



*UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO*

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

*ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE
ESPIGAS, HOJAS Y TALLOS DE AVENAS
CULTIVADAS EN HIDALGO Y TLAXCALA EN LOS
CICLOS DE CULTIVO 2003 Y 2004*

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN:

QUÍMICA EN ALIMENTOS

PRESENTA

ABRAHAM CRUZ VERA

ASESORAS DE TESIS:

DRA. ELIZABETH CONTRERAS LÓPEZ

DRA. JUDITH JAIMEZ ORDAZ

PACHUCA, HGO. NOVIEMBRE 2007



Parte de este trabajo fue aceptado para su presentación en el siguiente congreso:

- + Congreso internacional, *Biología, Química y Agronomía*, 26 al 29 de septiembre del 2007. Guadalajara, México.**
- + Este trabajo formó parte del proyecto de investigación titulado *“Impacto de los sistemas de cultivo sobre la calidad de los suelos y de los productos agrícolas en las zonas cebaderas de Hidalgo y Tlaxcala”*, financiado por SIZA-CONACYT 2003-2005, cuyo responsable fue la Dra. Rosa ícela Beltrán Hernández.**



Dedicatoria y agradecimientos

A las personas que a lo largo de mi carrera me ayudaron a finalizar, de muchas formas, ya sea moralmente, espiritualmente y en muchas situaciones difíciles a ellos a quienes admiro por el apoyo que me dieron gracias...

A mis padres y hermanos

Rogelio y Carmen

Quienes fueron el inicio de mi vida y a quienes de alguna u otra forma me dieron la vida, la educación y muchas cosas más pero principalmente me ayudaron a ser alguien en la vida como lo soy ahora...

A mis hermanos

Violeta, Cinthia, Elmar, Odín hamurabi, Diana, Rogelio

Quienes son mi mejor ejemplo y quienes me han enseñado todo lo bueno y lo malo que se puede ser en esta vida y quienes me ayudaron muchísimo hasta en lo inimaginable, a mis carnales gracias a todos y principalmente a ROGELIO quien es el motivo de mi superación...

A mis amigos y profesores

Chucho, Josué, Manuel, lady, etc, y Dra. Elizabeth y Dra. Judith

Y a mis amigos, quienes te enseñan cosas que en tu casa nunca aprendes y a quienes puedes apoyarte para cualquier cosa y a mis sinodales que se tomaron la molestia de ser parte de mi historia así como también, mis asesoras quienes son únicas en mi gracias por todo a todos...

Gracias...



ÍNDICE

	Pág.
1.0 INTRODUCCIÓN	1
2.0 ANTECEDENTES	2
2.1 ORIGEN DEL CULTIVO DE AVENA	2
2.2 VARIEDADES DE AVENA	2
2.3 MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA	3
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE AVENA	4
2.5 CULTIVO DE AVENA	5
2.5.1 Requerimientos edafoclimáticos.....	5
2.5.2 Clima.....	5
2.5.3 Agua.....	6
2.5.4 Suelo.....	6
2.5.5 Preparación del terreno.....	6
2.5.6 Siembra.....	7
2.5.7 Abonado.....	7
2.6 PRODUCCIÓN DE AVENA	8
2.6.1 Mundial.....	8
2.6.2 Nacional.....	10
2.6.3 Regional.....	10
2.7 SISTEMAS DE CULTIVO	11
2.7.1 Rotación de cultivo.....	11
2.7.2 Labranza de conservación.....	12
2.7.3 Labranza convencional o tradicional.....	13
2.8 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE AVENA	13
2.8.1 Grasa.....	15
2.8.2 Proteína.....	16
2.8.3 Cenizas.....	17
2.8.4 Fibra cruda.....	18
2.8.5 Carbohidratos.....	18
2.8.6 Minerales.....	18
2.9 PAJA DE AVENA	19
2.10 USOS DE LA AVENA EN LA INDUSTRIA	21



2.11 EFECTOS BENÉFICOS DE LA AVENA EN LA SALUD HUMANA..	22
3.0 OBJETIVOS.....	23
3.1 General.....	23
3.2 Específicos.....	23
4.0 METODOLOGÍA.....	24
4.1 Muestras.....	25
4.1.1 Recolección.....	25
4.1.2 Separación.....	26
4.1.3 Secado de muestras.....	26
4.1.4 Obtención de muestras para molienda.....	26
4.1.5 Molienda.....	27
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
4.3 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO.....	27
4.4 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.....	27
4.5 DETERMINACIÓN DE CENIZAS.....	28
4.6 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA.....	30
4.7 DETERMINACIÓN DE LÍPIDOS.....	32
4.8 DETERMINACIÓN DE FIBRA.....	34
4.9 DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS.....	36
4.10 DETERMINACIÓN DE MINERALES.....	36
5.0 ANÁLISIS DE VARIANZA.....	37
5.1 Prueba de tukey.....	38
6.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	39
6.1 Análisis proximal de espigas de avena.....	39
6.1.1 Humedad.....	39
6.1.2 Cenizas.....	41
6.1.3 Fibra cruda.....	42
6.1.4 Lípidos.....	44
6.1.5 Proteína.....	46
6.2 Análisis proximal de hojas y tallos (paja) de avena.....	47
6.2.1 Humedad.....	48
6.2.2 Cenizas.....	50
6.2.3 Fibra cruda.....	52



6.2.4 Lípidos.....	55
6.2.5 Proteína.....	57
6.3 Carbohidratos.....	59
6.4 Minerales de las espigas hojas y tallos de avena del cultivo 2003 2004...	61
7.0 CONCLUSIONES.....	68
8.0 BIBLIOGRAFÍA.....	69
9.0 ANEXOS.....	75
10 GLOSARIO.....	93



ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	<i>Principales países productores de avena en el mundo.....</i>	9
Tabla 2.	<i>Composición química del grano de avena.....</i>	14
Tabla 3.	<i>Ácidos grasos de la avena (g/100g totales).....</i>	15
Tabla 4.	<i>Principales lípidos presentes en la avena (g/100g de lípidos totales).....</i>	16
Tabla 5.	<i>Composición en aminoácidos de la avena (g/100 g de proteína).....</i>	17
Tabla 6.	<i>Composición mineral del grano de avena (mg por 100g).....</i>	19
Tabla 7.	<i>Análisis proximal de algunas pajas de cereales (% base seca).....</i>	20
Tabla 8.	<i>Muestras de avena colectadas en los ciclos de cultivo 2003 y 2004, Cultivadas bajo diferentes sistemas.....</i>	25
Tabla 9.	<i>Contenido de humedad en espigas de avena de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	39
Tabla 10.	<i>Contenido de cenizas de espigas cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	41
Tabla 11.	<i>Contenido de fibra de espigas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	43
Tabla 12.	<i>Contenido de lípidos de espigas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	45
Tabla 13.	<i>Contenido de proteína de espigas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	46
Tabla 14.	<i>Contenido de humedad de hojas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	48
Tabla 15.	<i>Contenido de humedad de tallos cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	49
Tabla 16.	<i>Contenido de cenizas de hojas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	50
Tabla 17.	<i>Contenido de cenizas de tallos cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	51
Tabla 18.	<i>Contenido de fibra en hojas cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	53
Tabla 19.	<i>Contenido de fibra en tallos cultivados de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	54



Tabla 20.	<i>Contenido de lípidos en hojas cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	55
Tabla 21.	<i>Contenido de lípidos en tallos cultivados en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	56
Tabla 22.	<i>Contenido de proteína en hojas cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	58
Tabla 23.	<i>Contenido de proteína en tallos cultivados de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.....</i>	59
Tabla 24.	<i>Carbohidratos asimilables calculados por diferencia (g/100g de muestra).....</i>	60



ÍNDICE DE FIGURAS

		Pàg.
Figura 1.	<i>Especies de avena de importancia comercial: Avena sativa (izquierda) y Avena byzantina (derecha).....</i>	3
Figura 2.	<i>Partes principales de una planta de avena.....</i>	5
Figura 3.	<i>Partes de un grano de avena.....</i>	14
Figura 4.	<i>Las etapas del desarrollo experimental.....</i>	24
Figura 5.	<i>Método de cuarteo para seleccionar la fracción de molienda.....</i>	26

ÍNDICE DE GRÁFICAS

		Pàg.
Gráfica 1	<i>Contenido de minerales presentes en espigas de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2003.....</i>	64
Gráfica 2	<i>Contenido de minerales presentes en espigas de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2004.....</i>	65
Gráfica 3	<i>Contenido de minerales presentes en hojas de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2003.....</i>	65
Gráfica 4	<i>Contenido de minerales presentes en hojas de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2003.....</i>	66
Gráfica 5	<i>Contenido de minerales presentes en tallos de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2004.....</i>	66
Gráfica 6	<i>Contenido de minerales presentes en tallos de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2003.....</i>	67



1.0 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la producción de avena ha concitado un creciente interés entre profesionales agrarios y empresas. Este interés radica, en el sentido que comienza a descubrirse, como ocurre en otros productos, que la avena puede representar un buen potencial de oportunidades comerciales.

Hoy en día, la producción mundial de avena ocupa el sexto lugar, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte. La avena es un cereal muy valorado por sus propiedades alimentarias ya que aporta energía y fibra. El valor nutricional del grano de avena es superior al de otros cereales, al ser más rico en aminoácidos esenciales, especialmente en lisina. En Estados Unidos se ha convertido en el cereal más utilizado, después del maíz.

Hasta el siglo pasado, el método más comúnmente utilizado para el cultivo de la avena era la labranza convencional, sin embargo en los últimos años, se han empezado a introducir otros sistemas como; la rotación de cultivos y labranza de conservación, los cuales presentan ventajas como reducción de la erosión, menor uso de maquinaria, mejora notable del régimen de la humedad del suelo entre otras. A pesar de esto, existe poca información acerca del efecto de estas prácticas de cultivo sobre la composición de los cereales cultivados en México siguiendo estos regímenes. El objetivo de este trabajo fue determinar la composición química de avena cultivada en Hidalgo y Tlaxcala en los ciclos de cultivo 2003 y 2004, bajo los sistemas de rotación de cultivo, labranza de conservación y labranza tradicional o convencional, a fin de establecer si existe una correlación entre la composición química de los diferentes órganos de la planta de avena (espigas, hojas y tallos) y el sistema de cultivo utilizado. Los datos obtenidos permitirán validar y/o proponer modificaciones a los sistemas de labranza empleados en las regiones de estudio.



2.0 ANTECEDENTES

2.1 ORIGEN DEL CULTIVO DE AVENA

Descubrimientos arqueológicos han demostrado que la avena se conocía desde muchos años antes de Cristo; sin embargo, poco se sabe sobre su uso como alimento cosechado. La avena, al igual que el centeno, se introdujo en Europa procedente de Asia menor y en tiempos remotos constituía una mala hierva de las cosechas de cebada y trigo. Los cambios climáticos que ocurrieron 1000 años a.C. supusieron unas condiciones muy desfavorables en el norte y oeste de Europa (Dendy y Bogdan, 2001). Esta situación favoreció a la avena, que pudo tolerar estos cambios mejor que la cebada y trigo. Sin embargo, su uso en la alimentación parece ser posterior al del trigo y la cebada (Desrosier, 1997).

2.2 VARIEDADES DE AVENA

Existen dos especies de avena de importancia comercial: la avena roja (*Avena byzantina*) y la avena blanca (*Avena sativa*) (Figura 1). Una característica importante que distingue a la *A. sativa* de otras especies de avena silvestre es que ésta no despoja o expulsa el grano de la espiga durante la maduración. La avena roja presenta un contenido de proteínas inferior y una mayor proporción de lípidos que la avena blanca (Desrosier, 1997). Algunas otras variedades de avena son: *Avena barbata*, *Avena fatua*, *Avena micrantha*, *Avena mortoniana*, *Avena scabrivalvis*, *Avena sterilis*, *Avena striata*, *Avena versicolor* (Leord y Martín, 1983).



Figura 1. Especies de avena de importancia comercial: *Avena sativa* (izquierda) y *Avena byzantina* (derecha). Fuente: www.gudjons.com/Mittel/Avena-sat.jpg

2.3 MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA

La avena es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas, es una planta autógama y el grado de alogamia rara vez excede el 0.5%. La mayoría de las avenas cultivadas son hexaploides, siendo la especie *Avena sativa* la más cultivada, seguida de la *Avena byzantina*. También se cultiva la especie *Avena nuda*, conocida como avena de grano desnudo, al desprenderse las glumillas durante la trilla. Las características botánicas del grupo de avenas hexaploides son principalmente: la articulación de la primera y segunda flor de la espiguilla, el carácter desnudo o vestido del grano y la morfología de la arista (Leggett y Tomas, 1995).



2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE AVENA

La planta de avena está compuesta de raíces, tallos, hojas, flores y frutos (Figura 2), los cuales se describen a continuación (Dendy y Bogdan, 2001):

Raíces: Posee un sistema radicular potente, con raíces más abundantes y profundas que las de los demás cereales.

Tallos: Los tallos son gruesos y rectos, pero con poca resistencia al vuelco; tienen, en cambio, un buen valor forrajero. La longitud de éstos puede variar de medio metro hasta metro y medio. Están formados por varios entrenudos que terminan en gruesos nudos.

Hojas: Las hojas son planas y alargadas. En la unión del limbo y el tallo tienen una lígula, pero no existen estípulas. La lígula tiene forma oval y color blanquecino; su borde libre es dentado. El limbo de la hoja es estrecho y largo, de color verde más o menos oscuro; es áspero al tacto y en la base lleva numerosos pelos. Los nervios de la hoja son paralelos y bastante marcados.

Flores: La inflorescencia es en panícula. Es un racimo de espiguillas de dos o tres flores, situadas sobre largos pedúnculos. La dehiscencia de las anteras se produce al tiempo de abrirse las flores. Sin embargo, existe cierta proporción de flores que abren sus glumas y glumillas antes de la maduración de estambres y pistilos, como consecuencia se producen degeneraciones de las variedades seleccionadas.

Fruto: El fruto es en cariósido, con las glumillas adheridas (Charley, 2000).

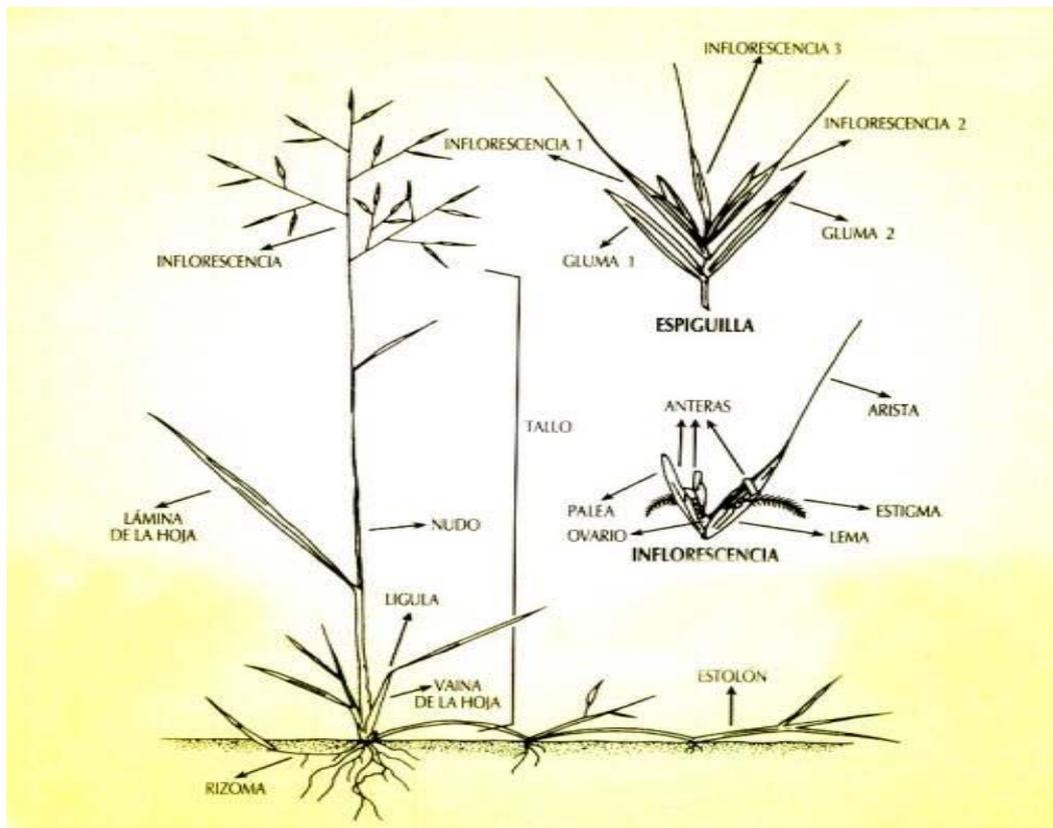


Figura 2. Partes principales de una planta de avena. Fuente: www.uned.ac.cr/.../agrostologia/images/fig1.jpg

2.5 CULTIVO DE AVENA

2.5.1 Requerimientos edafoclimáticos

2.5.2 Clima

La avena es considerada una planta de estación fría, debido a que posee una mayor resistencia al frío comparada con la cebada y el trigo. Las mayores áreas de producción de este cereal se localizan en los climas templados fríos. Es una planta muy sensible a las altas temperaturas sobre todo durante la floración y la formación del grano.



2.5.3 Agua

La avena es muy exigente en cuanto a la cantidad de agua que necesita, por tener un coeficiente de transpiración elevado. Sus necesidades hídricas son las más elevadas de todos los cereales de invierno, aunque un exceso de humedad puede perjudicar su cultivo, por ello, los climas frescos y húmedos de las zonas nórdicas y marítimas son los más adecuados para la avena, así que exige primaveras muy abundantes de agua, y cuando estas condiciones climatológicas se dan, se obtienen buenas producciones. También, es muy sensible a la sequía, especialmente en el periodo de formación del grano (Crovetto, 1999).

2.5.4 Suelo

La avena es una planta rústica, poco exigente en cuanto al suelo, se adapta a terrenos muy diversos. Prefiere los suelos profundos y arenosos, ricos en cal pero sin exceso y que retengan humedad, pero sin que quede el agua estancada. La avena está más adaptada que los demás cereales a los suelos ácidos, cuyo pH esté comprendido entre 5 y 7, por tanto, suele sembrarse en tierras recién roturadas, ricas en materia orgánica.

2.5.5 Preparación del terreno

Es frecuente que la avena sea un cultivo muy poco cuidado, tanto en labores preparatorias como en abonado. Sin embargo, si se abonara y preparara el terreno con más esmero, se obtendrían producciones relativamente altas, sobre todo en los años de primaveras lluviosas. Si la avena sigue al trigo o a una leguminosa para grano, cercana a la época de siembra se da una bina cruzada, gradeando si se va a sembrar de forma mecanizada. Si le ha precedido una planta de escarda, únicamente será necesario un solo pase; cuando se siembra después de una leguminosa forrajera hay que romper la superficie del terreno con una labor ligera (Dendy y Bogdan, 2001).



2.5.6 Siembra

Se trata de una planta resistente al frío en comparación con la cebada y el trigo, pero en muchas zonas se suele sembrar en primavera (desde el mes de enero en las tierras de secano hasta el mes de marzo en las tierras de regadío), excepto en zonas con clima cálido donde se suele sembrar en otoño.

La cantidad de semilla empleada suele ser muy variable. Se considera una dosis corriente de 100 a 150 kg/ha. La densidad de siembra óptima en avena de invierno es de 250 plantas /ha. En siembras de primavera la densidad es de 300-350 plantas/m².

En la siembra al voleo conviene dar dos pases cruzados para que la semilla quede mejor distribuida, ya que al tratarse de una semilla muy ligera, es difícil repartirla con regularidad. En terrenos compactos y algo secos se aconseja la siembra en surcos, pues es más fácil mantener el terreno libre de malas hierbas, siendo la separación entre surcos de 20 cm.

En tierras pobres puede sembrarse como cabeza de alternativa, pues la avena de invierno se siembra antes que el trigo. En terrenos de más fertilidad es común que vaya detrás de trigo o cebada, dado que es una planta menos exigente que las mencionadas anteriormente. Cuando va en cabeza de alternativa, ocupa un lugar detrás del barbecho blanco o semillado (García y Dorronsoro, 1997).

2.5.7 Abonado

El sistema radicular de la avena es más profundo y desarrollado que el del trigo y la cebada, esto le permite aprovechar mejor los nutrientes del suelo, por tanto requiere menos aportes de fertilizantes. La avena responde muy bien al abonado nitrogenado, aunque es sensible al encamado cuando se aplica a altas dosis. La extracción media de avena por hectárea y tonelada es de 27.5 kg de N, 12.5 kg de P₂O₅ y 30 kg de K₂O.



Para una producción de 3,000 kg por hectárea habría que pensar en un abonado de unas 100 unidades de N, 50 unidades de P_2O_5 y 90 unidades de K_2O .

Estas cantidades responden más o menos a un abonado de restitución. En caso de conocerse el análisis del terreno se podrán modificar estas cantidades de acuerdo con la riqueza en el suelo de los tres elementos principales. Lo mismo habría que decir para el caso de que se hubiera estercolado el terreno en años anteriores. En terrenos pobres en cal, ligeros, con humedad suficiente, la cianamida cálcica es el abono nitrogenado más apropiado. En cambio, en suelos fuertes es preferible abonarlos con nitrato, y en terrenos con exceso de cal se recomiendan las sales amónicas. La distribución del abonado se puede realizar en la siembra o durante la fase de crecimiento vegetativo, según el cultivo precedente y la resistencia al encamado de la variedad utilizada.

Si la planta se destina para forraje en verde, debe intensificarse la cantidad de nitrógeno que se aporta para conseguir una abundante vegetación. En cambio, si se destina para grano, el exceso de nitrógeno alarga el ciclo vegetativo de la planta, lo cual no suele ser conveniente, pues se corre el riesgo de que se asure el grano (Fuentes, 1989).

2.6 PRODUCCIÓN DE AVENA

2.6.1 Producción Mundial

Los principales países productores de avena en el mundo son: Rusia, Canadá y Estados Unidos Norteamérica (Tabla 1). Normalmente, la producción mundial de avena excede de los 30 millones de toneladas. Sin embargo, esto representa menos del 2 % de la producción mundial de cereales al año que supone más de 2 billones de toneladas. América representa el 19% del área total mundial con una producción del 24%. Canadá y Estados Unidos de Norte América, son los principales productores del continente, representando el 14 y 7%, respectivamente de la producción mundial (Villaseñor y Espitia, 2000).



Tabla 1. Principales países productores de avena en el mundo

<i>Principales países productores de avena</i>	<i>Producción año 2001 (en millones de toneladas)</i>
Federación de Rusia	6,135,000
Canadá	2,838,300
Estados Unidos	1,918,150
Finlandia	1,400,000
Australia	1,300,000
Alemania	1,131,000
China	1,050,000
Suecia	990,000
Ucrania	935,000
España	749,700
Reino Unido	680,000
Argentina	642,360
Rumania	520,000
Francia	462,000
Chile	344,527
Brasil	317,342
Kazajstán	253,500
Turquía	250,000
República Checa	150,000
Suiza	117,000
Irlanda	128,000
México	90,000

Fuente: http://www.manuales_cursos/agricultura_cultivos.asp



Actualmente, México se encuentra en el lugar 20-23 de producción mundial de avena, Asia produce el 4%, mientras que Australia representa el 5% de la siembra mundial y de la producción. Sin embargo, Europa, incluyendo la Federación Rusa, es la región de mayor producción de avena, representando el 65 % del área de cosecha del grano producido en el mundo (Villaseñor y Espitia, 2000).

2.6.2 Producción Nacional

La avena en México participa con un porcentaje mínimo en la oferta mundial de granos forrajeros y se considera como un producto del mercado muy estrecho. La mayor parte de la producción se consume en el país de origen. En 2002/03, la cosecha nacional ascendió a casi 26 millones de toneladas, un millón menos que en el ciclo agrícola anterior. Durante los últimos años, se ha producido un promedio de 25.7 millones de toneladas (www.sagarpa.gob.mx)

2.6.3 Producción Regional

En el estado de Tlaxcala la agricultura es una de las actividades más importantes ya que es el medio de sustento para muchas familias de esta zona. De la superficie dedicada a la actividad agrícola, la mayor parte está constituida por: maíz con 46.1%, cebada con 23.88%, trigo con 12.10% y *avena forrajera* con 4.93%, con un rendimiento aproximado de 2.4, 2.6, 2.7 y 18.3 toneladas por hectárea respectivamente. El volumen total de toneladas de avena producida en Tlaxcala en 2002/2003 fue de 219,266.

En el estado de Hidalgo, los cultivos más importantes son: maíz, trigo, jitomate, frijol, *avena forrajera*, cebada, calabaza y chile. En el 2003 se sembraron 84,050 hectáreas de avena, de las cuales 81,330 fueron recolectadas obteniendo una producción estimada de 86,938 toneladas de avena forrajera (www.sagarpa.gob.mx).



2.7 Sistemas de cultivo

Dentro de los sistemas de cultivo utilizados a lo largo de los años se ha encontrado que las opciones más viables son minimizar el uso de la maquinaria y utilizar sistemas como la labranza mínima y la labranza de conservación, donde se busca un equilibrio entre la entrada y salida de energía del ecosistema agrícola, estos sistemas deberán aplicarse con algunas variantes dependientes de la región y las características del medio ambiente (García y col., 2000).

La preparación del suelo, los cultivares, la fecha y la profundidad de siembra, los sistemas, la densidad de siembra y el espaciamiento, la fertilización, el control de malezas, el manejo de pestes y enfermedades y el manejo del agua deben ser cuidadosamente considerados en la producción de cereales (García y col., 2000).

En este trabajo se estudiaron los sistemas de cultivo de rotación, labranza de conservación y labranza convencional que a continuación se describen.

2.7.1 Rotación de cultivos

La rotación de cultivo puede definirse como la sucesión ordenada de cultivos que se repiten en un cierto número de años, repetición que puede ser, o no, cíclica. Este sistema de cultivo expresa una relación ordenada en el tiempo y para organizarla puede ser suficiente conocer los meses del año en que cada cultivo se desarrolla. El tiempo para el diseño de una planta de rotación es de 3 años (Saña, 1996; Urbano y Moreno, 1992)

La rotación de cultivos se considera una práctica de agricultura ecológica, pues pretende producir cultivos respetando el entorno y mejorando la calidad nutricional de los mismos (ya que no se demandan los mismos nutrientes en cada siembra). Sus prácticas se fundamentan en el mantenimiento y mejoramiento de la bioestructura del suelo, en combatir malas hierbas, plagas y enfermedades, sin dañar a los organismos



beneficiosos e incluso, fomentando las competencias naturales que se producen entre organismos beneficiosos y patógenos sin utilizar plaguicidas ni fertilizantes de elaboración industrial.

La rotación de cultivo permite mejorar significativamente las cualidades del suelo, principalmente, se eleva su fertilidad (Saña, 1996). Además, permite reducir los costos agrícolas en un balance general, el beneficio de esta práctica depende de la selección de los cultivos que van a rotarse y de la secuencia que se siga en su siembra (Lampkin, 1988)

2.7.2 Labranza de conservación

Se define como aquel sistema conservacionista, que incluye operaciones que crean un ambiente apropiado para el desarrollo de las plantas y al mismo tiempo, optimizan la conservación del agua y del suelo. En algunos casos, la labranza de conservación es confundida con la labranza mínima o reducida, pero esta última significa simplemente que un agricultor normalmente comprime el suelo.

La labranza de conservación es aquella que influye positivamente en la conservación de la humedad del suelo, la cual consiste en dejar un mínimo de 30% de los residuos (ayuda a mantener la humedad) del cultivo anterior y realizar la siembra con una máquina especial, sin alguna labor de labranza (García y col., 2000)

Cuando se levanta una cosecha, los esquilmos se deben conservar sobre el suelo, tratando de que queden lo más uniformemente esparcidos sobre el terreno para mantener la mayor humedad posible. Esto es para obtener un buen rendimiento de los cultivos con respecto a la entrada y salida de energía y el respeto y protección al medio ambiente.



2.7.3 Labranza convencional o tradicional

Se define como todo aquel sistema agrícola que se rige por los métodos establecidos con la revolución verde, además del abundante uso de agroquímicos, lo que obliga al uso frecuente de maquinaria para las diferentes etapas de producción.

En los sistemas convencionales o tradicionales podemos observar un enorme movimiento de la tierra, provocando que las características naturales de un suelo como el contenido de material orgánica, textura y estructura se modifiquen, creando un microambiente no propicio para el desarrollo natural del suelo. Además, la escarda o deshierbe con métodos mecánicos provocan que el suelo entre las hileras de plantas reciba mayor radiación directa y se pierda mayor humedad por evaporación, manteniendo a las plantas en mayor estrés hídrico (García y col., 2000).

2.8 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE AVENA

Los granos de avena constan de dos fracciones anatómicas distintas, la cascarilla o envuelta y la semilla que se separa durante la operación de molturación (Figura 3). Estas dos fracciones son muy diferentes en su composición química. La cascarilla de la avena está compuesta principalmente de sustancias constitutivas de la pared celular; lignina (2-20%), celulosas y hemicelulosas (30-37%), mientras que la semilla contiene almidón únicamente (Cuddeford, 1995).

La composición del grano entero refleja las variaciones en las proporciones relativas de la semilla y de la cáscara que pueden oscilar de un 20 a un 40 % del grano debido a las diferencias en el genotipo en la composición de la semilla, así como a factores ambientales, condiciones de cosecha y almacenamiento, tratamiento poscosecha y a las condiciones a las que se someten los granos durante el procesado. Las diferencias del genotipo incluyen las variaciones entre los cultivos de otoño y de primavera así como las diferencias entre las variedades individuales. Finalmente, pueden aparecer



diferencias debidas a las variaciones de los métodos utilizados en el análisis químico (Charley, 2000).



Figura 3. Partes de un grano de avena

Fuente: www.avena.com

La composición química del grano de avena se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química del grano de avena

Composición del grano de avena en g/100 g de sustancia	
Hidratos de carbono	40 (39.1-57.2)*
Agua	13.3 (8.2-15.0) *
Cenizas	3.0 (2.1-3.8) *
Proteínas	11.5 (8.7-16.1) *
Materia lípidos	5.5 (1.6-7.2) *
Fibra	32.0 (19.9-37.9) *

El valor indica el promedio y entre paréntesis se indica el intervalo normal (*)

Fuente: MAFF 1992.



2.8.1 Lípidos

El grano de avena tiene un alto contenido en lípidos y de ahí que presente una mayor densidad de energía en comparación con otros cereales. Los lípidos de la avena se distribuyen por todo el endospermo, a diferencia de los del maíz que se concentran en el germen. Los lípidos de la avena son ricos en ácidos grasos insaturados, predominando el linoleico y el oleico (Tabla 3). El primero considerado como esencial. (Welch, 1995).

Tabla 3. Ácidos grasos de la avena (g/100g totales)

Ácido graso	Palmítico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolénico
	19	2	36	38	2
	(15-25) *	(1-4) *	(19-48) *	(31-53) *	(1-4) *

El valor indica el promedio y entre paréntesis se indica el intervalo normal ()*

Fuente: Dendy y Bogdan, 2001

La composición de los ácidos grasos cambia con el tipo de lípidos. Así, la cantidad relativa de ácido oleico aumenta y las cantidades relativas de los ácidos palmíticos y linoleico disminuyen cuando aumenta el contenido en lípidos debido a variaciones genéticas. En la tabla 4 se muestran las variaciones relativas de las distintas fracciones lipídicas de la avena, donde los triacilgliceroles son el componente mayoritario. La cantidad de fosfolípidos oscila del 5 al 26%, siendo la lecitina (fosfatidilcolina) el principal componente de esta fracción. Los glicolípidos representan del 7 al 12% de la grasa total, siendo los principales componentes los galactolípidos en forma de diglicéridos digalactosil y diglicéridos monogalactosil (Sahasrabudhe, 1979). Los ácidos grasos libres de los lípidos de la avena recolectada suponen de un 2 a un 11 %. Estos niveles de ácidos grasos libres no son deseables ya que se pueden producir malos olores por rancidez hidrolítica (Dendy y Bogdan, 2001). Los factores ambientales



también pueden influir en el contenido y en la composición de los lípidos (Welch, 1998).

Tabla 4. Principales lípidos presentes en la avena (g/100g de lípidos totales)

Triacilglicerolos	62 (32.4-85.0) *
Fosfolípidos	16 (5.0-26.0) *
Glicolípidos	10 (5.8-11.9) *
Ácidos grasos libres	6 (2.0-11.0) *
Esteroles	6 (1.4-9.3) *

Los intervalos normales se presentan entre paréntesis

Fuente: Sahasrabudhe, 1979.

2.8.2 Proteína

La cantidad de proteína de la avena varía ampliamente. Algunos factores importantes que afectan dicho contenido son: las condiciones ambientales y de crecimiento y la variedad. Todas las prácticas agronómicas que mejoran el rendimiento inducen a una reducción en el contenido en proteínas. No obstante, los fertilizantes nitrogenados sobre todo si se aplican retrasados pueden aumentarlo.

Las proteínas de los cereales se caracterizan por su composición en aminoácidos y por las proporciones relativas de las distintas fracciones caracterizadas mediante solubilidad. En la tabla 5 se muestra la composición en aminoácidos típica de la avena. Generalmente, las proteínas de los cereales son deficientes en lisina y en ocasiones en triptófano. Sin embargo, la avena presenta concentraciones más elevadas de los aminoácidos esenciales por lo que tiene un valor nutritivo superior al de otros cereales (Welch, 1995).



Tabla 5. Composición en aminoácidos de la avena (g/100 g de proteína)

<i>Aminoácidos esenciales</i>		<i>Aminoácidos no esenciales</i>	
Histidina	2.1	Alanina	4.5
Isoleucina	3.8	Arginina	6.2
Leucina	7.2	Ácido aspártico	7.7
Lisina	3.7	Ácido glutámico	21.0
Metionina	1.8	Glicina	4.6
Cisteína	2.7	Prolina	5.1
Fenilalanina	5.0	Serina	4.6
Tirosina	3.4		
Treonina	3.4		
Triptófano	1.3		
Valina	5.1		

Fuente; Welch, 1995

En función de sus solubilidades, las proteínas se dividen en cuatro fracciones: albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. Las prolaminas predominan en la mayoría de los cereales, pero en la avena, la fracción mayoritaria es la globulina (del 70 al 80%) (Colyer y Luthe, 1984; Dendy y Bogdan, 2001).

2.8.3 Cenizas

Las cenizas están formadas por los residuos de elementos metálicos y no metálicos en forma de sales que no son volatilizados durante una combustión; los órganos vegetativos de los cereales contienen abundantes cantidades de dichos compuestos en concentraciones que van de 3 a 10%.

Estudios específicos que han evaluado el efecto del clima sobre la calidad molinera y panadera de distintas variedades de avena en condiciones climáticas templadas, manifiestan que éstas contienen mayor contenido de cenizas y un menor rendimiento harinero (Carpanta, 1998).



2.8.4 Fibra cruda

La espiga de avena presenta alrededor de un 32% de fibra cruda la cual procede principalmente de la cáscara del grano. La cantidad de fibra soluble encontrada oscila del 3.0 al 5.4%, mientras que la fibra insoluble va desde el 3.2 al 8.0% del grano (Englyst y col., 1989). La primera tiene un interés especial por contener cantidades elevadas de β -glucano, que tiene la capacidad de reducir las tasa de colesterol (Welch, 1995).

2.8.5 Carbohidratos

En la alimentación, la principal fuente de carbohidratos son los cereales como: arroz, trigo, maíz, cebada, centeno, *avena* y mijo. En general, contienen un 65-75% de su peso de carbohidratos. Los cereales, contienen principalmente almidón, aunque también son una importante fuente de fibra (D'Appolonia, 1995).

2.8.6 Minerales

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1 % y casi siempre menor del 0.01%. Algunos metales ligeros o no metales, suelen agruparse junto a los metales pesados por presentar orígenes y comportamientos asociados; éste es el caso del boro (Fuentes, 1989). Se pueden encontrar dos categorías de metales pesados:

- A) Oligoelementos o micronutrientes. Son metales pesados requeridos por las plantas y animales en cantidades traza, que al ser sobrepasadas pueden ser tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran B, Co, Cr, Fe, Cu y Zn.
- B) Metales pesados sin función biológica conocida. La presencia de estos metales en determinadas cantidades en seres vivos provoca alteraciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la



propiedad de bioacumulación. En esta categoría se encuentran el Cd, Pb, Ni, Hg, y As, principalmente (FAO e IFA, 2002).

La relevancia de la mención de los metales pesados, radica en que muchos de ellos han sido encontrados en numerosos cultivos, con implicaciones de riesgo para la salud.

Tanto las semillas como el salvado de avena contienen cantidades significativas de los macronutrientes (K, Na, Ca, P y Mg) y de los micronutrientes (Fe, Zn, Cu y Mn) (Tabla 6). Los microminerales presentan variaciones sustanciales debido a las condiciones de crecimiento de la avena y, en particular, por la geología subyacente del terreno.

La concentración de minerales en la planta de avena puede presentar una gran variación debido en parte al tipo de avena de que se trate y a las condiciones ambientales. El potasio y el fósforo son los elementos que se pueden presentar en altas concentraciones. Sin embargo, la biodisponibilidad nutritiva del fósforo y de otros minerales tales como el calcio pueden reducirse por la presencia del ácido fítico y los fitatos (Cuddeford, 1995).

Tabla 6. Composición mineral del grano de avena (mg por 100g)

<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>P</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>
12	450	75	140	370	10	0.76	4.0	7.5

Fuente: Yli Halla y Palko, 1987

2.9 PAJA DE AVENA

La paja de los cereales es la porción de la planta que permanece después de retirado el grano. En el caso de la avena, la paja está compuesta del tallo, las hojas y el raquis de la espiga. La composición química de la paja de avena (Tabla 7), varía según la etapa de maduración, de los métodos de cultivo y de las distintas fracciones que la forman. El tipo de clima es otro factor que afecta la calidad de la misma; las pajas provenientes



de climas templados son de mejor calidad, que aquellas de climas tropicales. Esto se debe a una menor proporción de pared celular y lignina en los cultivos desarrollados en zonas templadas (Arellano, 2000).

Tabla 7. Análisis proximal de algunas pajas de cereales (% base seca)

Índice	Paja de avena	Heno de alfalfa	Paja de arroz (6-8 semanas)	Paja de arroz (3-4 semanas)
Humedad	7.7	10.47	74.67	74.03
Materia seca	92.3	89.53	25.33	25.97
Proteína	4.99	19.31	7.04	11.00
Extracto etéreo	2.46	1.90	2.83	3.12
Fibra cruda	39.03	28.77	16.61	14.08
Extracto libre de nitrógeno	46.75	41.10	64.48	61.71
Cenizas	4.31	8.92	8.84	10.09

Fuente: McDowell, 1974

La paja contiene principalmente tres grupos de compuestos orgánicos: celulosa, hemicelulosa y lignina. Esta última, además de proporcionar resistencia y rigidez, provee cierta defensa a la materia vegetal contra enfermedades. La paja contiene también pequeñas cantidades de otros compuestos como proteínas, ceras, azúcares y cenizas (Staniforth, 1980).

Las pajas de cereales, se caracterizan por un reducido valor nutritivo y bajo nivel de consumo, debido al escaso nivel de proteína y alto contenido de fibra. Esto hace que estos productos sean poco consumidos por los animales y que pierdan peso cuando la alimentación se basa exclusivamente en restos de cultivos (Muller y Tobin, 1996). Sin embargo, la paja de avena es superior a la de otros cereales, porque presenta una digestibilidad alta y una mejor textura física. La ausencia de barbas en las envolturas del grano es otro factor que contribuye a su valor nutritivo y mayor aceptabilidad (Staniforth, 1980).



2.10 USOS DE LA AVENA EN LA INDUSTRIA

En Europa, la avena se ha venido utilizando en la dieta humana desde el siglo primero a.C. En países como Irlanda, Escocia e Inglaterra la avena perdura como producto alimenticio general en donde se consume como gachas, tortas de avena, pudines, bizcochos, productos horneados fermentados y productos gelificados fermentados (Ranhotra y Gelroth, 1995).

Antiguamente el procesado de la cascarilla de avena se utilizaba para producir el furfural. Hoy en día ha encontrado numerosas aplicaciones para la elaboración de cereales para desayuno de consumo rápido, productos de panadería, aperitivos y diversos alimentos infantiles así como en la obtención de distintos subproductos tales como aceite, goma, almidón y proteína (Wood y col., 1995). La harina de la avena también se utilizaba como antioxidante en los productos alimenticios. Sin embargo, ésta ha sido remplazada con antioxidantes sintéticos (Dahle y Nelson, 1981).

En la industria farmacéutica la avena se ha utilizado en un amplio número de productos cosméticos y agentes de limpieza incluyendo jabones y mascarillas faciales. Los lípidos de la avena, como ya se mencionó previamente, son ricos en ácidos grasos insaturados y también contienen galactolípidos, que se han utilizado como agentes reductores de la viscosidad y como emulsionantes. El almidón de avena se utiliza hoy en día como sustituto del talco cosmético. También el almidón de la avena podría sustituir al almidón de otras procedencias en numerosos productos alimenticios (Evans y Col., 1988).

La proteína aislada de avena, así como la proteína de avena modificada químicamente, incluyendo la avena deamidada y acilada, presentan interesantes propiedades funcionales para su utilización en tecnología de alimentos (Ma, 1984). Entre éstas figuran la de incrementar la viscosidad, buena capacidad de retención de agua y buena capacidad emulsionante. No obstante, la utilización de la proteína de avena es aún baja a pesar de haberse desarrollado diversas aplicaciones potenciales en la fabricación de alimentos (Dendy y Bogdan, 2001).



2.11 EFECTOS BENÉFICOS DE LA AVENA EN LA SALUD HUMANA

La visión tradicional de la avena es la de un cereal valioso para la alimentación de bebés y para el sustento de adultos. Ésta ha sido confirmada por el avance de la nutrición y también se ha asociado con efectos benéficos para la salud como la de conferir protección contra enfermedades crónicas tales como cardiopatías o cáncer.

En este mismo sentido, se ha demostrado que el consumo de avena favorece la reducción del colesterol del plasma, la modulación de los niveles de glucosa en sangre y mejora la función gastrointestinal (Welch, 1995).

Entre los constituyentes de la avena con actividad antioxidante están los tocoferoles y los tocotrienoles (formas de la vitamina E), los esteroides, el ácido fítico y diversos compuestos fenólicos incluyendo los derivados del ácido cafeico y ferúlico y las avenantramidas (Welch, 1998).

Por otra parte, la fibra de avena, por lo general no proporciona calorías ni vitaminas o minerales, provee una serie de beneficios importantes a la salud como una sensación de saciedad de modo que es menos probable que la persona coma en demasía (MC Arthur y D'Appolonia, 1979).



3.0 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar la composición química de espigas, hojas y tallos de avenas cultivadas mediante los sistemas de cultivo de rotación de cultivos, labranza de conservación y labranza convencional en algunas zonas de Hidalgo y Tlaxcala en los ciclos de cultivo 2003 y 2004.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición proximal de espigas, hojas y tallos de las avenas analizadas
- Cuantificar los minerales presentes en espigas, hojas y tallos de las avenas analizadas
- Determinar la influencia de los sistemas de cultivo sobre la composición química de las avenas analizadas a través de la comparación de los resultados obtenidos para ambos ciclos de cultivo



4.0 METODOLOGÍA

En la figura 4 se presentan las etapas del desarrollo experimental del presente trabajo, las cuales se explican a continuación.

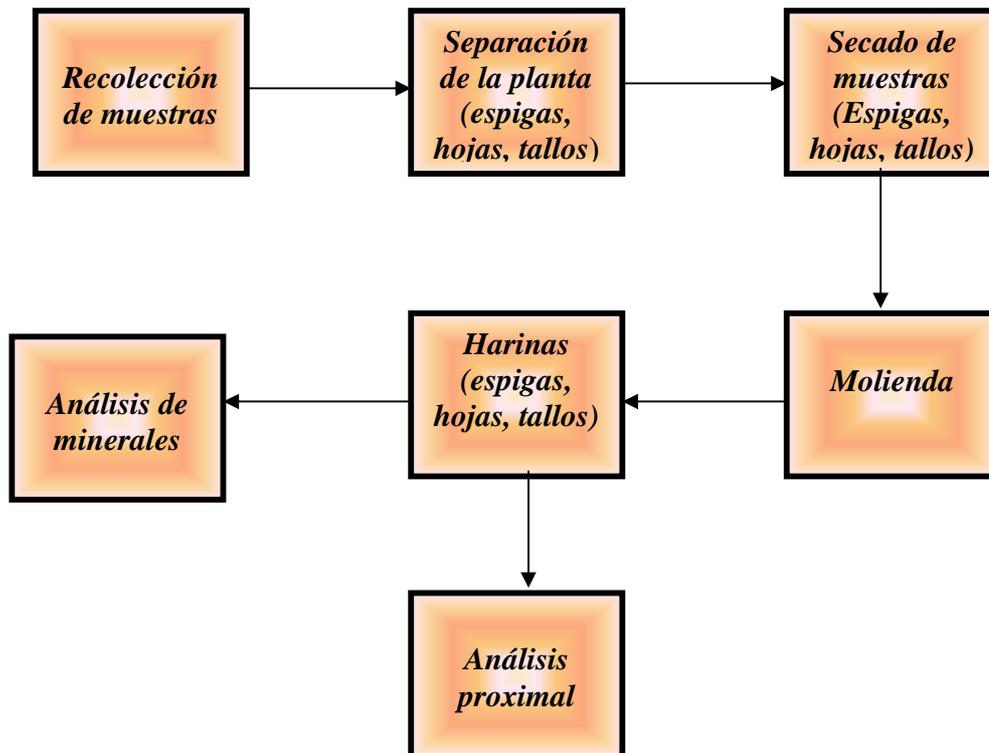


Figura 4. Etapas del desarrollo experimental.



4.1 Muestras

4.1.1 Recolección

Se estudiaron 9 muestras de avenas procedentes de diferentes regiones de Hidalgo y Tlaxcala, las cuales fueron colectadas en los ciclos de cultivo 2003 y 2004 y cultivadas bajo los sistemas: Rotación de cultivo, Labranza tradicional o convencional y Labranza de conservación (Tabla 8).

Tabla 8. Muestras de avena colectadas en los ciclos de cultivo 2003 y 2004, cultivadas bajo diferentes sistemas

Código	Zona	Sistema de cultivo	Año de colecta
VTR03	Villa de tezontepec	Rotación de cultivo	2003
UIRs03	La unión 1	Rotación de cultivo (var. Saia)	2003
UIRob03	La unión 1	Rotación de cultivo (var. Obsidiana)	2003
ALCv03	Apan	Labranza de conservación (Estadio de maduración temprana)	2003
ALC03	Apan	Labranza de conservación	2003
VTC04	Villa de Tezontepec	Convencional o tradicional	2004
VTR04	Villa de Tezontepec	Rotación de cultivo	2004
AR04	Apan	Rotación de cultivo	2004
UIR04	La unión 1	Rotación de cultivo	2004

4.1.2 Separación de las partes de la planta (espigas, hojas y tallos)

Una vez colectadas las plantas de avena, se realizó una limpieza de las mismas, eliminando todo residuo ajeno. Posteriormente, se llevó a cabo la separación manual de cada parte de la planta. En primer lugar se separó la raíz, la cual no fue utilizada en



este estudio, en segundo lugar fue la espiga con el fin de no perder los granos, y finalmente se separaron las hojas y los tallos.

4.1.3 Secado de muestras

Las muestras separadas (espigas, hojas y tallos) fueron secadas en una estufa de circulación de aire (Fisher Scientific) a 60°C.

4.1.4 Obtención de muestras para molienda

La selección de muestras utilizadas para la molienda se llevó a cabo mediante el método de cuarteo (Figura 5). Este método consiste en fraccionar el total de la muestra hasta obtener una parte representativa de la población. Para lo cual se realiza un extendido de las espigas, hojas o tallos hasta formar un cuadrado de densidad homogénea, este cuadrado es dividido en cuatro y se separan dos cuadrantes opuestos, los cuadrantes restantes se vuelven a mezclar para formar un cuadrado como el del inicio. Este cuadrado es dividido nuevamente en cuadrantes y de los cuales se retiran dos, pero del sitio que anteriormente no se habían retirado. Los cuadrantes restantes constituyen una fracción representativa del total del conjunto. Esta última fracción es la que se utiliza para llevar a cabo la molienda (aproximadamente 100g) y realizar posteriormente los análisis correspondientes.

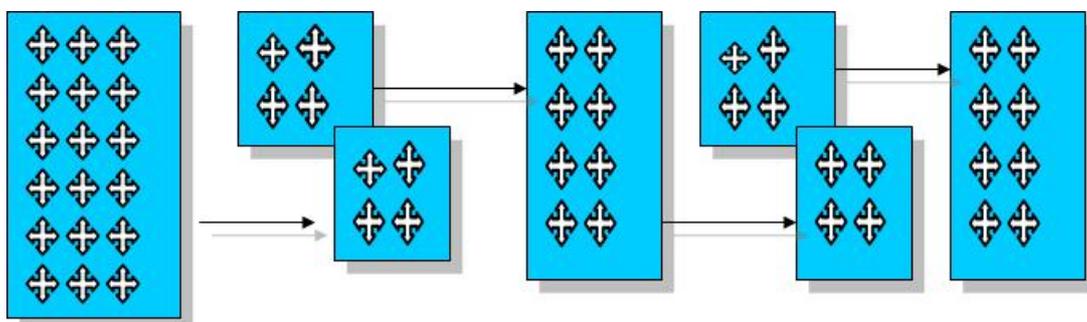


Figura 5. Método de cuarteo para seleccionar la fracción de molienda



4.1.5 Molienda

La muestra seleccionada de espigas, hojas o tallos fue sometida a una molienda en un molino casero (Moulinex). Posteriormente fue tamizada a fin de homogenizar el tamaño final de partícula. El tamiz utilizado fue del número 60 (0.0098 pulgadas) con un tamaño final de partícula de 250 μm . Las muestras molidas fueron almacenadas en recipientes de plástico y mantenidas a temperatura ambiente.

4.2 MATERIALES Y METODOS

4.3 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

El análisis bromatológico llamado también análisis proximal se realizó siguiendo las técnicas oficiales de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). Las determinaciones fueron: humedad, cenizas, proteína cruda, lípidos, fibra cruda y carbohidratos asimilables, estos últimos se determinaron por diferencia.

4.4 HUMEDAD

Fundamento: La pérdida de materia que se volatiliza bajo ciertas condiciones de temperatura (105° C) se determina humedad.

Material

- Estufa con recirculación de aire (Fisher Scientific)
- Desecador
- Balanza analítica (Sartorius)
- Charolas de aluminio
- Pinzas de crisol



Procedimiento

Las charolas de aluminio se llevaron a peso constante en una estufa, a una temperatura de 105° C. Esto se logró después de dos a cuatro horas de calentamiento. Se pesaron de 2-4g de muestra en cada charola y se colocaron en la estufa para su secado; se considera que la determinación ha concluido cuando las charolas con la muestra están a peso constante, es decir, cuando hay una variación de 0.0001g de muestra entre dos pesadas seguidas. La determinación se realizó por triplicado.

Cálculo:

El porcentaje de humedad en las muestras se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{m} \times 100$$

Donde:

P_i= Peso inicial de la charola con muestra

P_f= Peso final de la charola con la muestra seca

m= Peso de la muestra en gramos

4.5 CENIZAS

Fundamento: Al residuo que se obtiene después de la incineración de una muestra, se le denomina cenizas, éstas comprenden el material inorgánico (minerales).



Material

- Mufla (Fisher Scientific)
- Balanza analítica (Sartorius)
- Desecador
- Crisoles
- Pinzas para crisoles
- Parrilla de calentamiento

Procedimiento

Los crisoles se llevaron a peso constante en una mufla a una temperatura entre 500-550° C. En el crisol se pesaron de 2-5g de muestra, los cuales se calcinaron con ayuda de una parrilla de calentamiento antes de colocarlo en la mufla, de esta forma se ayuda a la calcinación y se elimina una gran cantidad de humo. Cuando se observen unas cenizas de color homogéneo (grises o blancas) sin puntos negros, se considera que la determinación ha terminado. En el caso de que las cenizas presenten puntos negros, se recomienda agregar unas gotas de agua a las cenizas frías, y nuevamente meterlas a la mufla hasta que presenten un color homogéneo. La determinación se realizó por triplicado.

Cálculo:

El porcentaje de cenizas presente en cada muestra se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_f - P_o}{m} \times 100$$



Pf= Peso del crisol con las cenizas

Po= Peso del crisol vacío

m= Peso de la muestra en gramos

4.6 PROTEÍNA CRUDA

Fundamento: Se realizó la determinación siguiendo el método Kjeldahl, el cual consta de una oxidación de la materia orgánica mediante la acción de H_2SO_4 , H_3PO_4 y H_2O_2 , como resultado de esta oxidación se produce CO_2 , H_2O , y N_2 el cual se transforma en NH_4HSO_4 . La reacción es catalizada por el Cu ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$). Para la liberación del ión NH_4^+ de la sal que forma, se utiliza un álcali fuerte (NaOH al 60%), el NH_4^+ es recibido en ácido bórico y mediante una titulación con HCl 0.001N se determina la cantidad que reaccionó con el ácido formando el borato de amonio.

Material/reactivos

- Digestor Kjeldahl (Marca SEVE)
- Destilador Gerhardt MOD vapodest 20
- Tubos para digestión de 75 mL (Marca TECATOR Y SEVE)
- Vasos de precipitado
- Mezcla digestiva (solución a)
- Sulfato de potasio R.A
- Peróxido de hidrogeno al 30% R.A
- Hidróxido de sodio al 60% R.A
- Ácido bórico con indicadores (solución b)
- Ácido clorhídrico valorado 0.001N

Solución (a): Mezcla digestiva: se pesaron 3g de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ y se disolvieron en 20 mL de agua destilada, se adicionaron 50 mL de H_3PO_4 concentrado y 430 mL de H_2SO_4 concentrado, resbalándolo por la pared. Agitar esta mezcla durante 30 minutos.



Solucion (b): Ácido bórico con indicadores: se pesaron 10g de ácido bórico y se disolvieron en agua destilada, posteriormente se adicionaron 70 mL de indicador A (100 mg de fenolftaleína disueltos y aforados a 100 mL con alcohol etílico) y 20 mL de indicador B (33 mg de verde de bromocresol y 66 mg de rojo de metilo aforados a 100 mL con alcohol etílico), se llevaron a un volumen final de 2000 mL con agua destilada. Se ajusta el ácido a un color café-rojizo.

Procedimiento

Digestión: Pesar de 20-60 mg de muestra en un tubo de digestión, agregarle 0.5g de K_2SO_4 , y 3 mL de mezcla digestiva, colocar el tubo en el digestor (previamente calentado a una temperatura inferior a $370^\circ C$) para una predigestión de 15 min. Después de este tiempo, sacar el tubo del digestor y dejarlo enfriar, adicionarle 1.5 mL de H_2O_2 al 30% y colocarlo nuevamente en el digestor por espacio de una hora a $370^\circ C$. Se considera que la digestión esta completa cuando el contenido del tubo sea traslúcido, sin restos de material orgánico. En caso de que se observe aun material sin digerir o bien coloraciones fuertes, es recomendable meter nuevamente el tubo al digestor y dejarlo ahí por unos minutos más. De forma simultánea se deben de correr testigos (todos los reactivos, sustituyendo a la muestra por sacarosa o glucosa comercial).

Destilación: La muestra digerida se transfiere al tubo de destilación, se coloca un matraz Erlenmeyer con 50 mL de ácido bórico, como recipiente de la destilación. En este caso, el destilador automático se programó para adicionar al contenido del tubo 60 mL de NaOH al 60% con un tiempo de destilación de 5 min a una potencia de vapor del 60%.

Titulación: El contenido del matraz se tituló con HCl 0.001N hasta un vire a rojo café.

La determinación se realizó por triplicado.



Cálculos:

El porcentaje de proteína en las muestras analizadas se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(P-B) \times N \times \text{meq} \times 100}{m}$$

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} \times F$$

Donde:

P= Volumen gastado en la titulación de la muestra

B= Volumen gastado en la titulación del testigo

N= Normalidad del HCl

meq= Miliequivalentes de nitrógeno (0.014)

m= Peso de la muestra en gramos

F= Factor de conversión (6.25)

4.7 LÍPIDOS

Fundamento: La cantidad de material extraído de una muestra mediante el reflujo con éter se denomina extracto etéreo. Éste se constituye de pura grasa (fracción con alto poder calórico), ácidos grasos, ésteres, vitaminas liposolubles, aceites esenciales, y carotenoides, principalmente.

Material/reactivos

- Equipo para desengrasar (Soxhlet)
- Balanza analítica (Sartorius)
- Estufa con recirculación de aire (Fisher Scientific)
- Cartuchos de celulosa de 22 x 80mm



- Vasos de borde esmerilado
- Éter de petróleo R.A.
- Parrilla de calentamiento múltiple

Procedimiento

Previo a la determinación, los matraces limpios, rotulados y con algunas perlas de ebullición en su interior, se llevaron a peso constante a 105°C. Por otra parte, se pesaron de 3 a 5g de muestra previamente seca (se recomienda usar la que proviene del análisis de humedad) y se colocaron en cartuchos de celulosa, tapándolos con un trozo de algodón e introduciéndolos en el compartimiento de extracción del soxhlet. El matraz a peso constante se colocó sobre el calentador múltiple y se le adicionó el éter de petróleo en una cantidad suficiente para producir varias descargas sin que el matraz llegara a sequedad. Finalmente, se terminó de armar el dispositivo, cuidando desde el inicio que el flujo de agua saliera con una potencia constante, manteniendo el refrigerante lo más frío posible. A continuación se procedió a un calentamiento moderado, regulando que el reflujo fuera gota a gota y constante hasta el término del calentamiento. La duración de la determinación, varía entre 5 y 8 horas, según el contenido de grasa de la muestra. Una vez completada la extracción, el solvente se recupera con ayuda del rotavapor. Para una total eliminación del solvente, el matraz permaneció en la estufa hasta peso constante, al cabo de lo cual se pesó.

La determinación se realizó por triplicado.

Cálculos:

El porcentaje de lípidos cruda en cada muestra se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa cruda} = \frac{P_f - P_o}{m} \times 100$$



Donde:

Pf= Peso del matraz con grasa

Po= Peso del matraz vacío

m= Peso de la muestra en gramos

4.8 FIBRA CRUDA

Fundamento: La determinación esta basada en la obtención del residuo indigerible por un ácido y una base fuerte (H_2SO_4 y NaOH al 1.25%, respectivamente), de una muestra que ha sido previamente desengrasada.

Material/reactivos

- Aparato de digestión para fibra (Labconco)
- Estufa de recirculación de aire (Fisher Scientific)
- Mufla (Fisher Scientific)
- Vasos de Berzelius de 600 ml
- Crisoles de porcelana
- H_2SO_4 al 1.25%
- NaOH al 1.25%
- Antiespumante
- Alcohol etílico R.A.

Procedimiento

En el vaso de Berzelius se colocó la muestra desengrasada, se agregaron 0.5g de asbesto (lavado y calcinado) y unas perlas de vidrio, se adicionaron 200 mL de H_2SO_4 al 1.25 % en ebullición y unas gotas de antiespumante, se colocó el vaso en el digestor sobre la parrilla (previamente calentada), y se dejó en ebullición durante 30 mín.



Transcurrido este tiempo, se retiró el vaso del digestor y se filtró con ayuda de vacío sobre un filtro de lino, el residuo fue lavado con agua destilada caliente hasta eliminar el ácido (aproximadamente con 500 ml).

El residuo lavado se transfirió al vaso de berzelius, se le adicionaron 200 mL de NaOH al 1.25% en ebullición y unas gotas de antiespumante, sin olvidar las perlas de ebullición, se colocó el vaso en el digestor, se subió a la parrilla y se dejó en ebullición durante 30 min. Al término de este tiempo, se retiró el vaso del digestor y se procedió a filtrarlo a través del mismo filtro de lino, se lavó el residuo con agua destilada caliente hasta eliminar el álcali (con aproximadamente 500 mL de agua). Enseguida se adicionaron al residuo 25 mL de alcohol etílico (ayuda a eliminar la humedad). El residuo lavado se transfirió a un crisol de porcelana, previamente puesto a peso constante, y se colocó en la estufa para ser secado a 105°C hasta que estuvo a peso constante. Una vez secado, el crisol con el residuo se calcinó con ayuda de un mechero antes de colocarlo en la mufla a 550°C, la determinación concluyó cuando el crisol estuvo a peso constante.

La determinación se realizó por triplicado.

Cálculos

El porcentaje de fibra cruda en las muestras se determina de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{P_s - P_c}{m} \times 100$$

Donde:

P_s= Peso del crisol con el residuo seco

P_c= Peso del crisol con el residuo calcinado

m= Peso de la muestra (referido al peso de la muestra original)



4.9 CARBOHIDRATOS ASIMILABLES

Cálculo por diferencia:

$\% \text{CHO's asimilables} = 100 - (\% \text{ fibra} + \% \text{ grasa} + \% \text{ proteína} + \% \text{ cenizas}).$

4.10 DETERMINACIÓN DE MINERALES

El análisis de minerales, se llevó a cabo mediante espectrofotometría de emisión acoplada a plasma (ICP), para lo cual la muestra fue sometida previamente a una digestión en microondas.

Digestión de la muestra

Previo a la digestión, todo el material que tiene contacto con la muestra se lavó con una solución de HNO_3 al 5%.

La digestión de la muestra se llevó a cabo en un microondas marca Marx-X con una potencia de 1200 W y un carrusel para 14 vasos de teflón. Para ello, se pesaron 0.5g de muestra (previamente seca) en un vaso de digestión, se adicionaron de 10 a 15 mL de HNO_3 concentrado. Las muestras se introdujeron en el microondas y éste fue programado según el método diseñado por la compañía CEN (North Carolina USA) que consiste en tres etapas:

1. Las muestras alcanzan una temperatura de 200°C en 7 min.
2. Se mantienen a esta temperatura durante 10 min.
3. Se procede a un enfriamiento de 5 min.

Al cabo del proceso, el carrusel se retiró siguiendo las instrucciones de despresurización del microondas.



El producto de la digestión, una vez que se enfrió, se filtró con ayuda de un embudo de plástico de tallo corto y de papel Whatman No. 42. El filtrado se aforó a 50 mL con agua desionizada.

En cada corrida se introdujo al menos un testigo, es decir un vaso con la misma cantidad de ácido y sin muestra, esto a fin de tener una cantidad considerable de testigos para el cálculo del límite de detección del método. Una vez preparados los vasos en el carrusel, se procedió de la misma manera que para las muestras.

Análisis de espectrofotometría de emisión acoplado a plasma

El equipo empleado para la lectura de los minerales, fue un espectrofotómetro de emisión acoplado a plasma (ICP por sus siglas en inglés) marca Perkin-Elmer modelo Optima xl-3000 mediante el método de flama. Las curvas de calibración se prepararon de 0 a 30 ppm para el caso del Ca, K, Mg y Na y de 0 a 10 ppm para el resto de los elementos, partiendo de estándares de referencia de cada elemento, marca Solutions, con una pureza de 99.98%, preparados en matriz nítrica al 4%.

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

5.0 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los resultados, se utilizó el paquete SPSS versión 12.0. Las tablas de cada ANOVA realizado se muestran en el capítulo 9 (anexos 1 al 30).

Análisis de varianza

El análisis de varianza de un factor (ANOVA de una vía), determina si la diferencia entre las medias es demasiado grande como para deberse únicamente a los errores aleatorios cometidos en la obtención de los datos, la hipótesis nula del ANOVA particular de este estudio es que toda las medias obtenidas para cada componente de



avena, forman parte de una misma población con una misma varianza. De aceptarse esta hipótesis para cada ANOVA efectuado, se probaría que la composición química es igual para las diferentes avenas analizadas.

Todos los conjuntos de datos analizados cumplieron con el supuesto de normalidad. Puesto que cada órgano de la planta de avena, tiene una composición distinta, los análisis de varianza se hicieron de manera independiente para hojas, tallos y espigas. En cada ANOVA, la variable de respuesta tomó el papel de la variable dependiente y las distintas muestras el del factor por lo cual este siempre tuvo 5 niveles para el cultivo del 2003 y 4 niveles para el cultivo del 2004.

5.1 Prueba de Tukey

Como parte del análisis estadístico, también se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey con un 95 % de confiabilidad (Mendenhall, 1996)



6.0 RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Análisis proximal de espigas de avena

6.1.1 Humedad

En la tabla 9 se presentan los resultados del contenido de humedad de las espigas de la avena cultivada bajo diferentes sistemas de cultivo en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Tabla 9. Contenido de humedad en espigas de avena de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	6.96 ^a	0.07	VTC04	8.45 ^B	0.23
U1Rs03	8.35 ^b	0.33	VTR04	8.22 ^A	0.02
U1Rob03	8.42 ^b	0.07	AR04	7.98 ^A	0.11
ALCv03	6.88 ^a	0.24	U1R04	8.56 ^B	0.20
ALC03	7.73 ^b	0.24			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes.

El análisis estadístico realizado a las muestras correspondientes al ciclo otoño-invierno 2003, mostró la existencia de dos grupos significativamente diferentes en cuanto al contenido de humedad. Las muestras **VTR03** y **ALCv03** no presentaron diferencia



estadísticamente significativa, siendo este grupo el de menor contenido de humedad mientras que el de mayor contenido comprendió a las espigas *UIsR03*, *UIobR03* y *ALC03*.

El ciclo de cultivo 2004 también reveló dos grupos de muestras estadísticamente diferentes: las espigas *VTC04* y *UIR04* mostraron el mayor contenido de humedad, mientras que las muestras *VTR04* y *AR04* presentaron un contenido de humedad inferior.

Al comparar las espigas de avena cultivadas en Villas de Tezontepec, bajo el sistema de Rotación de Cultivos, en los ciclos de cultivo 2003 y 2004 (*VTR03* y *VTR04*) se observó una diferencia significativa en el contenido de humedad. Esto puede ser causado por factores como el manejo inadecuado del terreno, que provoca pérdida de humedad (por ejemplo cuando se remueve demasiado la tierra o su volteo es excesivo) y la falta de esquilmos (de la cosecha anterior), lo cual ayuda a mantener la humedad sobre el terreno (Cuddeford, 1995).

Independientemente de la variedad de avena cultivada, el contenido de humedad de las espigas provenientes de La Unión 1, (*UIRs03*, *UIRob03* y *UIR04*) cultivadas bajo el sistema de rotación no mostró diferencia estadísticamente significativa.

Los valores de humedad encontrados en las muestras analizadas (6.88-8.56%) son similares al valor de 8.1% reportado por Desrosier (1997) para avena laminada y son inferiores al 14% establecido como límite máximo en la norma internacional para la avena Codex Stan 201-1995 y al 15% señalado por Welch (1995) y en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, que establece disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales para cereales y sus productos. Esto representa una ventaja ya que un contenido de humedad menor al establecido implica menos gasto en el manejo del grano, además de ser menos propenso al deterioro (Callejo, 2002).



6.1.2 Cenizas

El contenido de cenizas de las espigas de avena analizadas se presenta en la Tabla 10. En ambos ciclos de cultivo se observaron tres grupos de muestras estadísticamente diferentes. En las muestras pertenecientes al ciclo 2003, se observó que el contenido de cenizas más bajo (2.09%) y el más alto (6.56%) provenían de las variedades *Saia* y *Obsidiana*, respectivamente, cultivadas en La Unión 1, bajo el sistema de Rotación de Cultivo.

Tabla 10. Contenido de cenizas de espigas cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	5.33 ^b	0.11	VTC04	3.76 ^A	0.03
U1Rs03	2.09 ^a	0.11	VTR04	5.14 ^B	0.07
U1Rob03	6.56 ^c	0.36	AR04	3.74 ^A	0.08
ALCv03	5.07 ^b	0.04	U1R04	5.67 ^C	0.07
ALC03	5.24 ^b	0.44			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda.

Con respecto a las espigas del ciclo 2004, las muestras **VTC04** Y **AR04** presentaron contenidos de cenizas estadísticamente similares, los cuales fueron inferiores a



aquellos determinados para las muestras **VTR04** y **UIR04** cuyo contenido de cenizas fue significativamente diferente.

Cabe resaltar que las espigas de la avena cultivada en Villa de Tezontepec, Hidalgo, bajo el sistema de Rotación de Cultivos (**VTR03** y **VTR04**) presentaron valores semejantes en ambos ciclos de cultivo, lo que podría indicar que tanto las condiciones ambientales como las del suelo fueron similares en los dos periodos bajo estudio.

Los contenidos de cenizas obtenidos (2.09-6.56%) fueron en todos los casos superiores al 1.8% reportado por Desrosier (1997) para avena laminada, esto se debió principalmente a que el análisis proximal se efectuó a las espigas, es decir, a los granos con las cascarillas, lo que evidencia que esta última parte contribuyó de manera importante en el aporte mineral de la espiga.

Las diferencias observadas entre los grupos definidos mediante el ANOVA podrían estar relacionadas con diferentes factores como el tamaño del grano ya que si éste es pequeño y corrugado presentará más salvado, lo que significaría un mayor contenido de cenizas y menor rendimiento harinero (Cuddeford,1995), factores genéticos (variedad), composición del suelo (riqueza en humus y disponibilidad de nutrientes, agronómicos (fertilizantes utilizados, densidad de siembra, cultivo anterior) y factores ambientales como la insolación y la humedad relativa (Shewry, 1992; Serna, 2001).

6.1.3 Fibra cruda

En la Tabla 11 se muestran los resultados del contenido de fibra de las espigas de avena analizadas. El ANOVA realizado a las espigas del ciclo de cultivo 2003, mostró un grupo heterogéneo en cuanto al contenido de fibra, ya que los resultados obtenidos presentaron diferencia significativa entre ellos, a diferencia de **UIRs03** y **ALC03** que no presentan diferencia significativa. En este grupo se observó el valor más alto (45.33%), el cual correspondía a una muestra proveniente de Apan, la cual fue recolectada en un estadio de madurez temprana (verde) y el valor más bajo (13.60%) perteneciente a una muestra de La Unión 1.



Tabla 11. Contenido de fibra de espigas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	36.10 ^c	0.86	VTC04	16.79 ^B	0.36
U1Rs03	13.60 ^a	0.77	VTR04	19.34 ^A	0.11
U1Rob03	23.68 ^b	0.58	AR04	18.58 ^A	0.23
ALCv03	45.33 ^d	2.04	UIR04	16.22 ^B	0.65
ALC03	15.75 ^a	0.87			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

A diferencia del ciclo de cultivo del 2003, en las muestras del ciclo de cultivo 2004, se distinguieron dos grupos estadísticamente diferentes. Las espigas **VTC04** Y **UIR04** presentaron un contenido de fibra cruda inferior al observado en las muestras **VTR04** y **AR04**.

Comparando las espigas cultivadas en Villa de Tezontepec bajo el sistema de Rotación de Cultivos, se observó que el contenido de fibra de **VTR03** fue significativamente superior al de **VTR04**. Estas diferencias pueden ser debidas a variaciones en las proporciones relativas del grano y de la cáscara que pueden oscilar de un 20 a un 40% debido a las diferencias en el genotipo, ambientales y a la composición del mismo. (Dendy y Bogdan, 2001; SAGAR, 1997).



La fibra de la avena tiene un interés especial ya que la fracción soluble es el principal componente de la avena con capacidad para reducir las tasas de colesterol (Dendy y Bogdan, 2001). En general, se observó un elevado contenido de fibra en todas las espigas analizadas ya que la literatura reporta valores de 5.6-12.1% para avena descascarillada y valores de 9.6 a 17.5% para la cascarilla o salvado (Fur, 1991; Dendy y Bogdan, 2001). Los resultados obtenidos en el presente estudio se deben a la presencia de la cascarilla o salvado, la cual contribuye con componentes como la lignina, celulosas y hemicelulosas, así como el beta-glucano que es materia insoluble y soluble que forma parte de la fibra cruda (Dendy y Bogdan, 2001).

6.1.4 Lípidos

El contenido de lípidos de las muestras estudiadas se presenta en la Tabla 12. Para las espigas pertenecientes al ciclo otoño-invierno 2003 el ANOVA realizado reveló la presencia de tres grupos significativamente diferentes, en donde la muestra de Apan recolectada verde (**ALCv03**), presentó el valor más bajo (2.09%), en comparación con las muestras **VTR03**, **U1Rs03** y **ALC03** que presentaron los porcentajes más elevados para este ciclo.



Tabla 12. Contenido de lípidos de espigas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE.	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	4.11 ^a	0.08	VTC04	4.15 ^A	0.56
UIRs03	3.88 ^a	0.11	VTR04	4.40 ^A	0.27
UIRob03	3.29 ^b	0.24	AR04	3.21 ^B	0.08
ALCv03	2.09 ^c	0.11	UIR04	2.80 ^B	0.11
ALC03	3.85 ^a	0.06			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

Con respecto al ciclo 2004, el contenido de lípidos de las espigas **VTC04** Y **VTR04** fue estadísticamente similar y superior al observado en las muestras **UIR04** y **AR04**.

Comparando el porcentaje de lípidos de las muestras cultivadas bajo el sistema de Rotación de cultivos en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004 (**VTR03** y **VTR04**), no se observó diferencia significativa en los valores.

En comparación con otros cereales, la avena contiene una alta cantidad de lípidos, siendo los valores reportados de 4.8 a 9.2% (Fur, 1991; Dendy y Bogdan, 2001). Los porcentajes de grasa determinados en este trabajo son inferiores a los mencionados, esto puede atribuirse a la presencia de la cascarilla, la cual contribuyó a diluir el contenido de grasa que presentarían los granos solos.

Tal como lo demuestra el contenido de grasa de la muestra de Apan recolectada verde, que fue el más bajo de todas las muestras analizadas. Los factores ambientales y



genéticos también pueden influir en el contenido y composición de la grasa (Welch, 1995; Dendy y Bogdan, 2001)

6.1.5 Proteína

La Tabla 13 muestra el contenido de proteína de las espigas analizadas. Para ambos ciclos de cultivo, se observaron dos grupos de medias significativamente diferentes. De las espigas correspondientes al 2003, las muestras **VTR03**, **UIRs03** y **ALCv03** no diferían significativamente en su contenido de proteínas y a la vez, constituían el grupo con menor valor proteico (6.73-8.97%) comparado con el grupo conformado por **UIRob03** y **ALC03** cuyos contenidos fueron estadísticamente similares (10.67-11.90% respectivamente).

Tabla 13. Contenido de proteína de espigas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	6.73 ^a	0.39	VTC04	9.58 ^A	0.11
UIRs03	8.97 ^a	0.70	VTR04	9.70 ^A	0.73
UIRob03	10.67 ^b	1.62	AR04	8.38 ^B	0.17
ALCv03	7.82 ^a	0.28	UIR04	9.30 ^A	0.46
ALC03	11.90 ^b	0.55			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda



En cuanto a las muestras de avena del 2004, la avena cultivada en Apan bajo Rotación de Cultivos, presentó el menor contenido proteico (8.38%) con respecto al grupo de muestras integrado por *VTC04*, *VTR04* y *UIR04*, cuyo contenido de proteína fue estadísticamente similar (9.30-9.70%). La diferencia significativa observada en el contenido de proteínas de las espigas de avena cultivadas en Villa de Tezontepec bajo Rotación de Cultivos, para los dos ciclos de cultivo estudiados podría deberse principalmente a factores ambientales.

En general, los valores de proteína determinados para las muestras de avena, fueron inferiores a los reportados en la literatura (Fur, 1991; Dendy y Bogdan, 2001) donde se indican porcentajes de proteína de 11.2-16% para el grano y de 8.6-21.4% para la cascarilla. Al igual que en el caso de los otros componentes químicos estudiados, la presencia de la cascarilla diluyó el contenido proteico de las muestras analizadas. La cantidad de proteína del grano de avena varía ampliamente, aunque en esta variación influye la variedad, el factor más importante son las condiciones ambientales. Así todas las prácticas agronómicas que mejoran el rendimiento inducen a una reducción en el contenido de proteínas. No obstante, los fertilizantes nitrogenados sobre todo si se aplican retrasados pueden aumentar el contenido de las mismas (Guerrero, 1996; Dendy y Bogdan, 2001;). Otros factores que influyen en el contenido de proteína son los relacionados con el análisis como la humedad, tamaño de partícula y tiempo transcurrido después de la molienda.

6.2 Análisis proximal de hojas y tallos (paja) de avena

Las hojas y los tallos de avena han sido mayormente analizados de manera conjunta como paja, sin embargo, en este trabajo se han estudiado separadamente por lo que se discuten de esta manera.



6.2.1 Humedad

En la tabla 14 se presentan los resultados del contenido de humedad en hojas para ambos ciclos de cultivo, los cuales se encontraron en un rango de valores muy cercano: de 5.82 a 8.72% para el ciclo de cultivo 2003 y de 6.76 a 7.42% para el ciclo 2004.

Tabla 14. Contenido de humedad de hojas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	6.49 ^a	0.60	VTC04	6.75 ^A	0.42
U1Rs03	6.36 ^a	0.21	VTR04	6.77 ^A	0.27
U1Rob03	5.82 ^a	0.53	AR04	7.42 ^B	0.09
ALCv03	8.72 ^b	0.37	U1R04	7.16 ^A	0.23
ALC03	7.65 ^b	0.15			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes.

En cuanto a la humedad de los tallos, al igual que para las hojas, en el ciclo de cultivo 2004, se observaron valores próximos entre sí, tal como se muestra en la Tabla 15. Las muestras cultivadas en 2003 presentaron una mayor heterogeneidad en los resultados, esto se reflejó en el anova el cual mostró la presencia de 4 grupos significativamente diferentes.



Tabla 15. Contenido de humedad de tallos cultivados en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE.	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	5.86 ^a	0.20	VTC04	7.46 ^B	0.23
U1Rs03	5.88 ^a	0.10	VTR04	7.42 ^B	0.32
U1Rob03	7.27 ^b	0.45	AR04	6.43 ^A	0.18
ALCv03	9.33 ^c	0.12	U1R04	7.17 ^B	0.06
ALC03	7.49 ^b	0.06			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda.

El contenido de humedad de los tallos de la avena cultivada en Villa de Tezontepec bajo el sistema de Rotación de Cultivo fue significativamente diferente en ambos ciclos de cultivo, lo que podría deberse a variaciones en las condiciones climáticas, especialmente a precipitaciones. Estos datos contrastan con los encontrados en las hojas para las mismas muestras, cuyos valores fueron estadísticamente semejantes. Este hecho podría deberse a diferencias durante el secado de los distintos órganos en estado fresco así como en el posterior almacenamiento.

De manera general, el contenido de humedad determinado en las pajas analizadas, fue inferior al 12.5% establecido como máximo por el Departamento de Agricultura y Alimentación de Australia (<http://www.agric.wa.gov.au>, Oat Quality and Harvest) y al 14.3% reportado en la literatura, ambos para paja de avena (<http://www.infoagro.com>, El cultivo de la avena).



6.2.2 Cenizas

En la Tabla 16 se presentan los resultados del contenido de cenizas de las hojas analizadas, donde se puede observar heterogeneidad en los resultados ya que el ANOVA realizado reveló la presencia de tres grupos de medias estadísticamente diferentes para el ciclo de cultivo 2003 y cuatro grupos para el ciclo 2004. El valor más bajo (9.52%) y el más alto (20.4%) correspondieron a las muestras provenientes de La Unión 1, bajo el sistema de Rotación de Cultivos, en el ciclo de cultivo 2004 y 2003, respectivamente.

Tabla 16. Contenido de cenizas de hojas cultivadas de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE.
VTR03	14.98 ^a	0.66	VTC04	11.68 ^A	0.11
U1Rs03	14.40 ^a	0.28	VTR04	14.80 ^B	0.19
U1Rob03	20.40 ^b	0.34	AR04	13.44 ^C	0.31
ALCv03	14.82 ^a	0.46	U1R04	9.52 ^D	0.20
ALC03	16.49 ^c	0.25			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

En cuanto a los resultados del contenido de cenizas de los tallos estudiados, en el ciclo de cultivo del 2003 se observó una marcada homogeneidad en cuatro de las cinco muestras analizadas a diferencia de los resultados correspondientes al ciclo 2004



donde se obtuvieron resultados significativamente diferentes para todas las muestras bajo estudio (Tabla 17). Cabe hacer notar que el menor contenido de cenizas tanto para hojas como para tallos, fue observado en las muestras cultivadas en La Unión 1 en el ciclo 2004.

Tabla 17. Contenido de cenizas de tallos cultivados en los ciclos otoño-invierno 2003 y2004.

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	6.42 ^a	0.15	VTC04	7.66 ^A	0.23
U1Rs03	7.54 ^b	0.73	VTR04	7.86 ^B	0.08
U1Rob03	7.69 ^b	0.14	AR04	7.52 ^{AC}	0.02
ALCv03	7.98 ^b	0.20	U1R04	4.73 ^D	0.02
ALC03	7.74 ^b	0.85			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

El contenido de cenizas de las hojas de las muestras cultivadas en Villas de Tezontepec bajo el sistema de rotación de Cultivos no fue significativamente diferente en ambos ciclos de cultivo, a diferencia de los resultados observados para los tallos.

Estos datos concuerdan con los reportados para paja de cebada y trigo, donde el menor contenido de cenizas fue observado en las muestras de tallos (Jiménez, 2005; Hernández, 2006).



La literatura reporta valores de cenizas para paja de avena que van de 5.7 a 9.1% (McDowel, 1974; Salmerón y col., 2003), estos datos son comparables a los resultados obtenidos para los tallos en el ciclo de cultivo 2003 (6.42-7.98%) y 2004 (4.73-7.86%). Sin embargo, en el caso de las hojas, se encontraron valores superiores, de 14.40 a 20.40% en el 2003 y de 9.52 a 14.80% en el 2004. Las variaciones en el contenido de cenizas de las hojas y tallos analizados pudieron estar influenciadas por la composición del suelo, los fertilizantes aplicados y la cantidad de polvo presente en ellos, entre otros factores (Staniforth, 1980).

6.2.3 Fibra cruda

En la tabla 18 se presentan los resultados del contenido de fibra de las hojas de la avena cultivada en 2003 y 2004. De acuerdo al ANOVA realizado, para 2003. Se determinaron cuatro grupos estadísticamente diferentes y 3 grupos para 2004. En el caso de 2003, los valores de fibra se encontraron en un intervalo de 23.58 a 40.16% y para 2004 de 29.81 a 34.65%.



Tabla 18. Contenido de fibra en hojas cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras	Media	DE	Muestras	Media	DE
2003			2004		
VTR03	40.16 ^a	0.93	VTC04	32.48 ^A	0.61
U1Rs03	35.67 ^b	0.65	VTR04	30.78 ^B	0.50
U1Rob03	33.97 ^b	1.76	AR04	34.65 ^C	0.83
ALCv03	23.58 ^c	0.70	U1R04	29.81 ^B	0.70
ALC03	30.83 ^d	0.63			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

Con respecto a los tallos, se observaron tres grupos estadísticamente diferentes para los dos ciclos de cultivo (Tabla 19). Los porcentajes de fibra determinados fueron de 38.20 a 45.03% y de 37.49 a 49.08% para las muestras de 2003 y 2004, respectivamente.

Tanto en las hojas como en los tallos de la avena perteneciente a Villa de Tezontepec, cultivada bajo Rotación de Cultivos se observó diferencia significativa en los porcentajes de fibra determinados en 2003 y 2004. Esto pudo deberse principalmente a la composición del suelo y a los fertilizantes empleados.



Tabla 19. Contenido de fibra en tallos cultivados de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	43.83 ^a	0.33	VTC04	49.08 ^A	0.99
UIRs03	45.03 ^a	1.00	VTR04	39.16 ^{BC}	0.32
UIRob03	40.99 ^b	0.65	AR04	40.87 ^C	0.4
ALCv03	39.84 ^b	0.58	UIR04	37.49 ^B	0.94
ALC03	38.20 ^c	0.69			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

De manera general, se observó que los tallos de todas las avenas estudiadas presentaron un mayor porcentaje de fibra cruda que las hojas. La cantidad de componentes fibrosos de los tallos (celulosa, hemicelulosa, etc.) en comparación con las hojas podría explicar el origen de esta diferencia. Los valores de fibra encontrados en los tallos son similares e incluso algunos son superiores a los reportados para la paja de avena (39.6%) (McDowel, 1974). Esto concuerda con los estudios realizados por Staniforth (1980) donde se reportó una mayor acumulación de fibra en tallos que en hojas.



6.2.4 Lípidos

En la Tabla 20 se muestran los resultados del contenido de lípidos en hojas de avena de los ciclos de cultivo 2003 y 2004, los cuales no mostraron homogeneidad al observarse cuatro grupos estadísticamente diferentes en el ciclo 2003 y dos para el ciclo 2004. A excepción de las hojas de la muestra cultivada en Apan y recolectada verde, que mostró un valor notablemente elevado (15.87%), el resto presentó un contenido de lípidos comprendido entre 1.44 y 5.33%.

Tabla 20. Contenido de lípidos en hojas cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	1.54 ^a	0.10	VTC04	2.97 ^A	0.27
UIRs03	2.26 ^b	0.15	VTR04	3.14 ^A	0.29
UIRob03	1.44 ^a	0.04	AR04	2.55 ^A	0.16
ALCv03	15.87 ^d	0.16	UIR04	1.63 ^B	0.16
ALC03	5.33 ^c	0.05			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

Observando los resultados de las muestras de tallos presentados en la tabla 21, podemos notar que los contenidos de lípidos son menos variables que los de las hojas ya que el ANOVA reveló sólo dos grupos significativamente diferentes para cada ciclo de cultivo. Sin embargo, cabe mencionar que al igual que en el caso de las hojas, en el



ciclo 2003, los tallos provenientes de la muestra de Apan, recolectada verde, presentaron un elevado contenido de lípidos (2.54%) comparado con el de las muestras restantes (0.32-0.83%), lo que podría atribuirse a la presencia de pigmentos u otros componentes liposolubles asociados al estadio de maduración en el que se efectuó la recolección tal como lo establecen Staniforth (1980) y Shewry (1992) quienes indican que conforme la maduración avanza, el contenido de grasa de la paja de cereales disminuye.

Para la muestra proveniente de Villa de Tezontepec cultivada bajo Rotación de Cultivos, se observaron diferencias significativas en el contenido de lípidos tanto de tallos como de hojas en ambos ciclos de cultivo.

Tabla 21. Contenido de lípidos en tallos cultivados en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras	Media	DE	Muestras	Media	DE
2003			2004		
VTR03	0.55 ^a	0.09	VTC04	0.45 ^A	0.03
U1Rs03	0.59 ^a	0.07	VTR04	0.83 ^B	0.01
U1Rob03	0.63 ^a	0.01	AR04	0.58 ^{AB}	0.20
ALCv03	2.54 ^b	0.22	U1R04	0.32 ^A	0.02
ALC03	0.65 ^a	0.01			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

Con excepción de la muestra recolectada en Apan, los tallos presentaron un menor contenido de lípidos que las hojas. Los valores de grasa determinados en la paja estudiada (hojas+tallos) para ambos ciclos de cultivo, son similares a los reportados en diversos estudios sobre paja de avena, que se encuentran en el intervalo de 2.2 a 4.9% (McDowel, 1974; López y col., 2001; Salmerón y col., 2003). Las variaciones en los



resultados pueden deberse al sistema de cultivo utilizado, ya que se ha reportado que las modalidades de cultivo puedan influir en las características de la paja (Staniforth, 1980).

6.2.5 Proteína

El contenido de proteína de las hojas estudiadas en los ciclos de cultivo 2003 y 2004 se muestra en la Tabla 22, donde se puede observar la heterogeneidad entre las medias, ya que para cada ciclo de cultivo, el ANOVA realizado indicó la presencia de tres grupos. Al igual que en el caso de la grasa, las hojas de la muestra cultivada en el ciclo 2003, en Apan y recolectada verde, presentó un elevado porcentaje de proteína (7.74%) comparado con el resto de las muestras que presentaron contenidos de 0.52 a 4.78%. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Jiménez (2005) quien reporta un contenido superior de proteína en hojas y tallos de trigo recolectados en un estadio temprano de maduración, comparados con sus homólogos maduros. Es probable que esto se deba a la presencia de compuestos nitrogenados no proteicos que disminuyen conforme la madurez aumenta.



Tabla 22. Contenido de proteína en hojas cultivadas en los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	0.52 ^a	0.06	VTC04	3.21 ^A	0.13
U1Rs03	0.58 ^a	0.05	VTR04	2.17 ^B	0.20
U1Rob03	2.08 ^b	0.10	AR04	4.78 ^C	0.06
ALCv03	7.74 ^c	0.34	U1R04	2.04 ^B	0.25
ALC03	2.24 ^b	0.09			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

En el caso del contenido proteico de los tallos, el ANOVA realizado reveló tres grupos de medias significativamente diferentes para cada ciclo de cultivo (Tabla 23). En el ciclo de cultivo 2003, el porcentaje de proteína determinado varió de 0.49 a 2.09%, mientras que para el ciclo 2004 fue de 0.8 a 1.78%.

Las hojas y los tallos de la muestra cultivada en Villa de Tezontepec, bajo Rotación de Cultivos correspondiente al ciclo 2004, presentaron contenidos de proteína superiores a los obtenidos en el ciclo 2003. Como ya se había mencionado anteriormente, el contenido de proteína puede variar dependiendo de los fertilizantes nitrogenados utilizados, del momento en que se aplique o de la cantidad empleada (Guerrero, 1996; Dendy y Bogdan, 2001).



A excepción de tres muestras de hojas (**ALCv03**, **AR04**, **VTC04**), los valores de proteína determinados para la paja estudiada fueron inferiores a los reportados en diversos estudios y que comprenden un intervalo de 2.35 a 13.6% para la paja de avena (www.infoagro.com; McDowel, 1974; Salmerón y col., 2003). Estos resultados podrían ser debidos a que la composición química y valor nutritivo varía en función de la especie y variedad cultivada, así como también de las condiciones climáticas y de los métodos de cultivo (<http://www.infoagro.com>, El Cultivo de la Avena)

Tabla 23. Contenido de proteína en tallos cultivados de los ciclos otoño-invierno 2003 y 2004.

Muestras 2003	Media	DE	Muestras 2004	Media	DE
VTR03	0.51 ^a	0.16	VTC04	1.60 ^{AB}	0.05
U1Rs03	0.84 ^b	0.16	VTR04	1.47 ^A	0.17
U1Rob03	0.49 ^a	0.17	AR04	1.78 ^B	0.11
ALCv03	1.89 ^c	0.06	U1R04	0.80 ^C	0.05
ALC03	2.09 ^c	0.21			

DE: Desviación estándar. 95% de confiabilidad. Superíndices iguales indican medias estadísticamente semejantes. Todos los resultados se presentan en base húmeda

6.3 Carbohidratos

La Tabla 24 presenta los resultados obtenidos para los carbohidratos determinados por diferencia en las espigas, hojas y tallos correspondientes a los ciclos de cultivo 2003 y



2004. Cabe hacer notar que para todas las muestras, el contenido de carbohidratos de las espigas fue superior al encontrado en hojas y tallos. Esto se debe a que los hidratos de carbono son el principal componente del grano de avena, que a su vez está compuesto sobre todo de almidón (59-60%) y azúcares como maltosa, sacarosa, glucosa, galactosa y rafinosa. Sin embargo, los carbohidratos no estructurales son menores en la cascarilla, la cual es más rica en fibra, proteína y cenizas. Por otra parte, en los tallos y en las hojas predominan los carbohidratos estructurales como la celulosa, hemicelulosa, pentosanos y lignina que aunque no es un carbohidrato, forma parte del material estructural de la pared celular. Estos resultados son similares a los reportados para espigas, hojas y tallos de trigo y cebada (Jiménez, 2005; Hernández, 2006).

Tabla 24. Carbohidratos asimilables calculados por diferencia (g/100g de muestras)

MUESTRAS	ESPIGAS	HOJAS	TALLOS	MUESTRAS	ESPIGAS	HOJAS	TALLOS
VTR03	47.75	42.81	48.69	VTC04	65.75	49.67	41.21
U1Rs03	71.48	47.12	46.01	VTR04	61.44	49.12	50.71
U1Rob03	55.83	42.12	50.21	AR04	66.11	44.59	47.21
ALCv03	39.69	38.01	47.77	U1R04	66.03	57.02	56.67
ALC03	63.3	45.13	51.33				



6.4 Minerales de las espigas, hojas y tallos de avena del cultivo 2003 y 2004

Los minerales estudiados en este trabajo fueron el **Na, Mg, Ca y K** considerados como macronutrientes y el **Fe, Mn, Zn, Cu y B**, agrupados como micronutrientes, debido a que estos elementos son los más abundantes en la planta de avena.

Las gráficas 1 y 2 muestran los macro y micronutrientes determinados en las espigas de avena correspondientes al ciclo de cultivo 2003 y 2004 respectivamente.

Dentro de los macronutrientes, los minerales más abundantes para el ciclo de cultivo 2003 fueron el K, Ca, Mg y Na, siendo el K el que presentó los valores más altos, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Jiménez (2005) y Hernández (2006) quienes cuantificaron elevadas concentraciones de K en las espigas de trigo y cebada respectivamente. Después del N, el K es el mineral que más absorbe la planta y que se moviliza rápidamente acumulándose con facilidad en las zonas de mayor actividad vegetativa (Fuentes, 1989; Tisdale y Nelson, 1991) por ello se observó una menor acumulación en las espigas que en las hojas y tallos (gráficas 3 y 4). Siendo en este último en donde se observó la mayor acumulación de este mineral.

En todos los casos, los valores de K observados fueron superiores al reportado para el grano entero de avena perlada (355 mg/100g) (Tabla de Composición de alimentos, 2001). Esto podría deberse a la contribución de la cascarilla, que como ya se mencionó anteriormente es más rica en minerales que el grano solo (FEDNA, 2003). El alto contenido en K observado podría resultar benéfico para las plantas, ya que a mayor contenido de K, mayor producción de azúcares, fibra y otros compuestos especializados y mayor rendimiento de materia seca en las mismas (Yañez, 2002), sin embargo, cantidades excesivas de este elemento también resultan contraproducentes para la planta, ya que pueden ocasionar deficiencias de Mg, Ca, Fe y Zn (Fuentes, 1989).

El segundo macronutriente en abundancia para las espigas del ciclo 2003 fue el Ca, sin embargo, en el ciclo de cultivo 2004, esta posición fue ocupada por el Mg. A diferencia de las hojas y tallos, en donde, en general, para ambos ciclos de cultivo el



Ca ocupó el segundo lugar. El contenido de Ca en las hojas fue siempre superior en comparación con el de los tallos y las espigas. Todos los valores de Ca obtenidos en las espigas fueron superiores a los 70-80 mg/100g reportados para el grano de avena perlada (Tabla de Composición de Alimentos, 1991; FEDNA, 2003). Sin embargo, los valores de Ca determinados para las hojas de ambos ciclos de cultivo fueron superiores a los reportados para paja de avena (390mg/100g de muestra) (www.sanidadanimal.com, Manuales Bayer) mientras que los valores para los tallos fueron inferiores. Además de la cascarilla, otros factores que pudieron haber contribuido en la acumulación de Ca en las espigas son factores asociados al suelo ya que éstos determinan su disponibilidad para la planta (Hernández, 2006).

El Mg fue el tercer elemento detectado en elevadas concentraciones en las espigas pertenecientes al ciclo de cultivo 2003 lo que concuerda con los datos proporcionados por Hernández (2006), quien reporta este mineral como el tercero en abundancia en espigas de cebada. Con respecto a las hojas y tallos de este mismo ciclo de cultivo, resulta difícil definir una tendencia en cuanto a abundancia de los macroelementos debido a la variabilidad de los resultados aunque si es claro que el Mg en este caso, fue el elemento menos abundante. Para las muestras de espigas del ciclo de cultivo 2004, el Ca fue el tercer elemento más abundante lo que coincide con los valores reportados por Jiménez (2005) para espigas de trigo. En relación a las hojas correspondientes a este ciclo, se observó que el Mg ocupó el tercer lugar en abundancia, lo que no sucedió para los tallos, donde Las Tablas de Composición de Alimentos (1991) reportan un contenido de Mg de 130 mg/100g para el grano de avena. Todas las concentraciones determinadas de este mineral en las espigas de ambos ciclos de cultivo superan este valor. Al igual que para el K y el Ca, esto puede ser explicado por la presencia de la cascarilla, la cual contribuye de manera importante en la concentración de minerales. Otro factor que no puede ser descartado y que también podría haber contribuido en la acumulación de este mineral en las espigas es que su absorción depende de la cantidad presente en el suelo, del grado de saturación y de la naturaleza de otros iones intercambiables (Tisdale y Nelson, 1991).



De los macrominerales estudiados, el Na fue el elemento determinado en menores concentraciones en las espigas de ambos ciclos de cultivo, así como en las hojas del ciclo 2004. Los valores de Na cuantificados en las espigas de avena estudiadas se encontraron entre 29.6 y 50.8 mg/100g de muestra y estos resultaron superiores a los reportados en la literatura para el grano de avena (Tabla de Composición de Alimentos, 1991; FEDNA, 2003).

Los microminerales (Cu, Fe, Mn y Zn) determinados en las espigas de avena de ambos ciclos de cultivo se encontraron en concentraciones inferiores en comparación con el Ca, Mg, K y Na, e incluso algunos como el Cu y el Mn no fueron detectados por el método empleado en todas las muestras de 2004, incluidas hojas y tallos, lo que podría deberse al nivel de materia orgánica presente en el suelo, al pH, a la presencia de iones metálicos como el Fe, Mn y Al y a variaciones en el método (Montañez, 1979; Domínguez, 1988; Tisdale y Nelson, 1991). No obstante, para el ciclo de cultivo 2003, el Cu y el Mn se detectaron en cantidades traza en todos los órganos analizados.

El Fe fue el único micromineral detectado en todos los órganos estudiados en ambos ciclos de cultivo, de hecho, fue el mineral más abundante salvo para las espigas del 2003, lo cual concuerda con lo reportado por Hernández (2006) para espigas de cebada, donde el Cu y el Fe representaron la fracción mayoritaria de los microminerales analizados y también con lo reportado en la literatura para granos de avena (Tabla de Composición de Alimentos, 1991; FEDNA, 2003). El contenido de Fe presente en las espigas estudiadas fue superior a los valores reportados en la literatura (Tablas de Composición de Alimentos 1991; FEDNA, 2003).

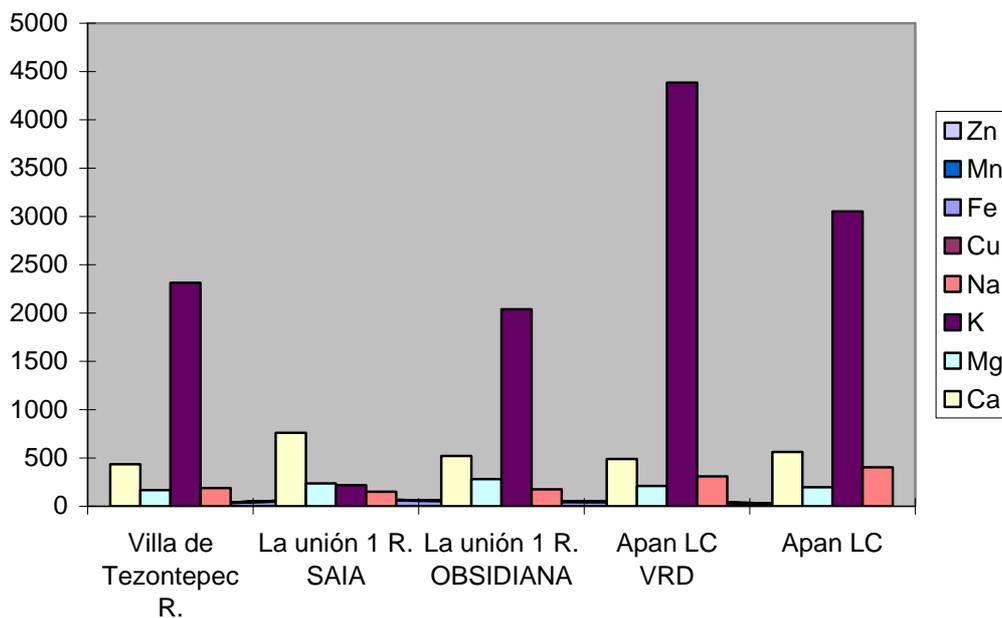
Entre los factores que mayormente influyen en la asimilación de microminerales se encuentran la actividad microbiana, las variaciones climáticas (a mayor temperatura mayor absorción), las precipitaciones y las interacciones entre elementos (Domínguez, 1988; Tisdale y Nelson, 1991).

El contenido de minerales en los diferentes órganos de la planta de avena, en particular la espiga y la paja, nos permite conocer las cantidades de elementos extraídos durante



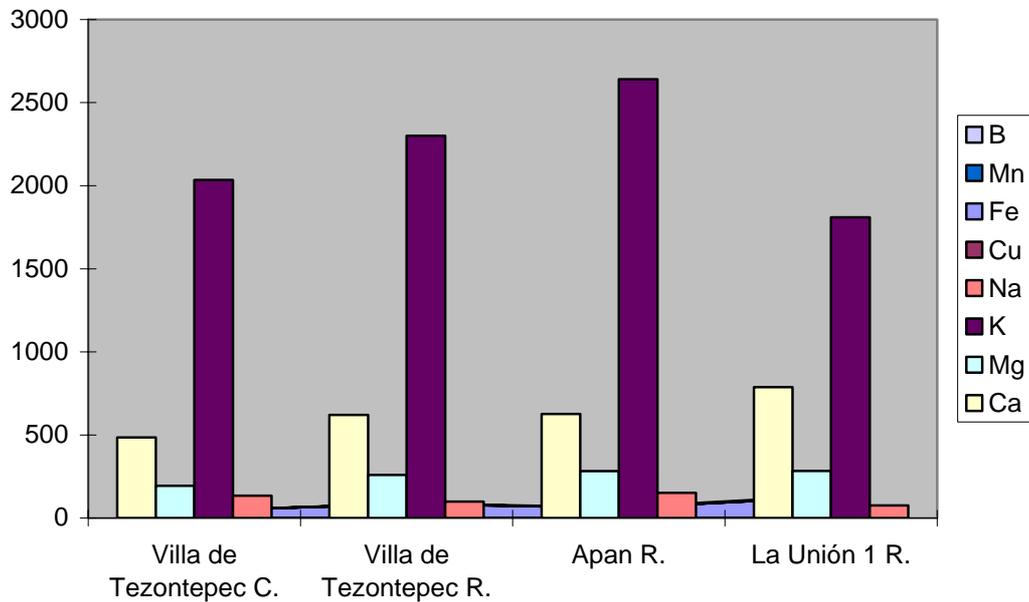
el cultivo (Bellido 1991). Las sales minerales son muy variables en su composición y depende de muchos factores como la variedad, el tipo de terreno, el clima, la fertilización, la variedad de avena, factores genéticos, composición del terreno, así como también la etapa de madurez al momento de la cosecha (Quaglia 1991. Belitz, 2000).

Gráfica 1. Contenido de minerales presentes en espigas de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2003

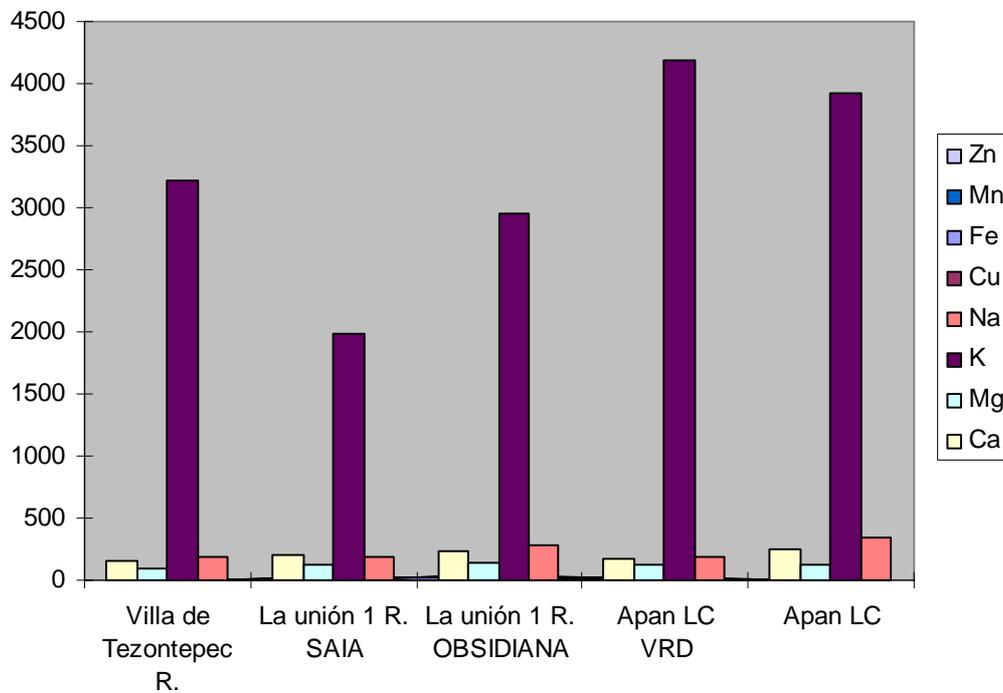




Gráfica 2. Contenido de minerales presentes en espigas de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2004

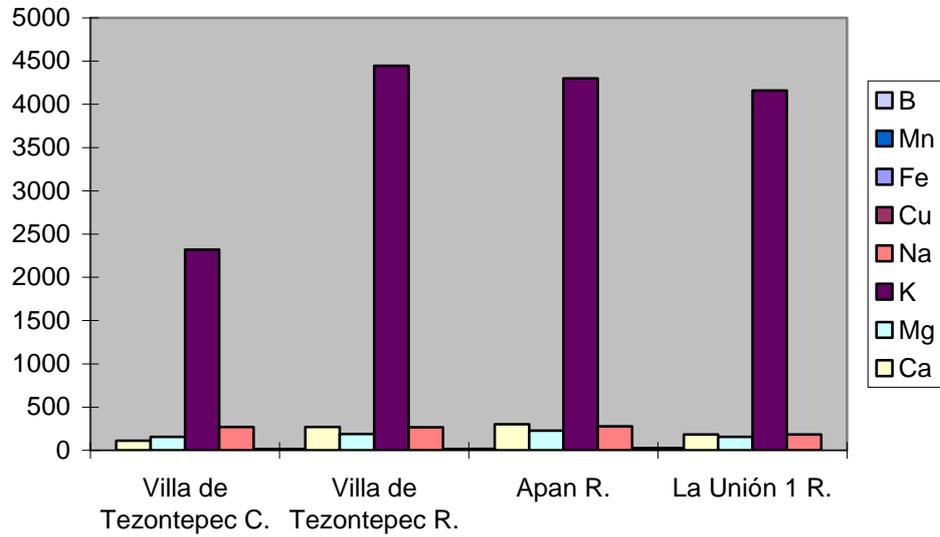


Gráfica 3. Contenido de minerales presentes en hojas de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2003

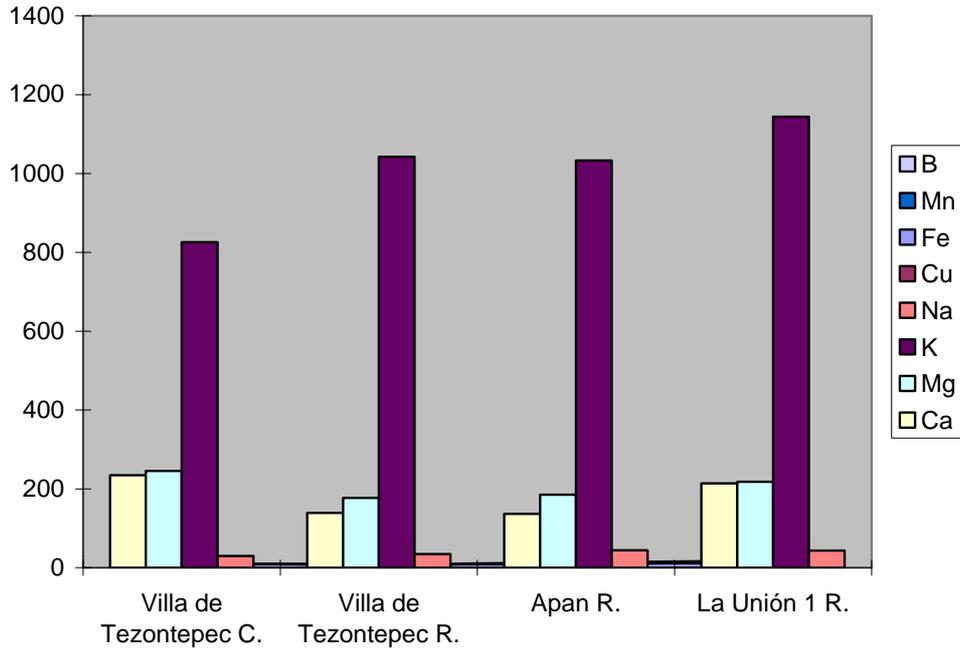




Gráfica 4. Contenido de minerales presentes en hojas de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2004

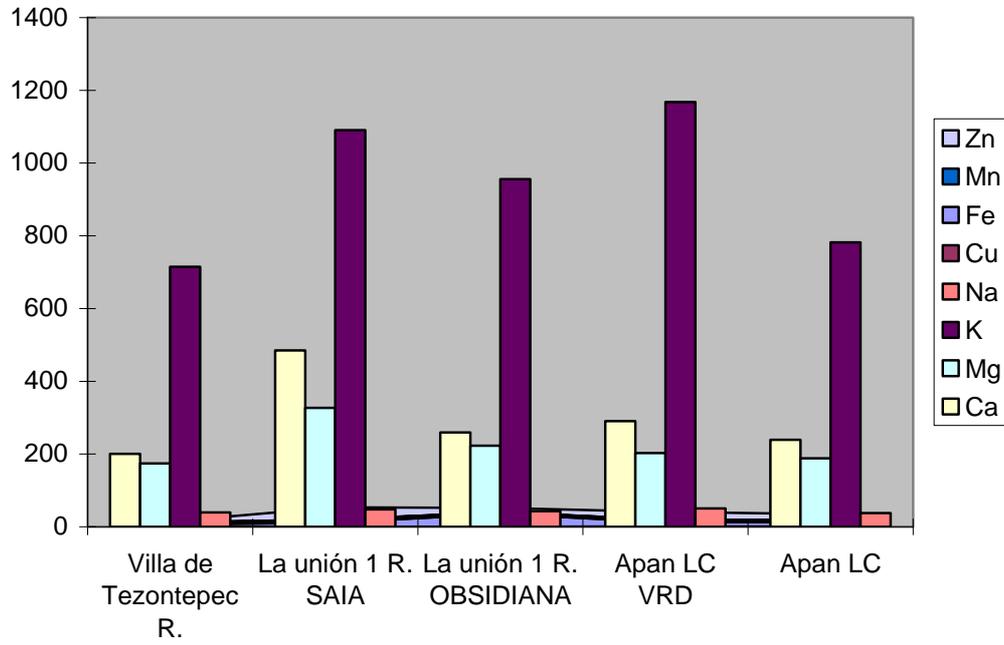


Gráfica 5. Contenido de minerales presentes en tallos de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2004





Gráfica 6. Contenido de minerales presentes en tallos de avena pertenecientes al ciclo de cultivo 2003





7.0 CONCLUSIONES

1. Las muestras de avena estudiadas mostraron una composición química distinta entre sí, incluso, aquellas sembradas bajo el mismo sistema de cultivo.
2. El estadio de maduración influye en la composición química de la avena, tal como lo demostró la muestra proveniente de Apan recolectada en una etapa de maduración temprana, ofreciendo la posibilidad de brindar un mayor aporte nutricional al ganado, en el caso de emplearse como forraje.
3. El potasio fue el mineral predominante en todas las muestras analizadas, seguido del calcio y del magnesio.
4. No se observaron diferencias importantes en la composición química de espigas, hojas y tallos de avena cultivada bajo distintos sistemas de cultivo, lo que podría indicar que no se están aplicando de manera adecuada ya que diversos estudios han demostrado las ventajas de sistemas como la rotación de cultivos en relación con la labranza convencional.
5. Sería necesario realizar un estudio de mayor duración a fin de establecer si el sistema de cultivo es un factor determinante en la composición química de las muestras.



8.0 BIBLIOGRAFÍA

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Published by AOAC. Inc. Helrich K (Editor). 15th edition, Arlington, Vol. I and II. p. 17-18, 40, 62, 69-83, 1012.

Arrellano M. M. I. 2000. Evaluación de la Paja de Avena (*Avena Sativa L*) Cebada (*Hordeum Vulgare L*) y Olote de Maíz(*zea mays L*) Como Sustratos en el Desarrollo de Pleurotas de Jamour Rosa (*fries*) boedjin Sansu Lato, Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo México. p. 26-28.

Bellido. L. L 1991. Cultivos Herbáceos. Cereales. Mundi-Prensa. Madrid España. Vol. 1 p. 129-535, 252-255.

Belitz, H.D. Grosch, W. 2000. Segunda edición. Acribia. Química de los Alimentos p. 761-76.

Callejo, G.M.J. 2002. Industrias de Cereales y Derivados. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. España. p. 21-36, 169-175.

Carpanta M. O. 1998. Características de la Calidad de Avena *Sativa L* en el Estado de México. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 5-28.

Charley, H. 2000. Tecnología de los Alimentos, Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos. México: Limusa/Noriega. p. 626.

Cuddeford, D.1995. Oats for Animal Feed. In R.W. Welch, The Oat and Crop Production and Utilization. Chapman and Hall. London. p.321-368.

Codex Stan 201-1995. Norma del Codex para la Avena.



Colyer, T. E., y Luthe, D. S. 1984. Quantization of Oat Globulin by Radioimmunoassay. *Plant physiology*. p. 74,455-456.

Crovetto, L.C. 1999. Agricultura de Conservación. Madrid: Eumedisa/Mundi Prensa [Colección Vida Rural]. p. 316-320.

D'Appolonia. B. L. 1995. Cereals and Legumes in the Food Supply. Factors influencing the Quality of Bread Wheats. American Association of Cereals Chemists. St. Paul MN. USA.

Dahle, C. D., y Nelson, D. H., 1981. Antioxygenic Fractions of Oat and Soybean Flour. *Journal of Dairy Science*. p. 24, 29-39.

Díaz. Barriga F. 1997. Evaluación de Riesgo para la Salud en la Población Expuesta a Metales en Bolivia. 1ª Edición. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud de la Organización Panamericana de Salud. México. p. 105-108.

Dendy, D.A.V. y Bogdan, J. D. 2001. Cereales y Productos Derivados. Química y Tecnología. Zaragoza, España: Acribia. p. 457-480.

Desrosier, N.W. 1997. Elementos de Tecnología de Alimentos. México: Continental. p. 176-178 .

Domínguez. V. A. 1988. Los Microelementos en Agricultura. Mundi- Prensa Madrid. España. p. 15-234.

Enciclopedia Temática. 1988. Tomo 2. 32ª Edición. Editorial Cumbre.

Englyst, H.N., Bingham, S.A., Runswick, S.A., Collinson, E., and Cummings, J.H. 1989. Dietary fibre (non-starch polysaccharides) in Cereal Products. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. p 2, 253-271.



Evans, R., Jee, M., H., Gibson, R.K., y Sanders, N.H. 1988. Viscosity Reducing Agent Oats. International patent, PCT WO 88/08253.

FAO E IFA. 2002. Los fertilizantes y sus usos. 4ª Edición . IFA. Roma.

FEDNA, 2003. Tablas FEDNA de Composición y Valor Nutritivo de Alimentos para la Formulación de Piensos Compuestos (2ª ed.). C. de Blas, G.G. Mateos y P.G. Rebollar. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. p. 423.

Fuentes, Y.J. 1989. El Suelo y los fertilizantes 3ª Edición. Madrid: Mundi- Prensa. Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. p. 165-185.

Fur L. H. Carching B. M. 1991. Tablas de Composición de Alimentos. El Pequeño Souci. Fachman- Kraut. Edición del Deutsche Forschungsanstalt. Acribia. 160-165.

García Hernández, J.L., Treyo Dieguez, E. y Murillo Amador, B. 2000. Apuntes de Labranza Mínima y Labranza de Conservación. p. 4-29.

García, I. y Dorronsoro, C. 1997. Tecnología de suelos. Departamento de Edafología. Universidad de Barcelona. España. p. 3-5. Disponible en. www.edafología.ugr.es (Consultada el 19 de Junio del 2007).

Guerrero A. 1996. El Suelo, Los Abonos y Fertilización de los Cultivos. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Hernández Madrigal, Tania Samanta. 2006. Estudio de la Composición Química de Cebada, cultivada en Zapotlán, Villa de Tezontepec y Tultengo, Hidalgo. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Jiménez O. M. I. 2005. Estudio de la Composición Química de Granos, Hojas y Tallos de Trigo Cultivados en Villa de Tezontepec, Hidalgo y La Unión 1, Tlaxcala. Tesis



para obtener el grado de Licenciado en Química en Alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Lampkin, Nicolas, 1988. Agricultura ecológica. Mundi Prensa, Madrid. España.

Leggett, J.M., and H.Thomas. 1995. Oat evolution and cytogenetics. New Diploid *Avena* species discovered on the Canary Islands. Can. p. 121–149.

Leord. W. H. y J.H. Martin. 1983. Cereal Crops. New York: McMillan. p. 824.

López V., A., Morales S., M. S., Cabrera C., R. *et al.* Ingestión y digestibilidad Aparente de Forrajes por la llama (*Lama glama*). II. Heno de Trébol Rosado (*Trifolium pratense*), Heno de Ballica (*Lolium multiflorum*), Paja de Poroto (*Phaseolus vulgaris*) y Paja de Avena (*Avena sativa*): Intake and apparent digestibility of forages in llamas (*Lama glama*). II. clover hay (*Trifolium pratense*), rieggrass hay (*Lolium multiflorum*), Beans Straw (*Phaseolus vulgaris*) and Oat Straw (*Avena sativa*). *Arch. med. vet.* [online]. 2001, vol.33, no.2 [cited 18 June 2007], p.145-152.

MacArthur, L.A. and D' Appolonia, B.L.1979. Comparison of Oat and Wheat Carbohydrates. I. Sugars. *Cereal Chemistry*. p 56,455-457.

Ma. C. Y.1984. Functional Properties of Acylated Oat protein. *Journal of food Science*. Vol. 49, p. 1128-1130.

MAFF. D. 1992. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food: Standing Committee on Tables of Feed Composition Feed Composition: UK Tables of feed Composition and Nutritive Value for Ruminants Canter Bury, UK: Chalcombe Publications.

McDowell, L., Conrad, J. Thomas, J. y Harris, L.E. 1974. Tablas de composición de alimentos de América Latina abreviada. Instituto de Ciencias Alimenticias y Agropecuarias. Centro de Agricultura Tropical. Departamento de Ciencia Animal.

Mendenhall, William.1996. Probabilidad y Estadística. Mc Graw- Hill de México. S. A. de C. V. p. 103-113.



McDowd L. Conrad J. y Harris L. E. 1974. Tablas de Composición de Alimentos de América latina. Instituto de ciencia Alimenticia y Agropecuarias. Centro de agricultura tropical. Departamento de ciencia animal.

Muller. H. G. Tobin G. 1996. Nutrición y Ciencia de los Alimentos. Acribia. Zaragoza. España. p. 131-135.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, Disposiciones y Especificaciones Sanitarias y Nutrimentales para Cereales y sus Productos.

Quaglia G. 1991. Ciencia y Tecnología de la Panificación. 2ª Edición. Editorial Acribia. Zaragoza. España. p. 163-217.

Ranhotra, G.S., & Gelroth, J.A. 1995. Food Uses of Oats. In R. W. Welch The oat crop production and utilization. London; Chapman & Hall. p. 409-432

Sahasrabudhe, M. R. 1979. Lipid Composition of Oats (*Avena sativa L.*). Journal of the American oil Chemists Society. Vol. 56, p. 80-84.

Salmerón, Z. J. J., Meda G. F. J. y Bárcena, G.J.R. 2003. Variedades de avena y Calidad Nutricional del Forraje. INIFAP. No 17. CIAD. México

Shewry, P.R. 1992. Genetics, Biochemistry, Molecular Biology and Biotechnology. CAB. Internacional. Department of Agricultural Science, University of Bristol, Long Ashton. p. 19-23, 302-311, 350-361

Saña. V. J. 1996. La Gestión de la Fertilización de los Suelos. Ministerios de Agricultura, Pesca y Alimentación. p. 105-180.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). 1997. Centro Estadístico Agropecuario. Anuario Estadístico de Producción y Comercialización de Avena. México.



Serna, S.S.R. 2001. Química e Industrialización de los Cereales. AGT editor. México, D.F. p 3-28, 40-89.

Staniforth A. R. 1980. Paja de Cereales. Acribia. España. p. 1-161.

Tisdale, S. y Nelson, W. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Limusa. México.

Urbano T. y Moreno S. 1992. Sistemas Agrícolas con Rotaciones y Alternativas de cultivos. Mundi-Prensa. Madrid. España. p. 26-95.

Villaseñor, M.H. y Espitia, R.E. 2000. La Producción de Avena. Sagar. Inifap. México.

Welch, R. W. 1995. The Chemical Composition of Oats. The Oat Crop-Production and Utilization. London: Chapman and Hall. p. 279-320.

Welch, R. W. 1998. Oats-a Multifunctional Food. In M.J. Sadler & M. Saltmarsh (Eds.), functional foods, the Consumer, the products, the evidence Cambridge: The Royal Society of Chemistry. p.99-105.

Wood, P., J. 1995, Weisz, J., Fedec, P., & Burrows, V., D. 1989-1991. Large Scale Preparation and Properties of Oat Fractions Enriched in (1—3), (1—4)- β - glucan. Cereal Chemistry. p. 66,97-103.

Yañez R. J. N. 2002. Nutrición y Regulación del Crecimiento en Hortalizas y Frutales. Notas de conferencia. WATTS. Tecnología, Comercio y Servicios Agrícolas Mundiales. 7 de octubre del 2002. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Yli Halla, M., and Palko, J. 1987. Mineral Element Content of Oats (*A. sativa L.*) in Acid Sulphate Soil Area of Tupos Village, Northern Finland. Journal of Agricultural Science in Finland. Vol. 59, p.73-78.



9.0 ANEXOS

Tablas de resultados del análisis estadístico para el análisis proximal realizado para las avenas de los cultivos 2003 y 2004 de las diferentes formas de cultivo ya mencionadas con anterioridad

Anexo 1. Humedad de avena en granos del 2003.

	Muestras	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Tukey HSD(a)	4.00	3	6.8780	
	1.00	3	6.9590	
	5.00	3		8.0517
	2.00	3		8.3527
	3.00	3		8.4210
	Sig.			.990
Duncan(a)	4.00	3	6.8780	
	1.00	3	6.9590	
	5.00	3		8.0517
	2.00	3		8.3527
	3.00	3		8.4210
	Sig.			.660

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)



Anexo 2. Humedad de avena en hojas del 2003.

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	3.00	3	5.8170		
HSD(a)	2.00	3	6.3557		
	1.00	3	6.4890		
	5.00	3		7.6487	
	4.00	3		8.7207	
	Sig.			.329	.057
Duncan(a)	3.00	3	5.8170		
	2.00	3	6.3557		
	1.00	3	6.4890		
	5.00	3		7.6487	
	4.00	3			8.7207
	Sig.			.084	1.000

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)

Anexo 3. Humedad de avena en tallos del 2003.

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	1.00	3	5.8650		
HSD(a)	2.00	3	5.8770		
	3.00	3		7.2687	
	5.00	3		7.4857	
	4.00	3			9.3350
	Sig.			1.000	.784
Duncan(a)	1.00	3	5.8650		
	2.00	3	5.8770		
	3.00	3		7.2687	
	5.00	3		7.4857	
	4.00	3			9.3350
	Sig.			.951	.282

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)



Anexo 4. Cenizas de avena granos del 2003

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	2.00	3	2.0927		
HSD(a)	4.00	3		5.0720	
	5.00	3		5.2450	
	1.00	3		5.3310	
	3.00	3			6.5580
	Sig.			1.000	.759
Duncan(a)	2.00	3	2.0927		
	4.00	3		5.0720	
	5.00	3		5.2450	
	1.00	3		5.3310	
	3.00	3			6.5580
	Sig.		1.000	.284	1.000

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)

Anexo 5. Cenizas de avena hojas del 2003

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	2.00	3	14.3996		
HSD(a)	4.00	3	14.8207		
	1.00	3	14.9787		
	5.00	3		16.4867	
	3.00	3			20.4010
	Sig.			.487	1.000
Duncan(a)	2.00	3	14.3996		
	4.00	3	14.8207		
	1.00	3	14.9787		
	5.00	3		16.4867	
	3.00	3			20.4010
	Sig.		.140	1.000	1.000

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)



Anexo 6. Cenizas de avena tallos del 2003

		Subset for alpha = .05			
		Muestras	N	1	2
Tukey HSD(a)		1.00	3	6.4232	
		2.00	3	7.5434	7.5434
		3.00	3	7.6920	7.6920
		5.00	3	7.7403	7.7403
		4.00	3		7.9833
		Sig.			.066
Duncan(a)		1.00	3	6.4232	
		2.00	3		7.5434
		3.00	3		7.6920
		5.00	3		7.7403
		4.00	3		7.9833
		Sig.			1.000

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)

Anexo 7. Grasa de avena granos del 2003

		Subset for alpha = .05					
		Muestras	N	1	2	3	4
Tukey HSD(a)		4.00	3	2.0905			
		3.00	3		3.2949		
		5.00	3			3.8482	
		2.00	3			3.8767	
		1.00	3			4.1115	
		Sig.			1.000	1.000	.193
Duncan(a)		4.00	3	2.0905			
		3.00	3		3.2949		
		5.00	3			3.8482	
		2.00	3			3.8767	3.8767
		1.00	3				4.1115
		Sig.			1.000	1.000	.801

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)



Anexo 8. Grasa de avena hojas del 2003

		Subset for alpha = .05				
	Muestras	N	1	2	3	4
Tukey	3.00	3	1.4438			
HSD(a)	1.00	3	1.5443			
	2.00	3		2.2564		
	5.00	3			5.2210	
	4.00	3				15.8676
	Sig.			.866	1.000	1.000
Duncan(a)	3.00	3	1.4438			
	1.00	3	1.5443			
	2.00	3		2.2564		
	5.00	3			5.2210	
	4.00	3				15.8676
Sig.			.359	1.000	1.000	1.000

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)

Anexo 9. Grasa de avena tallos del 2003

		Subset for alpha = .05		
	Muestras	N	1	2
Tukey	1.00	3	.5520	
HSD(a)	2.00	3	.5906	
	3.00	3	.6265	
	5.00	3	.6542	
	4.00	3		2.5357
	Sig.			.798
Duncan(a)	1.00	3	.5520	
	2.00	3	.5906	
	3.00	3	.6265	
	5.00	3	.6542	
	4.00	3		2.5357
Sig.			.325	1.000

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)



Anexo 10. Fibra de avena en granos 2003

		Subset for alpha = .05					
	Muestras	N	1	2	3	4	5
Tukey	2.00	3	13.6003				
HSD(a)	5.00	3	15.7526				
	3.00	3		23.6763			
	1.00	3			36.0991		
	4.00	3				45.3338	
	Sig.		.224	1.000	1.000	1.000	
Duncan(a)	2.00	3	13.6003				
	5.00	3		15.7526			
	3.00	3			23.6763		
	1.00	3				36.0991	
	4.00	3					45.3338
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)

Anexo 11. Fibra de avena en hojas 2003

		Subset for alpha = .05				
	Muestras	N	1	2	3	4
Tukey	4.00	3	23.5769			
HSD(a)	5.00	3		30.8324		
	3.00	3			33.9720	
	2.00	3			35.6684	
	1.00	3				38.4086
	Sig.		1.000	1.000	.257	1.000
Duncan(a)	4.00	3	23.5769			
	5.00	3		30.8324		
	3.00	3			33.9720	
	2.00	3			35.6684	
	1.00	3				38.4086
	Sig.		1.000	1.000	.053	1.000

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)



Anexo 12. Fibra de avena en tallos 2003

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	5.00	3	38.2034		
HSD(a)	4.00	3	39.8368	39.8368	
	3.00	3		40.9924	
	1.00	3			43.8337
	2.00	3			45.0302
	Sig.			.089	.305
Duncan(a)	5.00	3	38.2034		
	4.00	3		39.8368	
	3.00	3		40.9924	
	1.00	3			43.8337
	2.00	3			45.0302
	Sig.		1.000	.066	.058

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)

Anexo 13. Proteína de avena en grano del 2003

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	1.00	3	6.7255		
HSD(a)	4.00	3	7.8213		
	2.00	3	8.9687	8.9687	
	3.00	3		10.6666	10.6666
	5.00	3			11.8988
	Sig.			.056	.183
Duncan(a)	1.00	3	6.7255		
	4.00	3	7.8213	7.8213	
	2.00	3		8.9687	
	3.00	3			10.6666
	5.00	3			11.8988
	Sig.		.147	.131	.108

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)



Anexo 14. Proteína de avena en tallos del 2003

		Subset for alpha = .05				
	Muestras	N	1	2	3	
Tukey	1.00	3	.5221			
HSD(a)	2.00	3	.5848			
	3.00	3		2.0761		
	5.00	3		2.2415		
	4.00	3			7.7426	
	Sig.			.990	.751	1.000
	Duncan(a)	1.00	3	.5221		
Duncan(a)	2.00	3	.5848			
	3.00	3		2.0761		
	5.00	3		2.2415		
	4.00	3			7.7426	
	Sig.			.659	.257	1.000

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)

Anexo 15. Proteína de avena en hojas del 2003

		Subset for alpha = .05				
	Muestras	N	1	2	3	
Tukey	3.00	3	.4908			
HSD(a)	1.00	3	.5063			
	2.00	3	.8383			
	4.00	3		1.8969		
	5.00	3		2.0873		
	Sig.			.135	.614	
	Duncan(a)	3.00	3	.4908		
Duncan(a)	1.00	3	.5063			
	2.00	3		.8383		
	4.00	3			1.8969	
	5.00	3			2.0873	
	Sig.			.909	1.000	.178

Nota: 1 (Villa de Tezontepec R.) 2 (La Unión 1 R. SAIA) 3 (la Unión 1 R. OBSIDIANA) 4 (Apan LC VRD) 5 (Apan LC)



Anexo 16. Humedad de avena en granos del 2004

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	3.00	3	7.9795		
HSD(a)	2.00	3	8.2208	8.2208	
	1.00	3		8.4485	
	4.00	3		8.5609	
	Sig.		.327	.120	
Duncan(a)	3.00	3	7.9795		
	2.00	3	8.2208	8.2208	
	1.00	3		8.4485	8.4485
	4.00	3			8.5609
	Sig.		.104	.122	.418

Nota: 1(Villa de Tezontepec C.)2(Villa de Tezontepec R.)3(Apan R.)4(La Unión 1 R.)

Anexo 17. Humedad de avena en hojas del 2004

		Subset for alpha = .05		
	Muestras	N	1	2
Tukey	1.00	3	6.7555	
HSD(a)	2.00	3	6.7716	
	4.00	3	7.1601	
	3.00	3	7.4160	
	Sig.		.073	
Duncan(a)	1.00	3	6.7555	
	2.00	3	6.7716	
	4.00	3	7.1601	7.1601
	3.00	3		7.4160
	Sig.		.123	.289



Anexo 18. Humedad de avena en tallos del 2004

		Subset for alpha = .05		
	Muestras	N	1	2
Tukey	3.00	3	6.4258	
HSD(a)	4.00	3		7.1659
	2.00	3		7.4191
	1.00	3		7.4650
	Sig.		1.000	.402
Duncan(a)	3.00	3	6.4258	
	4.00	3		7.1659
	2.00	3		7.4191
	1.00	3		7.4650
	Sig.		1.000	.150

Anexo 19. Cenizas de avena granos del 2004

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	3.00	3	3.7461		
HSD(a)	1.00	3	3.7633		
	2.00	3		5.1405	
	4.00	3			5.6779
	Sig.		.989	1.000	1.000
Duncan(a)	3.00	3	3.7461		
	1.00	3	3.7633		
	2.00	3		5.1405	
	4.00	3			5.6779
	Sig.		.768	1.000	1.000

Nota: 1(Villa de Tezontepec C.)2(Villa de Tezontepec R.)3(Apan R.)4(La Unión 1 R.)



Anexo 20. Cenizas de avena hojas del 2004

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	4.00	3	5.66779		
HSD(a)	3.00	3		3.7461	
	1.00	3		3.7633	
	2.00	3			5.1405
	Sig.		1.000	.530	
Duncan(a)	4.00	3	5.66779		
	3.00	3		3.7461	
	1.00	3		3.7633	
	2.00	3			5.1405
	Sig.		1.000	.198	.090

Anexo 21. Cenizas de avena tallos del 2004

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	4.00	3	4.7292		
HSD(a)	3.00	3		7.5204	
	1.00	3		7.6623	7.6623
	2.00	3			7.8573
	Sig.		1.000	.530	.288
Duncan(a)	4.00	3	4.7292		
	3.00	3		7.5204	
	1.00	3		7.6623	7.6623
	2.00	3			7.8573
	Sig.		1.000	.198	.090



Anexo 22. Grasa de avena granos del 2004

		Subset for alpha = .05		
	Muestras	N	1	2
Tukey	4.00	3	2.7964	
HSD(a)	3.00	3	3.2096	
	1.00	3		4.1490
	2.00	3		4.3903
	Sig.		.435	.791
Duncan(a)	4.00	3	2.7964	
	3.00	3	3.2096	
	1.00	3		4.1490
	2.00	3		4.3903
	Sig.		.151	.381

Nota: 1(Villa de Tezontepec C.)2(Villa de Tezontepec R.)3(Apan R.)4(La Unión 1 R.)

Anexo 23. Grasa de avena hojas del 2004

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	4.00	3	1.6322		
HSD(a)	3.00	3		2.5537	
	1.00	3		2.9654	
	2.00	3		3.1449	
	Sig.		1.000	.055	
Duncan(a)	4.00	3	1.6322		
	3.00	3		2.5537	
	1.00	3		2.9654	2.9654
	2.00	3			3.1449
	Sig.		1.000	.060	.369



Anexo 24. Grasa de avena tallos del 2004

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	4.00	3	.3245		
HSD(a)	1.00	3	.4538		
	3.00	3	.5787	.5787	
	2.00	3		.8262	
	Sig.		.060	.068	
Duncan(a)	4.00	3	.3245		
	1.00	3	.4538	.4538	
	3.00	3		.5787	
	2.00	3			.8262
	Sig.		.157	.170	1.000

Anexo 25. Fibra de avena en granos 2004

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	4.00	3	16.2253		
HSD(a)	1.00	3	16.7894		
	3.00	3		18.5778	
	2.00	3		19.3380	
	Sig.		.357	.161	
Duncan(a)	4.00	3	16.2253		
	1.00	3	16.7894		
	3.00	3		18.5778	
	2.00	3			19.3380
	Sig.		.117	1.000	1.000

Nota: 1(Villa de Tezontepec C.)2(Villa de Tezontepec R.)3(Apan R.)4(La Unión 1 R.)



Anexo 26. Fibra de avena en hojas 2004

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	3.00	3	5.8170		
HSD(a)	2.00	3	6.3557		
	1.00	3	6.4890		
	5.00	3		7.6487	
	4.00	3		8.7207	
	Sig.		.329	.057	
Duncan(a)	3.00	3	5.8170		
	2.00	3	6.3557		
	1.00	3	6.4890		
	5.00	3		7.6487	
	4.00	3			8.7207
	Sig.		.084	1.000	1.000

Anexo 27. Fibra de avena en tallos 2004

		Subset for alpha = .05				
	Muestras	N	1	2	3	4
Tukey	4.00	3	37.4940			
HSD(a)	2.00	3	39.1648	39.1648		
	3.00	3		40.8686		
	1.00	3			49.0800	
	Sig.		.088	.082	1.000	
Duncan(a)	4.00	3	37.4940			
	2.00	3		39.1648		
	3.00	3			40.8686	
	1.00	3				49.0800
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000



Anexo 28. Proteína de avena en grano del 2004

		Subset for alpha = .05		
	Muestras	N	1	2
Tukey	3.00	3	8.3836	
HSD(a)	4.00	3	9.2956	9.2956
	1.00	3		9.5748
	2.00	3		9.7015
	Sig.		.130	.686
	Duncan(a)	3.00	3	8.3836
Duncan(a)	4.00	3		9.2956
	1.00	3		9.5748
	2.00	3		9.7015
	Sig.		1.000	.312

Nota: 1(Villa de Tezontepec C.)2(Villa de Tezontepec R.)3(Apan R.)4(La Unión 1 R.)

Anexo 29. Proteína de avena en hojas del 2004

		Subset for alpha = .05				
	Muestras	N	1	2	3	
Tukey	4.00	3	2.0353			
	2.00	3	2.1748			
	1.00	4		3.2190		
	HSD(a,b)	3.00	3			4.7766
	Sig.		.745	1.000	1.000	
Duncan(a,b)	4.00	3	2.0353			
	2.00	3	2.1748			
	1.00	4		3.2190		
	3.00	3			4.7766	
	Sig.		.336	1.000	1.000	



Anexo 30. Proteína de avena en tallos del 2004

		Subset for alpha = .05			
	Muestras	N	1	2	3
Tukey	4.00	3	.8012		
HSD(a)	2.00	3		1.4662	
	1.00	3		1.6030	1.6030
	3.00	3			1.7822
	Sig.		1.000	.445	.246
Duncan(a)	4.00	3	.8012		
	2.00	3		1.4662	
	1.00	3		1.6030	1.6030
	3.00	3			1.7822
	Sig.		1.000	.155	.074

Nota: 1(Villa de Tezontepec C.)2(Villa de Tezontepec R.)3(Apan R.)4(La Unión 1 R.)

Tabla de valores de minerales de la planta de avena del cultivo 2003 y 2004

Anexo 31. Espigas del 2003 mg/por 100g

	<i>Villa de Tezontepec R.</i>	<i>La unión 1 R. SAIA</i>	<i>La unión 1 R. OBSIDIANA</i>	<i>Apan LC VRD</i>	<i>Apan LC</i>
<i>Cu</i>	0,78	0,02	0,14	1,06	0,46
<i>Fe</i>	6	11,36	36,06	10,88	13,04
<i>Mn</i>	4,78	9,12	3,96	7,24	5,08
<i>Zn</i>	3	33,4	12	21,8	15,8
<i>Ca</i>	200,66	485,32	259,32	290,66	239,5
<i>Mg</i>	174,52	326,66	223,32	202,72	188,18
<i>K</i>	715,32	1090,66	956	1168	782,14
<i>Na</i>	39,52	47,6	42,92	50,8	37,82

Anexo 32. Hojas del 2003 mg/por 100g

	<i>Villa de Tezontepec R.</i>	<i>La unión 1 R. SAIA</i>	<i>La unión 1 R. OBSIDIANA</i>	<i>Apan LC VRD</i>	<i>Apan LC</i>
<i>Cu</i>	0	0	0	0	0
<i>Fe</i>	15,68	69	47,2	44,12	19,06
<i>Mn</i>	5,3	8,08	0,66	2,74	2,7
<i>Zn</i>	0	0	0	0	0
<i>Ca</i>	436	759,32	520	489,32	562
<i>Mg</i>	167,2	236,66	281	210	197,46
<i>K</i>	2313,2	218	2039,24	4386,66	3053,32
<i>Na</i>	189,46	150,66	175,86	309,32	403



Anexo 33. Tallos del 2003 mg/por 100g

	<i>Villa de Tezontepec R.</i>	<i>La unión 1 R. SAIA</i>	<i>La unión 1 R. OBSIDIANA</i>	<i>Apan LC VRD</i>	<i>Apan LC</i>
<i>Cu</i>	0	0	1	0	0
<i>Fe</i>	0,84	13,06	27,52	5,42	5,66
<i>Mn</i>	0,52	0,2	0,52	2,68	0,02
<i>Zn</i>	0	0	0	0	0
<i>Ca</i>	162,72	195,66	238,72	174,72	248,66
<i>Mg</i>	95,66	126,86	147,46	117,92	130
<i>K</i>	3220	1980,66	2945,32	4186,66	3920
<i>Na</i>	189,92	192,86	284,66	188,52	342

Anexo 34. Espigas del 2004 mg/por 100g

	<i>Villa de Tezontepec C.</i>	<i>Villa de Tezontepec R.</i>	<i>Apan R.</i>	<i>La Unión 1 R.</i>
<i>Cu</i>	0	0	0	0
<i>Fe</i>	9,96	7,61	10,2	12,44
<i>Mn</i>	0	0	0	0
<i>B</i>	0	0,76	3,32	5,6
<i>Ca</i>	234,6	139,133	136,86	214
<i>Mg</i>	245,2	177	185,26	218
<i>K</i>	826	1042,6	1033,3	1144
<i>Na</i>	29,6	34,53	44,4	43,6

Anexo 35. Hojas del 2004 mg/por 100g

	<i>Villa de Tezontepec C.</i>	<i>Villa de Tezontepec R.</i>	<i>Apan R.</i>	<i>La Unión 1 R.</i>
<i>Cu</i>	0	0	0	0
<i>Fe</i>	43,33	85,66	61,3	127,4
<i>Mn</i>	0	0	0	0
<i>B</i>	0	2,113	4,51	6,72
<i>Ca</i>	485,33	620,66	627	788
<i>Mg</i>	194,6	259,3	283	284
<i>K</i>	2035,3	2300	2640	1810
<i>Na</i>	134,86	98,66	152,4	75,6



Anexo 36. Tallos del 2004 mg/por 100g

	<i>Villa de Tezontepec C.</i>	<i>Villa de Tezontepec R.</i>	<i>Apan R.</i>	<i>La Unión 1 R.</i>
<i>Cu</i>	0	0	0	0
<i>Fe</i>	5,786	9,053	15,11	19,52
<i>Mn</i>	0	0	0	0
<i>B</i>	0	2,553	5	6,65
<i>Ca</i>	110,46	268,66	301	182,4
<i>Mg</i>	156,6	187,2	226	154,5
<i>K</i>	2320	4446,6	4300	4160
<i>Na</i>	269,33	265,33	278	182,5



10 .GLOSARIO

Aleurona: Es el conjunto de gránulos proteicos presentes en las semillas de diversas plantas, generalmente localizados en la parte externa del endospermo. Su etimología proviene de la palabra griega aleuron que significa harina cara de verga.

Alogamia: Fecundación de la flor con el polen de otra flor, tanto si corresponde al mismo pie como a otro de la misma especie. Se opone a autogamia.

Autógama: Que presenta autogamia; Polinización por polen de la misma flor.

Caquis: ("espina") Es el nombre para la parte axial de numerosas estructuras compuestas en animales y vegetales. En botánica, se denomina así a las estructuras lineales que forman el eje de una inflorescencia en forma de espiga o de una hoja compuesta, sobre todo en las palmeras.

Espiguilla o la flor: Es la última ramificación de la panícula; puede estar unido a una o más espiguillas, según la base genética que informa tal carácter.

Escutelo: Cotiledón único del embrión de los pastos o gramíneas (entre ellas los cereales), el cual está especializado en la absorción de alimento del endospermo.

Estípula: Es una estructura, usualmente laminar, que se forma a cada lado de la base foliar de una Traqueófitas. Suele encontrarse una a cada lado de la base de la hoja, a veces más. Usualmente son asimétricas y, en cierto modo, son imágenes especulares una de otra.

Inflorescencia: Es la disposición de las flores sobre las ramas o la extremidad del tallo; su límite está determinado por una hoja normal. La inflorescencia puede constar de una sola flor, como en el caso de la magnolia o el tulipán, o constar de dos o más flores como en el gladiolo y el trigo. En el primer caso se denominan inflorescencias unifloras y el segundo se las llama plurifloras.

Lígula: Es un apéndice membranoso ubicado en la línea que une la lámina con la vaina de las gramíneas. Las lígulas pueden ser membranosas, pubescentes o pilosas, o estar ausente.

Panícula: Es una inflorescencia racemosa compuesta de racimos en la que los mismos van decreciendo de tamaño hacia el ápice. En otras palabras, un racimo ramificado de flores, en el que las ramas son a su vez racimos.



Regadío: Terreno dedicado a cultivos que en el que las plantas reciben cantidades suplementarias de agua a parte de la que cae naturalmente con la lluvia.

Tierras de secano: Se consideran como tales las que no han recibido más agua que la de la lluvia durante el periodo de referencia del censo.