



## UNIVERSIDAD de GUADALAJARA

### CAMBIOS DIURNOS EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DEL TRITICALE (X *Triticosecale wittmack*) COSECHADO EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS

Tesis que para obtener el grado de:

Maestro en Producción Pecuaria

Presenta:

Carlos Humberto Blanco Castellanos

Director de tesis: DR. José de Jesús Olmos Colmenero

Comité Tutorial:

DR. Carlos Urban Häubi Segura

DR. José Manuel Palma García

Guadalajara, Jalisco Diciembre de 2015

## Dedicatorias

Éste trabajo se lo dedico en primer lugar, a mi esposa Adriana, mi gran amor, por toda la paciencia y el apoyo que me ha brindado y que de manera inconciente me invita a sacar la mejor versión de mí; además de aguantar el gran sacrificio que han representado estos dos años y medio.

A mi hijo Humberto, ese enorme ser que aún antes de nacer no ha dejado de enseñarme algo nuevo cada día, por ser el motor de mis actos e incitarme a salir adelante y ser una mejor persona, que por alguna extraña razón tengo el honor y la responsabilidad de ser su ejemplo a seguir (espero que el alumno supere al maestro). Nunca te des por vencido, ni tampoco dejes de soñar y sonreír!

A mi Padre, porque además de ser un gran ejemplo me ha enseñado a disfrutar las cosas más simples e importantes de la vida; por esa sabiduría, paciencia y tolerancia que lo caracterizan.

A mi madre, por todo el amor que siempre me ha brindado, además de enseñarme esa lección tan importante que es “el que persevera, alcanza”.

A mis hermanas Gabriela y Carla porque siempre están ahí para apoyarme y compartirme su cariño y su sabiduría.

A mis compañeros Carolina, Liz, César, los machos alfa de Colima, así como los que fueron tomando caminos diferentes, gracias por acompañarme en esta gran travesía.

A mis amigos, que siempre han estado en las buenas y en las malas (ya saben quiénes son).

Solo me queda decirles de corazón, GRACIAS!

## Agradecimientos

Antes que nada agradezco a Dios por permitirme superarme una y otra vez, además de mostrarme que el único límite en la vida es uno mismo.

A la empresa PROAN por todo el esfuerzo y compromiso social para la generación de conocimientos útiles para los productores lecheros de la región, además del apoyo en infraestructura y la disposición económica para que este experimento fuera posible.

A la Universidad de Guadalajara, mi *alma matter*, que me permitió continuar con mi formación académica.

Al Dr. Jesús Olmos porque, más que un facilitador, es una fuente de confianza.

Al Dr. Carlos Häubi, por toda esa energía y pasión que tanto lo caracterizan para enseñar y compartir sus conocimientos.

Al Dr. José Palma, por su compromiso con los alumnos.

A mis compañeras de laboratorio Laura Gómez y la maestra Ofelia Iñiguez por el apoyo moral y físico para sacar este trabajo adelante.

También quiero agradecer a:

Dr. Ramón Reynoso Orozco

MC. J. Pablo Torres Morán

Dr. Francisco Martín Huerta Martínez

Dra. Cecilia Neri Luna

Por esa vocación tan grande para la docencia, que nos permite llamarles MAESTROS!

**MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL  
EN PRODUCCIÓN PECUARIA**



DR. JAVIER PADILLA RAMÍREZ  
COORDINADOR DE POSGRADO  
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL  
EN PRODUCCIÓN PECUARIA  
PRESENTE:

Con base en el reglamento de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, le comunico que he revisado el trabajo de tesis que presenta el M.V.Z. Carlos Humberto Blanco Castellanos, para obtener el grado de Maestro en Producción Pecuaria, con el título:

**“CAMBIOS DIURNOS EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DEL TRITICALE (X Triticosecale wittmack) COSECHADO EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS”**

En mi opinión, dicho trabajo de investigación que presenta el candidato cumple con los requisitos del programa, por lo que otorgo el VOTO APROBATORIO, para que pueda ser sustentado en el examen de grado correspondiente.

Se extiende la presente el día 18 de Noviembre de 2015, para los fines administrativos que al interesado convengan.

ATENTAMENTE

DR. JOSÉ DE JESÚS OLMOS COLMENERO  
PTC. UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

**MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL  
EN PRODUCCIÓN PECUARIA**



DR. JAVIER PADILLA RAMÍREZ  
COORDINADOR DE POSGRADO  
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL  
EN PRODUCCIÓN PECUARIA  
PRESENTE:

Con base en el reglamento de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, le comunico que he revisado el trabajo de tesis que presenta el M.V.Z. Carlos Humberto Blanco Castellanos, para obtener el grado de Maestro en Producción Pecuaria, con el título:

**“CAMBIOS DIURNOS EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DEL TRITICALE (X Triticosecale wittmack) COSECHADO EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS”**

con los requisitos del programa, por lo que otorgo el VOTO APROBATORIO, para que pueda ser sustentado en el examen de grado correspondiente.

Se extiende la presente el día 18 de Noviembre de 2015, para los fines administrativos que al interesado convengan.

ATENTAMENTE

Dr. José Manuel Palma García  
MIPPE, Universidad de Colima

Ccp. ARCHIVO

**MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL  
EN PRODUCCIÓN PECUARIA**



DR. JAVIER PADILLA RAMÍREZ  
COORDINADOR DE POSGRADO  
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL  
EN PRODUCCIÓN PECUARIA  
PRESENTE:

Con base en el reglamento de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, le comunico que he revisado el trabajo de tesis que presenta el M.V.Z. Carlos Humberto Blanco Castellanos, para obtener el grado de Maestro en Producción Pecuaria, con el título:

**“CAMBIOS DIURNOS EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DEL TRITICALE (X Triticosecale wittmack) COSECHADO EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS”**

En mi opinión, dicho trabajo de investigación que presenta el candidato cumple con los requisitos del programa, por lo que otorgo el VOTO APROBATORIO, para que pueda ser sustentado en el examen de grado correspondiente.

Se extiende la presente el día 18 de Noviembre de 2015, para los fines administrativos que al interesado convengan.

ATENTAMENTE

DR. CARLOS URBAN HÄUBI SEGURA  
PTC. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

Ccp. ARCHIVO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Importancia de la producción de leche .....</b>	<b>5</b>
2.1.1. La ganadería lechera en México .....	5
2.1.2. Producción en México .....	5
2.1.3. Producción lechera en Jalisco .....	5
<b>2.2. Generalidades de los forrajes .....</b>	<b>6</b>
2.2.1. Uso de los forrajes en la alimentación del ganado lechero .....	6
2.2.2. Sistema de doble cultivo .....	7
2.2.3. Clasificación de los forrajes .....	7
2.2.4. Estructura de la célula y la pared celular .....	8
2.2.5. Morfología de la planta.....	8
2.2.6. Crecimiento de la planta .....	8
2.2.7. Energía en la alimentación del ganado lechero .....	9
2.2.8. Proteína .....	10
<b>2.3. Fotosíntesis .....</b>	<b>11</b>
2.3.1. Fase luminosa (fotodependiente).....	11
2.3.2. Fase Oscura (Ciclo de Calvin) .....	12
2.3.3. Metabolismo del Carbono .....	13
2.3.4. Síntesis de almidón.....	14
2.3.5. Síntesis de Carbohidratos .....	15
2.3.6. Componentes de los carbohidratos solubles .....	15
2.3.7. Almacenamiento en las plantas .....	15
2.3.8. Variaciones durante el día .....	17
2.3.9. Efecto del horario de corte .....	17
<b>2.4. Calidad de Forrajes .....</b>	<b>18</b>
2.4.1. Factores que afectan la calidad del forraje .....	19
<b>2.5. Cereales de grano pequeño .....</b>	<b>20</b>
2.5.1. Calidad de los cereales de grano pequeño como forraje .....	20
2.5.2. Ensilado de cereales de grano pequeño.....	21
2.5.3. Estado de madurez .....	21
2.5.4. Etapas fenológicas.....	22
2.5.5. Premarchitamiento .....	23
<b>2.6. Triticale .....</b>	<b>23</b>
2.6.1. Historia.....	24



2.6.2. Clasificación del triticale.....	24
2.6.3. El triticale en México .....	25
2.6.4. Hábitos de crecimiento.....	25
2.6.5. Uso del triticale en la alimentación de los rumiantes.....	26
2.6.6. Manejo agronómico.....	27
2.6.7. Calidad nutritiva del ensilado de triticale .....	27
<b>2.7. Preservación de forrajes .....</b>	<b>28</b>
2.7.1. El ensilado en la alimentación de rumiantes .....	28
2.7.2. Proceso de ensilaje.....	29
2.7.3. Factores primarios que controlan el proceso de ensilado .....	29
2.7.4. Fase I – respiración de la planta .....	30
2.7.5. Fase II – producción de ácido acético.....	30
2.7.6. Fase III – inicio de la producción de ácido láctico .....	31
2.7.7. Fase IV – pico de la producción de ácido láctico y almacenamiento .....	31
2.7.8. Procesos biológicos que pueden afectar negativamente el ensilado de un cultivo.....	32
2.7.9. Respiración de la planta.....	32
2.7.10. Actividad enzimática de la planta .....	33
2.7.11. Actividad clostridial.....	34
2.7.12. Actividad microbiana aeróbica .....	34
<b>3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>35</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>36</b>
4.1. General .....	36
4.2. Específicos .....	36
<b>5 MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
5.1. Lugar de estudio .....	37
5.2. Diseño experimental .....	38
5.3. Manejo Agronómico.....	38
5.4. Rendimiento por edad fenológica y horario de corte .....	39
5.5. Elaboración de minisilos .....	39
5.6. Análisis de Laboratorio.....	40
5.7. pH, Carbohidratos Solubles, Capacidad Amortiguadora e Índice de Ensilabilidad .....	41
5.8. Potencial productivo.....	41
5.9. Análisis Estadístico .....	42
<b>6 RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
6.1. Análisis químicos del forraje verde .....	43
6.2. Índice de Ensilabilidad.....	43
6.3. Análisis químicos de los minisilos .....	44



<b>6.4. Potencial Productivo.....</b>	<b>44</b>
<b>7 DISCUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
<b>7.1. Calidad nutricional del forraje de triticale.....</b>	<b>50</b>
7.1.1. Efecto de la etapa fenológica.....	50
7.1.2. Efecto del horario de corte .....	51
<b>7.2. Potencial de fermentación.....</b>	<b>51</b>
7.2.1. Efecto de la etapa fenológica.....	51
7.2.2. Efecto del horario de corte .....	52
<b>7.3. Conservación de los nutrientes del forraje de triticale.....</b>	<b>53</b>
7.3.1. Efecto de la etapa fenológica.....	53
7.3.2. Efecto del horario de corte .....	54
<b>7.4. Rendimiento por hectárea .....</b>	<b>54</b>
7.4.1. Efecto de la etapa fenológica.....	54
7.4.2. Efecto del horario de corte .....	55
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>9 LITERATURA CITADA .....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Composición química (% MS) de alfalfa cosechada 0, 2, 4, 8 y 12 horas después del amanecer. Fuente: Adaptado de Berthiaume *et al.*, (2006). ..... 18
- Cuadro 2. Contenido nutricional del cultivo del triticale en base seca, en las etapas fenológicas de embuche, floración y grano masoso; cosechado al amanecer (8:00 AM) y al atardecer (5:00 PM), sembrados en tres parcelas de la empresa PROAN S.A. ubicadas entre los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz, Jalisco..... 46
- Cuadro 3. Potencial de fermentación del forraje verde de triticale, en las etapas fenológicas de floración y grano masoso; cosechado al amanecer (8:00 AM) y al atardecer (5:00 PM), sembrados en tres parcelas de la empresa PROAN S.A. ubicadas entre los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz, Jalisco. .... 47
- Cuadro 4. Contenido nutricional del ensilado (75 días) de triticale, en las etapas fenológicas de embuche, floración y grano masoso; cosechado al amanecer (8:00 AM) y al atardecer (5:00 PM), sembrados en tres parcelas de la empresa PROAN S.A. ubicadas entre los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz, Jalisco..... 48
- Cuadro 5. Potencial de producción de nutrientes del forraje verde y ensilado de triticale, en las etapas fenológicas de embuche, floración y grano masoso; sembrados en tres parcelas de la empresa PROAN S.A. ubicadas entre los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz, Jalisco. .... 49

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la pared celular.....	8
Figura 2. Carbohidratos en las plantas.....	10
Figura 3. Esquema del proceso de fotofosforilación.....	12
Figura 4. Ciclo de Calvin-Benson. ....	13
Figura 5. Estructura química de las dos formas del almidón. ....	14
Figura 6. Causas de cambios en el almacenaje, ocurridas durante diferentes escalas de tiempo. ....	16
Figura 7. Etapas fenológicas de los cereales de grano pequeño. ....	22
Figura 8. Fases de una fermentación normal. ....	31
Figura 9. Tipos de fermentación. ....	33
Figura 10. Región Altos Norte. ....	37

## RESUMEN

La región Altos Norte de Jalisco, México, destaca por su participación en la producción lechera del estado de Jalisco, donde la alimentación representa entre el 58 y 72 % de los costos de producción, por lo que, la producción de forrajes de excelente calidad juega un rol importante para la disminución de éstos. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios diurnos en el contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF), cosechando al amanecer (AM) y al atardecer (PM), además de las variaciones en el rendimiento de nutrientes por hectárea en las etapas fenológicas de embuche, floración y grano masoso, así como el efecto de éstas durante el proceso de ensilaje del triticale sembrado como cultivo de invierno. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, donde la etapa fenológica fue la parcela, el horario de corte la subparcela y las variables a determinar fueron los análisis químicos del forraje verde y ensilado, índice de ensilabilidad y el potencial de producción de nutrientes por hectárea. El cambio en la concentración de CNF por efecto del horario de corte para el forraje cortado en PM conforme avanzó la etapa fenológica, no tuvo significancia estadística. Por otra parte, la concentración de PC por efecto de la etapa fenológica, presentó una disminución de 16.1 a 13.4 % ( $P < 0.094$ ) conforme ésta avanzó, mientras que la concentración de FDN, FDA y lignina presentaron un incremento de 53.8 a 56.3 % ( $P < 0.001$ ), 32.5 a 34.2 % ( $P < 0.001$ ) y 4.34 a 5.12 % ( $P < 0.001$ ), respectivamente, sin ser afectadas por el horario de corte. Durante el ensilaje, los nutrientes se conservaron en todas las etapas fenológicas. El rendimiento de MS por hectárea fue de 7.24 toneladas para la etapa de embuche, 8.11 para floración y 9.45 para grano masoso ( $P < 0.001$ ), donde el porcentaje del total de nutrientes digestibles ( $P < 0.006$ ), así como la energía neta de lactancia por kilogramo de MS ( $P < 0.001$ ) disminuyó conforme avanzó la etapa fenológica. Se puede concluir que el triticale como cultivo de invierno, es una buena opción para la producción de forraje de excelente calidad con la aptitud de producir ensilado alto en proteína cuando es cosechado en embuche, o bien puede producir un alto rendimiento de nutrientes cuando es cosechado en grano masoso, sin poder demostrar algún cambio en su calidad por efecto del horario de corte.

**Palabras clave:** triticale, cultivo de invierno, calidad de forraje, producción lechera

## ABSTRACT

The region Altos Norte of Jalisco, Mexico, is distinguished by its participation on milk production for Jalisco state, where the feeding represents over 58 to 72 % of production costs. The production of high quality forage plays an important role to decrease of this. The aim of this study was to evaluate diurnal changes in non fibrous carbohydrates content harvested at sunset (AM) and sunrise (PM), besides as variations in nutrient content per hectare according to phenological stages of boot, flowering and dough, as well as the effect of these in silage processes of triticale, sown as winter crop. A Split-plot design was used, where phenological stage was the main plot, time of cutting a subplot, and the dependent variable where compositional analysis of fresh forage and silage, ensilability index, and potential nutrient yield per hectare. NFC concentration by effect of cutting time, for forage cut into PM as the phenological stage advanced, which had no statistical significance. On the other hand, CP concentration showed a decrease of 16.1 to 13.4 % ( $P<0.094$ ) as the phenological stage advanced, while NDF, ADF and lignin showed an increase of 53.8 to 56.3 % ( $P<0.001$ ), 32.5 to 34.2 % ( $P<0.001$ ) and 4.34 to 5.12 % ( $P<0.001$ ) respectively, unaffected by the cutting time. Nutrients were conserved throughout the process of silage making. Dry matter yield per hectare was 7.24 tons for boot, 8.11 for flowering and 9.45 for dough ( $P<0.001$ ), where total nutrient digestible percent ( $P<0.006$ ), as well as net energy for lactation per dry matter kilogram ( $P<0.001$ ) decreased as the phenological stage advanced. It can be conclude that triticale as winter crop, is a good option for high quality forage production with the ability to produce high protein silage when it is harvested in boot as well high yield of nutrients when it's harvested in dough. In this experiment it was not possible to demonstrate any changes in nutrient quality or dry matter yield related to the cutting time.

**Key words:** triticale, winter crop, forage quality, milk production

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde 1985, el estado de Jalisco se reporta como el primer productor de leche en México (SAGARPA, 2015), siendo la región Los Altos a de mayor importancia en la entidad, ya que contribuye con cerca del 60 % de la producción estatal, ocupando el 20.2 % de la superficie del estado (García *et al.*, 2007). En esta región, destacan los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz por su alta vocación lechera, con una aportación del 22.7 % a la producción de Jalisco (SAGARPA, 2015).

Dado que el mayor gasto de una explotación de ganado lechero corresponde a la alimentación y que para esta región representa entre el 58 y 72 % de los costos de producción (Wattiaux *et al.*, 2012), el uso de forrajes de buena calidad juega un rol importante en términos de aportación de energía, proteínas, carbohidratos y minerales, así como de fibras para la masticación y la rumia (Kamalak y Canbolat, 2010), lo que los convierte en una herramienta sustentable para la reducción de los costos de producción, ya que permiten disminuir el uso de concentrados (Charbonneau *et al.*, 2006).

Es así que los forrajes producidos y almacenados de manera local (como el cultivo de maíz, sorgo y cereales de grano pequeño), se consideran la fuente más barata de nutrientes para la producción de leche (De Riba *et al.*, 1990), pues su contenido de nutrientes ayuda a mantener un nivel nutricional estable en el ganado durante todo el año (Maekawa y Fantino, 2009).

El triticale (*Triticosecale wittmack* spp) es un cultivo multipropósito, que en otras partes del mundo demostró ser una opción viable para la producción de forraje para ganado lechero, ya que puede ser utilizado para consumo directo o conservado como heno o ensilado (Myer y Lozano, 2004). El cual, además de tener un alto potencial de producción de biomasa, con un adecuado valor nutritivo (Zamora *et al.*, 2002), presenta una mayor tolerancia a factores adversos del ambiente, como las bajas temperaturas y deficiencias de agua y nutrientes.

Se sabe que la región Los Altos de Jalisco tiene características climáticas favorables para la producción de forrajes de invierno, por lo mismo, el triticale puede ser una

excelente alternativa para la producción de forraje de alta calidad para la producción de leche, sobre todo para los productores que disponen de riego.

Se ha demostrado que la calidad de los forrajes varía debido a diversos factores como: genotipo, estado de madurez, estación del año y manejo agronómico (Berthiaume *et al.*, 2013); por esta razón, la comprensión de estos factores facilita la anticipación y planeación de los cambios en el contenido y calidad de nutrientes del forraje (Ball *et al.*, 2001).

Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar los cambios diurnos (AM=cosechado al amanecer; PM=cosechado al atardecer) en la acumulación de carbohidratos no fibrosos (CNF) por efecto de la fotosíntesis, en el cultivo de triticale cosechado en tres etapas fenológicas, para determinar el momento de corte adecuado para su ensilaje, medido a través del rendimiento de materia seca (MS) por hectárea, su análisis químico, el índice de ensilabilidad (IE) y el potencial de producción de nutrientes por hectárea, ya que es de suma importancia generar conocimiento local, para que los productores dispongan de información básica para cultivar y cosechar el forraje de triticale con una calidad óptima para producción de leche.



## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Importancia de la producción de leche**

La leche y los productos lácteos son alimentos con un alto valor nutritivo para el humano, por ésta razón, su consumo ha sido extendido desde la antigüedad. A partir del surgimiento de la industria lechera, las empresas transformadoras ofrecen una gama de nuevos productos cada día, con el fin de aumentar de manera permanente el consumo de lácteos (Escoto *et al.*, 2001).

#### **2.1.1. La ganadería lechera en México**

México posee una de las producciones de leche más dinámicas del mundo (Vázquez y Aguilar, 2010), misma que se considera de suma importancia dentro de la economía del sector primario e industrial. Sin embargo, ésta solo cubre el 80 % del consumo nacional aparente, lo cual resulta en un potencial de expansión, a fin de sustituir el componente de abasto del exterior (Nuñez *et al.*, 2009).

#### **2.1.2. Producción en México**

Del total de la producción de leche obtenida en 2012 en México, el 78 % se generó en tan sólo diez estados, de los cuales Jalisco (18.6 %), Coahuila (11.9 %) y Durango (9.6 %) son los de mayor importancia (SAGARPA 2015). Sin embargo, el mayor volumen aportado respecto al nacional se concentra en cuatro cuencas: La Laguna (Coahuila y Durango), los Altos de Jalisco, Tizayuca (Hidalgo) y Valle de México; las zonas aledañas al Distrito Federal (Puebla y Estado de México) y el norte de Veracruz (Vázquez y Aguilar, 2010).

#### **2.1.3. Producción lechera en Jalisco**

El estado de Jalisco se caracteriza porque predominan los sistemas productivos semiespecializado y familiar (Lara *et al.*, 2003), cuyo promedio estatal de producción de

leche se estima en 6.5 L/vaca/día, mientras que la región Altos sobresale con una productividad promedio de 10 L/vaca/día (Escoto *et al.*, 2001).

Es importante señalar que el crecimiento de la producción en las principales zonas lecheras ha obedecido a un incremento en el número de vacas en producción y, en menor medida, a la elevación de la productividad (Villamar, 2004). En el estado de Jalisco la población de bovinos lecheros se estima en aproximadamente 450,000 (INEGI, 2012), por lo que los futuros incrementos de la producción estatal se deben sustentar en una mayor productividad.

## **2.2. Generalidades de los forrajes**

Los forrajes se definen como el material de la planta pastado directamente. En la actualidad, este material puede ser aprovechado para su consumo directo o cosechado para su henificación o ensilaje. Su producción se considera una actividad de primer orden, porque tiene como objetivo satisfacer la demanda de alimento en cantidad y calidad nutricional, con la mejor utilización de los recursos disponibles (Nuñez *et al.*, 2009).

Los forrajes son la base de la alimentación para el ganado en cuanto a los sistemas intensivos de producción pecuaria, así como complemento de la dieta de los animales manejados bajo condiciones de pastoreo extensivo, cuando el pastizal no produce la cantidad y calidad suficiente de forraje requerida por el ganado (Flores *et al.*, 2011). A través de su conversión a productos lácteos o cárnicos, los forrajes continúan siendo una de las principales fuentes de sustento en la dieta humana (Schoeder, 2013).

### **2.2.1. Uso de los forrajes en la alimentación del ganado lechero**

Los forrajes representan la mayor fuente de nutrientes y fibra necesarios para la producción de leche. Dado que su calidad, valor nutritivo y disponibilidad impacta en el consumo de MS, rendimiento de lactancia y salud de la vaca (Shaver, 2010), los mismos pueden abarcar más de la mitad de la MS requerida en la dieta de vacas altas productoras (Kertz, 1998), por lo que la suplementación de granos, proteínas, subproductos y otros suplementos, debe ser solo para complementar los requerimientos

nutricionales del hato, lo cual tiene un impacto en los costos de alimentación (Eastridge, 2006).

Los forrajes producidos localmente son la fuente de nutrientes de menor costo para la mayoría de los productores lecheros (Collar y Aksland, 2001; Charbonneau *et al.*, 2006); además, durante su cultivo permiten el reciclaje de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes producidos en el establo (Collar y Aksland, 2001; Trejo *et al.*, 2013).

### **2.2.2. Sistema de doble cultivo**

La principal limitante en la producción de los forrajes es que la superficie de cultivo no puede incrementar en relación a la población animal, por lo que en áreas marcadas por una alta fertilidad del suelo y un buen abasto de agua, se maximiza la producción por hectárea, mediante el sistema de doble cultivo (Delogu *et al.*, 2002; Collar *et al.*, 2004), en el cual se puede emplear el maíz como cultivo de verano y los cereales de grano pequeño (como la avena, la cebada, el trigo y el triticale) como cultivo de invierno, los cuales son utilizados en la ganadería lechera (Maresma *et al.*, 2014).

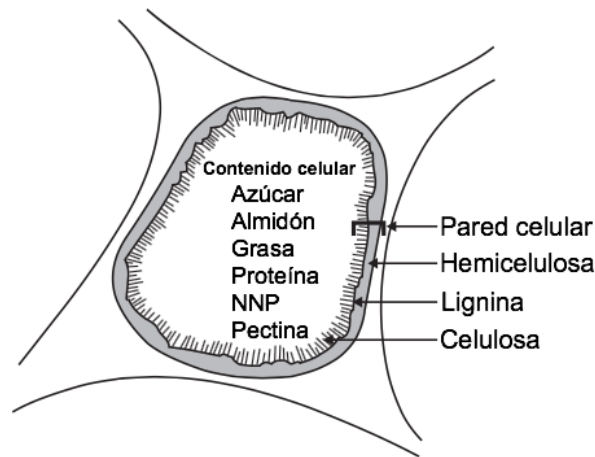
### **2.2.3. Clasificación de los forrajes**

Los forrajes utilizados en la producción de rumiantes se clasifican en dos categorías, gramíneas y leguminosas; estos a su vez se clasifican como primaverales o de invierno, para efectos prácticos. Otra clasificación se basa en su fisiología, ya sea como plantas con metabolismo C4 (principalmente forrajes de clima cálido) o metabolismo C3 (la mayoría de los forrajes de temporada fría). Esta denominación corresponde al tipo de fotosíntesis y la estructura de hoja que tienen, lo cual se relaciona directamente con su calidad y digestibilidad (Waters *et al.*, 2013).

Los forrajes se consideran alimentos toscos que tienden a tener concentraciones de fibra bruta mayores a 18 %. Sin embargo, su composición nutricional es altamente dependiente de la etapa de crecimiento, madurez y especie (Schoeder, 2013).

#### 2.2.4. Estructura de la célula y la pared celular

Las plantas forrajeras están compuestas de células y paredes celulares fibrosas para su soporte y protección (Figura 1). El lumen es la parte interior de la célula donde se encuentran el almidón, los azúcares y las proteínas. El espacio entre las células es la lamela media, donde un polisacárido estructural alto en pectina mantiene unidas las células de las plantas. Las paredes celulares están compuestas por polisacáridos como celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina, los cuales son estructuras complejas que contienen moléculas cuya biosíntesis está controlada por la genética y la enzima de codificación (Waters *et al.*, 2013).



**Figura 1. Estructura de la pared celular. Fuente: Schoeder (2013).**

#### 2.2.5. Morfología de la planta

El principal componente estructural de las plantas forrajeras son las hojas, las cuales proporcionan un medio para la captura y utilización de la energía proveniente de la luz solar, así también los tallos que, típicamente, contienen más fibra para el soporte. Debido a la gran diferencia entre la fibra digestible, la calidad de un forraje está directamente relacionada con la proporción hoja-tallo (Cherney y Hall, 2000).

#### 2.2.6. Crecimiento de la planta

El crecimiento de la pared celular se lleva a cabo conforme la planta aumenta de tamaño. El crecimiento primario, se caracteriza por un aumento en la deposición de

xilanos, polisacáridos, hemicelulosa y celulosa, así como poca deposición de lignina. Durante la fase de crecimiento secundario, la pared celular se vuelve progresivamente más gruesa (que crece del borde interior de la pared hacia el centro de la planta), ya que son depositados polisacáridos adicionales y comienza la deposición de lignina (Moore y Jung, 2001).

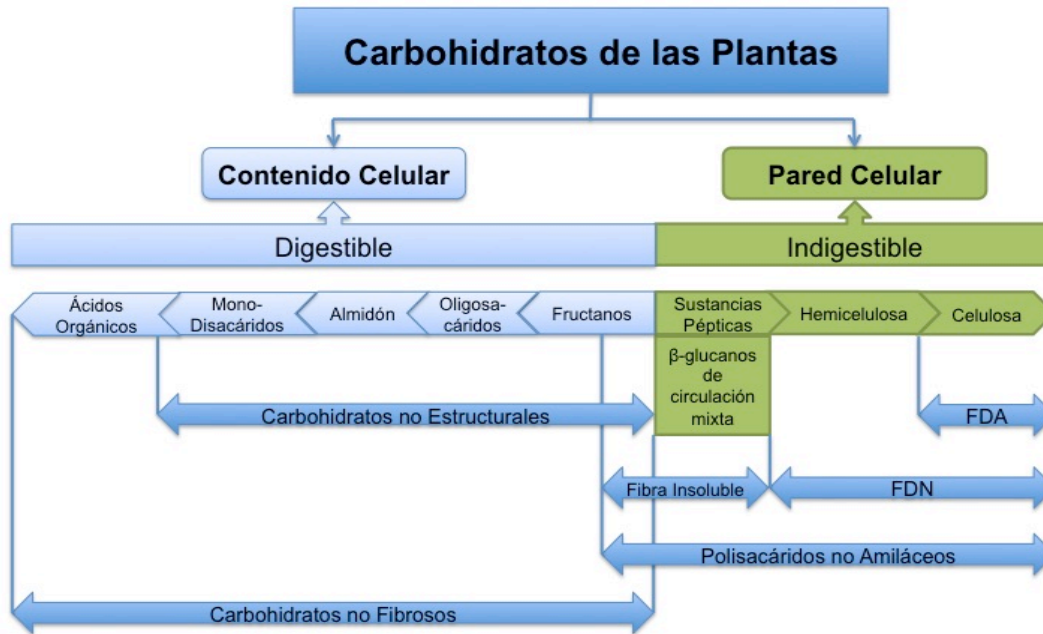
La formación de la pared celular secundaria comienza una vez que la célula completa su elongación y crecimiento. La lignina comienza a ser incorporada en la pared celular de la lamela media y progresa hacia el interior a través de la pared secundaria hacia el lumen. La reticulación entre los polisacáridos y la lignina comienza a tener lugar en la fase secundaria de crecimiento de la planta formando complejos ligno-celulolósicos de baja digestibilidad (Waters *et al.*, 2013).

El consumo voluntario de los rumiantes está limitado por la velocidad en la que la MS sale el rumen. Las paredes celulares de las plantas y el grado de lignificación contribuyen a la disminución de éste. Por lo tanto, conforme el forraje madura, la digestibilidad disminuye junto con la tasa de pasaje a través del rumen (Waters *et al.*, 2013).

### **2.2.7. Energía en la alimentación del ganado lechero**

Los carbohidratos representan la mayor fuente de energía neta para el soporte del mantenimiento y producción de leche; su valor energético depende de su capacidad para ser digeridos por los microorganismos del rumen. Los carbohidratos influyen en la composición de la leche como precursores de lactosa, grasa y proteína dependiendo del grado de inclusión en la dieta (Ishler y Varga, 2001).

Existen dos grupos de carbohidratos (Figura 2): los asociados con el contenido celular (glucosa, fructosa, sacarosa y almidón), conocidos también como carbohidratos solubles, los cuales son altamente digestibles y fácilmente degradables por los microorganismos del rumen y, los asociados con la pared celular (celulosa y hemicelulosa), los cuales son los componentes de la fibra y están sujetos a una degradación parcial por los microorganismos del rumen.



**Figura 2. Carbohidratos en las plantas. Fuente: adaptado de Hall (2007).**

### 2.2.8. Proteína

Las proteínas, además de la energía, son los nutrientes más importantes para la ganadería. Estos nutrientes soportan los microbios del rumen que consecuentemente van a degradar el forraje. Las proteínas verdaderas ocupan arriba del 60-80 % del total de nitrógeno (N) de la planta, con la proteína soluble y una pequeña porción de N unido a la fibra se hace el resto. Los valores en la concentración de proteína en los forrajes varían considerablemente dependiendo de la especie, fertilidad del suelo y madurez de la planta.

Existen otros compuestos nitrogenados conocidos como nitrógeno no proteico (NNP), que se encuentran en la planta en menor cantidad, como son:

*Nitrógeno nítrico (NO<sub>3</sub>-N):* conocido comúnmente como nitratos, esta forma de N se genera en las hojas y tallos de la planta en crecimiento, bajo ciertas condiciones (fuerte fertilización con N, sequía o heladas) pueden causar toxicidad si se consumen en niveles excesivos.

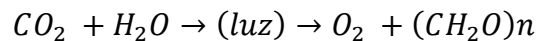
*Nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>):* es el producto de la fermentación resultante del rompimiento de las proteínas. Las bacterias del rumen requieren algo de amoníaco para una óptima digestión de la fibra (Newman *et al.*, 2009).

## 2.3. Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas transforman la materia inorgánica de su medio externo, en materia orgánica que se utilizará para su crecimiento y desarrollo. Consiste en una reacción de óxido-reducción, en la que el H<sub>2</sub>O cede electrones en forma de hidrógeno para la reducción del CO<sub>2</sub> a glúcidos (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> liberando O<sub>2</sub>, con la ayuda de la luz solar (Labarthe y Pelta, 2009).

Este proceso implica dos reacciones: tanto la reacción de atrapar luz, como la reacción oscura asociada con la asimilación de carbono y, se lleva a cabo en las hojas de las plantas, aunque en menor proporción puede producirse en los tallos (Grodzinski *et al.*, 1998).

Como cualquier proceso bioquímico la fotosíntesis se puede representar por una ecuación global:

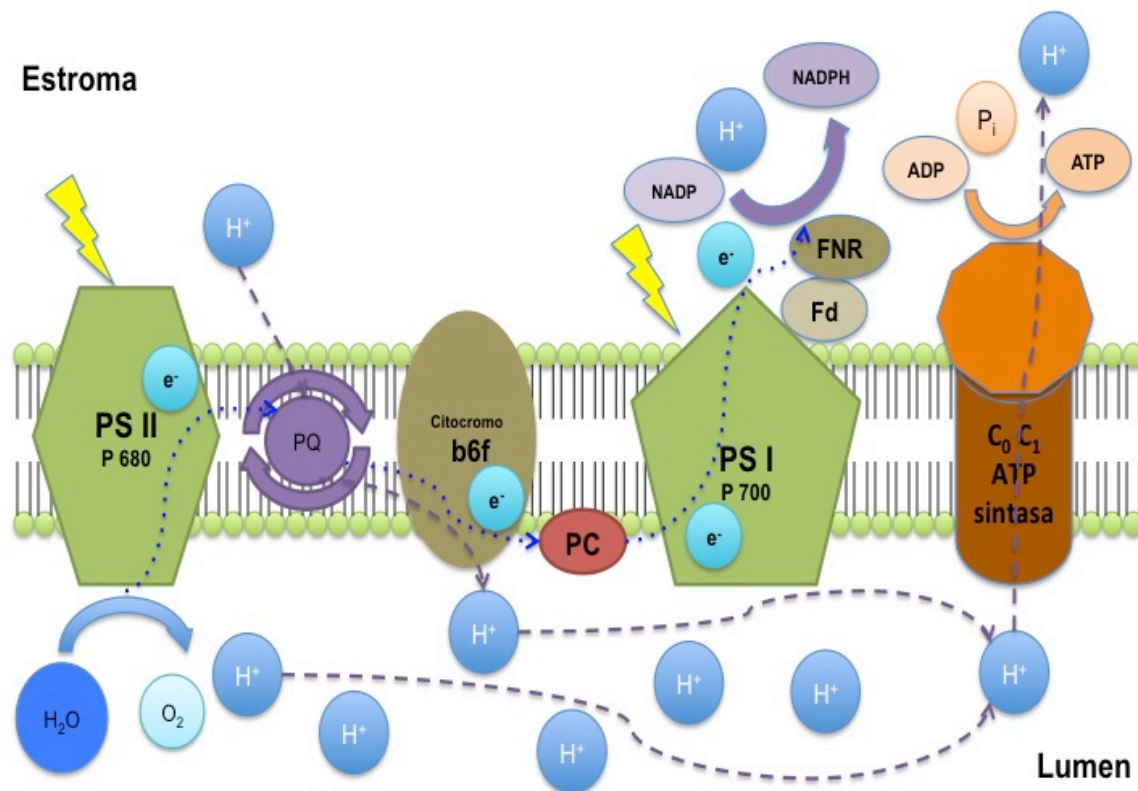


La fotosíntesis se produce principalmente en las células que contienen cloroplastos. Y se ha demostrado que está condicionada por factores internos de la planta, así como factores externos o ambientales. La cual varía entre especies y dentro de las especies (Planchon, 1978).

### 2.3.1. Fase luminosa (fotodependiente)

Durante la fase luminosa (también llamada electroquímica) la energía lumínica asociada a los fotones, cuya longitud de onda se encuentra comprendida dentro del espectro de la luz visible (longitud de onda  $\approx$  400-700 nm), es captada por los pigmentos fotosintéticos y transformada en energía electrónica, ésta finalmente es utilizada en dos procesos bioquímicos necesarios para la síntesis de glucosa; la reducción del NADP<sup>+</sup> a NADPH+H<sup>+</sup> y la síntesis de energía química de enlace en forma de ATP a partir de ADP + Pi (Figura 3). Como producto secundario se produce O<sub>2</sub>, cuando el H<sub>2</sub>O (sufriendo el denominado proceso de fotólisis) es la fuente de los equivalentes de reducción transferidos al NADP<sup>+</sup> (Cordero, 2003; Labarthe y Pelta, 2009).

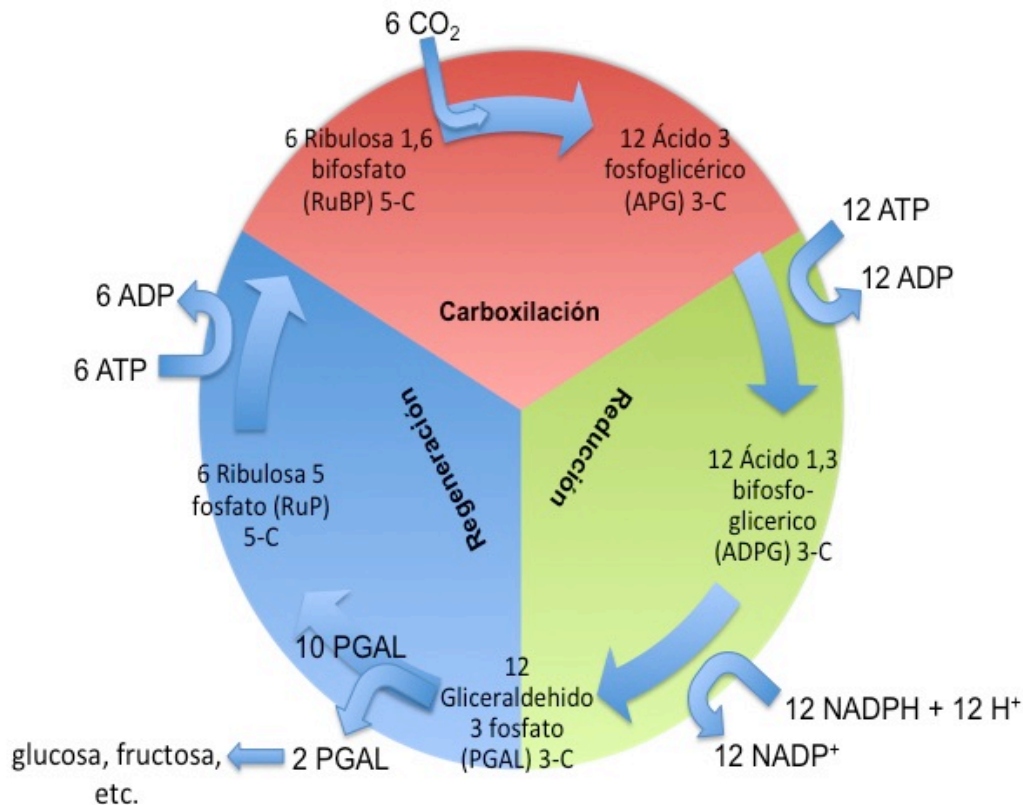




**Figura 3. Esquema del proceso de fotosíntesis. Fuente: adaptado de Hopkins y Hüner (2009).**

### 2.3.2. Fase Oscura (Ciclo de Calvin)

El ciclo de Calvin-Benson, también conocido como ciclo de las pentosas-fosfato, es el conjunto de reacciones que propician la fijación fotosintética y asimilación reductiva del  $\text{CO}_2$ , el cual es absorbido por las plantas a través de los estomas de los cloroplastos, para la formación de compuestos orgánicos  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  (Cordero, 2003; Labarthe y Pelta, 2009). Para que este proceso pueda llevarse a cabo, se debe utilizar el poder reductor en forma de  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  y la energía del ATP generados durante la fase luminosa (Figura 4). El resultado es un producto llamado gliceraldehído-3-fosfato, una molécula que contiene tres átomos de carbono, a partir de la cual se forman los carbohidratos. Este proceso se lleva a cabo en la fase oscura, aunque puede llevarse a cabo también durante la fase luminosa en menor proporción (Grodzinski *et al.*, 1998; Labarthe y Pelta, 2009).



**Figura 4. Ciclo de Calvin-Benson. Fuente: adaptado de Hopkins y Hüner (2009).**

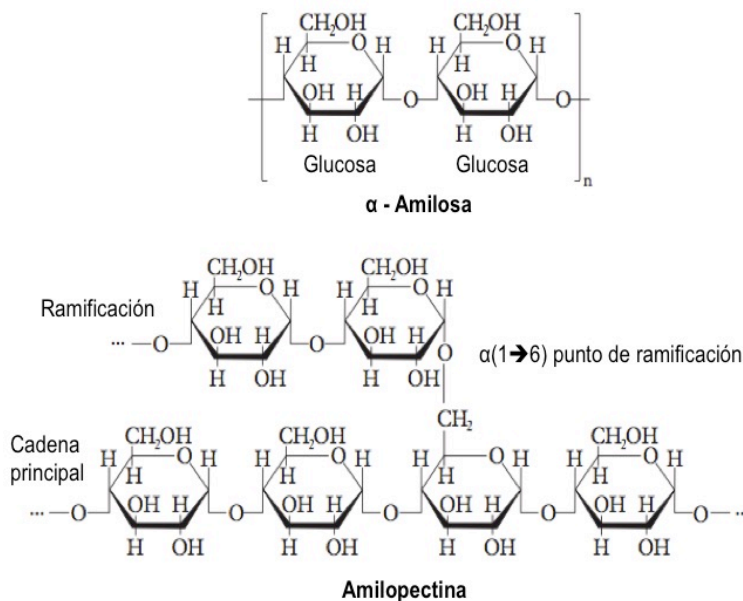
### 2.3.3. Metabolismo del Carbono

Según el mecanismo de fijación de  $\text{CO}_2$  se establecen tres modelos fotosintéticos, el de las plantas C3, C4 y CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas). Las plantas C3 son las más abundantes, denominadas así porque el primer compuesto orgánico (el fosfoglicerato) tiene tres átomos de carbono (Cordero, 2003). Por otro lado, las plantas C4 (tropicales) y las plantas CAM (desérticas) han desarrollado rutas metabólicas auxiliares, las cuales les permiten crecer eficazmente involucrando mecanismos especializados, con un costo mayor de energía para la concentración y transporte del  $\text{CO}_2$  a los sitios de fijación de la enzima rubisco (Labarthe y Pelta, 2009). La eficiencia fotosintética de estos dos grupos de plantas es superior a la de las plantas C3 bajo las mismas condiciones, ya que evolutivamente han desarrollado estrategias para reducir el proceso de foto-respiración (Cordero, 2003).

### 2.3.4. Síntesis de almidón

El almidón es un polisacárido considerado como un producto final de la fotosíntesis, además de ser el carbohidrato de almacenamiento temporal dominante en los cloroplastos de las hojas. Esto es porque cuando la producción de metabolitos fotosintéticos supera la tasa de utilización, el exceso puede ser almacenado como almidón transitorio dentro del estoma (Sharkey, 1985). El grado de acumulación del almidón varía considerablemente, sin embargo, una acumulación excesiva, así como una disminución de la capacidad de degradación del almidón sintetizado durante el día anterior es síntoma de alguna deficiencia en las condiciones de crecimiento o un cambio en una función, tal como la asociada con la iniciación de la floración.

Existen dos formas de almidón (Figura 5), la amilosa, que es un polímero lineal de glucosa creado mediante la vinculación de residuos de glucosa adyacente entre el primer y cuarto carbono, conocido en consecuencia como un  $\pm$ -(1,4)-glucano y, la amilopectina, que es similar a la amilosa, excepto por la vinculación ocasional de  $\pm$ -(1,6) cada 24 a 30 residuos de glucosa, creando una molécula ramificada. La amilopectina es muy similar al glicógeno (principal carbohidrato de almacenamiento en los animales) (Sharkey, 1985).



**Figura 5. Estructura química de las dos formas del almidón. Fuente: Hopkins y Hüner (2009).**

### **2.3.5. Síntesis de Carbohidratos**

Los carbohidratos son unos de los mayores constituyentes de las plantas, los cuales representan la mayor proporción de los compuestos orgánicos formados por la actividad fotosintética. Desempeñan una variedad de funciones fisiológicas, como la celulosa que forma parte de los componentes estructurales, el almidón como material de reserva que provee una fuente de energía y, las gomas y mucílagos, que realizan una acción defensiva para prevenir la desecación del tejido (Tharanathan *et al.*, 1987).

Los carbohidratos de las plantas generalmente son divididos en tres grupos principales: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos.

### **2.3.6. Componentes de los carbohidratos solubles**

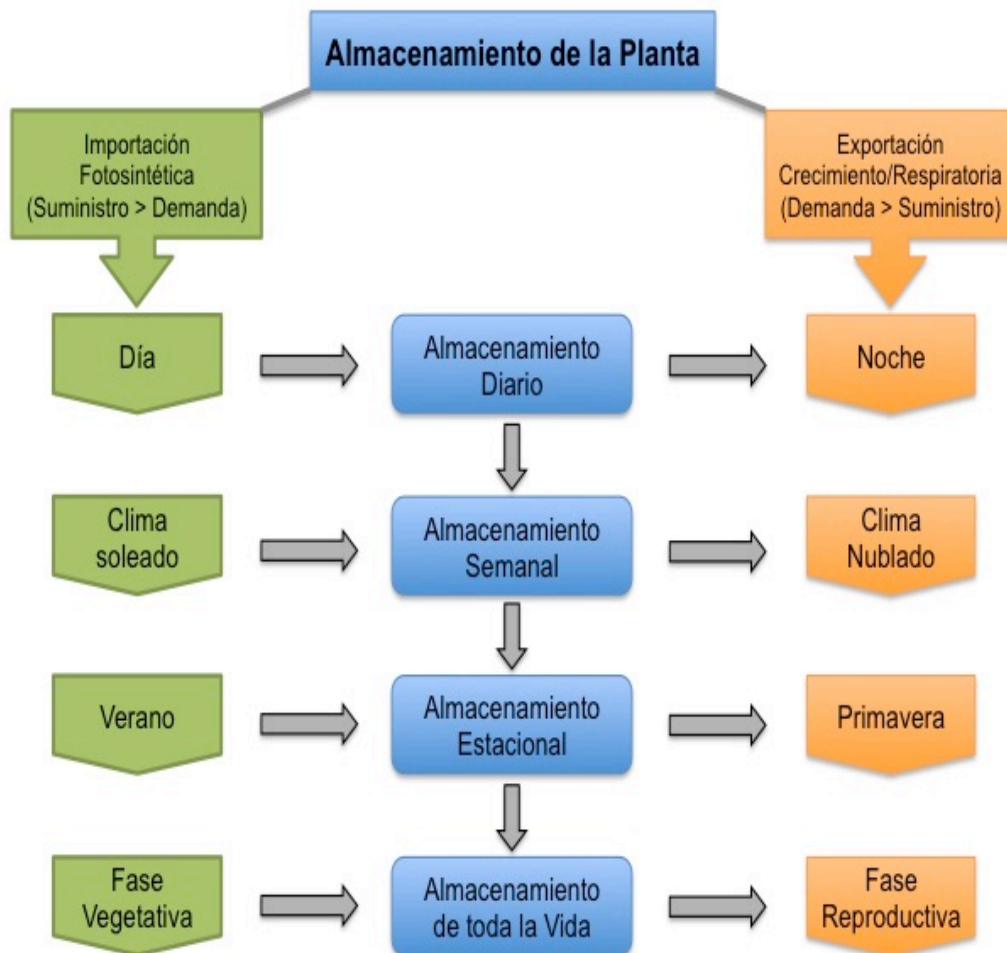
Los azúcares libres, como los mono-, di- y oligosacáridos ocurren casi universalmente en diferentes tejidos de los materiales de la planta. Los mono- y disacáridos comunes, como la glucosa, fructosa, galactosa, sacarosa, lactosa y maltosa, son hidrolizados y absorbidos. Los oligosacáridos de las series de rafinosa, no están disponibles para la digestión y absorción (Pollock y Cairns, 1991). En las plantas los azúcares libres representan un almacén amortiguador de energía, particularmente en las fases iniciales de crecimiento (Tharanathan *et al.*, 1987).

### **2.3.7. Almacenamiento en las plantas**

El almacenamiento es un proceso químico y fisiológico característico de casi todas las plantas, que representa la mayor función junto con la adquisición, transporte, crecimiento, defensa y reproducción. En general, se define como los recursos que se construyen en la planta, que pueden ser movilizados en el futuro para darle soporte a la biosíntesis para el crecimiento u otras funciones (Figura 6). Chapin *et al.* (1990) refieren tres clases generales de almacenamiento:

- 1 *Acumulación* es el incremento en compuestos que no promueven directamente el crecimiento. Esto ocurre porque el suministro de reservas excede las demandas para el crecimiento y mantenimiento.

- 2 *Formación de reservas* implica la compartimentación metabólica regulada o síntesis de compuestos almacenados que, de otra manera, promoverían directamente el crecimiento. La formación de reservas compite directamente por los recursos contra el crecimiento y la defensa.
- 3 *Reciclaje* es la reutilización de compuestos cuya función fisiológica inmediata contribuye al crecimiento o defensa y que posteriormente pueden ser rotos para dar soporte al futuro crecimiento. En ausencia del reciclaje estos compuestos serían perdidos como desecho.



**Figura 6. Causas de cambios en el almacenaje, ocurridas durante diferentes escalas de tiempo. Fuente: Adaptado de Chapin *et al.* (1990).**

### **2.3.8. Variaciones durante el día**

En las gramíneas templadas, las concentraciones de los azúcares totales y los carbohidratos solubles parecen aumentar durante las horas de la mañana hasta cierta hora por la tarde y después decrecen hasta la luz del día siguiente. La mayoría de las variaciones diurnas, parecen hacer cambios en la concentración de la sacarosa, la cual puede variar de 53 a 70 g/kg MS, cosechando a las 9:00 y 18:00 (McDonald, 1981).

### **2.3.9. Efecto del horario de corte**

Los CNF del forraje se acumulan durante el día cuando la producción de fotosintatos excede la utilización de los carbohidratos por la planta, el propósito de cosechar un forraje al atardecer es aprovechar esta habilidad (Berthiaume *et al.*, 2013). En estudios previos se muestra que la concentración de CNF de la alfalfa alrededor de la etapa de desarrollo de floración temprana, durante el crecimiento de primavera y rebrote de verano, se incrementa entre 16 a 42 g/kg de MS durante el día (Morin *et al.*, 2012) y, alcanza su máximo valor entre 11 y 13 h después del amanecer (Morin *et al.*, 2012; Berthiaume *et al.*, 2013).

También se ha demostrado en ganado, ovejas y cabras la preferencia por el heno de alfalfa cosechado al atardecer que por el mismo heno cosechado al amanecer (Burns *et al.*, 2005). Esta acumulación de CNF se asocia también con la reducción en la concentración de FDN y su fracción de fibra constituyente (Burns *et al.*, 2007). La importancia de estos cambios en el valor nutritivo durante el día dependen del grado en que estos puedan ser detectados por los animales y produzcan un impacto en la respuesta diaria del animal y por lo tanto en la calidad del forraje (Burns *et al.*, 2007).

Con el constante incremento en los costos de producción de los forrajes y los concentrados, los pequeños cambios en la composición de las plantas tienen un gran impacto en la sustentabilidad de la producción lechera (Berthiaume *et al.*, 2013). Por esta razón, las estrategias de manejo que adicionen calidad a un producto sin alterar su producción o costos operativos, son contribuciones valiosas a la industria (Burns *et al.*, 2007).

**Cuadro 1. Composición química (% MS) de alfalfa cosechada 0, 2, 4, 8 y 12 horas después del amanecer. Fuente: Adaptado de Berthiaume *et al.*, (2006).**

	Duración de horas luz					EE	P		
	0	2	4	8	12		L	Q	C
CNF <sup>1</sup>	11.9	13.7	14.0	12.9	18.5	0.92	0.0002	0.0986	0.0154
Azúcares totales <sup>2</sup>	7.7	8.1	8.5	8.5	8.0	0.45	0.5450	0.1832	0.9540
Sacarosa	4.8	5.1	5.6	5.6	5.1	0.34	0.4059	0.1003	0.9394
Fructosa	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.6780	0.6339	0.6559
Rafinosa	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.02	<0.0001	0.2931	0.2400
Almidón	4.2	5.6	5.6	4.5	10.4	0.70	<0.0001	0.0057	0.0029
Pinitol	2.5	2.7	2.5	2.6	2.7	0.15	0.5101	0.9169	0.6525

EE = error estándar, P = probabilidad, L = lineal, Q = cuadrática, C = cúbica.

<sup>1</sup> CNF: Carbohidratos no fibrosos = Azúcares Totales + Almidón

<sup>2</sup> Azúcares Totales: Sacarosa + Fructosa + Rafinosa + Pinitol

## 2.4. Calidad de Forrajes

Se sabe que la composición química o nutricional de los forrajes depende de las características de la planta, así como del método de cosecha y almacenaje, mismos que determinan en gran parte su calidad y por consiguiente su valor nutritivo, afectando su habilidad para aportar nutrientes a la dieta, además de su consumo y digestibilidad (Newman *et al.*, 2009).

La calidad o valor nutritivo de un forraje se define como el potencial para producir la respuesta animal de un consumo dado y puede ser medido en forma de producción de leche, crecimiento animal, producción de carne o salud del hato. Sin embargo, esta no es una característica intrínseca de la planta ya que depende también de la especie animal, etapa productiva y la cantidad de inclusión en la ración (Newman *et al.*, 2007).

Todos los forrajes deben ser analizados para conocer el contenido de nutrientes antes de ser utilizados como alimento. Algunas de las características que determinan la calidad de un forraje son: MS, PC, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), total de nutrientes digestibles (TND) y energía neta de lactancia (ENL) (Weiss *et al.*, 1999).



### **2.4.1. Factores que afectan la calidad del forraje**

Existe una secuencia de relaciones causa-efecto entre el ambiente, la planta y su valor nutritivo. En general, el rendimiento y la calidad del forraje son inversamente relacionados, por lo que cualquier factor que retarde el desarrollo de la planta tiende a mantener la calidad del forraje. Por otro lado, los factores que aceleran la madurez, como las altas temperaturas, tienden a tener un efecto negativo en la calidad del forraje. Cherney y Hall (2000) describen seis factores principales que afectan la calidad del forraje:

- **Madurez:** El estado de madurez es el factor más importante que afecta la calidad del forraje, ya que éste nunca es estático y va cambiando a medida que la planta madura. Conforme incrementa el contenido de la pared celular, se acumula lignina indigestible. De hecho, la madurez de la planta cambia tan rápido que es posible medir descensos significativos de la calidad del forraje cada dos o tres días.
- **Especie de cultivo:** Las diferencias en la calidad de forraje entre gramíneas y leguminosas pueden ser muy amplias. El contenido de proteína, así como la tasa de digestión de la fibra de las leguminosas, es típicamente mucho más alto que el de las gramíneas, razón por la cual presentan un mayor consumo por los rumiantes.
- **Cosecha y almacenamiento:** Las técnicas inadecuadas de cosecha pueden reducir la calidad del forraje, principalmente por la pérdida de hojas. El almacenamiento del heno con un contenido de humedad inadecuado, ó el mal ensilado de un cultivo, puede disminuir dramáticamente su calidad.
- **Factores ambientales:** Factores como la humedad, temperatura y fotoperiodo influyen en la calidad del forraje. Las altas temperaturas aumenta la deposición de lignina, la alta precipitación aumenta la tasa de crecimiento y maduración del forraje, lo cual disminuye su calidad, pero el estrés por sequía puede beneficiar la calidad retrasando la madurez de la planta.
- **Fertilidad de suelo:** La fertilidad del suelo se refiere a la capacidad para suministrar nutrientes esenciales y agua en cantidades adecuadas para el

crecimiento y la reproducción vegetal. La disponibilidad y absorción de estos nutrientes, afecta la composición y el valor nutritivo de los forrajes, así como su rendimiento.

- Variedad: Si bien la variedad afecta la calidad del forraje en menor proporción que los factores anteriores, la selección de forrajes debe ser dirigida a un alto rendimiento o a una calidad mejorada.

## **2.5. Cereales de grano pequeño**

Los cereales de grano pequeño (avena, cebada, centeno, trigo y triticale) son utilizados como cultivos de cobertura para controlar la erosión del suelo. Por otro lado, representan una fuente de alimento potencial, al tiempo que la humedad del suelo es alta y los suplementos alimenticios limitados, generando así un retorno económico de la tierra (Helsel y Thomas, 1987). Pueden crecer en un amplio rango de condiciones climáticas y de suelo durante todo el año, ya que hay variedades de primavera e invierno (Khorasani *et al.*, 1997).

Estos cultivos son aceptados y utilizados porque ofrecen ventajas sobre otras fuentes de forraje, particularmente la alfalfa, ya que además de tener un buen potencial de producción, son más eficientes en el uso del agua que otros cultivos, como el maíz y el sorgo (Kenelly y Weinberg, 2003). Por su ciclo corto se utilizan como fuente de forraje de emergencia y cultivados en invierno, encajan perfectamente en sistemas de doble cultivo (Collar y Aksland, 2001).

### **2.5.1. Calidad de los cereales de grano pequeño como forraje**

Los forrajes de cereales de grano pequeño son un importante componente de las dietas del ganado lechero, ya que son una fuente versátil de fibra digestible, proteína, carbohidratos y minerales (Collar y Aksland, 2001), que pueden ser utilizados para su consumo directo o conservados mediante su henificación o ensilaje (Flores *et al.*, 2011). En general, su calidad nutritiva es alta -cuando se cosechan en la etapa óptima- y comparable con la de otras especies forrajeras en la misma etapa de madurez. Sin

embargo, su rendimiento y calidad cambia según la etapa de crecimiento y la especie, por lo que son difíciles de cosechar en el momento adecuado (Distch y Bitzer, 1995). Estos cultivos contienen alrededor del 90 % de la energía que contiene el maíz y se estima que contienen 3 ó 4 unidades porcentuales más de PC que éste (Weiss *et al.*, 1999), por lo cual, si se evalúa la fecha óptima de cosecha pueden ser utilizados en lugar de los concentrados altos en energía, ofreciendo altos beneficios económicos a la producción lechera (Cleale y Bull, 1986).

### **2.5.2. Ensilado de cereales de grano pequeño**

De Ruitter (2002) menciona que el ensilado de cereales de grano pequeño es una alternativa en las raciones del ganado lechero, la cual tiene el potencial de proveer un alto contenido de proteína o bien una alta energía, dependiendo de la etapa fenológica en que se coseche (Rotz *et al.*, 2002), por esta razón se recomienda para animales en mitad de la lactancia. Su valor económico depende del rendimiento y su valor alimenticio -composición química, digestibilidad y desempeño animal- (McCartney y Vaage, 1994).

### **2.5.3. Estado de madurez**

El forraje de los cereales de grano pequeño tiene ciertas características muy diferentes a otros forrajes. Un factor clave para cosechar su valor máximo, es comprender su crecimiento y manejo (Fohner, 2002). Sin embargo, este varía dependiendo de la especie de forraje.

El porcentaje de fibra de los cereales de grano pequeño no siempre aumenta conforme a la madurez. Durante la fase vegetativa hasta la floración, el contenido de fibra aumenta a medida que la planta madura. Sin embargo, cuando comienza la etapa reproductiva, la relación se vuelve más compleja. En la etapa de grano lechoso-masoso, el nivel de fibra es por lo general igual o inferior a la etapa de embuche debido a que durante el desarrollo del grano, los carbohidratos no estructurales, como el almidón, diluyen la concentración de la fibra (Collar *et al.*, 2004).

#### 2.5.4. Etapas fenológicas

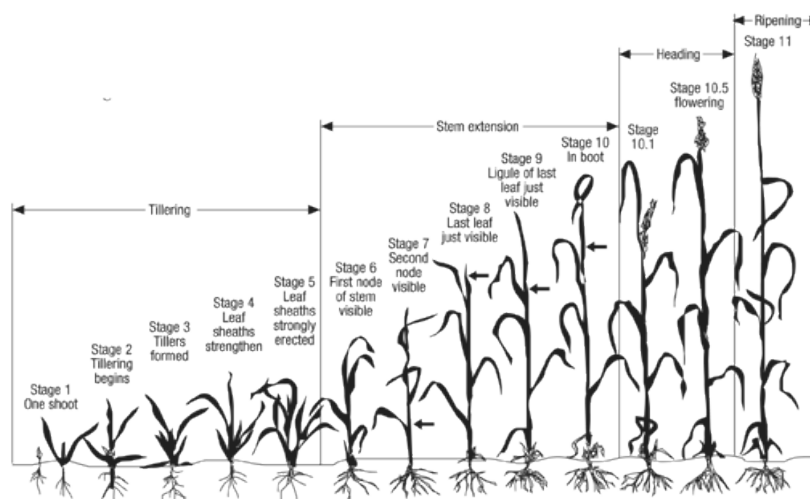
Collar y Aksland (2001) refieren que la mejor etapa para la cosecha de los cereales de grano pequeño depende del tipo de alimento necesario (Figura 7); para lo cual reconocen cuatro etapas en la producción de forraje:

*Embuche:* esta es la etapa justo antes de que salga la espiga. La hoja bandera está totalmente expandida, pero las aristas y la cabeza de grano no son visibles. La cabeza del grano se puede sentir en la vaina de la hoja bandera. Por lo general dura alrededor de una semana a diez días dependiendo del cultivo.

*Floración:* en esta etapa, la cabeza del grano y el tallo de apoyo han surgido de la vaina de la hoja bandera. La planta ha completado el crecimiento vegetativo y entrado en la etapa reproductiva. Una mirada cercana a la cabeza revela anteras, la parte de la flor que arroja el polen. Si se agita la cabeza grano en la mano, el polen amarillo puede ser visible. La floración dura alrededor de cinco a siete días.

*Grano lechoso:* Esta es la etapa en que el grano en la cabeza comienza a desarrollarse. Un líquido lechoso blanco aparece cuando un núcleo se aprieta entre el pulgar y el índice. La etapa de leche dura unos diez días.

*Grano masoso:* en esta etapa el núcleo está bien formado y lleno de almidón. Cuando se aprietan, no hay líquido lechoso, sólo una masa gomosa como sustancia. Esta etapa dura aproximadamente una semana a diez días.



**Figura 7. Etapas fenológicas de los cereales de grano pequeño. Fuente: Ditsch y Bitzer (1995).**

### 2.5.5. Premarchitamiento

El cosechar cereales de grano pequeño para ensilado en etapas de crecimiento tempranas, está asociado con altos contenidos de humedad, alta capacidad amortiguadora y bajas concentraciones de carbohidratos solubles (CHS) (Uchida *et al.*, 1989). Por lo anterior, el material del cultivo es propenso a una extensa degradación de la proteína por fermentación clostridial cuando es ensilado sin premarchitar (Bergen *et al.*, 1991).

Dependiendo del estado de madurez del forraje, se recomienda un premarchitamiento de 24 a 48 h hasta que alcance entre 33 y 40 % de MS. Retrasando la fecha de cosecha de etapas tempranas a la etapa de grano masoso, el rendimiento de MS se puede doblar, primeramente por el incremento en el contenido de grano, sin una pérdida en el rendimiento de proteína (Bergen *et al.*, 1991).

### 2.6. Triticale

El triticale es un cereal producto de la cruce realizada por el hombre entre trigo (*Triticum aestivum* L.) y centeno (*Secale cereale*), el objetivo fue combinar la productividad y la calidad del grano del trigo con la resistencia a enfermedades, vigor y dureza del centeno (Brown y Almodares, 1976). Su nombre científico (*X Triticosecale wittmack*) se forma de la combinación de los nombres de las dos especies (Myer y Lozano, 2004). El triticale es de apariencia intermedia, aunque morfológicamente es más similar al trigo. Su altura va desde uno hasta un metro y medio; en relación con el trigo, presentan hojas más grandes y gruesas, así como una espiga de mayor tamaño (Salmon *et al.*, 2004).

El triticale es un cultivo que reúne un alto potencial de producción de biomasa, de adecuado valor nutritivo y con una mayor tolerancia a factores adversos del ambiente, como lo son las bajas temperaturas -por lo mismo presenta un adecuado rendimiento de forraje durante los meses de diciembre, enero y febrero- (Lozano *et al.*, 2000; Ammar, 2013), y las deficiencias de agua y nutrientes; presenta una menor pérdida de calidad con el avance de su fenología en comparación con la avena y la cebada (Mendoza *et al.*, 2011), así como una adecuada resistencia a enfermedades (Lozano *et*

*al.*, 2000; Zamora *et al.*, 2002; Ammar , 2013), por lo que es una excelente opción para los sistemas agrícolas de bajo potencial (Flores *et al.*, 2011; Ammar, 2013).

### **2.6.1. Historia**

Varughese *et al.* (1987) mencionan que en el año 1875 Wilson informó a la Sociedad Botánica de Edimburgo que había obtenido una planta estéril a partir de un cruzamiento trigo x centeno. Si bien Rimpau produjo el primer triticales fértil en 1888, este cultivo continuó teniendo relativamente poca trascendencia hasta ya avanzados los primeros decenios del siglo XX. En ese momento, científicos de la Unión Soviética y Europa, en particular en Müntzing, Suecia, comenzaron a explorar su potencial como cultivo comercial. Sus esfuerzos se vieron frustrados por la persistente infertilidad del híbrido, su tendencia a producir semillas arrugadas y la imposibilidad de obtener grandes cantidades de nuevos híbridos trigo x centeno fértiles (a los que se llama triticales primarios, en contraste con los triticales secundarios, que son la progenie mejorada de los primarios).

Mientras que el ambicioso objetivo de crear un cultivo que combine todos los mejores atributos del trigo y el centeno en una sola planta no ha sido del todo realizado, los atributos generales de los triticales de hoy los provee de suficientes ventajas competitivas para su creciente desarrollo alrededor del mundo. Juzgando por los cerca de 3 millones de hectáreas de triticales que se siembran en la actualidad, uno puede fácilmente argumentar que los descendientes de híbridos entre trigo y triticales se han entregado en su promesa de proveer a la humanidad con otro valioso cultivo de cereal (Ammar *et al.*, 2004).

### **2.6.2. Clasificación del triticales**

La clasificación del triticales según el número de cromosomas permite establecer los siguientes tipos: los triticales hexaploides, que son los obtenidos a partir del cruzamiento del trigo duro (especie tetraploide, 28 cromosomas) y el centeno (especie diploide, 14 cromosomas), mediante el cultivo de embriones para obtener una planta fértil que tendrá 42 cromosomas. Un segundo tipo son los triticales octoploides, los

cuales parten del trigo harinero en lugar de trigo duro el cual es una especie hexaploide, y el centeno que es diploide; para ésta cruza no es necesaria la técnica de cultivo de embriones (Varughese *et al.*, 1987).

### **2.6.3. El triticale en México**

Los trabajos de mejoramiento del triticale iniciaron en México en el 1962 por una iniciativa del doctor Norman Borlaug, quien se enteró de este cultivo en Canadá y le vio un potencial para ser competitivo con el trigo en ambientes y suelos marginales, a pesar de que los pocos recursos genéticos de esta época padecían de los requerimientos necesarios, como precocidad, fertilidad de la espiga, buen llenado de grano y estabilidad genética. Gracias al mejoramiento genético realizado en México por parte del CIMMYT y sus colaboradores durante más de cuatro décadas, el triticale primaveral dejó de ser una curiosidad científica y se volvió un cultivo competitivo frente a cualquier grano pequeño, de alto valor agronómico, con una adaptación sobresaliente a un amplio rango de sistemas de producción, calidad de suelo, condiciones climáticas y de siembra (Ammar, 2013).

### **2.6.4. Hábitos de crecimiento**

Lozano (1990) y Murillo *et al.* (2001) clasifican a los triticales con base en el número de cortes, capacidad de rebrote, desarrollo, producción y estación del año en tres variedades forrajeras: primaverales, facultativos e invernales.

*Los primaverales* son materiales de doble propósito (grano y forraje), precoces, de rápido crecimiento con una baja capacidad de rebrote, insensibles al fotoperiodo, por lo que son adecuados para un solo corte para su uso como ensilado o heno, su altura oscila entre 0.75 y 1 m. Algunas variedades presentan resistencia a la sequía, no presentan problemas de enfermedades, son una buena opción para forraje en época de escasez, con un desarrollo y producción similar al de la avena.

*Los facultativos* son materiales doble propósito, relativamente más tardíos que los primaverales, con una actitud más precoz que los de invierno. En forma general presentan mayor relación hoja-tallo que los anteriores. Tienen una mayor capacidad de



rebrote que los primaverales, por lo que pueden ser utilizados en dos cortes para verdeos, o bien, uno para verdeo y el segundo para henificado o ensilaje. Son materiales con alturas menores a 1 m. Algunas variedades son resistentes a la sequía, no presentan problemas de enfermedades, son insensibles al fotoperiodo. Algunas líneas presentan escasa actividad de la enzima alfa-amilasa.

*Los invernales* son de ciclo tardío con un mayor potencial forrajero, por lo que son excelentes para cortes o pastoreos intensivos múltiples (3 ó 4) debido a su alta capacidad de rebrote y alta calidad nutritiva. Además, presentan adecuados rendimientos de forraje seco en etapas tempranas en su desarrollo (encañe) y una mayor proporción de hoja que los triticales primaverales y facultativos, así como de avenas y trigos. Poseen mayor resistencia a salinidad que los materiales de triticales evaluados. La mayoría de las variedades presentan alturas superiores a 1 m, de las cuales algunas presentan alta tolerancia a suelos ácidos.

#### **2.6.5. Uso del triticales en la alimentación de los rumiantes**

El triticales puede utilizarse para tres fines agrícolas: producción de grano, producción de forraje y doble propósito (Lozano *et al.*, 2009). A nivel mundial, se usa principalmente para producir forraje, el cual se puede henificar, ensilar o pastorear (Flores *et al.*, 2011). Esta modalidad en el uso de este cultivo está ganando popularidad en diversas regiones del norte y centro de México durante el ciclo otoño-invierno, debido a su potencial productivo y adecuada calidad nutritiva (Lozano *et al.*, 2009), la cual en la etapa de encañe-embuche es similar a la alfalfa (Collar y Aksland, 2001). Presenta rendimientos (tanto en verde como en ensilado) que pueden superar a los del trigo, centeno, cebada o avena (cultivo tradicional de invierno) (Rao *et al.*, 2000; Lozano *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2011), además de presentar una mayor capacidad de rebrote que la avena, aún en la etapa de floración en la que el rebrote de la avena es mínimo (Flores *et al.*, 2011). Bajo condiciones severas de restricción de agua, el triticales tiene mayor eficiencia del uso de este recurso en comparación a la avena, el trigo y la cebada (Ammar, 2013).

### **2.6.6. Manejo agronómico**

El triticale ha ganado aceptación a nivel mundial por su adaptación a un rango de texturas de suelo que va de franco arenoso a franco arcilloso, así como suelos ácidos (con un pH de 5.5 a 7.5) (Salmon *et al.*, 2004), presenta una alta tolerancia a la salinidad, sequía u otras condiciones extremas. Por ejemplo, el triticale se adapta bien a suelos ácidos tropicales con temporal de lluvias intenso y toxicidad de cobre y aluminio en comparación con el trigo (Cruz *et al.*, 1998; Kenelly y Weinberg, 2003).

Se adapta mejor en las regiones templadas en las que se puede cultivar de 0 a 3000 m s.n.m. Su tolerancia al frío es mayor que la avena y la cebada, por lo que es una buena opción para producir forrajes de invierno (Mendoza *et al.*, 2011). Se caracteriza por poseer la rusticidad del centeno, por lo que sus necesidades hídricas oscilan en torno a los 400-900 mm por año (Bergen *et al.*, 1991).

Las densidades de siembra óptimas para la producción van en rangos de 95 a 168 kg/ha, a una profundidad de 2.5 a 5 cm. Conforme se incrementa la densidad de siembra decrece el peso del grano. Cuando va a ser utilizado como cultivo de invierno debe ser sembrado por lo menos cuatro semanas antes del término de la temporada de crecimiento. La temperatura óptima para la germinación es alrededor de los 20 °C (Kenelly y Weinberg, 2003).

### **2.6.7. Calidad nutritiva del ensilado de triticale**

En la actualidad, el triticale se siembra principalmente como cultivo forrajero de alto rendimiento, ya que puede producir de 25 a 30 toneladas de ensilado por hectárea. Sin embargo, la utilización de éste ha sido estudiada como alternativa al de la cebada y maíz con éxito relativo, debido en gran medida al desconocimiento del estado de corte adecuado para su conservación (Fisher, 1972; Rojas *et al.*, 2004). En este sentido es importante el conocimiento de las relaciones de producción y calidad que este cultivo tiene a medida que avanza su fenología, para determinar el momento adecuado de corte, especialmente para animales de alto requerimiento (Rojas *et al.*, 2004).

## **2.7. Preservación de forrajes**

En cualquier sistema de producción animal, la calidad de los alimentos que componen la ración es de fundamental importancia en la búsqueda de la eficiencia. Por eso, el uso de tecnología adecuada para la producción de alimentos es un factor primordial. La conservación de forrajes es un proceso que permite por un lado, aprovechar los periodos de mayor producción de forrajes con mínimas pérdidas en cantidad y calidad nutritiva y, por otro lado, disponer de forraje ya sea para suplementar la alimentación o para épocas en que no se tiene o decrece su producción, ya que son una fuente de nutrientes consistente, segura y predecible (Nuñez *et al.*, 2009).

Cada uno de los métodos de cosecha y conservación de forrajes tiene ventajas y desventajas que los hacen más deseables que otros para cada operación ganadera específica. Sin embargo, los productores deben revisar cada práctica de manejo y evaluar su propia situación de producción para determinar el método a utilizar para obtener el máximo retorno económico (Schroeder, 2014).

Las consideraciones clave para seleccionar el sistema de cosecha incluyen: la eficiente conservación de nutrientes del cultivo, idoneidad de la especie forrajera entre el crecimiento y las condiciones climáticas, instalaciones, equipo, mano de obra y costos asociados con cada sistema, así como el fin productivo de la ganadería. Algunos cultivos son claramente adecuados a un sistema de cosecha en particular (Collins y Fritz, 1998).

### **2.7.1. El ensilado en la alimentación de rumiantes**

El ensilado es un método común de conservación para la mayoría de los cultivos forrajeros, se basa en bacterias ácido lácticas que convierten los CHS a ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, bajo condiciones anaeróbicas. Como resultado, el pH desciende y el forraje es preservado de la hidrólisis de las proteínas por sus propias enzimas, así como del deterioro de microorganismos (McDonald *et al.*, 1991).

Los forrajes conservados como ensilado pueden tener su valor alimenticio bastante alterado en razón de los procedimientos adoptados para su producción, así como los fenómenos bioquímicos y microbiológicos ocurridos durante el proceso. En general, la

respuesta del animal al ensilado depende del patrón de fermentación que a su vez afecta la concentración de nutrientes, su ingestión y digestibilidad (Jobim *et al.*, 2007).

### **2.7.2. Proceso de ensilaje**

El ensilaje es un proceso de fermentación complejo que resulta en cambios significativos en la calidad del forraje en términos de contenido de proteína y carbohidratos. Los factores que afectan éste proceso incluyen varios aspectos de la composición del forraje entrante, las condiciones físicas y térmicas durante su almacenamiento, así como la presencia de aditivos para la fermentación. La interacción de estos factores resulta en un alto grado de variación en la calidad del ensilado.

El éxito de éste proceso para conservar el forraje es un tanto impredecible; existe una incertidumbre acerca de las prácticas de manejo óptimo para un cultivo en particular y su proceso de ensilaje. Se necesita una mayor comprensión de la bioquímica básica y los procesos microbiológicos que ocurren durante el ensilaje y de cómo los factores que influyen en este proceso gobiernan su calidad (Pitt *et al.*, 1985).

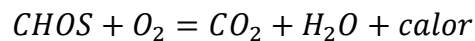
### **2.7.3. Factores primarios que controlan el proceso de ensilado**

El objetivo de hacer ensilado es preservar los nutrientes de los forrajes para utilizarlos después. Esto es realizado por la conversión de los CHS de las plantas a ácidos orgánicos por medio de la fermentación. La acidez resultante conserva efectivamente el forraje. La producción de ensilado de calidad requiere mínimas pérdidas de nutrientes a pesar del proceso dinámico y sensible que es la fermentación del ensilado (Jones *et al.*, 2004). Este proceso está controlado por cinco factores primarios:

1. Contenido de humedad del forraje.
2. Tamaño de partícula.
3. Exclusión del aire.
4. Contenido de CHS del forraje.
5. Poblaciones bacterianas, tanto epifitas como suplementadas.

#### **2.7.4. Fase I – respiración de la planta**

La fase de respiración, también llamada aeróbica (porque solo puede ocurrir en presencia del oxígeno), comienza tan pronto como es cosechado el forraje. Este continúa respirando por varias horas (o más si no es bien compactado durante su almacenamiento), ya que las células de las plantas continúan tomando oxígeno porque muchas paredes celulares aún están intactas. Las enzimas de las plantas que rompen las proteínas (proteasas) continúan funcionando al mismo tiempo que las bacterias aeróbicas -presentes de manera natural en los tallos y las hojas de las plantas-, comienzan a crecer. Este proceso consume los carbohidratos disponibles almacenados en la planta y produce dióxido de carbono, agua y calor.



El calor producido por las bacterias aeróbicas causa un aumento inicial en la temperatura del silo. Una fermentación normal resulta en temperaturas iniciales que no exceden los 7 °C de la temperatura ambiente al momento de ensilar.

La fase de respiración usualmente dura de tres a cinco horas, dependiendo el suministro de oxígeno presente. Desde un punto de vista de manejo, el objetivo primario de esta fase es eliminar el oxígeno tan pronto como sea posible y que éste permanezca fuera del silo durante el periodo de almacenaje. Las inevitables pérdidas de MS y CHS para remover el oxígeno atrapado al sellado son mínimas.

#### **2.7.5. Fase II – producción de ácido acético**

Esta fase comienza cuando el suministro de oxígeno decrece, lo que facilita el ambiente propicio para el desarrollo de las bacterias anaeróbicas. Las bacterias ácido acéticas comienzan el proceso de acidificación del ensilado convirtiendo los carbohidratos de la planta en ácido acético. Esto disminuye el pH de 6.0 -cuando está en verde-, a cerca de 5.0; ésta disminución ocasiona que las bacterias ácido acéticas disminuyan en número, porque no toleran los ambientes ácidos, además de limitar la actividad de las enzimas proteolíticas de la planta.

### 2.7.6. Fase III – inicio de la producción de ácido láctico

La tercera fase del proceso de fermentación comienza cuando el número de las bacterias productoras de ácido acético comienza a decrecer. El aumento de la acidez, permite el crecimiento y desarrollo de las bacterias productoras de ácido láctico heterofermentativas, que convierten los carbohidratos de la planta a ácido láctico, ácido acético, etanol, manitol y dióxido de carbono. Las bacterias homofermentativas son preferidas porque ellas pueden convertir los carbohidratos en ácido láctico exclusivamente. Estos grupos de bacterias crecen en condiciones anaeróbicas, y requieren de un bajo pH.

### 2.7.7. Fase IV – pico de la producción de ácido láctico y almacenamiento

En la cuarta fase, la producción de ácido láctico continúa hasta que alcanza su pico máximo. Su duración es alrededor de dos semanas o hasta que la acidez del ensilado disminuye lo necesario para restringir el crecimiento bacteriano (esto incluye las bacterias ácido lácticas). El ensilado alcanza su estabilidad a los 21 días y cesa la fermentación si no hay presencia de oxígeno. Sin embargo, prácticas de ensilado impropias resultan en una continuación indeseable de este proceso.

El resto es la fase del almacenamiento. Generalmente, la ausencia de oxígeno previene el crecimiento de levaduras y mohos y, el pH bajo limita el crecimiento de bacterias.

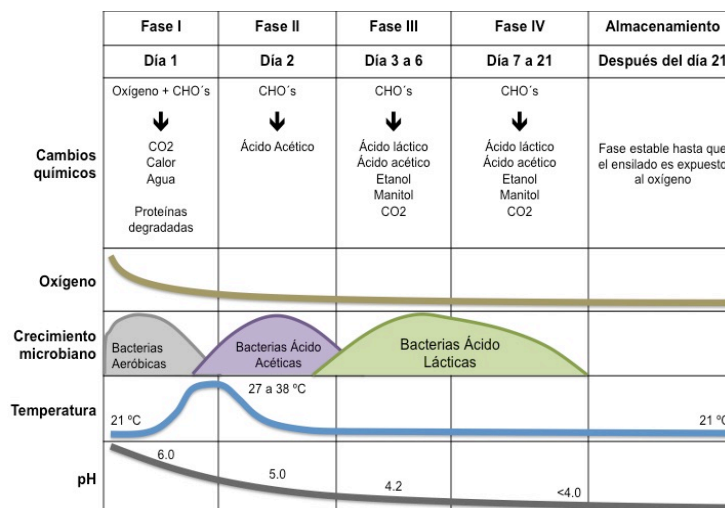


Figura 8. Fases de una fermentación normal. Fuente: adaptado de Jones *et al.* (2004).

### **2.7.8. Procesos biológicos que pueden afectar negativamente el ensilado de un cultivo**

Las fallas en el proceso de producción, fermentación y uso del ensilado, pueden comprometer su calidad nutricional, principalmente en la fase posterior a la apertura del silo, donde el ambiente se torna nuevamente aeróbico y la cara de éste queda expuesta a la degradación microbiana. Las pérdidas recurrentes por los problemas de conservación de los silos como producción de efluentes, producción de gas y deterioro por oscurecimiento, pueden representar hasta un 40 % de la masa ensilada.

Los procesos biológicos que afectan la calidad nutritiva del ensilado son las enzimas proteolíticas de la planta, clostridium y los microorganismos aeróbicos. En contraste, sólo tres procesos son responsables de la pérdida de energía y MS, la respiración de la planta, los microorganismos aeróbicos y el clostridium. De éstos, los primeros dos son generalmente los más importantes (Muck, 1988).

### **2.7.9. Respiración de la planta**

Cuando un silo es llenado lentamente o mal sellado, puede ocurrir una respiración excesiva, resultando en problemas potenciales. Primero, la respiración causa pérdidas de materia MS. Segundo, la MS que se pierde son los carbohidratos rápidamente fermentables (esto representa una pérdida en el valor energético del cultivo, así como de sustrato para la fermentación de ácido láctico), lo que limita severamente la fermentación y produce una preservación inadecuada. Tercero, una respiración prolongada retarda el descenso del pH permitiendo que continúe el deterioro de la planta y la actividad microbiana. Finalmente la respiración produce calor que puede incrementar la formación de productos indeseables, incluyendo nitrógeno insoluble en FDA (Muck, 1988).

<b>Láctica Homofermentativa</b>	1 glucosa → 2 ácido láctico	
<b>Láctica Heterofermentativa</b>	1 glucosa → 1 ácido láctico + 1 etanol + 1 CO <sub>2</sub>	3 fructosas → 1 ácido láctico + 2 manitol + 1 ácido acético + 1 CO <sub>2</sub>
<b>Enterobacteria</b>	1 glucosa → 1 ácido acético + 1 etanol + 2 CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub>	
<b>Clostridea</b>	2 ácido láctico → 2 ácido butírico + 2 CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub>	3 alanina → 2 ácido propiónico + ácido acético + 3 NH <sub>3</sub> + 1 CO <sub>2</sub>

**Figura 9. Tipos de fermentación. Fuente: adaptado de Tomich *et al.* (2003).**

### 2.7.10. Actividad enzimática de la planta

Las enzimas implicadas en la respiración de la planta no son las únicas que permanecen activas en el ensilaje de un cultivo. Durante este proceso, ocurre una hidrólisis significativa del almidón y la hemicelulosa a monosacáridos. La pérdida de MS por cada polisacárido hidrolizado puede estar por arriba del 1 % o más, dependiendo del forraje. Esta hidrólisis provee azúcar adicional para la fermentación de ácido láctico. La reducción de hemicelulosa baja la concentración de FDN, sin embargo, la cantidad de fibra indigestible se mantiene.

En contraste, las enzimas proteolíticas pueden disminuir el valor nutritivo del cultivo ensilado, ya que convierten el N proteico a formas de nitrógeno no proteico (NNP) como péptidos y aminoácidos libres, mientras que la actividad microbiana es la responsable de una fuerte reducción a amoníaco y aminas (Muck, 1988).



### **2.7.11. Actividad clostridial**

El género *Clostridium*, es el principal microorganismo anaeróbico perjudicial que afecta la calidad del ensilado. Existen dos grupos principales: El *Clostridium* sacarolítico, que principalmente fermenta los carbohidratos y los ácidos orgánicos produciendo ácido butírico, dióxido de carbono y agua. Y el *Clostridium* proteolítico, que principalmente fermenta los aminoácidos, dando como resultado una variedad de ácidos orgánicos, dióxido de carbono, amoníaco y aminas. Estas fermentaciones resultan en pérdidas de energía y MS, pero la principal causa de preocupación es la producción de ácido butírico, amoníaco y aminas, lo cual está relacionado con un bajo consumo de alimento *ad libitum* en rumiantes (Muck, 1988).

### **2.7.12. Actividad microbiana aeróbica**

El aire que se filtra al silo a través de un mal sellado o después de la apertura de éste para su uso, permite el crecimiento de microorganismos aeróbicos que pueden causar un extenso deterioro del ensilado. Los hongos, en particular las levaduras, son los microorganismos asociados más a menudo con esta actividad; sin embargo, las bacterias (principalmente las del género *Bacillus*) también suelen estar implicadas. Estos organismos usan una amplia variedad de sustratos para su crecimiento, pero los carbohidratos solubles, ácidos orgánicos y las proteínas son los más importantes; lo que resulta en una pérdida de MS y energía, además de la producción de calor. Si el calentamiento al sacar el alimento eleva la temperatura del ensilado a 60 °C, la actividad microbiana aeróbica puede acelerar la formación de productos indeseables. Al igual que la proteólisis de la planta y la actividad clostridial, el deterioro de las enzimas proteolíticas microbianas también pueden afectar el valor nutritivo del N del ensilado, produciendo amoníaco principalmente. Por último, el crecimiento de ciertos mohos (*e.g.*, ciertas especies de *Fusarium* y *Aspergillus*) en los ensilados puede producir micotoxinas, las cuales son dañinas para el ganado (Muck, 1988).

### **3. HIPÓTESIS**

La concentración de carbohidratos no fibrosos (CNF) del cultivo de triticales se incrementa cuando es cosechado por la tarde en la etapa fenológica de embuche, lo cual se refleja en su calidad nutricional como forraje y ensilado.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. General**

Evaluar los cambios diurnos (AM-PM) sobre la acumulación de CNF del cultivo de triticale cosechado en tres etapas fenológicas y su potencial para ser conservado como ensilado.

### **4.2. Específicos**

Evaluar los cambios en la composición química del cultivo de triticale en tres etapas fenológicas cosechado en dos horarios de corte (AM-PM) sobre su rendimiento de MS por hectárea.

Determinar el efecto del horario de corte (AM-PM) y la etapa fenológica sobre el Índice de ensilabilidad (IE) del cultivo del triticale.

Calcular la composición química del ensilado de triticale en tres etapas fenológicas cosechado en dos horarios de corte (AM-PM).

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Lugar de estudio



**Figura 10. Región Altos Norte. Fuente: Instituto de Información Estadística y Geográfica del estado de Jalisco.**

El cultivo del triticale se realizó en el estado de Jalisco, México. En los municipios de: San Juan de los Lagos; el cual se encuentra localizado entre los paralelos 21°05' y 21°25' de latitud norte y los meridianos 102°07' y 102°30' de longitud oeste, a una altitud entre 1700 y 2000 m s.n.m., ocupa el 1.08 % de la superficie del estado, el rango de temperatura va de 16 a 20 °C, con una precipitación pluvial entre 500 y 800 mm, su clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano (SIEGJ, 2012). El municipio de Encarnación de Díaz, el cual se encuentra entre los paralelos 21°24'00" a 21°47'30" de latitud norte y los meridianos 102°25'00" a 102°58'00" de longitud oeste, a una altitud de 1851 m s.n.m., ocupa el 15° lugar de la superficie del estado, la temperatura media anual es de 15.2° C, con una precipitación media anual de 635 mm, su clima es semiárido semicálido (SIEGJ, 2012).

## 5.2. Diseño experimental

El presente experimento se llevó a cabo para evaluar el triticale (una variedad comercial) como cultivo de invierno utilizando un diseño de parcelas divididas, para lo que fue sembrado en tres localidades (Bloques) de la empresa Proteína Animal S.A. (PROAN) ubicadas entre los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz, Jalisco, y fue cosechado en tres diferentes etapas fenológicas (embuche, floración y grano masoso. Parcela) y dos horarios de corte (AM-PM. Sub parcela).

Para el análisis de la información se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \rho_k + d_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

Dónde:

$\mu$  = Media general

$\alpha_i$  = Efecto de la i-ésima Etapa Fenológica

$\rho_k$  = Efecto del k-ésimo bloque

$d_{ik}$  = Error aleatorio de la parcela completa

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo Horario de corte

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de interacción entre Etapa Fenológica y Horario de corte

$e_{ijk}$  = Error aleatorio de la subparcela

## 5.3. Manejo Agronómico

El triticale fue sembrado el 25 de noviembre del 2013, en suelos franco arcilloso-arenoso, franco arenoso y franco arcilloso. Previo a la siembra se llevó a cabo la preparación de cada parcela, la cual consistió en el desmenuzamiento de los esquilmos del cultivo previo, posteriormente se dio un paso de rastra, una aplicación de cuatro toneladas de composta/ha, seguido de un paso de subsuelo a 40 cm y se dio un riego hasta que alcanzó una lámina de agua de 15 cm. La siembra se realizó en surcos, a una densidad de siembra de 120 kg/ha (2'856,000 semillas aprox.) y 5 cm de profundidad. Adicionalmente se aplicaron seis riegos de auxilio cada 15 días. El esquema de fertilización y control de plagas consistió en una serie de aplicaciones de microflora y abonos foliares, el cual fue similar para todas las parcelas.

#### **5.4. Rendimiento por edad fenológica y horario de corte**

De cada parcela de triticales se seleccionaron al azar cuatro puntos de muestreo, en tres etapas fenológicas: embuche, floración y grano masoso; con una diferencia entre cada fecha de corte de siete días (7 de marzo, 14 de marzo y 21 de marzo del 2014). Los cuales fueron cosechados en dos horarios de corte, en la mañana (8:00 AM) y en la tarde (5:00 PM) de acuerdo con lo reportado por Pelletier *et al.* (2010), en cultivos de gramíneas y leguminosas. Se delimitó cada punto de muestreo mediante un rectángulo de madera (2 x 3 m) correspondiente a un área de 6 m<sup>2</sup>, cortando todo el material con rozadera a 5 cm sobre el nivel del suelo. Todas las muestras se pesaron para determinar el rendimiento de cada punto de muestreo, para estimar el total de la parcela. Adicionalmente, de cada punto de muestreo se recolectó una muestra de material fresco el cual se almacenó en bolsas de plástico con el menor contenido de aire posible, colocándolo inmediatamente en hieleras para detener el metabolismo de la planta, para su almacenamiento a -20 °C y su posterior análisis de laboratorio.

#### **5.5. Elaboración de minisilos**

Del material fresco de cada punto de muestreo y horario de corte se tomó una muestra al azar de forraje para determinar su contenido de humedad por medio de una secadora de forraje (Koster Moisture Tester Inc., North Randall, OH) para fijar el tiempo de premarchitamiento hasta que alcanzó aproximadamente el 35 % de MS. Posteriormente, todas las muestras se procesaron en una picadora de navajas comercial a un tamaño de partícula de 2.5 cm, seleccionando al azar muestras de 500 g para la elaboración de los minisilos. Se utilizaron minisilos de PVC hidráulico de 2" de diámetro por 30 cm de largo con una capacidad de 608 cm<sup>3</sup>. Todos los minisilos se hicieron por duplicado y fueron equipados con una válvula para permitir la expulsión de gases generados durante la fermentación y evitar la entrada de aire del ambiente para asegurar un ambiente anaeróbico.

Previo al llenado de los minisilos, se aplicó al forraje un inoculante comercial con base de bacterias ácido lácticas (Sill-All 4x4, Alltech) a la dosis de 105,000 UFC/g de forraje

verde recomendada por el fabricante. Se utilizó una prensa hidráulica para el llenado de los minisilos, la densidad de compactación de la masa ensilada fue obtenida a través de la ecuación:

$$D = m / V$$

Donde D = densidad, m = peso del material ensilado expresado en kg, V = volumen del material ensilado expresado en m<sup>3</sup>. Logrando una densidad de compactación aproximadamente de 800 kg de forraje verde/m<sup>3</sup>, posteriormente se procedió al tapado, sellado con silicón y extracción del aire, así como la subsecuente extracción de gas cada tercer día hasta su estabilización. Los minisilos se almacenaron a temperatura ambiente por 75 días y al final se congelaron a -20 °C para detener su fermentación.

Se determinó la pérdida de MS del material ensilado durante el proceso de fermentación, utilizando la ecuación:

$$\text{Pérdida de MS (\%)} = 100 - (\text{peso final (g)} * 100 / \text{peso inicial(g)})$$

## 5.6. Análisis de Laboratorio

Las muestras de material fresco y ensilado se secaron en una estufa de aire forzado a 55° C por 48 horas para determinar su contenido de humedad. Posteriormente, se molieron en un molino rotativo de impacto (RETSCH SR300, Staufen, Alemania) con malla de 1 mm y se analizaron por duplicado para determinar su contenido de MS a 105° C, cenizas y EE utilizando los métodos descritos por la AOAC (1990). Para la determinación de FDN con la adición de sulfito de sodio y  $\pm$ -amilasa termo estable, FDA y lignina se utilizaron los procedimientos descritos por Van Soest *et al.* (1991) en un Analizador de Fibra Ankom (Ankom Technology Corp., Macedon, NY). La concentración de Nitrógeno (N) se midió por combustión mediante la técnica Dumas en un analizador de N (LECO FP-528; LECO Corp., St. Joseph, MI) y el resultado se multiplicó por 6.25 para obtener el valor de proteína cruda (PC). El contenido de hemicelulosa se estimó restando el valor de FDA al valor de FDN; el contenido de celulosa se estimó como la diferencia del contenido de FDA y lignina.

## 5.7. pH, Carbohidratos Solubles, Capacidad Amortiguadora e Índice de Ensilabilidad

Las muestras de forraje verde se procesaron de acuerdo a lo descrito por Cherney y Cherney (2003), para lo que se colocaron 20 g de muestra en una licuadora industrial por 30 segundos con 200 g de agua destilada en una relación 1:10 de ensilado:agua. El extracto fue filtrado a través de cuatro capas de cofia y se determinó el pH inmediatamente con un potenciómetro (Thermo Scientific, Orion 3 Star®) calibrado con estándares 4.0 y 7.0. Los extractos fueron almacenados en viales cónicos para centrífuga con capacidad de 50 mL para la determinación de CHS por el método fenol-ácido sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956) en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS®) a una longitud de onda de 490 nm. Un segundo extracto fue preparado procesando 10 g de muestra con 250 mL de agua destilada en una licuadora industrial, el extracto fue filtrado a través de cuatro capas de cofia para medir la cantidad de mEq de NaOH necesarios para elevar el pH de 4.0 a 6.0, utilizando la técnica descrita por Playne y McDonald (1966), a partir de los cuales se determinó la capacidad amortiguadora (CA) en todas las muestras de forraje verde.

Para la determinación del índice de ensilabilidad (IE) en las muestras de forraje verde, se utilizaron como parámetros el contenido de MS, CHS y CA, por medio de la fórmula descrita por Martínez *et al.* (2013):

$$IE = 152.29 - 0.197 * MS + 0.085 * CHS - 0.375 * CA$$

## 5.8. Potencial productivo

El potencial de producción de nutrientes digestibles totales (TND) así como de energía neta de lactancia ( $EN_L$ ) del forraje verde y ensilado de triticale se calcularon con las siguientes formulas (Robinson *et al.*, 2004):

$$TND = 80.54 - (0.52858 * FDN) + (0.43147 * PC)$$

$$EN_L = 0.820 - (0.00661 * FDN) + (0.00557 * PC)$$



## 5.9. Análisis Estadístico

Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza con un arreglo de parcelas divididas y comparación múltiple de medias, con el paquete estadístico Statgraphics (Centurion, XV), en su aplicación ANOVA Multifactorial, para determinar el efecto de cada variable independiente: etapa fenológica (parcela) y horario de corte (sub parcela), así como la interacción entre ambas (AB). Las variables dependientes para las muestras de forraje verde fueron MS, PC, FDN, FDA, lignina, CNF, pH, CHS, CA, e IE. Para las muestras de los ensilados fueron PC, CNF, FDN, FDA y lignina. Las comparaciones de las medias de los tratamientos, se realizaron utilizando la prueba de Tukey con una probabilidad de (Pd0.05).

## 6 RESULTADOS

### 6.1. Análisis químicos del forraje verde

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de los análisis químicos del forraje fresco de triticale. Los valores obtenidos para el contenido de MS presentaron un crecimiento lineal conforme avanzó la etapa fenológica del cultivo, con valores promedio de 18.8 % en la etapa de embuche hasta alcanzar 26.6 % en la etapa de grano masoso ( $P < 0.001$ ). Por otra parte, la concentración de PC presentó una disminución de 16.3 % en la etapa de embuche a 13.1 % en la etapa de grano masoso, lo cual tuvo una tendencia estadística ( $P < 0.094$ ). La fracción de fibra presentó un incremento de la etapa de embuche a floración de 2.5 % para FDN ( $P < 0.001$ ) y 2.2 % para FDA ( $P < 0.001$ ), y permaneció constante de la etapa de floración a grano masoso. Asimismo, la lignina presentó un crecimiento lineal ( $P < 0.001$ ), de 4.34 % en la etapa de embuche a 5.12 % en la etapa de grano masoso. Los valores promedio para la concentración de CNF fueron similares para las tres etapas fenológicas ( $P > 0.788$ ).

El efecto de horario de corte, así como la interacción etapa fenológica x horario de corte no afectaron significativamente a ninguna de las variables de respuesta incluidas en el análisis.

### 6.2. Índice de Ensilabilidad

Se determinó el índice de ensilabilidad de las muestras de forraje fresco únicamente en la etapa de floración y grano masoso, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 3. El contenido de CHS se mantuvo constante conforme avanzó la etapa fenológica ( $P > 0.387$ ). Sin embargo, la capacidad amortiguadora presentó una disminución significativa de 3.2 mEq/kg MS de NaOH de la etapa de floración a la etapa de grano masoso ( $P < 0.025$ ). La calificación para el índice de ensilabilidad, aunque presentó un aumento de 2.7 de la etapa de floración a grano masoso (Cuadro 3), no tuvo significancia estadística ( $P > 0.469$ ).

Tanto el horario de corte como su interacción con la etapa fenológica no afectaron significativamente ( $P>0.05$ ) a ninguna de las variables antes mencionadas.

### **6.3. Análisis químicos de los minisilos**

La pérdida de MS por efecto del proceso de fermentación, fue significativamente afectada por la interacción entre etapa fenológica y horario de corte ( $P<0.023$ ); las diferencias encontradas para la etapa de embuche y floración no responden a ninguna tendencia por efecto del horario de corte, sin embargo, fueron mayores que los valores reportados para la etapa de grano masoso, donde no hubo diferencia por el horario de corte (Cuadro 4). Asimismo, el contenido de MS al momento del proceso de ensilaje fue significativamente afectado por la interacción entre etapa fenológica y horario de corte ( $P<0.010$ ), en la que la concentración de MS fue mayor por el efecto de cosechar en la mañana para las etapas de floración y grano masoso, sin embargo, en embuche no presentó diferencias por el efecto del horario de cosecha.

La concentración de PC disminuyó 2.6 % conforme avanzó la etapa fenológica de embuche a grano masoso ( $P<0.005$ ). Por otro lado, la concentración de FDN ( $P<0.001$ ), así como de FDA ( $P<0.001$ ) del ensilado de triticale presentaron un incremento de la etapa de embuche a floración, para después mantenerse constante de floración y grano masoso. Además la concentración de lignina presentó un crecimiento lineal ( $P<0.001$ ).

En el caso del efecto del horario de corte para la pérdida de MS, PC, FDN, FDA y lignina, así como la interacción etapa fenológica x horario de corte para PC, FDN, FDA y lignina, no tuvo significancia estadística para ninguna de las variables antes mencionadas.

### **6.4. Potencial Productivo**

El rendimiento de MS/ha del forraje fresco, presentó un incremento conforme avanzó la etapa fenológica del cultivo de triticale por la acumulación de nutrientes, como se muestra en el Cuadro 5. Los valores promedio para la etapa de embuche fueron de 7.24 ton/ha, hasta las 9.45 ton/ha en la etapa de grano masoso ( $P<0.001$ ). Además, el

porcentaje de TND, así como la EN<sub>L</sub> (Mcal/kg MS) mostraron una disminución de 59.1 % a 56.6 % (P<0.006) y de 1.22 a 1.15 Mcal/kg MS (P<0.007) conforme avanzó la etapa fenológica de embuche a grano masoso respectivamente. A pesar de ésta disminución, su rendimiento por hectárea se incrementó conforme avanzó la etapa fenológica, con relación al rendimiento de la MS del forraje fresco.

Por otro lado, el rendimiento por hectárea del cultivo de triticale después del proceso de ensilaje, disminuyó en relación al rendimiento del forraje fresco en diferente proporción por efecto del porcentaje de pérdida de MS en cada etapa fenológica, sin embargo, éste presentó un incremento conforme avanzó la etapa fenológica de embuche a grano masoso (P<0.001). Los valores obtenidos para TND y EN<sub>L</sub> presentaron un incremento por la variación en el contenido de PC y FDN del ensilado con respecto a los valores del forraje verde, manteniendo el mismo patrón.

El efecto del horario de corte presentó un incremento (4.6 %) para el porcentaje de TND para el ensilado de triticale cosechado por la tarde (P<0.001), al igual que para la concentración de ENL (0.13 Mcal/kg MS) (P<0.001), lo cual se reflejó en su rendimiento por ha (P<0.041) sin que el efecto del horario de corte así como la interacción etapa fenológica x horario de corte presentara significancia estadística para las demás variables.

**Cuadro 2. Contenido nutricional del cultivo del triticale en base seca, en las etapas fenológicas de embuche, floración y grano masoso; cosechado al amanecer (8:00 AM) y al atardecer (5:00 PM), sembrados en tres parcelas de la empresa PROAN S.A. ubicadas entre los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz, Jalisco.**

	Etapa Fenológica					Horario de corte				Etapa Fenológica x Horario de corte							
	EMB	FLR	GMA	EE	P	AM	PM	EE	P	EMB		FLR		GMA		EE	P
										AM	PM	AM	PM	AM	PM		
<b>MS (%)</b>	18.8 <sup>a</sup>	22.7 <sup>ab</sup>	26.6 <sup>b</sup>	1.26	0.000	22.0 <sup>a</sup>	23.4 <sup>a</sup>	1.03	0.320	18.0	19.6	21.8	23.5	26.0	27.1	1.78	0.988
<b>PC (% MS)</b>	16.1 <sup>a</sup>	13.9 <sup>a</sup>	13.4 <sup>a</sup>	0.94	0.094	14.4 <sup>a</sup>	14.5 <sup>a</sup>	0.77	0.986	16.4	15.9	13.5	14.2	13.4	13.3	1.33	0.892
<b>FDN (% MS)</b>	53.8 <sup>a</sup>	56.3 <sup>b</sup>	56.3 <sup>b</sup>	0.51	0.001	55.8 <sup>a</sup>	55.2 <sup>a</sup>	0.42	0.309	54.3	53.4	56.2	56.4	56.8	55.7	0.72	0.632
<b>FDA (% MS)</b>	32.5 <sup>a</sup>	34.7 <sup>b</sup>	34.2 <sup>b</sup>	0.36	0.000	33.8 <sup>a</sup>	33.7 <sup>a</sup>	0.30	0.859	32.2	32.7	35.0	34.4	34.2	34.2	0.51	0.583
<b>Lignina (% MS)</b>	4.34 <sup>a</sup>	4.85 <sup>b</sup>	5.12 <sup>b</sup>	0.13	0.000	4.77 <sup>a</sup>	4.77 <sup>a</sup>	0.10	0.983	4.33	4.35	4.85	4.85	5.14	5.11	0.18	0.994
<b>CNF (% MS)</b>	17.5 <sup>a</sup>	17.8 <sup>a</sup>	18.6 <sup>a</sup>	1.17	0.788	17.6 <sup>a</sup>	18.3 <sup>a</sup>	0.96	0.593	16.6	18.4	18.1	17.5	18.1	19.1	1.66	0.766

EMB = embuche, FLR = floración, GMA = grano masoso, EE = error estándar, P = probabilidad, MS = materia seca, PC = proteína cruda, FDN = fibra detergente neutro, FDA = fibra detergente ácido, CNF = carbohidratos no fibrosos

**Cuadro 3. Potencial de fermentación del forraje verde de triticale, en las etapas fenológicas de floración y grano masoso; cosechado al amanecer (8:00 AM) y al atardecer (5:00 PM), sembrados en tres parcelas de la empresa PROAN S.A. ubicadas entre los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz, Jalisco.**

	Etapa Fenológica				Horario de corte				Etapa Fenológica x Horario de corte					
	FLR	GMA	EE	P	AM	PM	EE	P	FLR		GMA		EE	P
									AM	PM	AM	PM		
<b>CHS (% MS)</b>	10.8 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>	0.68	0.387	11.3 <sup>a</sup>	11.1 <sup>a</sup>	0.68	0.880	10.1	11.5	12.5	10.8	0.97	0.109
<b>CA (meq NaOH /100g MS)</b>	23.0 <sup>b</sup>	19.8 <sup>a</sup>	0.96	0.025	22.4 <sup>a</sup>	20.4 <sup>a</sup>	0.96	0.140	23.4	22.5	21.4	18.2	1.36	0.416
<b>IE</b>	29.1 <sup>a</sup>	31.8 <sup>a</sup>	2.64	0.469	28.7 <sup>a</sup>	32.2 <sup>a</sup>	2.64	0.361	28.3	29.9	29.2	34.4	3.73	0.638

FLR = floración, GMA = grano masoso, EE = error estándar, P = probabilidad, CHS = carbohidratos solubles, CA = capacidad amortiguadora, IE = índice de ensilabilidad.

**Cuadro 4. Contenido nutricional del ensilado (75 días) de triticale, en las etapas fenológicas de embuche, floración y grano masoso; cosechado al amanecer (8:00 AM) y al atardecer (5:00 PM), sembrados en tres parcelas de la empresa PROAN S.A. ubicadas entre los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz, Jalisco.**

	Etapa Fenológica					Horario de corte				Etapa Fenológica x Horario de corte							
	EMB	FLR	GMA	EE	P	AM	PM	EE	P	EMB		FLR		GMA		EE	P
										AM	PM	AM	PM	AM	PM		
<b>P-MS (% MS)</b>	1.34 <sup>b</sup>	1.21 <sup>b</sup>	0.63 <sup>a</sup>	0.07	0.000	1.07 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	0.06	0.898	1.49	1.18	1.07	1.35	0.63	0.63	0.11	0.023
<b>MS (%)</b>	34.9 <sup>a</sup>	35.6 <sup>ab</sup>	37.0 <sup>b</sup>	0.55	0.024	36.8 <sup>b</sup>	34.9 <sup>a</sup>	0.45	0.004	34.9	35.0	36.2	35.1	39.3	34.8	0.78	0.010
<b>PC (% MS)</b>	16.1 <sup>b</sup>	14.4 <sup>ab</sup>	13.5 <sup>a</sup>	0.58	0.005	14.7 <sup>a</sup>	14.6 <sup>a</sup>	0.47	0.833	16.1	16.1	14.4	14.3	13.6	13.3	0.82	0.987
<b>FDN (% MS)</b>	50.9 <sup>a</sup>	54.2 <sup>b</sup>	55.4 <sup>b</sup>	0.70	0.000	53.2 <sup>a</sup>	53.8 <sup>a</sup>	0.57	0.447	51.6	50.2	52.6	55.7	55.4	55.5	0.99	0.068
<b>FDA (% MS)</b>	32.6 <sup>a</sup>	34.0 <sup>b</sup>	34.7 <sup>b</sup>	0.34	0.000	33.7 <sup>a</sup>	33.8 <sup>a</sup>	0.28	0.907	33.0	32.2	33.3	34.6	35.0	34.5	0.48	0.055
<b>Lignina (% MS)</b>	4.39 <sup>a</sup>	4.93 <sup>b</sup>	5.38 <sup>c</sup>	0.11	0.000	4.79 <sup>a</sup>	5.00 <sup>a</sup>	0.09	0.089	4.34	4.43	4.71	5.15	5.32	5.43	0.15	0.423

EMB = embuche, FLR = floración, GMA = grano masoso, EE = error estándar, P = probabilidad, P-MS = pérdida de materia seca, MS = materia seca, PC = proteína cruda, FDN = fibra detergente neutro, FDA = fibra detergente ácido.

**Cuadro 5. Potencial de producción de nutrientes del forraje verde y ensilado de triticale, en las etapas fenológicas de embuche, floración y grano masoso; sembrados en tres parcelas de la empresa PROAN S.A. ubicadas entre los municipios de San Juan de los Lagos y Encarnación de Díaz, Jalisco.**

	Etapa Fenológica					Horario de corte				Etapa Fenológica x Horario de corte							
	EMB	FLR	GMA	EE	P	AM	PM	EE	P	EMB		FLR		GMA		EE	P
										AM	PM	AM	PM	AM	PM		
Forraje verde																	
Rend-MS (ton/ha)	7.24 <sup>a</sup>	8.11 <sup>b</sup>	9.45 <sup>c</sup>	0.25	0.001	8.37 <sup>a</sup>	8.16 <sup>a</sup>	0.20	0.466	7.26	7.23	8.21	8.01	9.64	9.25	0.35	0.882
TND (%)	59.1 <sup>b</sup>	56.8 <sup>a</sup>	56.6 <sup>a</sup>	0.59	0.006	57.3 <sup>a</sup>	57.6 <sup>a</sup>	0.48	0.619	58.9	59.2	56.6	56.9	56.3	56.8	0.84	0.979
Rend-TND (ton/ha)	4.26 <sup>a</sup>	4.60 <sup>a</sup>	5.34 <sup>b</sup>	0.14	0.001	4.78 <sup>a</sup>	4.68 <sup>a</sup>	0.11	0.529	4.27	4.26	4.65	4.54	5.43	5.25	0.20	0.914
EN <sub>L</sub> (Mcal/kg MS)	1.21 <sup>b</sup>	1.17 <sup>a</sup>	1.15 <sup>a</sup>	0.02	0.007	1.17 <sup>a</sup>	1.19 <sup>a</sup>	0.02	0.591	1.21	1.23	1.15	1.17	1.15	1.17	0.02	0.987
Rend-EN <sub>L</sub> (Mcal/ha)	8812 <sup>a</sup>	9371 <sup>a</sup>	10872 <sup>b</sup>	291	0.001	9783 <sup>a</sup>	9586 <sup>a</sup>	237	0.559	8828	8797	9477	9264	11045	10699	411	0.929
Ensilado																	
Rend-MS (ton/ha)	7.15 <sup>a</sup>	8.01 <sup>b</sup>	9.39 <sup>c</sup>	0.25	0.001	8.29 <sup>a</sup>	8.08 <sup>a</sup>	0.20	0.466	7.15	7.14	8.12	7.90	9.58	9.19	0.35	0.862
TND (%)	60.6 <sup>b</sup>	58.1 <sup>a</sup>	57.0 <sup>a</sup>	0.60	0.001	56.3 <sup>a</sup>	60.9 <sup>b</sup>	0.49	0.001	57.4	63.8	56.1	60.1	55.4	58.7	0.84	0.159
Rend-TND (ton/ha)	4.33 <sup>a</sup>	4.65 <sup>a</sup>	5.35 <sup>b</sup>	0.15	0.001	4.66 <sup>a</sup>	4.89 <sup>a</sup>	0.12	0.171	4.11	4.54	4.56	4.74	5.30	5.40	0.21	0.706
EN <sub>L</sub> (Mcal/kg MS)	1.26 <sup>b</sup>	1.20 <sup>a</sup>	1.16 <sup>a</sup>	0.02	0.001	1.14 <sup>a</sup>	1.27 <sup>b</sup>	0.01	0.001	1.17	1.35	1.14	1.25	1.12	1.21	0.02	0.159
Rend EN <sub>L</sub> (Mcal/ha)	9023 <sup>a</sup>	9565 <sup>a</sup>	10921 <sup>b</sup>	314	0.001	9459 <sup>a</sup>	10214 <sup>a</sup>	256	0.041	8417	9629	9263	9867	10698	11146	445	0.663

EMB = embuche, FLR = floración, GMA = grano masoso, EE = error estándar, P = probabilidad, Rend-MS = rendimiento de materia seca, TND = nutrientes digestibles totales, Rend-TND = rendimiento de nutrientes digestibles totales, EN<sub>L</sub> = energía neta de lactancia, Rend-EN<sub>L</sub> = rendimiento de energía neta de lactancia.



## 7 DISCUSIÓN

### 7.1. Calidad nutricional del forraje de triticale

#### 7.1.1. Efecto de la etapa fenológica

Los resultados obtenidos para el contenido de MS del cultivo de triticale concuerdan con los reportados para este cultivo por Lopes *et al.* (2008), Maekawa y Fantino (2009) y Silva *et al.* (2010), ya que también se presentó un crecimiento lineal conforme avanzó la etapa fenológica (comportamiento característico de los cereales), debido a la acumulación de nutrientes por efecto de la fotosíntesis. Esta acumulación está regulada por el crecimiento de la planta, ya que durante la fase vegetativa los productos fotosintéticos son utilizados principalmente para la formación de carbohidratos estructurales (FDN y FDA). Esta fase termina en la etapa de floración y da comienzo a la fase reproductiva, la cual se vuelve un factor determinante para el rendimiento de la etapa de grano masoso, ya que cesa el crecimiento de la planta y el almacenaje de los productos fotosintéticos se lleva a cabo como almidón para el llenado del grano (Van Soest, 1994; Collar *et al.*, 2004).

La acumulación de MS tuvo un efecto diluyente en la concentración de PC de la planta, la cual se vio afectada en mayor proporción de la etapa de embuche a floración (2.2 %) que de floración a grano masoso (0.5 %). Asimismo, la concentración de FDN y FDA presentó un incremento de la etapa de embuche a floración y se mantuvo constante para grano masoso, lo que concuerda con lo reportado por Lopes *et al.* (2008), Núñez *et al.* (2007) y Oliveira *et al.* (2010) con cultivos de triticale.

A diferencia de los resultados obtenidos por Jobim *et al.* (1996) y Maekawa y Fantino (2009), quienes encontraron un incremento conforme avanzó la etapa fenológica del triticale, los resultados obtenidos para la concentración de los CNF se mantuvieron constantes, ya que solo cambió el destino de almacenamiento de los metabolitos fotosintéticos (de CHS a almidón). El envejecimiento de la planta indujo un incremento en el contenido de lignina, lo que concuerda con lo reportado por Collar *et al.* (2004).

### **7.1.2. Efecto del horario de corte**

Si bien Berthiaume *et al.* (2013), Morin *et al.* (2012) y Pelletier *et al.* (2010), reportaron un incremento en la concentración de almidón y sacasosa principalmente para cultivos forrajeros, como hierba cinta, cebadilla suave, cebadilla prado, timothy, festuca alta y pasto azul de Kentucky (gramíneas) y trébol rojo y alfalfa (leguminosas) por efecto de cosechar en la tarde, los resultados obtenidos no mostraron tener efecto sobre la concentración de CNF en el cultivo de triticale, lo cual podría estar relacionado con las diferencias en las condiciones ambientales, así como al tipo de planta y la etapa de desarrollo en que fue cosechado (Owens *et al.*, 1999).

## **7.2. Potencial de fermentación**

### **7.2.1. Efecto de la etapa fenológica**

El contenido de MS de un forraje está relacionado con el potencial de desarrollo de las bacterias epífitas de un forraje. El bajo contenido de MS de un forraje se asocia con una menor concentración de nutrientes, así como una baja disponibilidad de CHS para la actividad de las bacterias ácido lácticas. Lo cual requiere de un proceso de acidificación más intenso a fin de prevenir la formación de ácido butírico y asegurar valores estables de pH (Martínez *et al.*, 2013).

La concentración de CHS corresponde a la cantidad de sustrato disponible para la fermentación láctica durante el proceso de ensilaje, lo cual se relaciona también con la capacidad amortiguadora de un forraje. Se ha reportado (Bergen *et al.*, 1991) que para cereales de grano pequeño la concentración de los CHS disminuye conforme se avanza de la etapa de grano lechoso a grano masoso, sin embargo, en este estudio la concentración se mantuvo constante, al igual que lo reportado por Muck *et al.* (1991), donde establecen que el contenido de CHS no depende de la etapa fenológica.

La capacidad amortiguadora de un forraje depende de la especie y su etapa fenológica (Muck *et al.*, 1991), lo cual se relaciona con una menor concentración de ácidos orgánicos conforme avanza el estado de madurez (Playne y McDonald, 1966). Se observó que la capacidad amortiguadora del forraje de triticale disminuyó conforme

avanzó la etapa fenológica, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Bergen *et al.* (1991) y Jobim *et al.* (1996) quienes encontraron valores similares para la etapa de grano masoso (20.0 mEq/100 g MS).

El índice de ensilabilidad de los forrajes está en función del contenido de MS, CHS y CA. La relación entre estos califica su potencial de fermentación como alto, medio o bajo. En este estudio tanto la etapa de floración como de grano masoso presentaron valores superiores a 28, al igual que lo reportado por Martínez *et al.* (2013), lo cual, caracteriza al forraje de triticale con una alta capacidad para su ensilaje en cualquiera de las dos etapas.

### **7.2.2. Efecto del horario de corte**

Existen trabajos que hablan sobre el índice de ensilabilidad de manera general pero no que evalúen los cambios por efecto de la etapa fenológica ni del horario de corte en este índice (Martínez *et al.*, 2013; Weissbach y Hong, 1996). Sin embargo, algunos trabajos que evalúan el efecto del horario de corte sobre la concentración de MS y CHS, han demostrado una mayor concentración para el forraje cosechado por la tarde, debido a la actividad fotosintética (Pelletier *et al.*, 2010), así como por efecto de la etapa fenológica sobre la CA (Muck *et al.*, 1991). Ya que el índice de ensilabilidad se basa en el contenido MS, CHS y CA de un forraje y de manera aislada se ha observado que la concentración de los mismos se ve afectada por la etapa fenológica y el horario de corte, en este estudio se espera que el índice de ensilabilidad sea mayor para el forraje cosechado en la tarde. Sin embargo, con base en los resultados obtenidos por efecto de retrasar el horario de cosecha para la determinación del índice de ensilabilidad del cultivo de triticale, no existió un indicativo de interacción entre el aumento en el contenido de MS, el contenido de CHS y la disminución de CA.

### 7.3. Conservación de los nutrientes del forraje de triticale

#### 7.3.1. Efecto de la etapa fenológica

El principal objetivo del proceso del ensilaje es que la conservación de los nutrientes durante su almacenamiento sea lo más parecida a la del forraje al momento de ser cosechado. La desventaja de este proceso es que el alto contenido de humedad puede resultar en una fermentación clostridial, así como un alto contenido de efluentes con nutrientes altamente digestibles y una reducción en el consumo voluntario de MS. Sin embargo, un proceso para impedir que esto suceda es controlar el contenido de humedad antes del ensilaje, lo cual asegura la calidad y el valor nutritivo del ensilado. Por esta razón, el forraje de triticale fue premarchitado hasta alcanzar un contenido de  $\pm 35$  % MS, con excepción de la etapa de grano masoso, la cual tuvo un mayor contenido de MS (misma que pudo estar relacionada con las condiciones climáticas y el mayor contenido de MS inicial en el momento de la cosecha).

Muck (1988) encontró que la variación en el contenido de nutrientes del ensilado con respecto al forraje verde (pérdida de MS), está relacionado con la respiración de la planta y una disminución de CHS y hemicelulosa por el proceso de fermentación, lo cual se refleja en un incremento en la concentración de PC, FDA y lignina. Sin embargo, no se hace referencia al efecto de la etapa fenológica sobre estos factores. En este estudio, el patrón en la concentración de nutrientes en el ensilado de triticale por efecto de la etapa fenológica fue el mismo al que se presentó en el forraje verde, sin embargo, la concentración de PC en la etapa de floración presentó un incremento, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Lopes *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2010) y Owens *et al.* (1999), mientras que, para las etapas de embuche y grano masoso, ésta se mantuvo constante. Por otro lado, el resultado obtenido para la concentración de FDA fue mayor solo en la etapa de grano masoso. La concentración Lignina presentó un incremento en todas las etapas, tal como lo reportado por Lopes *et al.* (2008), McCartney y Vaage (1993) y Oliveira *et al.* (2010) con triticale.

La concentración de FDN mostró una ligera disminución con respecto a la del forraje verde, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Jobim *et al.* (1996), Lopes *et al.* (2008) y Oliveira *et al.* (2010) con ensilados de triticale y Filya (2004) con ensilados

de maíz, esto se debe a la hidrólisis de la hemicelulosa a azúcares simples por el proceso de fermentación.

### **7.3.2. Efecto del horario de corte**

Se ha observado que el horario de corte tiene efecto sobre la acumulación de CNF del forraje verde, mismo que se da por la acumulación de fotosintatos. Existen pocos trabajos que abordan el efecto del horario de corte en el proceso de ensilaje en cultivos de leguminosas, pero no existen trabajos sobre el efecto del horario de corte sobre el ensilado de triticale. Al igual que los resultados obtenidos por Owens *et al.* (1999) y Tremblay *et al.* (2014) en alfalfa y trébol rojo, no se encontró un efecto por retrasar el horario de cosecha sobre el proceso de ensilaje del triticale, lo cual está relacionado con la pérdida de CNF durante el premarchitamiento por efecto de la respiración de la planta.

## **7.4. Rendimiento por hectárea**

### **7.4.1. Efecto de la etapa fenológica**

Los resultados para el rendimiento de ton/ha MS del forraje fresco de triticale fueron superiores a los obtenidos por Nuñez *et al.* (2007) para la fase de embuche, pero menores para la fase de grano masoso. Asimismo, fueron menores a los resultados obtenidos por Rojas *et al.* (2004) en las mismas etapas fenológicas. Este rendimiento, disminuyó después del proceso de ensilado por la pérdida de MS durante el proceso de fermentación, tal como lo reporta Aguilar *et al.* (2013).

El porcentaje de TND y la EN<sub>L</sub> (Mcal/kg MS) al igual que lo encontrado por Aguilar *et al.* (2013) y Distch y Bitzer (1995), disminuyó conforme se incrementó la etapa fenológica, sin embargo, su rendimiento por hectárea fue inversamente proporcional por efecto del mayor rendimiento de MS, al igual que para los valores obtenidos para la EN<sub>L</sub> (Mcal/kg MS), tal como lo reportan Aguilar *et al.* (2013), siguiendo el mismo patrón que encontraron De Ruiter *et al.* (2002) y Rojas *et al.* (2004), los cuales determinaron energía metabolizable/kg MS.

De acuerdo con De Ruiter *et al.* (2002), el acrecentamiento del valor nutricional de un forraje en la fase vegetativa con respecto de la fase reproductiva, es por su elevado contenido de PC; por lo mismo, cuando se requiere de un ensilado alto en proteína, se recomiendan las etapas vegetativas aunque el contenido de MS del cultivo no sea el adecuado para la fermentación, a menos que el forraje sea premarchitado como en el presente estudio.

#### **7.4.2. Efecto del horario de corte**

De acuerdo a los resultados obtenidos por Burns *et al.* (2005; 2007) con heno de alfalfa, la principal ventaja del forraje cosechado en PM, es el desempeño animal por efecto del incremento en el consumo voluntario de MS y un aumento en la tasa de digestión, más que el rendimiento de nutrientes. Owens *et al.* (1999) sugieren que la única forma en que puede ser aprovechado el mayor contenido de CNF de los forrajes cosechados al atardecer, es cuando éstos son secados de manera consistente en una tasa igual o mayor que los cosechados al amanecer, ya que existe una pérdida de CNF durante el premarchitamiento por efecto de la respiración de la planta. Por esta razón y de acuerdo a los resultados obtenidos, el aumento en el contenido de PC, así como la disminución en el contenido de FDN del triticale por el proceso de ensilaje, tuvo efecto en la estimación del contenido de TND y ENL. Por lo que, en futuros trabajos para la evaluación del horario de corte, es recomendable centrar la atención en la medición de la respuesta animal hacia estas posibles ventajas.

## CONCLUSIONES

1. El horario de corte no tiene un efecto sobre el contenido de nutrientes del cultivo de triticale en ninguna de las etapas fenológicas en que fue cosechado.
2. Dependiendo de la finalidad con la que quiera ser utilizado, la mejor etapa fenológica para el ensilaje del cultivo de triticale puede ser:
  - Embuche, la cual va a proporcionar un ensilado alto en proteína.
  - Grano masoso, la cual compensa el bajo contenido de PC con un alto rendimiento de nutrientes.

## 9 LITERATURA CITADA

- Aguilar, E. Y., Bórquez, J. L., Domínguez, I. A., Morales, A., Gutiérrez, M. d., and González, M., 2013. Forage yield, chemical composition and in vitro gas production of triticale (X *Tricosecale wittmack*) and Barley (*Hordeum vulgare*) associated with Common Vetch (*Vicia sativa*) preserved as hay or silage. *J. Agric. Sci.* 5(2):227-238.
- Ammar, K., 2013. Promoción y mejoramiento genético del triticale. *EnIACe* 16:27-29.
- Ammar, K., Mergoum, M., and Rajaram, S., 2004. *Triticale improvement and production*. FAO., p 157.
- Andesogan, A. T., Sollenberg, L. E., Newman, Y. C., and Moore, J. E., 2009. *Factors affecting forage quality*. Disponible en la Web: <http://edis.ifas.ufl.edu/ag161>
- AOAC., 1990. Official Methods of Analysis. AOAC Internacional.
- Baier, A. C., 1997. Uso potencial del triticale pa silagem. Passo Fundo, Brasil.
- Ball, D., Collins, M., Lacefield, G., Martin, N., Mertens, D., Olson, K., Putnam, D., Undersander, D., and Wolf, M., 2001. Understanding forage quality. Disponible en la Web: <https://www.uky.edu/Ag/Forage/ForageQuality.pdf>
- Bergen, W. G., Byrem, T. M., and Grant, A. L., 1991. Ensiling characteristics of whole-crop small grains harvested at milk and dough stages. *J. Anim. Sci.* 69:1766-1774.
- Berthiaume, R., Tremblay, G. F., Belanger, G., Bertrand, A., Castonguay, Y., Michaud, R., Pelletier, S., Brito, A., Lafrenière, C., and Allard, G., 2013. High quality forages: how sweet should be. *WCDS Advances in Dairy Technology*, vol 25; p 235-252.
- Berthiaume, R., Tremblay, G., Castonguay, Y., Bertrand, A., Bélanger, G., Benchaar, C., Lafrenière, C., and Michaud, R., 2006. Sweet forages and organic milk: Quite a sustainable combination. *Half-Day Scientific Seminar on Forages*, February 14; p 1-6
- Bishnoi, U. R., Chitapong, P., Hughes, J., and Nishimuta, J., 1978. Quantity and quality of triticale and other small grain silages. *Agron. J.* 70:439-441.
- Brown, A. R., and Almodares, A., 1976. Quantity and quality of triticale forage compared to other small grains. *Agron. J.* 68:264-266.
- Burns, J. C., 2008. ASAS Centennial Paper: Utilization of pasture and forages by ruminants: A historical perspective. *American Soc. Anim. Sci.* 86:3647-3663.



- Burns, J. C., Fisher, D. S., and Mayland, H. F., 2007. Diurnal shifts in nutritive value of alfalfa harvested as hay and evaluated by animal intake and digestion. *Crop Sci.* 47:2190-2197.
- Burns, J. C., Mayland, H. F., and Fisher, D. S., 2005. Dry matter intake and digestion of alfalfa harvested at sunset and sunrise. *J. Anim. Sci.* 83: 262-270.
- Chapin, F. S., Schulze, E. D., and Mooney, H. A., 1990. The ecology and economics of storage in plants. *Ann. Rev. Eco. Syst.* 21: 423-447.
- Charbonneau, E., Chouinard, P., Allard, G., Lapierre, H., and Pellerin, D., 2006. Milk from Forage as Affected by Carbohydrate Source and Degradability with Alfalfa Silage-Based Diets. *J. Dairy Sci.* 89 (1):283-293.
- Cherney, J. H., and Cherney, D. R., 2003. Silage Science and Technology. *American Society of Agronomy Ed.*, p 927.
- Cherney, J. H., and Hall, M. H. 2000. *Forage Quality In Perspective*. Disponible en la Web: <http://www.forages.psu.edu/agfacts/agfact30.pdf>
- Cleale, R. M., and Bull, L. S., 1986. Effect of forage maturity on ration digestibility and production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69: 1587-1594.
- Collar, C., and Aksland, G., 2001. Harvest stage effects on yield and quality of winter forage. Proc. of the 31st California alfalfa and forage symposium, California, p 12-13.
- Collar, C., Wright, S., Robinson, P., and Putnam, D., 2004. Effect of harvest timing on yield and quality of small grain forage. Proc. of the *National Alfalfa Symposium*, San Diego, CA, December 13-15.
- Collins, M., and Fritz, J. O., 1998. Forages. An introduction to Grassland Agriculture. *Iowa State Press Ed.*, p 576.
- Cordero Rodríguez, S. 2003. *Plantas de metabolismo fotosintético C3, C4 y CAM*. Disponible en la Web: [www.juntadeandalucia.es/averroes/iespablocassio/2003/articulos/26.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/iespablocassio/2003/articulos/26.pdf)
- Cruz, G., Aviles, S., y Cortés, J. C., 1998. Estudio de adaptabilidad del triticale a diferentes dosis de calcio y fosforo en andisoles. *Terra.* 16 (1):63-69.
- de Riba, C., Casañas, F., Verdú, A. M., Sánchez, E., y Bosch, L., 1990. Evaluación del triticale y el ray-grass como forraje de invierno en siembra tardía. *Información Técnica Económica Agraria.* 86A (1):51-58.
- De Ruiter, J. M., Hanson, R., Hay, A. S., Armstrong, K. W., and Harrison-Kirk, R. D., 2002. Whole-crop cereals for grazing and silage: balancing quality and quantity. *Proc. of the New Zealand Grassland Association*, New Zeland, p 181-189.

- Delogu, G., Faccini, N., Faccioli, P., Reggiani, F., Lendini, M., Berardo, N., and Odoardi, M., 2002. Dry matter yield and quality evaluation at two phenological stages of forage triticale grown in the Po Valley and Sardinia, Italy. *Field Crops Research*. 74: 207-215.
- Distch, D. C., and Bitzer, M. J. 1995. Managing small grains for livestock forage. Disponible en la Web: <http://www2.ca.uky.edu/agc/pubs/agr/agr160/agr160.pdf>
- Dogan, R., Kacar, O., Goksu, E., and Azkan, N., 2011. Evaluation of triticale genotypes in terms of yield stability for the Southern Marmara Region. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 39 (2):249-253.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A., and Smith, F., 1956. Phenol sulphuric acid method for carbohydrate determination. *Annal. Chem.* 28: 350-359.
- Eastridge, M. L., 2006. Major advances in applied dairy cattle nutrition. *J. Dairy Sci.* 89: 1311-1323.
- Escoto, F. C., Cortés, V. H., y Macías, A. Á., 2001. Lechería familiar: factores de éxito para el negocio. Plaza y Valdés Ed. p 231.
- Filya, I., 2004. Nutritive value and aerobic stability of hole crop maize silage harvested at four stages of maturity. *Anim. Feed Sci. Tech.* 116: 141-150.
- Fisher, L. J., 1972. Evaluation of triticale silage for lactating cows. *Can. J. Anim. Sci.* 52: 373-376.
- Flores, M. A., Palomo, M., y Figueroa, U., 2011. Producción de forraje con cereales de grano pequeño (Vol. 37). Disponible en la Web: [http://www.funprozac.org.mx/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=37&Itemid=70](http://www.funprozac.org.mx/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=37&Itemid=70)
- Fohner, G., 2002. Harvesting maximum value from small grain cereal forages. Procc. Western alfalfa and forage Conference, p 11-13.
- García, J. G., Mariscal, D. V., Caldera, N. A., Ramírez, R., Estrella, H., y Nuñez, R., 2007. Variables relacionadas con la producción de leche de ganado holstein en agroempresas familiares con diferente nivel tecnológico. *Interciencia*. 32 (12):841-846.
- Goeser, J. P., and Combs, D. K., 2009. An alternative method to assess 24-h ruminal in vitro neutral detergent fiber digestibility. *J. Dairy Sci.* 92: 3833-3841.
- González, R. I., Avila, R., y Gutiérrez, R., 2004. *Lineas de trigo y triticales de invierno para pastoreo y grano en el noroeste de Chihuahua*. Disponible en la Web: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/2358/Linea%20de%20trigo%20y%20triticales%20de%20invierno%20para%20pastoreo%20y%20grano%20en%20el%20noroeste%20de%20chihuahua.pdf?sequence=1>

- Gornto, R., 2010. *University of Florida IFAS extension Highlands County Extension*. Disponible en la Web: <http://highlands.ifas.ufl.edu/James/Livestock/PDF%20Documents/Final%20Project%20for%20Masters%20Degree-2.pdf>
- Grodzinski, B., Jiao, J., and Leonardos, E. D., 1998. Estimating photosynthesis and concurrent export rates in C3 and C4 species at ambient and elevated CO<sup>2</sup>. *Plant Physiol.* 117: 207-215.
- Hall, M. B., 2007. Methodological challenges in carbohydrate analyses. *R. Bras. Zootec.* 36: 359-367.
- Helsel, Z. R., and Thomas, J. W., 1987. Small grains for forage. *J. Dairy Sci.* 70: 2330-2338.
- Hopkins, W. G., and Hüner, N. P. A., 2009. *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley and Sons Ed., p 503.
- INEGI., 2012. *Censo Agropecuario 2007*. Disponible en la Web: [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados\\_Agricola/](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/)
- Ishler, V., and Varga, G., 2001. *Carbohydrate nutrition for lactating dairy cattle*. Disponible en la Web: <http://extension.psu.edu/animals/dairy/nutrition/nutrition-and-feeding/diet-formulation-and-evaluation/carbohydrate-nutrition-for-lactating-dairy-cattle>
- Jobim, C. C., Andrade, R., Beneval, R., and Andrade, L. R., 1996. Avaliação do triticale (X Triticosecale wittmack) para silagem. *Soc. Bras. Zootec.* 25 (3):404-413
- Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., and Schmidt, P., 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *R. Bras. Zootec.* 36: 101-119.
- Jones, C. M., Heinrichs, A. J., Roth, G. W., and Ishler, V. A., 2004. *From harvest to feed: Understanding silage management*. Disponible en la Web: <http://extension.psu.edu/publications/ud016>
- Kamalak, A., and Canbolat, O., 2010. Determination of nutritive value of wild narrow-leaved clover (*trifolium angustifolium*) hay harvested at three maturity stages using chemical composition and in vitro gas production. *Tropical Grassland* 44: 128-133.
- Kaplan, M., Kökten, K., and Akcura, M., 2014. Determination of silage characteristics and nutritional values of some triticale genotypes. *Turkish J. Agric. Nat. Sci.* 1 (2):102-107.
- Kenelly, J. J., and Weinberg, Z. G., 2003. *Silage Science and Technology*. American Society of Agronomy Ed., p 927.

- Kertz, A. F., 1998. Variability in delivery of nutrients to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81: 3075-3084.
- Khan, A., Nasr, H., Salim, M., and Roidar, B., 1986. Quantity and quality of triticale forage compared with other small grains. *Pakistan J. Agric. Res.* 7 (2):76-81.
- Khorasani, G. R., Jedel, P. E., Helm, J. H., and Kennelly, J. J., 1997. Influence of satege of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages. *Can J. Anim. Sci.* 77: 259-267.
- Labarthe, F. S., y Pelta, H. R., 2009. *Introducción básica a la fotosíntesis y características de especies forrajeras megatérmicas*. Disponible en la Web: [http://produccionanimal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_megatermicas/143-caracteristicas\\_forrajeras\\_megatermicas.pdf](http://produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/143-caracteristicas_forrajeras_megatermicas.pdf)
- Lara, D., Mora, J. S., Martínez, M. A., García, G., Omaña, J. M., y Gallegos, J., 2003. Competitividad y ventajas comparativas de los sistemas de producción de leche en el estado de Jalisco. *Agrociencia.* 37 (1):35-44.
- Leonardos, E. D., Savitch, L. V., Huner, N. P., Öquist, G., and Grodzinski, B., 2003. Daily photosynthetic and C-export patterns in winter wheat leaves during cold stress and acclimation. *Physiologia Plantarum.* 117: 521-531.
- Licitra, G., Hernandez, T. M., and Van Soest, P. J., 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57:347-358.
- Lopes, F., Silva, J., Lanes, E., Duque, A., and Ramos, C., 2008. Valor nutricional do triticale (X Triticosecale Wittmack) para uso como silagem na Zona da Mata de Minas Gerais. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 60 (6):1484-1492.
- Lozano, A. J., 1990. Studies on triticale forage production under semiarid conditions of northern México. *Procc. of the Second International Triticale Symposium*. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil.
- Lozano, A. J., Colín, M., y Béjar, M. 2000. *Mejoramiento de triticale para producción de forraje en el Norte de México*. Disponible en la Web: <https://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/articulos/triticale-alternativa-norte-mexico-t1425/p0.htm>
- Lozano, A. J., García, R. R., Colín, M., Zamora, V. M., y Santana, J. T. (2002). *Producción de forraje y relación hoja-tallo en variedades de triticale de diferente hábito de crecimiento en la Región Lagunera*. Disponible en la Web: [www.uaaan.mx/DirInv/Avances\\_2002/Ceral/Triticale.pdf](http://www.uaaan.mx/DirInv/Avances_2002/Ceral/Triticale.pdf)
- Lozano, A. J., Zamora, V. M., Ibarra, L., Rodríguez, S. A., de la Cruz, E., y de la Rosa, M. (2009). Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de triticales forrajeros (X. Triticosecale Wittmack). *Universidad y Ciencia Trópico Hum.* 25 (31):81-92.

- Maekawa, M., y Fantino, F., 2009. Acumulación de materia seca y composición química de verdes invernales para ensilar. Disponible en la Web: <http://inta.gob.ar/documentos/acumulacion-de-materia-seca-y-composicion-quimica-de-verdeos-invernales-para-ensilar>
- Maresma, A., Santiveri, F., Chocarro, C., Aragay, M., y Lloveras, J., 2014. Evaluación de forrajes de invierno en sistemas de doble cultivo con maíz en regadío. *53ª Reunion Científica de la SEEP*, p 295-302.
- Martínez, F. A., Soldado, A., de la Rosa, D. B., Vicente, F., González, A. M., and Argamentaria, A., 2013. Modelling a quantitative ensilability index adapted to forages from wet temperate areas. *Span. J. Agric. Res.* 11 (2):455-462.
- McCartney, D. H., and Vaage, A. S., 1994. Comparative yield and feeding value of barley, oat and triticale silages. *Can. J. Anim. Sci.* 71: 91-96.
- McDonald, P., 1981. *The Biochemistry of Silage*. John Wiley and Sons Ed., p226
- Mendoza, M., Cortez, E., Rivera, J. G., Rangel, J. A., Andrio, E., y Cervantes, F., 2011. Época y densidad de siembra en la producción y calidad de semilla de triticale (X Triticosecale Wittmack). *Agronomía Mesoamericana*. 22 (2):309-316.
- Moore, K. J., and Jung, H. J., 2001. Lignin and fiber digestion. *J. Range Manage.* 54: 420-430.
- Morin, C., Bèlanger, G., Tremblay, G., Bertrand, A., Castonguay, Y., Drapeau, R., Michaud, R., Berthiaume, R., and Allard, G., 2011. Diurnal variations of nonstructural carbohydrates and nutritive value in alfalfa. *Crop Sci.* 51: 1297-1306.
- Muck, R. E., 1988. Factors influencing silage quality and their implications for management. *J. Dairy Sci.* 71: 2992-3002.
- Muck, R. E., and Dickerson, J. T., 1988. Storage temperature effects on proteolysis in alfalfa silage. *Transactions of the ASAE*, 31 (4), p 1005-1009.
- Muck, R. E., O'Kiely, P., and Wilson, R. K., 1991. Bufferin capacities in permanent pasture grasses. *Irish J. Agr. Res.* 30: 129-141.
- Murillo, B., Escobar, A., Fraga, H., y Pargas, R., 2001. Rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en Baja California Sur, México. *Rev. Fitotec.* 24 (2):145-153.
- Myer, R., and Lozano, A. J., 2004. *Triticale improvement and production*. FAO., p 157.
- Newman, Y. C., Adesogan, A. T., Vendramini, J., and Sollenberg, L., 2009. *Defining forage quality*. Disponible en la Web: <http://www.edis.ifas.ufl.edu/ag332>
- Newman, Y. C., Lambert, B., and Muir, J. P., 2007. *Defining Forage Quality*. Disponible en la Web: <http://texasextension.lamu.edu>

- Núñez, G., Faz, R., and Martínez, J. G., 2007. Sistemas de producción de triple cosecha anual de forraje para la Región Lagunera. *Agrofaz*. 7 (3):1-12.
- Núñez, H. G., Díaz, A. A., Espinosa, G. J., Ortega, R. L., Hernández, A. L., Vera, A. H., Román, P. H., Medina, C. M., y Ruiz, L. F., 2009. Producción de leche de bovino en el sistema intensivo. Disponible en la Web: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/1565>
- Owens, V. N., Albrecht, K. A., Muck, R. E., and Duke, S. H., 1999. Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels on total nonstructural carbohydrates. *Crop Sci.*, 39: 1873-1880.
- Pelletier, S., Tremblay, G. F., Bélanger, G., Bertrand, A., Castonguay, Y., Pageau, D., and Drapeau, R., 2010. Forage nonstructural carbohydrates and nutritive value as affected by time of cutting and species. *Agron. J.* 102 (5):1388-1398.
- Pitt, R. E., Muck, R. E., and Leibensperger, R. Y., 1985. A quantitative model of the ensilage process in lactate silages. *Grass Forage Sci.* 40: 279-303.
- Planchon, C., 1978. Photosynthesis, transpiration, resistance to CO<sub>2</sub> transfer, and water efficiency of flag leaf of bread wheat, durum wheat and triticale. *Euphytica*. 28: 403-408.
- Playne, M. J., and McDonald, P., 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *J. Sci. Food Agric.* 17: 264-268.
- Pokhilko, A., and Ebenhöf, O., 2015. Mathematical modelling of diurnal regulation of carbohydrate allocation by osmo-related processes in plants. *J. R. Soc.* 12: 1357.
- Pollock, C. J., and Cairns, A. J., 1991. Fructan metabolism in grasses and cereals. *Plant Physiol.* 101: 42-77.
- Rao, S. C., Coleman, S. W., and Volesky, J. D., 2000. Crop ecology, production and management. *Crop. Sci.* 40: 1308-1312.
- Robinson, P. H., Collar, C., Nader, G., and Putnam, D., 2004. *The 2004 UC Davis Recommended Forage Energy Prediction Equations*. Disponible en la Web: [http://animalscience.ucdavis.edu/faculty/Robinson/Articles/FullText/pdf/Web2004\\_08.pdf](http://animalscience.ucdavis.edu/faculty/Robinson/Articles/FullText/pdf/Web2004_08.pdf)
- Rojas, C., Catrileo, A., Manríquez, M., y Calabí, F., 2004. Evaluación de la época de corte de triticale (X Triticosecale Wittmack) para ensilaje. *Agric. Téc.* 64 (1):34-40.
- Rotz, C. A., Roth, G. W., and Stout, W. L., 2002. Economic and environmental implications of small grain production and use on Pennsylvania Dairy Farms. *American Soc. Agric. Engineers.* 18 (4):417-428.
- SIAP, 2015. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Disponible en la Web: <http://www.siap.gob.mx>



- Salmon, D. F., Mergoum, M., and Gómez-Macpherson, H., 2004. *Triticale improvement and production*. FAO., p 157.
- Schoeder, J. W., 2013. *Forage nutrition for ruminants*. Disponible en la Web: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ansci/dairy/as1250.pdf>
- Sharkey, T. D., 1985. Photosynthesis in intact leaves of C 3 plants: physics, physiology and rate limitations. *The Botanical Review*. 51 (1):153-105.
- Shaver, R. D., 2010. Using high quality forages to optimize production. *WCDS Advances in Dairy Technology*. Western Canadian Dairy Seminar., p 13-22.
- Silva, J., Malta, É. C., Ferraz, F. C., Dornelas, E. J., and Gonçalves, S., 2010. Valor nutricional da planta, padrões de fermentação e qualidade da silagem de triticale em seis idades de corte. *Ciênc. Agrotec*. 34 (3):765-772.
- Sistema de Información Estadística y Geográfica de Jalisco., 2012. [www.siege.gob.mx](http://www.siege.gob.mx).
- Srivastava, A. C., Khanna, Y. P., Meena, R. C., Pal, M., and Sengupta, U. K., 2002. Diurnal changes in photosynthesis, sugars, and nitrogen of wheat and mungbean grown under elevated CO<sub>2</sub> concentration. *Photosynthetica*. 40 (2):221-225.
- Tharanathan, R. N., Muralikrishna, G., Salimath, P. V., and Raghavendra Rao, M. R., 1987. Plant carbohydrates-An overview. *Plant Sci*. 97 (2):81-155.
- Tomich, T. R., Ribeiro, L. G., Gonçalves, L. C., Pinto, R. G., and Borges, I., 2003. *Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação*. Disponible en la Web: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/DOC57.pdf>
- Trejo, H. I., Salazar, E., López, J. D., y Vázquez, C., 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agrí*. 4 (5):727-738.
- Tremblay, G. F., Morin, C., Bélanger, G., Bertrand, A., Castonguay, Y., Berthiaume, R., and Allard Guy. (2014). Silage fermentation of PM- and AM- cut alfalfa wilte in wide and narrow swaths. *Crop Sci*. 54: 439-452.
- Uchida, S., Kim, K. H., and Yun, I. S., 1989. The effect of wilting on silage making from the viewpoint in connection with Monsoon Asia (a review). *AJAS*. 2 (1):43-49.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., and Lewis, B. A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci*. 74: 3583-3597.
- Van Soest, P. J., 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornstock Publishing Associates Ed., p 476.
- Varughese, G., Barker, T., and Saari, E., 1987. *Triticale*. México: CIMMYT.

- Vázquez, R. A., y Aguilar, I., 2010. Organizaciones lecheras en los Altos Sur de Jalisco: un análisis de las interacciones productivas. *Región y Soc.* 22 (48):113-144.
- Villamar, A. L., 2004. *Situación actual de la producción de leche de bovino en México*. SAGARPA, México.
- Waters, K. M., DiLorenzo, N., and Lamb, G. C., 2013. *Understanding the effects of forage composition and structure in ruminant nutrition*. Disponible en la Web: <http://edis.ifas.ufl.edu/an288>
- Wattiaux, M. A., Blazek, J., and Olmos-Colmenero, J. J., 2012. *Bird's eye view of the mexican dairy industry and on-the-ground assessment of production systems in the Highlands (Los Altos) of Jalisco*. Mexico. Disponible en la Web: <https://www.yumpu.com/en/document/view/23009405/birds-eye-view-of-the-mexican-dairy-industry-and-on-the-ground-/53>
- Weiss, W. P., Eastridge, M. L., and Underwood, J. F., 1999. Forages for Dairy Cattle. Disponible en la Web: <http://ohioline.osu.edu/as-fact/0002.html>
- Weissbach, F., and Honig, H., 1996. Über die Vorhersage und Steuerung des arungsverlaofs bei der Silierung von Grunfutter aus extensivem Anbau. *Landbauforsch Volk* 1: 10-17.
- Zamora, V. M., Lozano, A. J., López, A., Reyes, M. H., Díaz, H., Martínez, J. M., y Fuentes, J. M., 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Téc. Pecu. Méx.* 40 (3):229-242.