS FOR *Leucaena leucocephala* (K-8)**

**GROWING ON CALCAREOUS SOILS**". Centre for Semi-Arid Forest Resources, Caesar Kleberg Wildlife Research Institute, College of Agriculture and Home Economics, Campus Box, Texas A & I University, Kingsville, Texas USA. *Forest Ecology and Management*, 18: 241-50.

Goel, V.L., Behl, H.M., (2001); **"GENETIC SELECTION AND IMPROVEMENT OF HARD WOOD SPECIES FOR FUELWOOD PRODUCTION ON SODIC SOILS WITH PARTICULAR REFERENCE TO *Prosopis juliflora*"**. *Biomass & Bioenergy* 20 (1), 9–15.

Goel, V. L. and Behl, H. M., (2005); **"GROWTH AND PRODUCTIVITY ASSESSMENT OF *Casuarina glauca* Sieb. ex. Spreng ON SODIC SOIL SITES"**. Biomass Biology Division, National Botanical Research Institute, 1 Rana Pratap Marg, Lucknow, India. *Bioresource Technology* 96:1399–1404

González, Q., L., (1968); **"TIPOS DE VEGETACIÓN DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HGO"**. Departamento de Prehistoria, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, D.F. 53 pp.

González-Méndez, B., Webster, R.; Fiedler, S.; Loza-Reyes, E.; Hernández, J.M.; Ruíz-Suárez, L.G.; Siebe, C.; **"EMISSIONS OF GREENHOUSE GASES FROM CROPLAND IRRIGATED WITH WASTEWATER: A CASE STUDY IN THE MEZQUITAL VALLEY OF MEXICO"**. *Atmospheric Environment*, sometido Febrero, 2014

González-Sánchez, A., (2014); **Comunicación personal**. Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, UNAM.

Grassini, P.; Yang, H.; Irmak, S.; Thorburn, J.; Burr, C.; Cassman, K., G., (2011); **"HIGH-YIELD IRRIGATED MAIZE IN THE WESTERN U.S. CORN BELT: II. IRRIGATION MANAGEMENT AND CROP WATER PRODUCTIVITY"**. Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska-Lincoln, NE, USA; Monsanto Company, Lindbergh Blvd, St. Louis, USA; Department of Biological

*Systems Engineering, University of Nebraska-Lincoln, USA; Tri-Basin Natural Resources District, Burlington, Holdrege, NE, USA; University of Nebraska-Lincoln Phelps County Extension Office, 2nd St, Holdrege, NE, USA. Field Crops Research 120: 133–141*

*Gregorich E., C.; Carter M., R.; Angers V., C.; Monreal, M.; Ellert B., H., (1994); **“TOWARDS A MINIMUM DATA SET TO ASSESS SOIL ORGANIC MATTER QUALITY IN AGRICULTURAL SOIL”**. Can J. Soil Sci., pp. 367-385*

*Gu, B.; Schmitt, J.; Chen, Z.; Liang, L.; McCarthy, J., (1994); **“ADSORPTION AND DESORPTION OF NATURAL ORGANIC MATTER ON IRON OXIDE: MECHANISM AND MODELS”**. Environ. Sci. Technol. 28(1): 38-46*

*Guo, Y-J.; Han, L.; Li, G-D.; Han, J-G.; Wang, G-L.; Li, Z-Y.; Wilson, B., (2012); **“THE EFFECTS OF DEFOLIATION ON PLANT COMMUNITY, ROOT BIOMASS AND NUTRIENT ALLOCATION AND SOIL CHEMICAL PROPERTIES ON SEMI-ARID STEPPES IN NORTHERN CHINA”**. Faculty of Animal Science and Technology, Southwest University, Tiansheng Road 1, Beibei, Chongqing, China. Institute of Grassland Science, China Agricultural University, Beijing, China. E H Graham Centre for Agricultural Innovation (alliance between NSW Department of Primary Industries and Charles Sturt University, Wagga Wagga, Australia. Sustainable Agricultural Developmental Institute of Shandong, Jinan China. Journal of Arid Environments 78: 128-134.*

*Heath, M. E.; Barnes, R. F.; Metcalfe, D. S., (1985); **“FORRAJES”** 4a ed.*

*Hunter, R., (2010); **“METHODOLOGIES FOR RECONSTRUCTING A PASTORAL LANDSCAPE”**. Historical Methods: A Journal of Quantitative and Interdisciplinary History, 43:1, 1-13*

**INEGI. III CENSOS AGRÍCOLA-GANADERO Y EJIDAL DEL ESTADO DE HIDALGO; DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA. SECRETARÍA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. CONSEJO CONSULTIVO DE ESTADÍSTICA. MÉXICO. pp. 123-163. 1950.**

**INEGI. IV CENSOS AGRÍCOLA-GANADERO Y EJIDAL DEL ESTADO DE HIDALGO; DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA. SECRETARÍA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. CONSEJO CONSULTIVO DE ESTADÍSTICA. MÉXICO, D.F. pp. 44-55. 1960.**

**INEGI. V CENSOS AGRÍCOLA-GANADERO Y EJIDAL DEL ESTADO DE HIDALGO; DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA. SECRETARÍA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. CONSEJO CONSULTIVO DE ESTADÍSTICA. MÉXICO. pp. 71-74, 101-121. 1970.**

**INEGI. VI CENSO AGRÍCOLA-GANADERO ESTADO DE HIDALGO; RESULTADOS DEFINITIVOS. INEGI. AGUASCALIENTES, AGS. MÉXICO. 1981.**

**INEGI. VII CENSO AGRÍCOLA-GANADERO ESTADO DE HIDALGO; RESULTADOS DEFINITIVOS. INEGI. AGUASCALIENTES, AGS. MÉXICO. pp. 374-385. 1991.**

**INEGI. VIII CENSO AGRÍCOLA, GANADERO Y FORESTAL; INEGI. ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. CENSO AGROPECUARIO, AGUASCALIENTES. AGS.2009.**

**INEGI. Censo Agropecuario 2007, VIII CENSO AGRÍCOLA, GANADERO Y FORESTAL. Aguascalientes, Ags. Censo nacional. Estados Unidos Mexicanos, 2009.**

Jensen, J. R.; Bemhard, R. H., Hansen, S.; McDonagh, J.; Moberg, J. P., Nielsen, N. E., Nordbo, E., (2003); **“PRODUCTIVITY IN MAIZE BASED CROPPING SYSTEMS UNDER VARIOUS SOIL-WATER-NUTRIENT MANAGEMENT STRATEGIES IN A SEMI-ARID, ALFISOL ENVIRONMENT IN EAST ÁFRICA”**. Laboratory for Agrohydrology and Bioclimatology, Department of Agricultural Sciences, The Royal Veterinary and Agricultural University, Taastrup, Denmark; School of Development Studies, University of East Anglia, Norwich, UK; Chemistry Department, KVL, Frederiksberg C, Denmark. *Agricultural Water Management* 59: 217-237

Johnsson, H.; Bergstrom, L.; Jansson, P.; Paustiaen, K., (1987); **“SIMULATING NITROGEN DYNAMICS AND LOSSES IN A LAYERED AGRICULTURAL SOIL”**. *Agric. Ecosystems and the Environ.* 18:333-356.

Kononova, M., (1982); **“MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO: SU NATURALEZA, PROPIEDADES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN”**. Barcelona: Oikos-Tau, 365 p.

Kunelius, H. T.; Johnston, H.W. and MacLeod, J.A., (1992); **“EFFECT OF UNDERSOWING BARLEY WITH ITALIAN RYEGRASS OR RED CLOVER ON YIELD, CROP COMPOSITION AND ROOT BIOMASS”**. Research Station, Agriculture Canada, Charlottetown. Prince Edward Island, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 38: 127-137.

Labrador M., J., (1996); **“LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS AGROSISTEMAS”**. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Mundi-Prensa.

López F., C.; Pardo, M. T., (2011); **“SOIL CARBON STORAGE AND STRATIFICATION UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS IN A SEMI-ARID REGION”**. Institute of Agricultural Sciences (ICA, CSIC), Madrid, España. pp. 224-230.

López M., D.; Soto P., L.; Jiménez F., G.; Hernández D., S., (2003); **“RELACIONES ALOMÉTRICAS PARA LA PREDICCIÓN DE *Acacia pennatula* Y *Guazuma ulmifolia* EN DOS COMUNIDADES DEL NORTE DE CHIAPAS, MÉXICO”**. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela 28:6 pp. 334-39

Maguire, D. A.; Schreuder, G. F. and Shaikh, M., (1990); **“A BIOMASS/YIELD MODEL FOR HIGH-DENSITY *Acacia nilotica* PLANTATIONS IN SIND, PAKISTAN”**. *Forest Ecology and Management*, 37: 285-302 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

Mastache, A. G.; H. Cobean, R. y M. Healan, D., (2002); **“ANCIENT TOLLAN: TULA AND THE TOLTEC HEARTLAND”**, University Press of Colorado, Boulder, 414 pp.

Melville K., E. G., (1990); **“ENVIRONMENTAL AND SOCIAL CHANGE IN THE VALLE DEL MEZQUITAL, MEXICO, 1521-1600”**. *Comparative Studies in Society and History*, Vol. 32, No. 1, pp. 24-53.

Mendoza P., A. V., (2008); TESIS M. En C. B. **“ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN PAISAJES DE BOSQUES TEMPLADOS EN COFRE DE PEROTE VERACRUZ”**. Instituto de Geología, UNAM. México, D. F. 92 pp.

Meza S., R.; Osuna L., E., (2003); **“ESTUDIO DASOMÉTRICO DEL MEZQUITE EN LA ZONA DE POCITAS B.C.S.”**. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste Campo Experimental Todos Santos. SAGARPA., México. pp. 16-18

Molina N., V. A., (2005); **“EXTRACCIÓN DE PROTEÍNA FOLIAR DE MAÍZ A LOS 10, 25 Y 40 DÍAS DE LA SIEMBRA Y ANÁLISIS DE SUS AMINOÁCIDOS”**. Proyecto especial presentado como requisito

parcial para optar al título de Ingeniera en Agroindustria en el Grado Académico de Licenciatura. ZAMORANO CARRERA DE AGROINDUSTRIA. Honduras. 39 pp.

Montès, N.; Bertaudière M., V.; Badric, W.; Zaoui, El. H.; Gauquelin, T., (2002); **“BIOMASS AND NUTRIENT CONTENT OF A SEMI-ARID MOUNTAIN ECOSYSTEM: THE *Juniperus thurifera* L. WOODLAND OF AZZADEN VALLEY (MOROCCO)”**. *Laboratoire de Biosystématique et Ecologie Méditerranéenne, Institut Méditerranéen d’Ecologie et de Paléoécologie, Faculté des Sciences de St-Jérôme; Laboratoire d’Ecologie Terrestre; Laboratoire d’Ecologie Terrestre, Faculté des Sciences Ben M’Sik, Université Hassan II, Casablanca, Morocco; Laboratoire d’Ecologie Végétale, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Morocco. Forest Ecology and Management 166: 35–43.*

Návar, J.; Méndez, E.; Nájera, A.; Graciano, J.; Dale, V.; Parresol, B., (2004); **“BIOMASS EQUATIONS FOR SHRUB SPECIES OF TAMAULIPAN THORNSCRUB OF NORTH-EASTERN MEXICO.”** *Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Nuevo León, México. Instituto Tecnológico Forestal, El Salto, P.N., Durango, México; Environmental Science Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, USA; USDA Forest Service Southern Research Station, Asheville, USA. Journal of Arid Environments 59, 657–674.*

Navarro C., R. M.; Blanco O., P., (2006); **“ESTIMATION OF ABOVE-GROUND BIOMASS IN SHRUBLAND ECOSYSTEMS OF SOUTHERN SPAIN”**. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. Dpto.Ingeniería Forestal.Córdoba. SPAIN InvestAgrar: SistRecurFor (2006) 15(2), 197-207*

Nelson D. W.; Sommers L., E., (1996); **“TOTAL CARBON, ORGANIC CARBON AND ORGANIC MATER”**. In D. L. Sparks (ed.). *Method of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods. SSSA Book Series N°5, Madison, WI. pp. 1001-1062*

**"OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS"**. 15<sup>th</sup> ed. USA: Association of Official Analytical Chemists; 1990, 954.01

Oñatibia, G. R.; Aguiar, M. R.; Cipriotti, P. A.; Troiano, F., (2010); **"INDIVIDUAL PLANT AND POPULATION BIOMASS OF DOMINANT SHRUBS IN PATAGONIAN GRAZED FIELDS"**. Cátedra de Ecología-IFEVA, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires/CONICET. Buenos Aires, Argentina. Asociación Argentina de Ecología. *Ecología Austral* 20:269-279.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO(1993); **"EL MAIZ EN LA NUTRICIÓN HUMANA"**. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N° 25; Catalogación antes de la publicación de la Biblioteca David Lubin FAO, Roma, Italia

Ozpınar, S.; Baytekin, H., (2006); **"EFFECTS OF TILLAGE ON BIOMASS, ROOTS, N-ACCUMULATION OF VETCH (*Vicia sativa* L.) ON A CLAY LOAM SOIL IN SEMI-ARID CONDITIONS"**. Department of Farm Machinery, College of Agriculture, Canakkale Onsekiz Mart University, Canakkale, Turkey. College of Agriculture, Canakkale Onsekiz Mart University, Canakkale, Turkey. *Field Crops Research* 96: 235–242.

Parada E., (1975); Tesis de Maestría en Ciencias. **"PRODUCCIÓN DE CONCENTRADOS PROTEÍNICOS A PARTIR DE HOJAS"**. ENCB-IPN México D.F.

Parrotta, John A. 1992; **"Acacia farnesiana (L.) Willd. Aroma, huisache"**. SO-ITF-SM-49. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p.

Peña, F., (2002); **“LAS AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA MEXICANA: MEDIO AMBIENTE, SALUD Y POLÍTICA”**. IX Simposio de historia económica. Condiciones medioambientales, desarrollo humano y crecimiento económico. Universidad Autónoma de Barcelona. España. 26 pp.

Pérez Q., J. F.; A. Delpiano, C.; A. Snyder, K.; A. Johnson, D.; Franck, N., (2011); **“CARBON POOLS IN AN ARID SHRUBLAND IN CHILE UNDER NATURAL AND AFFORESTED CONDITIONS”**. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile; Centro de Estudios de Zonas Áridas, Universidad de Chile; USDA-ARS, Exotic and Invasive Weeds Research Unit, Reno, NV, USA; USDA-ARS, Forage and Range Research Lab, Utah State University, Logan, UT, USA; Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Chile, Santiago. *Journal of Arid Environments* 75, pp.29-37

Petisco, C.; García C., B.; García C., L.; Vázquez De A., B. R.; García C., A., (2006); **“APLICACIÓN DE LA TÉCNICA NIRS PARA EL ANÁLISIS DE MATERIA SECA Y PROTEÍNA EN HOJAS DE ALFALFA”**. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. Producción animal. Salamanca. pp. 91-96

Píccolo G., A.; Rosell R., A.; Galantini J., A.; Miglierina A., M., (1998); **“TRANSFORMACIONES DE LA MATERIA ORGÁNICA EN UN SUELO LATERÍTICO (MISIONES, ARGENTINA): II. CAMBIOS EN LA MATERIA ORGÁNICA PARTICULADA Y HUMUFICADA”**. *Agricultura técnica. Chile.* 58 (2):142-150

Quiroga, A. R.; Funaro, D. O., (2004); **“MATERIA ORGÁNICA. FACTORES QUE CONDICIONAN SU UTILIZACIÓN COMO INDICADOR DE CALIDAD EN MOLISOLES, DE LAS REGIONES SEMIÁRIDA Y SUBHÚMEDA PAMPEANA”**. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas Pp: 476.

Rendón C., N.; Soto P., L., (2007); **“METODOLOGÍA RÁPIDA PARA LA ESTIMACIÓN Y MONITOREO DE CAPTURA DE CARBONO”**. El colegio de la Frontera Sur. CONACYT. Chiapas, México. pp. 1-47

Rosenschein, A.; Tietema, T.; and Hall, D. O., (1999); **“BIOMASS MEASUREMENT AND MONITORING OF TREES AND SHRUBS IN A SEMI-ARID REGION OF CENTRAL KENYA”**. Division of Life Sciences, Kings College London, Campden Hill Road, London, U.K.; Environmental Options B.V., Meerndijk, IIS De Meern, The Netherlands. *Journal of Arid Environments*, 42: 97–116.

SAGARPA, 2010. *Consulta personal de datos sobre rendimientos de producción de alfalfa en los municipios de Ajacuba, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Mixquiahuala de Juárez, Tezontepec, Tlahuelilpan y Tlaxcoapan, del estado de Hidalgo, en las oficinas ubicadas en el municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo.*

Santana R., J. T, (1999); **“ENSILAJE DE ALFALFA”**.

Sauvé, S.; McBride, M.; Hendershot, W., (1998); **“SOIL SOLUTION SPECIATION OF LEAD(II): EFFECTS OF ORGANIC MATTER AND pH SOIL”**. *Sci. Soc. Am. J.* 62:618-621.

SARH, (1994); **“ANUARIO DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA”**. Ministerio de Recursos Agrícolas e Hidráulicos, México, D.F., México.

SARH, (1994); **“CARPETA DE DATOS BÁSICOS”**, mecano, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Distrito de Desarrollo Rural Mixquiahuala, México (valores nacionales).

Shen, W.; Wu, J.; R. Kemp, P.; F. Reynolds, J.; B. Grimm, N., (2005); **“SIMULATING THE DYNAMICS OF PRIMARY PRODUCTIVITY OF A SONORAN ECOSYSTEM: MODEL PARAMETRIZATION AND VALIDATION”**. Faculty of Ecology, Evolution and Environmental

*Sciences, School of Life Sciences, Arizona State University, Arizona, USA; South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, China; Biology Department, University of San Diego, San Diego, USA; Department of Botany and Nicholas School of the Environment and Earth Science, Duke University, Durham, USA. Volume 189, Issues 1–2, 25 pág. 1–24.*

*Siebe G., C., (1994); “ACUMULACIÓN Y DISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS EN SUELOS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO DE RIEGO 03, TULA, HIDALGO, MÉXICO”. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Rev. Int. Contam. Ambient. 10 (I), 15-21*

*Siebe G., C.; Herre, A., (1999); “DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL”. Procedimiento Estandarizado. Laboratorio de Edafología Ambiental, Instituto de Geología. UNAM. pp. 1-3*

*Silva R., M., (2004); “EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL EN SUPERFICIE, A TRAVÉS DE LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS”. En R. Filgueira y F. Micucci, Editores. Metodologías físicas para la investigación del suelo: Penetrometría e Infiltración. Editorial de la Universidad de la Plata. Pp: 121-130.*

*Singh V.; I. Toky, O., (1995); “BIOMASS AND NET PRIMARY PRODUCTIVITY IN LEUCAENA, Acacia and Eucalyptus, SHORT ROTATION, HIGH DENSITY (‘ENERGY’) PLANTATIONS IN ARID INDIA”. Department of Forestry, Hayana Agricultural University, Hisar 125 004, India Journal of Ad Environments (1995) 31: 301-309.*

Singh, B. (1988); **"BIOMASS POTENTIALS OF SOME FIREWOOD SHRUBS OF NORTH INDIA"**. Short Communication. Biomass Research Centre, National Botanical Research Institute, Lucknow, India. *Biomass* 16:199-203.

Singh, G.; Mutha, S.; Bala, N., (2007); **"EFFECT OF TREE DENSITY ON PRODUCTIVITY OF A *Prosopis cineraria* AGROFORESTRY SYSTEM IN NORTH WESTERN INDIA"**. Division of Forest Ecology, Arid Forest Research Institute, New Pali Road, Jodhpur, India. *Journal of Arid Environments* 70:152–163

Suganuma, H.; Kawada, K.; Smaoui, A.; Suzuki, K.; Isoda, H.; Kojima, T.; Abe, Y., (2012); **"ALLOMETRIC EQUATIONS AND BIOMASS AMOUNT OF REPRESENTATIVE TUNISIAN ARID LAND SHRUBS FOR ESTIMATING BASELINE"**. *Journal of Arid Land Studies* 22-1, 219 -222.

Sundarapandian, S. M.; Swamy, P.S., (1996); **"FINE ROOT BIOMASS DISTRIBUTION AND PRODUCTIVITY PATTERNS UNDER OPEN AND CLOSED CANOPIES OF TROPICAL FOREST ECOSYSTEMS AT KODAYAR IN WESTERN GHATS, SOUTH INDIA"**. Department of Plant Sciences, School of Biological Sciences, Madurai Kamaraj University, Madurai, India. *Forest Ecology and Management* 86: 181 – 192

Swift, M.; Heal, O.; Anderson, J., (1979); **"DECOMPOSITION IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS. STUDIES IN ECOLOGY"**. No. 5. Univ. of Cal. Press, San Francisco, USA. 371 pp.

Tejada H., I., (1992); **"CONTROL DE CALIDAD Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS PARA ANIMALES"**. Sistema de Educación Continua en Producción Animal, A.C. México D.F.

Tejada, C., (1991). **"EL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO: EFECTOS EN LA SALUD Y PROPUESTA DE SOLUCIONES TÉCNICAS"**, *Ing. Amb.*, 4 (10): 6-15.

Tewari, S.K.; Katiyar, R.S.; Ram, B.; Misra, P.N., (2004); **"EFFECT OF AGE AND SEASON OF HARVESTING ON THE GROWTH, COPPING CHARACTERISTICS AND BIOMASS PRODUCTIVITY OF *Leucaena leucocephala* AND *Vitex negundo*"**. National Botanical Research Institute, Lucknow, India. *Biomass and Bioenergy* 26:229 – 34.

Theunissen, J. D., (1995); **"BIOMASS PRODUCTION OF DIFFERENT ECOTYPES OF THREE GRASS SPECIES OF THE SEMIARID GRASSLANDS OF SOUTHERN AFRICA"**. Department of Plant and Soil Sciences, Potchefstroom University for C.H.E., 2520 Potchefstroom, Republic of South Africa. *Journal of Arid Environments*. 29:439-445.

Totsche K., U.; Danzer, J.; Kögel K., I., (1997); **"DISSOLVED ORGANIC MATTER ENHANCED RETENTION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SOIL MISCIBLE DISPLACEMENT EXPERIMENTS"**. *J. Environ. Qual.* 26: 1090-100

Turlan M., O. A., (2011); **"ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA CUANTIFICAR BIOMASA AÉREA EN SIETE POBLACIONES DE *Prosopis* sp. EN EL NORTE-CENTRO DE MÉXICO"**. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO. DIVISIÓN DE AGRONOMÍA. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 5-7.

UBA, (2000); **"PRINCIPIOS DE EDAFOLOGÍA, CON ÉNFASIS EN SUELOS ARGENTINOS"**. Editorial Facultad de Agronomía.

Ugalde A., J.; Granados S., D.; Sánchez G., A., (2008); **"SUCESIÓN EN EL MATORRAL DESÉRTICO DE *Laurea tridentata* (DC.) COV. EN LA SIERRA DE CATORCE, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO"**. Universidad Autónoma de Chapingo, México. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 26, Núm. 2, abril-junio. pp. 153-160.

Vázquez V., C.; García H., J. L.; Salazar S., E.; Murillo A., B.; Orona C., I.; Zúñiga T, R.; Rueda P., E. O.; Preciado R., P., (2010); **“RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DE FORRAJE DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) CON DIFERENTES DOSIS DE ESTIÉRCOL BOVINO”**. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*; 1(4):363-372

Verwijst T.; Björn, T., (1999); **“Biomass ESTIMATION PROCEDURES IN SHORT ROTATION FORESTRY.FORES ECOL. MANAG”**. 121:137-146

Wen M., B.; Ling H., L., (2003); **“EFFECT OF IRRIGATION METHODS AND QUOTA ON ROOT WATER UPTAKE AND BIOMASS OF ALFALFA IN THE WULANBUHE SANDY REGION OF CHINA”**. *Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 20 Nanxincun, Xiangshan, Beijing, China. Agricultural Water Management* 62: 139–148.

Wen Z., Q.; Hui H., L.; Peng, L., Shu T., D.; Bing Q., Z.; Hwat B., S.; Geng, L.; Heng D., L.; Ji W., Z.; Bin, Z., (2012); **“MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CORN (*Zea mays* L.) ROOTS FROM CULTIVARS WITH DIFFERENT YIELD POTENTIALS”**. *State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Key Laboratory of Crop Biology, Agronomy College of Shandong Agricultural University, Tai’an, Shandong, China. Institute of Agricultural Resource and Regional planning, CAAS, Beijing, China. Environmental Futures Center, Griffith University, Nathan, Brisbane, Qld, Australia. Taishan National Basic Meteorological Observing Station, Tai’an, Shandong, China Europ. J. Agronomy* 38: 54– 63.

Yermiyahu, U.; Keren, R.; Chen, Y., (1995); **“BORON SORPTION BY SOIL IN THE PRESENCE OF COMPOSTED ORGANIC MATTER”**. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:405-409.

Yu, J.; Feng M., L.; Zhen-hua, Z.; Xiao L., W.; Ruiying, G. Siddique, K. H. M., (2009); **“PRODUCTIVITY AND WATER USE OF ALFALFA AND SUBSEQUENT CROPS IN THE SEMIARID LOESS PLATEAU WITH**

**DIFFERENT STAND AGES OF ALFALFA AND CROP SEQUENCES**". MOE Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, School of Life Science, Lanzhou University, China. Institute of Agriculture, Faculty of Natural and Agricultural Sciences, The University of Western Australia, Crawley, Australia. School of Agricultural Science, Henan University of Science and Technology, Luoyang, China. Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture, Faculty of Natural and Agricultural Sciences, The University of Western Australia, Stirling Highway, Crawley, Australia. *Field Crops Research* 114: 58–65

Zanin, V.; Bouchet; Choisy, H.; Dillon, J.C.; Hennequin, E.; Kariger, E.; Recchia, C.; Seiler; Tharel, B.; Gastineau, I.; Douillard, R.; De Mathan, O.; Mojon, J. M.; Subtil, J., (1998); **"UN NUEVO CONCEPTO NUTRICIONAL PARA EL SER HUMANO: EL EXTRACTO FOLIAR DE ALFALFA"**. UFR de Farmacología de Reims; Centro Hospitalario Universitario de Reims; Instituto des Cordeliers de Paris; Cavisia; Centro Hospitalario Universitario de Reims; France Luzerne: Francia alfalfa; APEF; ASSOCIATION POUR LA PROMOTION DES EXTRAITS FOLIAIRES EN NUTRITION. 41 pp.

#### REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

[http://biologiaygeologia.org/unidadbio/bio1/u3\\_gexterna/u3\\_t3/11\\_humificacin\\_y\\_mineralizacin.html](http://biologiaygeologia.org/unidadbio/bio1/u3_gexterna/u3_t3/11_humificacin_y_mineralizacin.html), consultado el 12.08.13

CONABIO, (2009) <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/mimosaceae/acacia-farnesiana/fichas/ficha.htm>, Heike Vibrans (ed.), Última modificación: 4 de agosto de 2009, *Malezas de México*, consultado el 13.06.13

Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Alfalfa>, consultado el 28.07.2013

(Lignina – La química de la madera | La Guía de química <http://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/lignina-la-quimica-de-la-madera#ixzz2c5zsExWB>, consultado el 15.08.13

## ANEXOS

**Anexo 1.** Censos registrados de 1950 a 2007 (INEGI); 2010 (SAGARPA), sobre la producción de biomasa seca de alfalfa.

CENSOS 1950-2010							
Producción t ha <sup>-1</sup>							
Alfalfa							
MUNICIPIO	1950	1960	1970	1980	1990	2007	2010
AJACUBA	33.80	S/C	30.00	S/C	6.60	77.7	106.3
ALFAJAYUCAN	31.17	41.50	23.70	34.00	58.40	78.2	102.3
ATITALAQUIA	33.05	67.00	29.90	63.70	36.90	79.4	106.2
ATOTONILCO DE T.	S/C	60.00	34.30	59.34	16.90	81.2	93.8
MIXQUIAHUALA DE J.	71.13	48.71	24.80	69.90	84.10	73.8	104.7
TETEPANGO	25.00	S/C	29.10	62.35	34.60	81.4	SC
TLAHUELILPAN	S/C	S/C	31.90	73.75	61.30	86.2	SC
TLAXCOAPAN	38.70	39.54	23.80	81.18	65.80	82.7	SC
<b>PROMEDIO</b>	38.81	51.35	28.44	63.46	45.58	80.08	102.66

\*SC: Sin cultivo

**Anexo 2.** Biomasa seca en la alfalfa al momento del corte, suponiendo que los datos fueron colectados en biomasa húmeda al 67 % (*Santana, 1999; Heath, 1985*).

Porcentaje de humedad de alfalfa aplicado a censo 2010				
MUNICIPIO	Datos colectados (SAGARPA, 2010)	% Humedad	t ha <sup>-1</sup>	Contenido de humedad t ha <sup>-1</sup>
AJACUBA	106.3	67.5	34.6	71.75
ALFAJAYUCAN	102.3		33.3	69.05
ATITALAQUIA	106.2		34.5	71.68
ATOTONILCO DE T.	93.8		30.5	63.31
MIXQUIAHUALA DE J.	104.7		34	70.67
TETEPANGO	SC	SC	SC	SC
TLAHUELILPAN	SC	SC	SC	SC
TLAXCOAPAN	SC	SC	SC	SC
<b>Promedio</b>	102.66	67.5	33.4	69.3

\*SC: Sin cultivo

**Anexo 3.** Censos registrados de 1950 a 2007 (INEGI); 2010 (SAGARPA), sobre la producción de maíz.

CENSOS 1950-2010								
Producción t ha <sup>-1</sup>								
Maíz								
MUNICIPIO	1950	1960	1970	1980	1990	2007 AMARILLO	2007 BLANCO	2010
AJACUBA	0.68	SC	0.92	SC	1.21	9.42	8.36	7.30
ALFAJAYUCAN	0.70	0.73	1.76	SC	2.23	5.95	6.24	7.20
ATITALAQUIA	1.02	0.97	2.20	2.24	3.36	14.83	13.01	8.30
ATOTONILCO DE T.	0.58	0.77	2.21	2.78	1.48	0.00	0.00	7.40
MIXQUIAHUALA DE J.	0.87	1.22	2.97	3.33	4.32	10.54	20.45	8.90
TETEPANGO	0.85	0.74	2.67	2.6	1.74	8.38	14.36	SC
TLAHUELILPAN	1.13	SC	3.20	3.32	3.18	2.18	18.12	SC
TLAXCOAPAN	SC	1.11	2.40	2.81	4.76	8.18	18.07	SC
<b>PROMEDIO</b>	0.83	0.92	2.29	2.85	2.79	7.44	12.33	7.82

\*SC: Sin cultivo

**Anexo 4.** Datos obtenidos en las encuestas realizadas a agricultores de diferentes municipios sobre alfalfa.

Datos sobre producción de biomasa seca (BS) aérea de alfalfa bajo riego (orden por fertilizante)										
No.	Municipio	Agricultor	Años Riego	Semilla		Variedad	Suelo	Fertilizante	Cantidad	t BS ha-1 año-1
1	AJACUBA	Rodolfo Bautista Z.	10	M	-	San Miguel	S	Foliar	1 Lt/200 Lt agua ha-1	21
2	ATITALAQUIA	Felipe Cerón	38	M	-	Pioneer	S	Foliar	1 Lt/200 Lt agua ha-1	33
3	ATITALAQUIA	Guillermo Cerón R.	38	-	NM	-	S	Foliar	1 Lt./200 Lt agua ha-1	20.4
4	ATITALAQUIA	Juan Gómez S.	40	-	NM	-	S	Foliar	1 Lt/200 Lt agua ha-1	39
5	ATITALAQUIA	Ubaldo Facio S.	56	-	NM	-	P	Foliar	1 Lt/200 Lt agua ha-1	26.1
6	FCO. I. MADERO	Ricardo Espinoza P.	61	-	NM	-	P	Foliar	1 Lt/200 Lt agua ha-1	34.5
7	MIXQUIAHUALA	Bernardo Bernal	45	-	NM	-	S	Foliar	2-3 kg/200 Lt agua ha-1	28
8	MIXQUIAHUALA	Enrique Martínez	70	-	NM	-	S	Foliar	1 Lt/200 Lt agua ha-1	7.6
9	MIXQUIAHUALA	Luis Pérez.	40	-	NM	-	P	Foliar	1 Lt/200 Lt agua ha-1	33.3
10	MIXQUIAHUALA	Isaías Rodríguez H.	36	-	NM	-	P	Foliar	1Lt/150 Lt Agua	26.4
11	MIXQUIAHUALA	Antonio Martínez G.	30	M	-	Pioneer	S	Foliar	2-4 Lt/200 Lt ha-1	13.8
12	MIXQUIAHUALA	Fermín Castro O.	65	-	NM	-	P	Foliar	2kg/200 Lt agua ha-1	32
13	TLAXCOAPAN	Agustín Márquez	30	M	-	San Miguel	P	Foliar	1Lt/150 Lt agua	29
14	TLAXCOAPAN	Adán León C.	20	-	NM	-	S	Foliar	1Lt/150 Lt agua	23.6
15	ATITALAQUIA	Candelario Ramírez M.	15	M	-	Pioneer	P	Urea	150 kg/200 Lt agua ha-1	13.2
16	ATITALAQUIA	Manuel Hernández J.	30	M	-	San Miguel	S	Urea	1.6 Lt /200 Lt agua ha-1	35
17	ATITALAQUIA	Andrés Evaristo C.	40	-	NM	-	P	Urea	100 kg/200 Lt agua ha-1	40
18	TEZONTEPEC	Pedro Quijano	100	-	NM	-	S	Urea	50 kg/200 Lt agua ha-1	9.1
19	TLAXCOAPAN	Adán Cruz M.	35	-	NM	-	P	Urea	1 Lt/200 Lt agua ha-1	30.8
20	AJACUBA	Cirino Zúñiga	12	M	-	San Miguel	S	Enraizador	1Lt/200 Lt agua ha-1	18.4

21	MIXQUIAHUALA	Andrés Dimas O.	80	M	-	Valenciana	S	Enraizador	1 Lt/200 Lt agua ha-1	15
22	AJACUBA	Agustín Cruz	7	-	NM	-	P	Estiércol	163 kg ha-1	56
23	ATITALAQUIA	Heladio Corona P.	22	-	NM	-	S	Estiércol	200 kg ha-1	16
24	CHILCUAUTLA	Fidel Ortíz	30	-	NM	-	S	Estiércol	150 kg ha-1	10.7
25	MIXQUIAHUALA	Moisés Ramírez T.	50	M	-	Pioneer	S	Estiércol	60 kg ha-1	28.4
26	TLAXCOAPAN	Genáro Sánchez G.	68	-	NM	-	S	Estiércol	150 kg ha-1	22.8
27	AJACUBA	Miguel Jiménez	8	-	NM	-	P	SF	-	33.5
28	AJACUBA	Esteban Sierra	12	-	NM	-	P	SF	-	27.2
29	ATITALAQUIA	Luis Corona	30	-	NM	-	S	SF	-	16
30	ATITALAQUIA	Constantino Gómez	30	-	NM	-	P	SF	-	28.2
31	ATITALAQUIA	Aquileo Hernández J.	39	-	NM	-	P	SF	-	8.8
32	ATITALAQUIA	Agustín Jiménez S.	39	-	NM	-	P	SF	-	42
33	ATITALAQUIA	Félix Edmundo G.	39	M	-	Pioneer	P	SF	-	18.6
34	ATITALAQUIA	Mariano Cerón J.	80	-	NM	-	P	SF	-	18
35	ATITALAQUIA	Honorio López	41	-	NM	-	S	SF	-	17.6
36	CHILCUAUTLA	Alfonso Álvarez E.	30	-	NM	-	S	SF	-	42.5
37	MIXQUIAHUALA	Hilario Álvarez H.	23	-	NM	-	S	SF	-	18.4
38	MIXQUIAHUALA	Juan Mendoza C.	40	M	-	San Miguel	S	SF	-	12.4
39	MIXQUIAHUALA	Aurelio Hernández	50	M	-	San Miguel	S	SF	-	29
40	MIXQUIAHUALA	Pedro Cruz S.	45	-	NM	-	S	SF	-	21.6
41	TEZONTEPEC	Claudio Estrada A.	80	-	NM	-	P	SF	-	25.6
42	TLAXCOAPAN	Eden López G.	55	-	NM	-	P	SF	-	25.7
43	TLAXCOAPAN	Labrentino de la Cruz	10	M	-	San Miguel	S	SF	-	24

**M:** Mejorada; **NM;** No mejorada; **S:** Somero; **P:** Profundo; **SF:** No utiliza ningún tipo de fertilizante.

**Anexo 5.** Datos obtenidos en las encuestas realizadas a agricultores de diferentes municipios sobre maíz.

Datos sobre producción de biomasa seca (BS) aérea de maíz bajo riego (orden por fertilizante)										
No.	Municipio	Agricultor	Años Riego	Semilla		Variedad	Suelo	Fertilizante	Cantidad	t BS ha-1 año-1
1	AJACUBA	Rosalío Sánchez M.	12	M	-	Rino	P	Foliar	1 Lt/150 Lt agua ha-1	16
2	AJACUBA	Rodolfo Bautista Z.	10	M	-	Caimán	S	Foliar	1 Lt/200 Lt agua ha-1	8
3	AJACUBA	Gabriel Corona	4	M	-	Caimán	S	Foliar	1 lt. /200 Lt agua ha-1	5.8
4	ATITALAQUIA	Felipe Cerón	38	M	-	Pioneer	S	Foliar	1 Lt/200 Lt agua ha-1	11
5	ATITALAQUIA	Guillermo Cerón R.	38	M	-	Pantera	S	Foliar	2 Lt/200 Lt agua ha-1	10.8
6	ATITALAQUIA	Juan Gómez S.	40	M	-	Caimán	S	Foliar	2 kg/200 Lt agua ha-1	9.5
7	MIXQUIAHUALA	Bernardo Bernal	45	M	-	Asgro	S	Foliar	2-3 kg/200 Lt agua ha-1	21
8	MIXQUIAHUALA	Pedro Cruz S.	45	M	-	Asgro	S	Foliar	2kg/200 Lt agua ha-1	18
9	MIXQUIAHUALA	Fermín Castro O.	65	M	-	Tigre	P	Foliar	1 lt. /200 Lt agua ha-1	18
10	TLAHUELILPAN	Margarita Jiménez M.	17	M	-	Cobra	P	Foliar	1 lt. /200 Lt agua ha-1	17.5
11	ATITALAQUIA	Candelario Ramírez M.	15	M	-	Pioneer	P	Urea	150 kg/200 Lt agua ha-1	11.8
12	ATITALAQUIA	Pedro Corona H.	36	M	-	Pioneer	P	Urea	1Lt/150 Lt agua ha-1	17.3
13	ATITALAQUIA	Manuel Hernández J.	30	-	NM	-	S	Urea	1.6 Lt /200 Lt agua ha-1	13.5
14	ATITALAQUIA	Andrés Evaristo C.	40	M	-	Rino	P	Urea	100 kg/200 Lt agua ha-1	11.2
15	ATITALAQUIA	Ubaldo Facio S.	56	M	-	Leopardo	P	Urea	80 kg/200 Lt agua ha-1	17
16	MIXQUIAHUALA	Hilario Álvarez H.	23	-	NM	-	S	Urea	1 Lt/60Lt agua ha-1	2.7
17	TEZONTEPEC	Pedro Quijano	100	M	-	Jabalí	S	Urea	50 kg/200 Lt agua ha-1	19.5
18	TLAXCOAPAN	Adán Cruz M.	35	M	-	Cobra	P	Urea	1 Lt/200 Lt agua ha-1	18.5
19	AJACUBA	Arturo Rodríguez R.	4	-	NM	-	P	Enraizador	1.2 Lt/200 Lts. agua ha-1	16.5
20	AJACUBA	Cirino Zúñiga	12	M	-	Caimán	S	Enraizador	1Lt/200 Lts. agua ha-1	11
21	MIXQUIAHUALA	Ricardo Escamilla G.	30	M	-	Cristiani	S	Enraizador	2Lt/150 Lt agua ha-1	14
22	MIXQUIAHUALA	Andrés Dimas O.	80	M	-	Pantera	S	Enraizador	2kg/200 Lts. agua ha-1	18
23	AJACUBA	Agustín Cruz	7	M	-	Leopardo	P	Estiércol	163 kg ha-1	3.5
24	AJACUBA	Miguel Cervantes	3	M	-	Leopardo	S	Estiércol	30-40 kg ha-1	5.4

25	ATITALAQUIA	Luis Corona	30	-	NM	-	S	Estiércol	80 kg ha-1	4.5
26	MIXQUIAHUALA	Lorenzo Martínez C.	45	M	-	Asgro	S	Estiércol	150 kg ha-1	13.8
27	MIXQUIAHUALA	Isaac Estrada	60	M	-	Pantera	P	Estiércol	165 kg ha-1	18.5
28	TLAXCOAPAN	Genáro Sánchez G.	68	M	-	Pantera	S	Estiércol	150 kg ha-1	13.5
29	AJACUBA	Eloy Zacarías Z.	5	M	-	Cimarrón	S	SF	-	7.5
30	AJACUBA	Felipe Zárate	12	M	-	Jabalí	P	SF	-	7.5
31	AJACUBA	Miguel Jiménez	8	-	NM	-	P	SF	-	8
32	AJACUBA	Juan López G.	2	M	-	Leopardo	P	SF	-	6.3
33	AJACUBA	Florencio Altamirano	6	-	NM	-	S	SF	-	9.5
34	AJACUBA	Francisco Flores V.	3	-	NM	-	S	SF	-	9
35	AJACUBA	Esteban Sierra	12	M	-	Rino	P	SF	-	21
36	ATITALAQUIA	Constantino Gómez	30	M	-	H-135	P	SF	-	19
37	ATITALAQUIA	Aquileo Hernández J.	39	M	-	Pantera	P	SF	-	15
38	ATITALAQUIA	Gregorio Cruz	20	M	-	H-37	S	SF	-	9.1
39	ATITALAQUIA	Agustín Jiménez S.	39	M	-	Rino	P	SF	-	15.3
40	ATITALAQUIA	Félix Edmundo G.	39	M	-	Pioneer	P	SF	-	11.3
41	ATITALAQUIA	Mariano Cerón J.	80	M	-	Rino	P	SF	-	2.1
42	ATITALAQUIA	Honorio López	41	M	-	Leopardo	S	SF	-	15
43	CHILCUAUTLA	Alfonso Álvarez E.	30	-	NM	-	S	SF	-	5.1
44	FCO. I. MADERO	Ricardo Espinoza P.	61	M	-	Jabalí	P	SF	-	16.5
45	MIXQUIAHUALA	Emiliano Pérez V.	40	M	-	Pioneer	S	SF	-	18
46	MIXQUIAHUALA	Enrique Martínez	70	M	-	H-133	S	SF	-	22
47	MIXQUIAHUALA	Juan Bautista	35	-	NM	-	S	SF	-	12.9
48	MIXQUIAHUALA	Luis Pérez C.	40	M	-	Jabalí	P	SF	-	20
49	MIXQUIAHUALA	Isaías Rodríguez H.	36	M	-	Lobo	P	SF	-	17.5
50	MIXQUIAHUALA	Juan Mendoza C.	40	M	-	Oso	S	SF	-	14.7
51	MIXQUIAHUALA	Aurelio Hernández	50	M	-	Cimarrón	S	SF	-	16.5
52	MIXQUIAHUALA	Moisés Ramírez T.	50	M	-	Pioneer	S	SF	-	16

53	MIXQUIAHUALA	Antonio Martínez G.	30	M	-	Pantera	S	SF	-	17
54	TEZONTEPEC	Claudio Estrada A.	80	M	-	H-35	P	SF	-	18
55	TLAXCOAPAN	Edén López G.	60	M	-	Oso	S	SF	-	14.5
56	TLAXCOAPAN	Adán León C.	20	M	-	Cobra	S	SF	-	16
57	TLAXCOAPAN	Labrentino de la Cruz	10	M	-	Pantera	S	SF	-	3

**M:** Mejorada; **NM:** No mejorada; **S:** Somero; **P:** Profundo; **SF:** No utiliza ningún tipo de fertilizante

**Anexo 6.** Cuadro de datos obtenidos de las alícuotas colectadas de algunos especímenes en campo, para calcular la razón peso seco peso húmedo.

Muestras vegetales procesadas en laboratorio						
Nombre común	Nombre científico	Peso Húmedo		Peso Seco 60°C		Rc= Psc/Phc
		g	Promedio	g	Promedio	
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	39.7	38.2	22.5	22.5	0.588
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	36.6		22.4		
Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	535.4	531.2	180.2	252.1	0.475
Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	571.2		319.7		
Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	487.2		256.5		
Cardenche	<i>Cylindropuntia imbricata</i>	129.5	122.4	64.3	62.1	0.507
Cardenche	<i>Cylindropuntia imbricata</i>	116.3		39.5		
Cardenche	<i>Cylindropuntia imbricata</i>	121.5		82.5		

**Anexo 7.** Datos obtenidos de las muestras colectadas y pesadas en campo, para conocer volumen y biomasa seca total de especímenes muestreados en el sitio.

Datos obtenidos de organismos colectados, medidos y pesados en campo																	
Muestras	Altura	Altura	Pb	D	Db	DM	DM	Dm	Dm	DT	DT	r	r <sup>2</sup>	v=TT <sup>2</sup> h/3	Pf	Rc	Ps
	cm	m	cm	cm	m	cm	m	cm	m	cm	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	kg		kg
<i>Acacia farnesiana</i>	110.0	1.1	20.0	6.4	0.06	80.0	0.8	70.0	0.7	150.8	1.5	0.4	0.14	0.16	0.75	0.59	0.4
<i>Acacia farnesiana</i>	104.0	1.0	15.0	4.8	0.05	96.0	1.0	98.0	1.0	195.0	1.9	0.5	0.24	0.26	0.8	0.59	0.4
<i>Acacia farnesiana</i>	88.0	0.9	2.0	0.6	0.01	113.0	1.1	88.0	0.9	202.1	2.0	0.5	0.26	0.24	0.5	0.59	0.3
<b>Promedio</b>	100.7	1.0	12.3	3.9	0.0	96.3	1.0	85.3	0.9	182.6	1.8	0.5	0.2	0.2	0.7		0.4
<i>Opuntia streptacantha</i>	94.00	0.94	6.0	1.91	0.02	35.00	0.35	20.00	0.20	55.00	0.55	0.14	0.02	0.02	3.60	0.475	1.71
<i>Opuntia streptacantha</i>	63.00	0.63	7.0	2.23	0.02	57.00	0.57	18.00	0.18	75.00	0.75	0.19	0.04	0.02	1.85	0.475	0.88
<i>Opuntia streptacantha</i>	81.00	0.81	9.0	2.86	0.03	64.00	0.64	41.00	0.41	105.00	1.05	0.26	0.07	0.06	5.50	0.475	2.61
<b>Promedio</b>	79.33	0.79	7.33	2.33	0.02	52.00	0.52	26.33	0.26	78.33	0.78	0.20	0.04	0.03	3.65		1.73
<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	36.00	0.36	4.0	1.27	0.01	30.00	0.30	25.00	0.25	55.00	0.55	0.14	0.02	0.01	1.15	0.507	0.58
<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	37.00	0.37	3.0	0.95	0.01	32.00	0.32	25.00	0.25	57.00	0.57	0.14	0.02	0.01	5.50	0.507	2.79
<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	50.00	0.50	5.0	1.59	0.02	52.00	0.52	48.00	0.48	100.00	1.00	0.25	0.06	0.03	8.50	0.507	4.31
<b>Promedio</b>	41.00	0.41	4.00	1.27	0.01	38.00	0.38	32.67	0.33	70.67	0.71	0.18	0.03	0.02	5.05		2.56

**Pb:** Perímetro basal; **Db:** Diámetro basal; **DM:** Diámetro mayor; **Dm:** Diámetro menor; **DT:** Diámetro total; **r:** radio; **V:** Volumen; **Pf:** Peso fresco; **Rc:**

Razón peso del componente; **Ps:** Peso seco

**Anexo 8.** Desglose de cálculos sobre mediciones obtenidas de matorral. Biomasa seca aérea de especímenes arbustivos.

Especies arbustivas muestreadas en campo														
No.	N. común	N. científico	Altura		Pb	Db	COBERTURA					Vol		Bs
			cm	m			cm	cm	DM	Dm	DT	r	r <sup>2</sup>	
1	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	147	1.5	50	15.9	220	170	390	97.5	9506.25	1463373.49	1.46	2.62
2	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	170	1.7	50	15.9	190	144	334	83.5	6972.25	1241224.93	1.24	2.22
3	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	197	2	20	6.4	263	232	495	123.75	15314.06	3159259.20	3.16	5.66
4	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	178	1.8	8	2.5	109	81	190	47.5	2256.25	420567.63	0.42	0.75
5	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	177	1.8	10	3.2	170	105	275	68.75	4726.56	876087.11	0.88	1.57
6	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	250	2.5	9	2.9	264	264	528	132	17424	4561592.53	4.56	8.17
7	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	72	0.7	2.5	0.8	91	57	148	37	1369	103220.17	0.10	0.18
8	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	121	1.2	6.5	2.1	133	99	232	58	3364	426255.48	0.43	0.76
9	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	245	2.5	9	2.9	286	245	531	132.75	17622.56	4521304.55	4.52	8.10
10	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	210	2.1	25	8.0	188	120	308	77	5929	1303855.20	1.30	2.34
11	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	215	2.2	30	9.5	220	205	425	106.25	11289.06	2541703.90	2.54	4.55
12	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	183	1.8	17	5.4	161	125	286	71.5	5112.25	979697.03	0.98	1.76
13	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	180	1.8	30	9.5	187	174	361	90.25	8145.06	1535308.11	1.54	2.75
14	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	240	2.4	70	22.3	231	182	413	103.25	10660.56	2679291.59	2.68	4.80

15	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	160	1.6	18	5.7	146	143	289	72.25	5220.06	874629.87	0.87	1.57
16	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	145	1.5	11	3.5	127	43	170	42.5	1806.25	274267.58	0.27	0.49
17	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	275	2.8	38	12.1	320	300	620	155	24025	6918703.32	6.92	12.40
18	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	282	2.8	19	6.0	280	263	543	135.75	18428.06	5441985.78	5.44	9.75
19	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	153	1.5	50	15.9	231	181	412	103	10609	1699786.98	1.70	3.05
20	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	275	2.8	28	8.9	330	265	595	148.75	22126.56	6371992.57	6.37	11.42
21	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	270	2.7	45	14.3	372	320	692	173	29929	8462225.39	8.46	15.17
22	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	260	2.6	30	9.5	300	260	560	140	19600	5336518.72	5.34	9.56
23	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	67	0.7	3	1.0	70	47	117	29.25	855.56	60028.18	0.06	0.11
24	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	82	0.8	6	1.9	87	53	140	35	1225	105190.99	0.11	0.19
25	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	240	2.4	17	5.4	275	146	421	105.25	11077.56	2784095.12	2.78	4.99
26	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	190	1.9	9	2.9	170	130	300	75	5625	1119192.38	1.12	2.01
27	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	165	1.7	12	3.8	165	140	305	76.25	5814.06	1004597.88	1.00	1.80
28	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	230	2.3	10	3.2	196	128	324	81	6561	1580252.52	1.58	2.83
29	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	193	1.9	12	3.8	165	155	320	80	6400	1293498.42	1.29	2.32
30	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	107	1.1	14	4.5	146	112	258	64.5	4160.25	466156.59	0.47	0.84
31	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	75	0.8	8	2.5	76	35	111	27.75	770.06	60480.57	0.06	0.11
32	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	140	1.4	4	1.3	77	56	133	33.25	1105.56	162083.93	0.16	0.29
33	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	180	1.8	20	6.4	136	116	252	63	3969	748138.87	0.75	1.34

34	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	226	2.3	11	3.5	169	150	319	79.75	6360.06	1505214.66	1.51	2.70
35	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	196	2	5	1.6	124	105	229	57.25	3277.56	672722.06	0.67	1.21
36	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	246	2.5	10	3.2	210	195	405	101.25	10251.56	2640911.14	2.64	4.73
37	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	60	0.6	2	0.6	74	15	89	22.25	495.06	31105.69	0.03	0.06
38	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	261	2.6	24	7.6	282	260	542	135.5	18360.25	5018197.11	5.02	8.99
39	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	107	1.1	4	1.3	73	55	128	32	1024	114739.34	0.11	0.21
40	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	137	1.4	12	3.8	180	147	327	81.75	6683.06	958792.68	0.96	1.72
41	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	124	1.2	13	4.1	147	132	279	69.75	4865.06	631740.51	0.63	1.13
42	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	235	2.4	7	2.2	146	139	285	71.25	5076.56	1249298.50	1.25	2.24
43	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	250	2.5	22	7.0	240	170	410	102.5	10506.25	2750529.82	2.75	4.93
44	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	162	1.6	8	2.5	200	111	311	77.75	6045.06	1025520.69	1.03	1.84
45	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	83	0.8	14	4.5	80	82	162	40.5	1640.25	142566.26	0.14	0.26
46	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	178	1.8	12	3.8	173	160	333	83.25	6930.56	1291864.92	1.29	2.32
47	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	68	0.7	20	6.4	71	49	120	30	900	64088.49	0.06	0.11
48	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	140	1.4	10	3.2	77	58	135	33.75	1139.06	166995.28	0.17	0.30
49	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	180	1.8	8	2.5	177	146	323	80.75	6520.56	1229097.07	1.23	2.20
50	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	78	0.8	1	0.3	79	64	143	35.75	1278.06	104393.95	0.10	0.19
51	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	170	1.7	6	1.9	200	160	360	90	8100	1441991.03	1.44	2.58
52	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	200	2	8	2.5	240	230	470	117.5	13806.25	2891574.24	2.89	5.18

53	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	170	1.7	6	1.9	140	140	280	70	4900	872315.56	0.87	1.56
54	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	90	0.9	5	1.6	150	130	280	70	4900	461814.12	0.46	0.83
55	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	125	1.3	2	0.6	0.5	0.5	1	0.25	0.06	8.18	0.00	0.00
56	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	159	1.6	80	25.5	228	174	402	100.5	10100.25	1681736.17	1.68	3.01
57	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	218	2.2	30	9.5	231	183	414	103.5	10712.25	2445489.55	2.45	4.38
58	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	220	2.2	50	15.9	300	300	600	150	22500	5183627.88	5.18	9.29
59	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	210	2.1	5	1.6	193	192	385	96.25	9264.06	2037273.75	2.04	3.65
60	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	249	2.5	16	5.1	267	230	497	124.25	15438.06	4025508.61	4.03	7.21
61	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	185	1.9	4	1.3	146	124	270	67.5	4556.25	882689.36	0.88	1.58
62	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	80	0.8	7	2.2	70	44	114	28.5	812.25	68046.90	0.07	0.12
63	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	262	2.6	10	3.2	239	235	474	118.5	14042.25	3852712.57	3.85	6.90
64	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	230	2.3	15	4.8	148	181	329	82.25	6765.06	1629402.08	1.63	2.92
65	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	208	2.1	13	4.1	145	287	432	108	11664	2540618.55	2.54	4.55
66	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	237	2.4	17	5.4	208	254	462	115.5	13340.25	3310860.88	3.31	5.93
67	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	206	2.1	23	7.3	252	273	525	131.25	17226.56	3716160.50	3.72	6.66
68	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	132	1.3	4	1.3	80	75	155	38.75	1501.56	207561.10	0.21	0.37
69	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	98	1	3	1.0	93	105	198	49.5	2450.25	251457.79	0.25	0.45
70	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	166	1.7	7	2.2	166	143	309	77.25	5967.56	1037369.99	1.04	1.86
71	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	173	1.7	3	1.0	100	140	240	60	3600	652194.63	0.65	1.17

72	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	136	1.4	3	1.0	90	115	205	51.25	2626.56	374072.06	0.37	0.67
73	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	200	2	4	1.3	130	125	255	63.75	4064.06	851175.26	0.85	1.53
74	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	133	1.3	9	2.9	160	117	277	69.25	4795.56	667912.87	0.67	1.20
75	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	209	2.1	15	4.8	194	189	383	95.75	9168.06	2006561.47	2.01	3.60
76	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	200	2	8	2.5	207	167	374	93.5	8742.25	1830972.56	1.83	3.28
77	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	281	2.8	30	9.5	320	289	609	152.25	23180.06	6821023.42	6.82	12.22
78	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	82	0.8	1	0.3	75	65	140	35	1225	105190.99	0.11	0.19
79	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	139	1.4	60	19.1	244	216	460	115	13225	1925037.08	1.93	3.45
80	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	140	1.4	30	9.5	228	189	417	104.25	10868.06	1593341.18	1.59	2.86
81	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	220	2.2	40	12.7	368	368	736	184	33856	7799862.46	7.80	13.98
82	Alzumiante	<i>Barkleyanthus salicifolius</i>	142	1.4	34	10.8	198	164	362	90.5	8190.25	1217906.98	1.22	2.18
83	Alzumiante	<i>Barkleyanthus salicifolius</i>	146	1.5	40	12.7	115	80	195	48.75	2376.56	363354.64	0.36	0.65
84	Alzumiante	<i>Barkleyanthus salicifolius</i>	170	1.7	70	22.3	330	300	630	157.5	24806.25	4416097.52	4.42	7.91
85	Alzumiante	<i>Barkleyanthus salicifolius</i>	194	1.9	30	9.5	295	261	556	139	19321	3925183.35	3.93	7.03
86	Alzumiante	<i>Barkleyanthus salicifolius</i>	180	1.8	52	16.6	222	83	305	76.25	5814.06	1095924.96	1.10	1.96
87	Alzumiante	<i>Barkleyanthus salicifolius</i>	160	1.6	67	21.3	285	285	570	142.5	20306.25	3402344.84	3.40	6.10

**Pb:** Perímetro basal; **Db:** Diámetro basal; **DM:** Diámetro mayor; **Dm:** Diámetro menor; **DT:** Diámetro total; **r:** Radio; **r2:** Radio al cuadrado; **Vol:** Volumen, utilizando la fórmula de la figura geométrica seleccionada (Ver metodología); **Bs:** Biomasa seca.

**Anexo 9.** Desglose de cálculos sobre mediciones obtenidas de matorral. Biomasa seca aérea de cactáceas.

Cactáceas muestreadas en campo														
No.	N. común	N. científico	Altura		Pb	Db	COBERTURA					Vol		Bs
							D. mayor	D. menor	D. total	r	r <sup>2</sup>			
1	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	76	0.8	7	2.2	35	13	48	12	144.0	114.61	0.0001	0.01
2	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	57	0.6	4.5	1.4	23	8	31	7.75	60.1	35.85	0.0000	0.005
3	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	110	1.1	6	1.9	42	20	62	15.5	240.3	276.75	0.0003	0.04
4	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	152	1.5	12	3.8	126	110	236	59	3481.0	5540.85	0.0055	0.71
5	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	70	0.7	6	1.9	10	10	20	5	25.0	18.33	0.0000	0.00
6	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	95	1	7	2.2	51	18	69	17.25	297.6	296.03	0.0003	0.04
7	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	69	0.7	6	1.9	18	14	32	8	64.0	46.24	0.0000	0.01
8	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	150	1.5	6	1.9	48	21	69	17.25	297.6	467.41	0.0005	0.06
9	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	96	1	11	3.5	74	58	132	33	1089.0	1094.78	0.0011	0.14
10	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	120	1.2	10	3.2	60	35	95	23.75	564.1	708.82	0.0007	0.09
11	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	73	0.7	8	2.5	59	31	90	22.5	506.3	387.00	0.0004	0.05
12	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	26	0.3	2	0.6	9	4	13	3.25	10.6	2.88	0.0000	0.00
13	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	41	0.4	6	1.9	58	40	98	24.5	600.3	257.72	0.0003	0.03
14	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	41	0.4	5	1.6	41	25	66	16.5	272.3	116.89	0.0001	0.01
15	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	39	0.4	3	1.0	120	8	128	32	1024.0	418.21	0.0004	0.05
16	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	45	0.5	5	1.6	23	5	28	7	49.0	23.09	0.0000	0.00
17	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	32	0.3	6	1.9	12	11	23	5.75	33.1	11.08	0.0000	0.00
18	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	36	0.4	3	1.0	12	4	16	4	16.0	6.03	0.0000	0.00
19	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	7	0.1	8	2.5	36	30	66	16.5	272.3	19.96	0.0000	0.00
20	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	22	0.2	3	1.0	15	9	24	6	36.0	8.29	0.0000	0.00
21	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	4	0	8	2.5	33	19	52	13	169.0	7.08	0.0000	0.00
22	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	8	0.1	9	2.9	79	66	145	36.25	1314.1	110.09	0.0001	0.01
23	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	29	0.3	3	1.0	15	8	23	5.75	33.1	10.04	0.0000	0.00

24	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	83	0.8	6	1.9	55	27	82	20.5	420.3	365.27	0.0004	0.05
25	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	47	0.5	5	1.6	15	6	21	5.25	27.6	13.57	0.0000	0.00
26	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	60	0.6	11	3.5	67	65	132	33	1089.0	684.24	0.0007	0.09
27	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	109	1.1	8	2.5	71	69	140	35	1225.0	1398.27	0.0014	0.18
28	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	114	1.1	7	2.2	74	25	99	24.75	612.6	731.28	0.0007	0.09
29	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	69	0.7	5	1.6	50	14	64	16	256.0	184.98	0.0002	0.02
30	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	68	0.7	5	1.6	16	11	27	6.75	45.6	32.44	0.0000	0.00
31	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	77	0.8	6	1.9	41	39	80	20	400.0	322.54	0.0003	0.04
32	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	28	0.3	3	1.0	15	11	26	6.5	42.3	12.39	0.0000	0.00
33	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	111	1.1	10	3.2	67	59	126	31.5	992.3	1153.38	0.0012	0.15
34	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	98	1	5	1.6	66	52	118	29.5	870.3	893.10	0.0009	0.11
35	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	76	0.8	4	1.3	28	15	43	10.75	115.6	91.97	0.0001	0.01
36	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	97	1	6	1.9	61	46	107	26.75	715.6	726.86	0.0007	0.09
37	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	85	0.9	5	1.6	28	13	41	10.25	105.1	93.52	0.0001	0.01
38	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	114	1.1	10	3.2	82	74	156	39	1521.0	1815.78	0.0018	0.23
39	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	120	1.2	9	2.9	66	49	115	28.75	826.6	1038.69	0.0010	0.13
40	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	93	0.9	8	2.5	83	48	131	32.75	1072.6	1044.56	0.0010	0.13
41	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	32	0.3	3	1.0	8	4	12	3	9.0	3.02	0.0000	0.00
42	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	112	1.1	8	2.5	9	15	24	6	36.0	42.22	0.0000	0.01
43	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	134	1.3	8	2.5	92	63	155	38.75	1501.6	2107.06	0.0021	0.27
44	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	115	1.2	16	5.1	190	57	247	61.75	3813.1	4591.98	0.0046	0.59
45	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	130	1.3	9	2.9	75	38	113	28.25	798.1	1086.45	0.0011	0.14
46	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	116	1.2	5	1.6	67	65	132	33	1089.0	1322.86	0.0013	0.17
47	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	104	1	13	4.1	57	38	95	23.75	564.1	614.31	0.0006	0.08
48	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	38	0.4	3	1.0	9	3	12	3	9.0	3.58	0.0000	0.00
49	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	60	0.6	5	1.6	50	19	69	17.25	297.6	186.96	0.0002	0.02
50	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	32	0.3	3	1.0	14	4	18	4.5	20.3	6.79	0.0000	0.00
51	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	120	1.2	16	5.1	70	62	132	33	1089.0	1368.48	0.0014	0.18

52	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	87	0.9	7	2.2	62	15	77	19.25	370.6	337.61	0.0003	0.04
53	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	67	0.7	8	2.5	73	18	91	22.75	517.6	363.13	0.0004	0.05
54	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	154	1.5	11	3.5	101	73	174	43.5	1892.3	3051.60	0.0031	0.39
55	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	62	0.6	7	2.2	38	9	47	11.75	138.1	89.64	0.0001	0.01
56	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	57	0.6	8	2.5	39	25	64	16	256.0	152.81	0.0002	0.02
57	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	52	0.5	4	1.3	11	12	23	5.75	33.1	18.00	0.0000	0.00
58	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	62	0.6	5	1.6	36	40	76	19	361.0	234.38	0.0002	0.03
59	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	59	0.6	5	1.6	11	11	22	5.5	30.3	18.69	0.0000	0.00
60	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	52	0.5	7	2.2	34	28	62	15.5	240.3	130.83	0.0001	0.02
61	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	41	0.4	7	2.2	52	8	60	15	225.0	96.60	0.0001	0.01
62	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	117	1.2	7	2.2	86	62	148	37	1369.0	1677.33	0.0017	0.21
63	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	90	0.9	5	1.6	50	40	90	22.5	506.3	477.13	0.0005	0.06
64	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	126	1.3	8	2.5	63	53	116	29	841.0	1109.67	0.0011	0.14
65	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	115	1.2	10	3.2	40	23	63	15.75	248.1	298.74	0.0003	0.04
66	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	98	1	15	4.8	80	30	110	27.5	756.3	776.10	0.0008	0.10
67	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	104	1	6	1.9	72	43	115	28.75	826.6	900.20	0.0009	0.12
68	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	67	0.7	6.5	2.1	80	30	110	27.5	756.3	530.60	0.0005	0.07
69	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	157	1.6	17	5.4	72	43	115	28.75	826.6	1358.95	0.0014	0.17
70	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	63	0.6	5	1.6	47	21	68	17	289.0	190.66	0.0002	0.02
71	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	111	1.1	13	4.1	129	82	211	52.75	2782.6	3234.42	0.0032	0.41
72	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	87	0.9	8	2.5	62	43	105	26.25	689.1	627.78	0.0006	0.08
73	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	120	1.2	11	3.5	142	114	256	64	4096.0	5147.19	0.0051	0.66
74	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	79	0.8	12	3.8	73	67	140	35	1225.0	1013.43	0.0010	0.13
75	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	114	1.1	8	2.5	51	20	71	17.75	315.1	376.12	0.0004	0.05
76	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	93	0.9	6	1.9	50	43	93	23.25	540.6	526.45	0.0005	0.07
77	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	100	1	7	2.2	56	39	95	23.75	564.1	590.68	0.0006	0.08
78	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	31	0.3	3	1.0	13	12	25	6.25	39.1	12.68	0.0000	0.00
79	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	49	0.5	4	1.3	11	7	18	4.5	20.3	10.39	0.0000	0.00

80	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	84	0.8	6	1.9	47	42	89	22.25	495.1	435.48	0.0004	0.06
81	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	88	0.9	6	1.9	36	34	70	17.5	306.3	282.22	0.0003	0.04
82	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	58	0.6	8	2.5	29	7	36	9	81.0	49.20	0.0000	0.01
83	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	64	0.6	5	1.6	20	13	33	8.25	68.1	45.62	0.0000	0.01
84	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	44	0.4	5	1.6	8	12	20	5	25.0	11.52	0.0000	0.00
85	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	87	0.9	9	2.9	78	79	157	39.25	1540.6	1403.55	0.0014	0.18
86	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	95	1	7	2.2	58	70	128	32	1024.0	1018.71	0.0010	0.13
87	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	38	0.4	6	1.9	28	34	62	15.5	240.3	95.60	0.0001	0.01
88	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	61	0.6	14	4.5	11	9	20	5	25.0	15.97	0.0000	0.00
89	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	135	1.4	26	8.3	133	93	226	56.5	3192.3	4512.94	0.0045	0.58
90	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	47	0.5	7	2.2	27	15	42	10.5	110.3	54.26	0.0001	0.01
91	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	61	0.6	4	1.3	41	12	53	13.25	175.6	112.15	0.0001	0.01
92	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	92	0.9	4	1.3	64	35	99	24.75	612.6	590.16	0.0006	0.08
93	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	50	0.5	5	1.6	15	12	27	6.75	45.6	23.86	0.0000	0.00
94	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	174	1.7	18	5.7	145	140	285	71.25	5076.6	9250.13	0.0093	1.18
95	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	94	0.9	10	3.2	80	81	161	40.25	1620.1	1594.73	0.0016	0.20
96	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	50	0.5	2	0.6	2	9	11	2.75	7.6	3.96	0.0000	0.00
97	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	55	0.6	5	1.6	7	5	12	3	9.0	5.18	0.0000	0.00
98	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	92	0.9	4	1.3	87	47	134	33.5	1122.3	1081.20	0.0011	0.14
99	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	160	1.6	13	4.1	160	122	282	70.5	4970.3	8327.73	0.0083	1.07
100	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	56	0.6	7	2.2	33	14	47	11.75	138.1	80.96	0.0001	0.01
101	Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>	17	0.2	1	0.3	11	4	15	3.75	14.1	2.50	0.0000	0.00
102	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	50	0.5	6	1.9	60	60	120	30	900.0	471.24	0.0005	0.03
103	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	63	0.6	5.5	1.8	0.6	0.5	1.1	0.275	0.1	0.05	0.0000	0.00
104	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	70	0.7	6	1.9	0.6	0.4	1	0.25	0.1	0.05	0.0000	0.00
105	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	34	0.3	4	1.3	25	20	45	11.25	126.6	45.06	0.0000	0.00
106	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	34	0.3	4	1.3	30	20	50	12.5	156.3	55.63	0.0001	0.00
107	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	58	0.6	7	2.2	62	41	103	25.75	663.1	402.73	0.0004	0.02

108	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	81	0.8	4	1.3	54	52	106	26.5	702.3	595.67	0.0006	0.03
109	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	45	0.5	3	1.0	39	35	74	18.5	342.3	161.28	0.0002	0.01
110	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	43	0.4	4	1.3	45	33	78	19.5	380.3	171.22	0.0002	0.01
111	Cardenche	<i>Cylindropuntiaimbricata</i>	55	0.6	3	1.0	46	53	99	24.75	612.6	352.81	0.0004	0.02

**Pb:** Perímetro basal; **Db:** Diámetro basal; **DM:** Diámetro mayor; **Dm:** Diámetro menor; **DT:** Diámetro total; **r:** Radio; **r2:** Radio al cuadrado; **Vol:** Volumen, utilizando la fórmula de la figura geométrica seleccionada (Ver metodología); **Bs:** Biomasa seca.

**Anexo 10.** Valores obtenidos en campo, procesados para conocer el contenido de biomasa seca de herbáceas por hectárea en matorral.

Datos de herbáceas capturados en matorral											
hmáx cm	hdom cm	h cm	C (0-1)	f c= c*h	Promedio fc	Bs g/0.25m <sup>2</sup> Xe = (fc/0.37)-11.62	Promedio Xe	Bs g/500m <sup>2</sup>	Bs kg/500 m <sup>2</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	Bs t ha <sup>-1</sup>
60	14	37	0.8	29.6	29.6	68.38	33.43	66850.0901	66.8500901	1337.00	1.34
36	4	20	0.5	10	15.41						
15	11	13	0.8	10.4	10.4						

**hmáx:** Altura máxima, **hdom:** Altura dominante; **h:** Altura promedio; **C:** Cobertura obtenida (entre 0 y 1) por comparación con dibujos; **c:** Cobertura dentro de un cuadro de 0.25m<sup>2</sup>; **fc:** Factor de cobertura; **Xe:** Peso seco promedio en gramos; **Bs:** Biomasa seca de herbáceas.

**Anexo 11.** Datos obtenidos sobre estimaciones de altura en organismos arbóreos en el mezquital.

Cálculos biomasa seca (BS) de mezquital								
No.	Vegetación	Nombre común	Nombre científico	Distancia m	(°)	Estatura individuo m	tan( $\alpha$ )	H (m)
1	Ar	Mezquite	<i>Prosopissp.</i>	10	32	1.62	0.62	7.87
2	Ar	Mezquite	<i>Prosopissp.</i>	10	26	1.57	0.49	6.45
3	Ar	Mezquite	<i>Prosopissp.</i>	10	22	1.62	0.40	5.66
4	Ar	Mezquite	<i>Prosopissp.</i>	10	25	1.57	0.47	6.23
5	Ar	Mezquite	<i>Prosopissp.</i>	10	24	1.66	0.45	6.11
6	Ar	Mezquite	<i>Prosopissp.</i>	10	25	1.62	0.47	6.28
7	Ar	Mezquite	<i>Prosopissp.</i>	10	13	1.66	0.23	3.97
8	Ar	Mezquite	<i>Prosopissp.</i>	10	13	1.62	0.23	3.93
9	Ar	Mezquite	<i>Prosopissp.</i>	10	19	1.66	0.34	5.10
PROMEDIO								5.734

(°): Grados; H: Altura

**Anexo 12.** Cálculos sobre mediciones obtenidas de matorral. Biomasa seca aérea de organismos arbóreos.

Organismos arbóreos medidos en campo								
No.	N. científico	N. común	Ramificaciones	Alt	PAP	DAP	DAP <sup>2</sup>	Bs kg
				m	cm	cm	cm <sup>2</sup>	$BT=[-0.14775+0.000659 D^2H+0.118172 D]+[-2.981+0.006699 D^2H+1.221108 D]+[-0.62634+0.001711 D^2H+0.133902 D]$
1	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	8	5.7	157.6	50.17	2516.59	209.95
2	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	4	5.7	145.2	46.22	2136.16	183.66
3	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	3	5.7	76.8	24.45	597.62	67.71
4	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	7	5.7	119.7	38.10	1451.74	134.67
5	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	11	5.7	314.6	100.14	10028.08	682.91
6	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	1	5.7	19.5	6.21	38.53	8.51
7	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	6	5.7	219.6	69.90	4886.13	365.71
8	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	2	5.7	48.6	15.47	239.32	34.26
9	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	3	5.7	69.9	22.25	495.06	58.75
10	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	3	5.7	110.4	35.14	1234.92	118.51
11	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	3	5.7	45.9	14.61	213.46	31.49
12	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	1	5.7	17.5	5.57	31.03	7.07
13	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	4	5.7	101.6	32.34	1045.89	104.06
14	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	2	5.7	43	13.69	187.34	28.61
15	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	3	5.7	60.3	19.19	368.41	47.12

16	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	4	5.7	76.8	24.45	597.62	67.71
17	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	4	5.7	118	37.56	1410.80	131.65
18	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	1	5.7	146	46.47	2159.76	185.31
19	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	2	5.7	38	12.10	146.31	23.84
20	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	1	5.7	25.5	8.12	65.88	13.09
21	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	10	5.7	285	90.72	8229.81	573.88
22	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	11	5.7	360.8	114.85	13189.65	871.51
23	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	5	5.7	71	22.60	510.76	60.15
24	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	6	5.7	149.4	47.56	2261.53	192.38
25	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	7	5.7	149.8	47.68	2273.65	193.22
26	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	6	5.7	129	41.06	1686.09	151.75
27	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	1	5.7	12	3.82	14.59	3.32
28	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	7	5.7	177.1	56.37	3177.88	254.58
29	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	4	5.7	102.4	32.59	1062.43	105.34
30	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	1	5.7	27.5	8.75	76.62	14.70
31	<i>Prosopissp.</i>	Mezquite	9	5.7	265.5	84.51	7142.16	507.10

**Anexo 13.** Valores capturados en campo, procesados para conocer el contenido de biomasa seca de herbáceas en toneladas por hectárea en mezquital.

Datos de herbáceas capturados en mezquital											
hmáx cm	hdom cm	h cm	C (0-1)	f c= c*h	Promedio fc	Bs g/0.25m <sup>2</sup> Xe = (fc/0.37)-11.62	Promedio Xe	Bs g/500m <sup>2</sup>	Bs kg/500 m <sup>2</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	Bs t ha <sup>-1</sup>
27.0	11.0	19.0	0.45	8.6	12.1	21.08	28.14	56279.5195	56.2795195	1125.59	1.13
54.0	15.0	34.5	0.3	10.4							
67.0	20.0	43.5	0.4	17.4							
33.0	8.0	20.5	0.15	3.1	11.2	18.72					
78.0	20.0	49.0	0.45	22.1							
45.0	12.0	28.5	0.3	8.6							
60.0	20.0	40.0	0.8	32.0	20.8	44.62					
19.0	12.0	15.5	0.25	3.9							
44.0	15.0	29.5	0.9	26.6							

**hmáx:** Altura máxima, **hdom:** Altura dominante; **h:** Altura promedio; **C:** Cobertura obtenida (entre 0 y 1) por comparación con dibujos; **c:** Cobertura dentro de un cuadro de 0.25m<sup>2</sup>; **fc:** Factor de cobertura; **Xe:** Peso seco promedio en gramos; **Bs:** Biomasa seca de herbáceas.

**Anexo 14.** Desglose de cálculos sobre contenido de biomasa subterránea (raíces finas) en las diferentes parcelas de cultivos de temporal.

**Municipio:** Ajacuba  
**Localidad:** El Tigre  
**Sitio:** Cultivo Maíz de Temporal  
**Parcela:** 1  
**Muestra:** 1 y 2  
**Años de riego:** 0

BIOMASA SECA SUBTERRÁNEA DE MAÍZ DE TEMPORAL								
Sh [g]	Ss [105°C] [g]	Bh [g]	Bs (60°C) [g]	Muestra estandarizada de suelo [g]	Apertura de malla [mm]	Bs [g]	Sumatoria [g]	
48060	39256	140	137.54	21000	5	73.58	74.73	
1000	816.83	1.19	1.12	1000	2	1.12		
20	17.49	0.12	0.03	20	0.84	0.03		
5	4.26	0.64	0.0075	5	0.25	0.01		
60320	53964	40	37.8	21000	5	14.71	16.08	
1000	894.63	1.35	1.28	1000	2	1.28		
20	18.35	0.078	0.072	20	0.84	0.07		
5	4.36	0.076	0.023	5	0.25	0.02		
<b>Promedio [g]</b>							45.41	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>[g]</b>							1816386.79	10000
<b>t ha<sup>-1</sup></b>							1.82	

Sh: Muestra de suelo húmedo; Ss: Suelo seco; Bh: Biomasa húmeda; Bs: Biomasa seca

Municipio: Ajacuba  
 Localidad: El Tigre  
 Sitio: Cultivo Maíz de Temporal  
 Parcela: 2  
 Muestra: 3 y 4  
 Años de riego: 0

BIOMASA SECA SUBTERRÁNEA DE MAÍZ DE TEMPORAL								
Sh [g]	Ss [105°C] [g]	Bh [g]	Bs (60°C) [g]	Muestra estandarizada de suelo [g]	Apertura de malla [mm]	Bs [g]	Sumatoria [g]	
40310	36140	156.77	153.66	21000	5	89.29	91.02	
1000	903.5	1.88	1.69	1000	2	1.69		
20	17.88	0.041	0.037	20	0.84	0.04		
5	4.37	0.013	0.009	5	0.25	0.01		
39102	35455.8	302.04	283.62	21000	5	167.98	169.09	
1000	906.8	1.15	1.03	1000	2	1.03		
20	17.28	0.0576	0.0571	20	0.84	0.06		
5	4.29	0.016	0.014	5	0.25	0.01		
<b>Promedio [g]</b>							130.05	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>[g]</b>							5202184.67	10000
<b>t ha<sup>-1</sup></b>							5.20	

Sh: Muestra de suelo húmedo; Ss: Suelo seco; Bh: Biomasa húmeda; Bs: Biomasa seca

Municipio: Ajacuba  
 Localidad: Santiago Tezontlale  
 Sitio: Cultivo Maíz de Temporal  
 Parcela: 3  
 Muestra: 5 y 6  
 Años de riego: 0

BIOMASA SECA SUBTERRÁNEA DE MAÍZ DE TEMPORAL								
Sh [g]	Ss [105°C] [g]	Bh [g]	Bs (60°C) [g]	Muestra estandarizada de suelo [g]	Apertura de malla [mm]	Bs [g]	Sumatoria [g]	
70130	61733	13	12.1	21000	5	4.12	4.74	
1000	880.27	0.65	0.6	1000	2	0.60		
20	18.26	0.029	0.019	2	0.84	0.02		
5	4.32	0.57	0.0069	5	0.25	0.01		
89770	80877	125	110.38	21000	5	28.66	29.13	
1000	900.94	0.48	0.4556	1000	2	0.46		
20	18.36	0.016	0.009	20	0.84	0.01		
5	4.37	0.0162	0.0046	5	0.25	0.00		
<b>Promedio [g]</b>							16.94	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>[g]</b>							677435.43	10000
<b>t ha<sup>-1</sup></b>							0.68	

Sh: Muestra de suelo húmedo; Ss: Suelo seco; Bh: Biomasa húmeda; Bs: Biomasa seca

**Anexo 15.** Desglose de cálculos sobre contenido de biomasa subterránea (raíces finas) en las diferentes parcelas de cultivos de riego.

**Municipio:** Tetepango

**Localidad:** Ulapa

**Sitio:** Cultivo Alfalfa

**Parcela:** 1

**Muestra:** 1 y 2

**Años de riego:** 100

BIOMASA SECA SUBTERRÁNEA ALFALFA BAJO RIEGO								
Sh [g]	Ss [105°C] [g]	Bh [g]	Bs (60°C) [g]	Muestra estandarizada de suelo [g]	Apertura de malla [mm]	Bs [g]	Sumatoria [g]	
52980	35575	420	218.35	21000	5	128.89	130.12	
1000	671.49	1.04	0.97	1000	2	0.97		
20	15.03	0.27	0.24	20	0.84	0.24		
5	3.84	0.02	0.02	5	0.25	0.02		
44960	36492	415	190.49	21000	5	109.62	112.08	
1000	811.67	2.51	2.37	1000	2	2.37		
20	16.16	0.07	0.07	20	0.84	0.07		
5	3.95	0.02	0.02	5	0.25	0.02		
<b>Promedio [g]</b>							121.10	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>[g]</b>							4844069.87	10000
<b>t ha<sup>-1</sup></b>							4.84	

**Sh:** Muestra de suelo húmedo; **Ss:** Suelo seco; **Bh:** Biomasa húmeda; **Bs:** Biomasa seca

Municipio: Tetepango

Localidad: Ulapa

Sitio: Cultivo Alfalfa

Parcela: 2

Muestra: 3 y 4

Años de riego: 100

BIOMASA SECA SUBTERRÁNEA ALFALFA BAJO RIEGO								
Sh [g]	Ss [105°C] [g]	Bh [g]	Bs (60°C) [g]	Muestra estandarizada de suelo [g]	Apertura de malla [mm]	Bs [g]	Sumatoria [g]	
43610	25633	375	244.06	21000	5	199.95	202.97	
1000	587.8	3.09	2.91	1000	2	2.91		
20	15.4	0.12	0.1	20	0.84	0.10		
5	3.91	0.1	0.01	5	0.25	0.01		
44060	27056	335	162.38	21000	5	126.03	126.96	
1000	614.07	0.96	0.9	1000	2	0.90		
20	15.33	0.04	0.03	20	0.84	0.03		
5	3.93	0	0	5	0.25	0.00		
<b>Promedio [g]</b>							164.97	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>[g]</b>							6598637.5	10000
<b>t ha<sup>-1</sup></b>							6.60	

Sh: Muestra de suelo húmedo; Ss: Suelo seco; Bh: Biomasa húmeda; Bs: Biomasa seca

Municipio: Tetepango

Localidad: Juandhó

Sitio: Cultivo Alfalfa

Parcela: 3

Muestra: 5 y 6

Años de riego: 100

BIOMASA SECA SUBTERRÁNEA ALFALFA BAJO RIEGO									
Sh [g]	Ss [105°C] [g]	Bh [g]	Bs (60°C) [g]	Muestra estandarizada de suelo [g]	Apertura de malla [mm]	Bs [g]	Sumatoria [g]		
37340	25240	225	130.84	21000	5	108.86	109.51		
1000	675.95	0.65	0.59	1000	2	0.59			
20	15.58	0.59	0.05	20	0.84	0.05			
5	3.88	0.03	0.01	5	0.25	0.01			
35620	25714	430	187.99	21000	5	153.53	157.28		
1000	721.91	3.83	3.64	1000	2	3.64			
20	15.2	1.02	0.1	20	0.84	0.10			
5	3.86	0.06	0.01	5	0.25	0.01			
							<b>Promedio [g]</b>	133.39	0.25
							<b>[g]</b>	5335748.23	10000
							<b>t ha<sup>-1</sup></b>	5.34	

Sh: Muestra de suelo húmedo; Ss: Suelo seco; Bh: Biomasa húmeda; Bs: Biomasa seca

**Anexo 16.** Desglose de cálculos sobre contenido de biomasa subterránea (raíces finas) en matorral y mezquital.

**Municipio:** Ajacuba

**Localidad:** El Tigre

**Sitio:** Matorral

**Parcela:** 1

**Muestra:** 1 y 2

**Años de riego:** 0

BIOMASA SECA SUBTERRÁNEA (RAÍCES FINAS) MATORRAL								
Sh [g]	Ss [105°C] [g]	Bh [g]	Bs (60°C) [g]	Muestra estandarizada de suelo [g]	Apertura de malla [mm]	Bs [g]	Sumatoria [g]	
39600	32931.4	101	89.3	21000	5	56.95	57.58	
1000	831.6	0.7	0.6	1000	2	0.60		
20	16.8	0.038	0.035	20	0.84	0.04		
5	4.3	0.004	0.004	5	0.25	0.00		
45390	39779.7	164.1	144.7	21000	5	76.39	76.70	
1000	876.4	0.321	0.293	1000	2	0.29		
20	17.6	0.017	0.016	20	0.84	0.02		
5	4.4	0.004	0.004	5	0.25	0.00		
<b>Promedio [g]</b>							67.14	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>[g]</b>							2685717.174	10000
<b>t ha<sup>-1</sup></b>							2.69	

**Sh:** Muestra de suelo húmedo; **Ss:** Suelo seco; **Bh:** Biomasa húmeda; **Bs:** Biomasa seca

Municipio: Tetepango

Localidad: Ulapa

Sitio: Mezquital

Parcela: 1

Muestra: 1 y 2

Años de riego: 0

BIOMASA SECA SUBTERRÁNEA (RAÍCES FINAS) MEZQUITAL								
Sh [g]	Ss [105°C] [g]	Bh [g]	Bs (60°C) [g]	Muestra estandarizada de suelo [g]	Apertura de malla [mm]	Bs [g]	Sumatoria [g]	
24460	21747.4	159	128.6	21000	5	124.18	126.07	
1000	889.1	1.939	1.789	1000	2	1.79		
20	17.8	0.092	0.086	20	0.84	0.09		
5	4.4	0.018	0.017	5	0.25	0.02		
23540	21440.2	56.1	47.7	21000	5	46.72	47.63	
1000	910.8	0.952	0.849	1000	2	0.85		
20	18.2	0.054	0.049	20	0.84	0.05		
5	4.6	0.009	0.009	5	0.25	0.01		
<b>Promedio [g]</b>							86.85	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>[g]</b>							3474000.161	10000
<b>t ha<sup>-1</sup></b>							3.47	

Sh: Muestra de suelo húmedo; Ss: Suelo seco; Bh: Biomasa húmeda; Bs: Biomasa seca

**Anexo 17.** Contenido de carbono en el suelo, por centímetro de profundidad bajo diferentes coberturas.

Contenido de carbono en el suelo por cm de profundidad							
Sitio	Localidad	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	%C	Profundidad [m]	C [kg/m <sup>2</sup> ]	C [kg/ha]	t/ha
Matorral	Tigre	1.15	1.77	0.13	0.26	2646.15	0.20
Mezquital	Ulapa	1.15	3.67	0.08	0.34	3376.40	0.42
Alfalfa	Ulapa I	1.15	2.83	0.13	0.42	4230.85	0.33
	Ulapa II	1.15	2.57	0.09	0.27	2659.95	0.30
	Juandhó	1.15	3.23	0.09	0.33	3343.05	0.37
					<b>Promedio</b>		0.33
					<b>Desv. Est.</b>		0.04
					<b>Error Est.</b>		0.02
Maíz	Santiago T.	1.15	0.97	0.25	0.28	2788.75	0.11
	El tigre I	1.15	1.53	0.16	0.28	2815.20	0.18
	El tigre II	1.15	1.94	0.12	0.27	2670.99	0.22
					<b>Promedio</b>		0.17
					<b>Desv. Est.</b>		0.06
					<b>Error Est.</b>		0.03

**Anexo 18.** Contenido de proteína cruda en biomasa seca aérea de cultivos de alfalfa y maíz de riego.

<b>Contenido de proteína en biomasa aérea de alfalfa y maíz de riego</b>		
<b>Sitio</b>	<b>Localidad</b>	<b>Proteína cruda [%] [Nitrógeno 6.25*]</b>
Alfalfa de Riego	Juandhó II	19.7
	Ulapa III	21.8
	Ulapa IV	22
	Bojayito chico	22.5
	Bojayito chico II	23.2
<b>Promedio</b>		21.84
<b>Desviación estándar</b>		1.31
<b>Error estándar</b>		0.59
Maíz de Riego	Juandhó III	3
	Juandhó IV	4.3
	Ulapa V	3.5
	Ulapa VI	3.8
	Ulapa VII	3.9
<b>Promedio</b>		3.70
<b>Desviación estándar</b>		0.48
<b>Error estándar</b>		0.22

**Anexo 19.** Contenido en porcentaje de celulosa, lignina y hemicelulosa en biomasa seca subterránea (raíces finas-rastrojo) decultivos de riego y temporal de alfalfa y maíz, matorral y mezquital.

<b>Contenido celular en biomasa subterránea (raíces finas)</b>				
<b>Sitio</b>	<b>Localidad</b>	<b>Celulosa [%]</b>	<b>Lignina [%]</b>	<b>Hemicelulosa [%]</b>
Alfalfa Riego	Ulapa I	26.72	19	9.44
	Ulapa II	30.12	17.64	9.38
	Juandhó	32.5	15.3	11.32
<b>Promedio</b>		29.78	17.31	10.05
<b>Desviación estándar</b>		2.90	1.87	1.10
<b>Error estándar</b>		1.68	1.08	0.64
Maíz Temporal	El Tigre I	36.2	13.26	24.51
	El Tigre II	39.73	16.64	18.83
	Santiago Tezontlale	40.76	13.52	11.34
<b>Promedio</b>		38.90	14.47	18.23
<b>Desviación estándar</b>		2.39	1.88	6.61
<b>Error estándar</b>		1.38	1.09	3.81
Matorral	El Tigre	30.23	12.84	17.64
Mezquital	Ulapa	24.36	17.03	17.93

**Anexo 20. Formato de encuesta**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**INSTITUTO DE GEOLOGÍA**  
**ENCUESTA SOBRE RENDIMIENTO DE ALFALFA Y MAÍZ POR PARCELA**



MUNICIPIO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

Nombre Agricultor o Encargado de parcela: \_\_\_\_\_

Número de Registro de Parcela: \_\_\_\_\_

Sección: \_\_\_\_\_ Superficie de parcela (ha): \_\_\_\_\_

Canal Principal de Riego: \_\_\_\_\_ Años bajo riego: \_\_\_\_\_

SUELO: Profundo (> 50cm) Somero (< 50cm)

CICLO	ROTACIÓN DE CULTIVOS (ÚLTIMOS 5 AÑOS)					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
PRIM/VER						
OTO/INV						
<b>CULTIVO</b>						
Alfalfa(A); Avena(Av); Calabaza(C); Cebada(Cb); Coliflor(Cf); Frijol(F); Maíz(M); Nabo(N); Trigo(T); Otro(Especifique)						

**TIPO DE SEMILLA**

ALFALFA: Mejorada No Mejorada      MAÍZ: Mejorada No Mejorada

CULTIVO	Periodicidad riego (días)		No. Riegos/Ciclo		Periodicidad corte/días		No. Cortes/Ciclo	
	PRIM-VER	OTO-INV	PRIM-VER	OTO-INV	PRIM-VER	OTO-INV	PRIM-VER	OTO-INV
Alfalfa								
Maíz	Periodicidad riego (días)		No. Riegos/Año		Periodicidad corte/meses		No. Cortes/Año	
							1	

**USO DE FERTILIZANTES**

Alfalfa: SI NO      Maíz: SI NO

Tipo de fertilizante: NATURAL (ESTIÉRCOL) QUÍMICO

Especifique (Nombre y utilidad): \_\_\_\_\_

Cantidad (Costales, kg, ton, Lt/ha): \_\_\_\_\_

**USO DE AGROQUÍMICOS**

Alfalfa: SI NO      Maíz: SI NO

Tipo de agroquímico: HERBICIDA INSECTICIDA FUNGICIDA

Especifique (Nombre): \_\_\_\_\_

**RENDIMIENTO DE ALFALFA**

PRODUCCIÓN MS/PARCELA	ALFALFA	
	PRIM-VER	OTO-INV
No. Pacas		
Peso x paca (kg)		
Cosecha total/corte (kg)		

Porcentaje de humedad de la cosecha antes de segar (aprox.):

10-40%

41-70%

71-85%

Dejan secar cosecha después de segada:

SI

NO

TIEMPO DE SECADO	PRIM-VER	INV-OTO
Días		

Como la secan: \_\_\_\_\_

Una vez seca, ¿llevan la cosecha a una báscula?:

SI

NO

**DENSIDAD DE SIEMBRA**

Alfalfa (No. Semillas, kg, costales): \_\_\_\_\_

Maíz (No. Semillas, kg, costales): \_\_\_\_\_

**RENDIMIENTO DE MAÍZ:**

Cosecha grano separado de rastrojo:

SI

NO

PRODUCCIÓN BS t ha-1			
MAZORCA	GRANO	RASTROJO	ADJUNTO

Otros cultivos regados con agua residual: \_\_\_\_\_

**DATOS DE AGRICULTOR**

Dirección/teléfono: \_\_\_\_\_