

# MANUAL

# Capacitación

# Agro-Pecuaria

Producción de Alimentos y Agro-Energía  
Conceptos Fundamentales

**Jorge Alejandro DelaVega Lozano**  
Agro-Proyectos Sustentables

[j.delavegal@gmail.com](mailto:j.delavegal@gmail.com)  
<http://j.delavegal.googlepages.com/test>

# CONTENIDO

Nº	Tema	Pág.
1.1	Suelos Agrícolas	3
1.2	Sequías	5
1.3	El Agua	17
1.4	Ecología	27
1.5	Maíz Transgénico	39
1.6	EEB	49
1.7	El Rumen	55
1.8	Parto en Bovinos	69
1.9	Etología Bovina	70
2.1	Carne y Mercado	84
2.2	Alimento Ganado	87
2.3	Leche y Lactancia	90
2.4	Reproducción Bovina	95
2.5	Juzgamiento Ganado	98
2.6	La Salud en Vacas	103
2.7	Producción de Leche	106
2.8	Ingesta de Alimento	109
2.9	Ordeño	114
3.1	Nutrición Bovinos	117
3.2	Diagnóstico Preñez	122
3.3	Acetonemia	124
3.4	Problemas al Parto	126
3.5	Ensilajes	129
3.6	Calidad en la Leche	139
3.7	Etanol	143
3.8	Energía Eólica	146
3.9	Biomasa	154
4.0	Fotosíntesis	161
4.1	Restauración Ecosistemas	180

## 1.1 Suelos Agrícolas

### **Pérdida de Suelos**

La pérdida imperceptible de *un milímetro en el espesor de suelos fértiles cultivables* sobre la superficie de una hectárea equivaldría a eliminar entre 11 y 16 toneladas de suelo agrícola por hectárea. Es decir, se perderían 10 metros cúbicos de suelo fértil por hectárea. Así mismo, la pérdida de *un centímetro en el espesor de suelos cultivables* sobre la superficie de una hectárea, equivaldría a eliminar entre 110 y 160 toneladas de suelo agrícola fértil por hectárea. Es decir, se perderían 100 metros cúbicos de suelo fértil por hectárea.

La erosión en suelos agrícolas es un problema cada día mayor. Los cambios climáticos globales propician variaciones en la cantidad de lluvia que en ocasiones se presenta intensamente por breves lapsos. La erosión por lluvia ó riego mal aplicado, ocasiona que muchos de los nutrientes en los suelos queden en las tierras bajas que generalmente no son cultivables porque se inundan.

Las grandes áreas de cultivo ofrecen mayor superficie para que el agua y el viento fluyan causando erosión. Los suelos sin cobertura vegetal quedan totalmente expuestos a la erosión, ya sea por agua ó viento que llevan consigo nutrientes de suelos agrícolas. Aún cuando el movimiento de suelos es un proceso natural, hay que tomar en cuenta que durante los últimos 40 años, los terrenos y las formas de cultivo han cambiado. Actualmente se cultiva en condiciones menos favorables.

La cosecha de cereales propicia que los suelos permanezcan descubiertos y expuestos a la acción de la lluvia y el viento. Así mismo, el abandono de tierras de cultivo, debido a las crisis en el campo, y a las formas de agricultura inadecuadas, deja sin materia orgánica los suelos. Ciertamente, los patrones de lluvia han cambiado en años recientes, pero no tanto como las prácticas agrícolas.

El movimiento de suelos ocasionado por lluvia y viento, trae consigo material que contiene nutrientes orgánicos e inorgánicos esenciales para los vegetales y los seres que los consumen. La pérdida de nutrientes ocurre, aún cuando el agua que corre por encima de suelos agrícolas se vea transparente y no haya clara evidencia física de erosión. Dichos nutrientes, conjuntamente con agroquímicos van a depositarse en tierras bajas y ríos.

Sabemos que, el movimiento y la erosión por lluvia, afecta más en suelos arenosos, sobretodo en aquellos con escasa materia orgánica, la cual mantiene la estructura de los suelos agrícolas. La erosión y el movimiento comienza cuando los suelos se han saturado completamente de agua, lo cual incluso puede suceder con lluvia moderada. La rapidez del movimiento es mayor en suelos arenosos, y puede empeorar en terrenos con mayor pendiente. De esta forma, como resultado de la lluvia ó del riego mal aplicado, se acumula arena en las partes bajas del terreno.

### **Experimentación**

Mediante el siguiente experimento sencillo es posible conocer la cantidad aproximada de suelo que permanece en campos de cultivo:

- Ponga un puño de tierra dentro de una botella transparente y llénela con agua.
- Agite la botella y déjela en reposo.
- El aproximadamente 5 minutos, la arena y las piedras quedarán en el fondo de la botella.
- El agua seguirá turbia con partículas de suelos en suspensión.
- Tomará algunas horas para que las partículas más grandes de suelo en suspensión, se depositen en la botella sobre la arena y piedras, y algunos días para que las partículas más pequeñas de suelo se asienten en la botella.

Recordemos que las partículas de suelo contienen nutrientes de enorme importancia en la producción agropecuaria.

### **Reducción de Pérdidas**

En la Unión Europea las siguientes medidas son populares entre agricultores y ganaderos para reducir las pérdidas y propiciar la conservación de los suelos:

- Siembra de pastos conjuntamente con cereales y entre cosechas.
- Buen sistema de drenaje para reducir la superficie disponible a erosión pluvial.
- Cobertura vegetal en los suelos para ofrecer resistencia a la erosión por lluvia y viento.
- Labranza de conservación para mejorar el drenaje y la aireación en los suelos.
- Labores de cultivo en niveles mínimos.
- Camas de siembra no demasiado finas, porque al compactar se disminuye la porosidad en los suelos y aumenta la erosión pluvial.
- Suelos cubiertos con paja u otro material vegetal residual.

Los métodos de labranza mínima ó labranza de conservación, hacen que las madrigueras de lombrices se mantengan en los suelos propiciando la existencia de materia orgánica y un mejor drenaje. Es necesario monitorear regularmente para conocer sobre la estructura del suelo y la pérdida de nutrientes, sobretodo cuando la actividad de las lombrices no es suficiente. En cultivos otoño-invierno es conveniente sembrar lo más pronto posible para asegurar que se mantenga el suelo con cobertura vegetal.

### **Materia Orgánica**

La buena estructura en suelos agrícolas se mantiene mejor entre mayor cantidad de materia orgánica exista en ellos. Esto debido a que el humus ayuda a mantener la consolidación de las partículas en los suelos, particularmente en terrenos arenosos. La incorporación de estiércol, y las prácticas de labranza mínima ó de conservación, añaden enormes beneficios a la estructura de los suelos. Los suelos se compactan debido al pisoteo del ganado y al paso de maquinaria y vehículos. En suelos compactos, el agua penetra solamente unos cuantos centímetros dentro de los suelos, sin llegar hasta donde los vegetales la requieren.

Así mismo existen suelos de naturaleza compacta, cuya estructura puede ser mejorada mediante la aplicación de materia orgánica. En algunas regiones de Inglaterra, durante siglos, se ha incorporado a los suelos desperdicio de pescado, y algas marinas, como materia orgánica para conservar la fertilidad y la estructura en terrenos agrícolas.

## Estiércol como Fuente de Materia Orgánica

Tipo	Nitrógeno N	Fósforo P2O5	Potasio K2O	Calcio Ca	Magnesio Mg	Materia Orgánica	Humedad Relativa
<b>Fresco</b>	%	%	%	%	%	%	%
<b>Bovinos</b>	0.5	0.3	0.5	0.3	0.1	16.7	81.3
<b>Ovinos</b>	0.9	0.5	0.8	0.2	0.3	30.7	64.8
<b>Pollos</b>	0.9	0.5	0.8	0.4	0.2	30.7	64.8
<b>Caballos</b>	0.5	0.3	0.6	0.3	0.12	7.0	68.8
<b>Cerdos</b>	0.6	0.5	0.4	0.2	0.03	15.5	77.6
<b>Seco</b>	%	%	%	%	%	%	%
<b>Bovinos</b>	2.0	1.5	2.2	2.9	0.7	69.9	7.9
<b>Ovinos</b>	1.9	1.4	2.9	3.3	0.8	53.9	11.4
<b>Pollos</b>	4.5	2.7	1.4	2.9	0.6	58.6	9.2

## 1.2 Sequías

### La Sequía

La sequía difiere de los demás desastres naturales porque se presenta en escalas de tiempo mayores, que pueden ir desde meses hasta años. Los índices que se asignan a las de sequías de acuerdo con el tipo y grado de severidad, contienen gran cantidad de datos y valores numéricos que permiten una noción del déficit hídrico en determinada región.

### Reducción en las Precipitaciones

Al tratar las causas de la sequía es útil distinguir entre episodios breves de sequía que duran de 1 a 3 años y periodos prolongados en los que predomina la precipitación subnormal durante unos diez o más años, en los que puede haber diversos episodios de sequías intensas.

La causa próxima o inmediata del déficit en precipitación puede deberse a uno o más factores, como la ausencia de humedad en la atmósfera, la subsidencia a gran escala (movimiento descendente del aire en la atmósfera) que suprime la acción convectiva, y la ausencia de sistemas cargados de lluvia.

Los cambios en dichos factores se deben a cambios en los sistemas climatológicos desde el nivel local hasta niveles regionales y globales. Es posible indicar la causa inmediata de la sequía meteorológica en una región, pero generalmente no es posible identificar la causa básica. Frecuentemente es posible reconocer las asociaciones entre episodios a corto plazo y fluctuaciones globales atmosféricas y oceánicas de otras partes del mundo. Este es el caso del fenómeno El Niño/Oscilación Austral (ENSO).

En escala mayor se ha propuesto también como causa de las sequías prolongadas, la relación entre temperaturas superficiales del mar y precipitación. Entre las causas locales atribuidas al ser humano se encuentran los cambios como consecuencia de la pérdida de la cubierta vegetal, debido al pastoreo excesivo y a la deforestación.

En estos cambios se involucran mecanismos de retroalimentación "biogeofísica", es decir, una vez que comienzan estos cambios, se retroalimentan a sí mismos y perpetúan las condiciones de sequía.

### **Tipos de Sequía**

1. Meteorológica.
2. Hidrológica.
3. Agrícola.
4. Socioeconómica.

De estos tipos de sequía, los dos primeros describen fenómenos físicos, mientras que el tercero describe el impacto de los dos primeros en la producción agrícola.

**Sequía Meteorológica:** Desde el punto de vista meteorológico, la sequía puede definirse como una condición anormal y recurrente del clima que ocurre en todas las regiones climáticas de la Tierra. Este fenómeno se caracteriza por una marcada reducción de la cantidad de precipitación que se presenta en una zona, y puede producir serios desbalances hidrológicos. Describe una situación en la cual hay una disminución en la caída de lluvias durante un periodo específico por debajo de una cantidad específica. Su definición sólo comprende datos de precipitación.

**Sequía Hidrológica:** En términos hidrológicos, se habla de sequía cuando se presenta una precipitación menor a la media estacional en escala regional, lo cual se traduce en un nivel de aprovisionamiento anormal de los cursos de agua, y de los reservorios de agua superficial o subterránea. Es decir, existe disminución de los recursos hídricos por debajo de un nivel determinado durante un periodo dado de tiempo. Su definición incorpora datos de disponibilidad y tasas de consumo basadas en el suministro normal del sistema (doméstico, industrial o agrícola).

**Sequía Agrícola:** En el sector agrícola, la sequía se relaciona al déficit marcado y permanente de lluvia que reduce significativamente la producción agropecuaria con relación a la normal o a los valores esperados para una determinada región. La sequía agrícola es el impacto que las sequías meteorológica y/o hidrológica tienen en el rendimiento de los cultivos que requieren condiciones particulares de temperatura, humedad y nutrientes durante su crecimiento para alcanzar su desarrollo completo.

Cuando la disponibilidad de humedad es menor que la cantidad requerida durante el ciclo de crecimiento del cultivo, entonces la producción se reducirá. Además, las sequías pueden causar impactos diversos en los diferentes cultivos. Para algunos especialistas, el déficit de humedad en el suelo, que está ligado a los efectos sobre la producción vegetal agrícola y pastizales en ganadería, es frecuentemente denominado sequía edáfica.

**Sequía Socioeconómica:** La sequía en el sector socio-económico ocurre cuando las lluvias son insuficientes y tienen efecto significativo en comunidades y su economía (energía hidroeléctrica, aprovisionamiento en agua potable, industria, etc.).

## Definición de Sequía

Ramírez y Brenes (2001) definen la sequía como un desastre natural lento que no presenta trayectorias definidas y tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio. La severidad de una sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, de su duración o de su extensión geográfica, sino también de las demandas del recurso hídrico para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas, razón por la cual es posible expresar el grado de severidad de la sequía en términos de sus impactos sociales y económicos.

## Índices de Sequía

Para cuantificar la sequía se han desarrollado diferentes índices de sequía, cada uno con sus aciertos y desaciertos. Dos índices comúnmente utilizados son: el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) y el Índice Estándar de Precipitación (SPI). Las condiciones de sequía son monitorizadas constantemente usando éstos y otros índices para proveer información actual sobre regiones afectadas por la sequía.

### *Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP)*

Este ha sido el índice de sequía más utilizado en Estados Unidos. Fue desarrollado para medir la intensidad, duración y extensión espacial de la sequía. Los valores del ISSP se derivan de las medidas de precipitación, temperatura del aire y humedad del suelo local, conjuntamente con valores anteriores de estas medidas. Los valores varían desde -6.0 (sequía extrema) hasta +6.0 (condiciones extremas de humedad), y han sido estandarizados para facilitar las comparaciones entre regiones. Este índice de sequía ha sido utilizado para evaluar el impacto de la sequía en la agricultura.

Valores de Índice	Categorías
>4	Condición húmeda extrema
3 – 3,99	Condición muy húmeda
2 – 2,99	Condición húmeda moderada
1 – 1,99	Condición húmeda suave
0,5 – 0,99	Condición húmeda incipiente
0,49 – -0,49	Condiciones normales
-0,5 – - 0,99	Sequía incipiente
-1 – -1,99	Sequía suave
-2 – -2,99	Sequía moderada
-3 – -3,99	Sequía severa
= -4	Sequía extrema

Fuente: Palmer Meteorological Drought.

## Índice Estándar de Precipitación (IEP)

El Índice Estándar de Precipitación (IEP) fue diseñado para mejorar la detección del comienzo de la sequía y para monitorear la misma. El IEP es una medición de la sequía más simple que el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP) y se basa solamente en las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un período específico. Una característica clave del IEP es la flexibilidad de medición de la sequía en distintas escalas temporales. Las sequías tienen gran variación en su duración, y es por esto importante detectarlas y monitorearlas en diversidad de escalas temporales.

Las sequías de corto plazo son medidas por instrumentos meteorológicos, y definidas de acuerdo a la climatología regional específica. Las sequías de importancia para la agricultura se presentan con déficit de humedad en el suelo, y este tipo de sequías con duración de tres a seis meses pueden causar un gran impacto. Las sequías más prolongadas pueden tener impactos significativos sobre las reservas de agua superficial y subterránea.

Los valores de IEP se calculan comparando la precipitación acumulada total para una estación o región en particular, durante un intervalo de tiempo específico, con el promedio de la precipitación acumulada para ese mismo intervalo a todo lo largo de lo que dure el registro climático. Los valores van desde 2.00 ó más (extremadamente húmedo) hasta -2.00 ó menos (extremadamente seco) con las condiciones casi normales en un rango de 0.99 a -0.99.

Valores IEP	Categoría de la Sequía
2.00 o más	Extremadamente húmedo
1.50 a 1.99	Muy húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Casi normal
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
-1.50 a -1.99	Severamente seco
-2.00 o menos	Extremadamente seco

Se define una sequía cuando el IEP es continuamente negativo y alcanza un valor de -1.00 o inferior, y continúa hasta que el IEP se torna positivo. La duración de la sequía es definida por el intervalo entre el comienzo y el final del período. La magnitud de la sequía se mide sumando los valores del IEP durante los meses de la sequía.

## Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN)

El Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN) se refiere a la relación que existe entre la precipitación acumulada en un periodo de tiempo determinado y la precipitación media anual para una región, y se expresa de manera porcentual.

La precipitación media anual histórica se conoce como precipitación normal y se obtiene a partir del valor promedio de las precipitaciones anuales ocurridas en un periodo no menor de 30 años.



Los valores porcentuales estimados para cada año indican el déficit (valores negativos) y el excedente (valores positivos) en la precipitación anual ocurrida. Por su parte, valores porcentuales próximos a cero corresponden a valores cercanos al promedio histórico.

Categoría de Sequía PPN	Valores Porcentuales
Ligera	-20.0% a -30%
Moderada	-30,1% a -40%
Fuerte	-40,1% a -49%
Aguda	-49,1% a -59%
Intensa	-59%<

### Índice de Suministro de Agua Superficial (ISAS)

El Índice de Suministro de Agua Superficial (ISAS), complementa al Índice de Palmer para condiciones de humedad. El Índice de Palmer es básicamente un algoritmo de humedad del suelo calibrado para regiones relativamente homogéneas.

No está diseñado para grandes variaciones topográficas a través de una región y no considera la acumulación de nieve y su subsecuente transformación en agua. El ISAS fue diseñado para ser un indicador de las condiciones de humedad de superficie, incluyendo la acumulación de nieve en la montaña.

El objetivo del ISAS es incorporar tanto las características hidrológicas como climatológicas en un solo índice parecido al Índice de Palmer y aplicarlo a la mayoría de las cuencas de los ríos. Los valores del ISAS están estandarizados para permitir la comparación entre cuencas.

*Cuatro variables requeridas:*

1. Acumulación de nieve.
2. Flujo laminar.
3. Precipitación.
4. Reservorios de almacenaje.

El ISAS es dependiente de la estación del año y, por tanto, es calculado en invierno y toma en cuenta la nieve acumulada, precipitación y reservorios de almacenaje. Durante el verano el flujo laminar reemplaza la acumulación de nieve como componente del ISAS

### Índice de Riesgo de Sequía (IRS)

Este índice se definió para determinar la severidad y duración de la sequía, y para predecir el inicio y el final de este período. El IRS está formado por cuatro componentes:

1. Precipitación media anual corregida en función de la temperatura media anual.
2. Estacionalidad pluviométrica.
3. Variabilidad.
4. Persistencia de la sequía.

El IRS es adaptable a cada región en particular, y su principal fortaleza es la habilidad de tomar en cuenta tanto el clima como los factores de suministro de agua.

Índice de Riesgo de Sequía	
4 o más	Extremadamente húmedo
1.5 a 4	Moderadamente húmedo
0 a 1.5	Normal a ligeramente húmedo
0 a -1.5	Normal a ligeramente seco
-1.5 a 4	Moderadamente seco
-4 o menos	Extremadamente seco

### Índice de la Humedad del Cultivo (IHC)

El indicador IHC utiliza un planteamiento meteorológico para hacer un seguimiento semanal de las condiciones de los cultivos. Fue diseñado para evaluar las condiciones de humedad a corto plazo en las principales regiones dedicadas a la producción agrícola.

### Índice USBR de la Sequía

Este indicador ha sido desarrollado recientemente por el Bureau of Reclamation norteamericano (USBR), como un instrumento para definir la intensidad y duración de las sequías, y para predecir su comienzo y su final.

### Impactos y Período de Aviso de la Sequía

Entre los mayores desastres naturales, las sequías son especiales en cuanto al periodo de tiempo que existe entre las primeras señales que indican que se está desarrollando una sequía y el momento en el cual la población empieza a sentir un impacto notable en el área afectada. La duración de dicho "periodo de aviso" varía enormemente entre las sociedades. En muchas sociedades el periodo de aviso puede ser de varios meses, mientras que en otras, tal vez, sólo sea de unas pocas semanas. Cualquiera que sea el periodo de aviso, este tiempo permite preparar una respuesta potencial para mitigar los impactos de la sequía antes de que estos sean demasiado severos.

Las sequías, siempre o casi siempre, producen un impacto directo y notable en la producción de alimentos y en la economía en general. El impacto en una población particular está relacionado con la gravedad y la naturaleza de la sequía, pero igualmente, y a veces mucho más importante, con la naturaleza de la economía y sociedad del área afectada. Los efectos de la sequía pueden ser sentidos a corto y a largo plazo, afectando no sólo las actividades productivas del campo, como la agricultura y la ganadería, sino también a actividades industriales básicas y al bienestar y la salud de los habitantes de las comunidades rurales y urbanas.

Los efectos de la sequía están relacionadas principalmente con la falta de agua, los cuales se ven agravados por otros factores que cuando ocurren asociados con la escasez de humedad hacen más crítica la situación. Entre otros se encuentran los siguientes: altas o bajas temperaturas, vientos huracanados y la incidencia de ciertos patógenos. También es común que, después de períodos secos, se presenten lluvias torrenciales que, ante la degradación de la cubierta vegetal y el descuido y deterioro en los cauces naturales del agua, causen catástrofes que indirectamente pudieran ser atribuidas a la sequía. Los seres humanos a través de algunas prácticas contribuyen a hacer más agudos los impactos de los factores que producen la sequía.

Destacan aquellas prácticas que disminuyen la capacidad de retención de humedad del suelo o que propician la erosión, tales como: destrucción de la materia orgánica por medio de quema de rastrojos y el abuso en el uso de la fertilización química, el monocultivo, la quema no controlada de pastizales, el barbecho en épocas de escasa precipitación, el desempiedre en terrenos con pendiente, la agricultura en terrenos inapropiados para ello y, de forma notable, el abuso en el uso del agua en épocas en que se dispone de ella.

Muchos impactos económicos ocurren en la agricultura y sectores relacionados, a causa de la confianza de estos sectores en los suministros de agua superficiales y subterráneos. Además de pérdidas en rendimientos en la producción de cultivos y ganadería, la sequía está asociada con infestaciones de insectos, enfermedades de plantas y erosión del viento. La incidencia de incendios en campos y bosques se incrementa substancialmente durante períodos extensos de sequías, lo que coloca a las poblaciones humanas y silvestres en altos niveles de riesgo.

La pérdida de ingresos es otro indicador usado en la evaluación de los impactos de la sequía. Esto conduce al desempleo, incremento en el riesgo de créditos para instituciones financieras, carencia de capitales, y eventual pérdida de ingreso de impuestos para los gobiernos. Los precios de los alimentos, la energía, y otros productos se incrementan, conforme los suministros se reducen. El suministro reducido de agua imposibilita la navegabilidad de ríos y conlleva al incremento de costos de transporte, ya que los productos deben ser transportados por medios alternativos. La producción hidroeléctrica puede también verse significativamente afectada. La incertidumbre en el pronóstico de la sequía propicia la obtención de seguros agropecuarios.

### **Mitigación de la Sequía**

La sequía es resultado de la interacción entre el medio natural y el social. El hombre y la sociedad desempeñan un papel activo y pasivo en este fenómeno, que determina el desarrollo integral de una región. Es obvio que los efectos de la sequía influyen no sólo en la agricultura y en la producción agropecuaria sino también en todos los organismos vivos, incluyendo las especies domésticas y silvestres de plantas, animales y seres humanos. Esto significa que los daños se pueden producir, no sólo en los campos cultivados, sino también en los no cultivados, en zonas naturales protegidas y en la propia sociedad.

Por esta razón existe una necesidad mundial de encontrar medios y medidas para luchar contra los efectos dañinos de la sequía, y para crear parámetros en espacio y tiempo, a fin de influir en los sectores sociales, políticos, económicos, ecológicos, de justicia y ética, así como en el comportamiento individual y público, para lograr un desarrollo duradero de la sociedad. Sin duda, en la mayoría de los países en los que la sequía se da con más frecuencia, se han utilizado diversos métodos y medidas para defenderse pero, evaluando estas medidas, se puede afirmar que, en la mayoría de los casos, o han carecido de fundamento o no han estado bien consolidadas. La mayoría de tales medidas fueron improvisadas, y los pasos para su aplicación se dieron principalmente a posteriori, en lugar de ser preventivos, y las acciones, más bien perseguían salvar el momento, logrando sólo resultados parciales.

En este sentido, para aprender lo más posible de las experiencias pasadas sobre las medidas de mitigación de las sequías es indispensable recoger y analizar correctamente estas medidas, y evaluarlas para llegar a la conclusión más inteligente posible. Es un hecho comprobable que la sociedad, por lo general, se encuentra mal informada y poco preparada para afrontar una situación de sequía.

El público y los responsables de la toma de decisiones tienden a ocuparse preferentemente de los problemas cotidianos que más les presionan, pero aquellos otros poco frecuentes o inesperados, como son los causados por la sequía, suelen contemplarse muy por encima, hasta que suceden de nuevo y, entonces, atraen la atención de todo el mundo.

Una vez pasada la sequía es frecuente que se olvide con rapidez y que se vea como algo poco probable que vuelva a ocurrir. De hecho, el comportamiento social está influido, no sólo por los hechos, sino también por los sentimientos y las creencias. Siempre se piensa que la próxima sequía (como cualquier otro desastre o peligro natural) no será tan grave como la anterior. Esta actitud es también común en los responsables de la planificación y de la toma de decisiones, lo cual puede conducir a subestimar la importancia de los conceptos para la mitigación de la sequía, así como las soluciones de los problemas resultantes de la planificación y gestión de los recursos hídricos. De tal manera, para afrontar adecuadamente los problemas más críticos de la sequía, es esencial planificar todas las adaptaciones, modificaciones y prácticas cuya activación sea necesaria en la lucha contra las sequías.

### **Plan de Preparación y Mitigación de las Sequías**

#### *Valoración y previsión de los fenómenos de sequía:*

Entre las acciones preventivas más importantes para luchar contra las sequías se encuentran: la predicción y los métodos para despertar y hacer conciencia en la población, proporcionando información tan amplia como sea posible mediante todos los medios de divulgación. Debe establecerse un servicio continuo de previsión de sequías para ayudar a los productores en el sector agropecuario, a los especialistas en la gestión del agua y a cualquier persona interesada en alcanzar una mejor preparación para afrontar los efectos de la sequía. Los indicadores de sequías que continuamente se determinan, pueden utilizarse como base de cálculo en las ayudas gubernamentales, y en otras medidas que se adoptan para reducir los daños por sequías. La estrategia en las sequías debe recoger información sobre las prácticas agrícolas y agropecuarias que se utilizan.

#### *Métodos Preventivos;*

Los métodos de prevención pueden clasificarse en tres grupos: 1. Medidas orientadas a la oferta. 2. Medidas orientadas a la demanda. 3. Medidas para minimizar los impactos de las sequías.

#### *Medidas orientadas a la oferta:*

Las formas más importantes de aliviar problemas por sequías consisten en utilizar con mayor eficiencia las reservas existentes. Así mismo, el desarrollo de nuevas fuentes de suministro y el uso de prácticas no convencionales para incrementar los recursos a suministrar. Entre las medidas generales de gestión del agua para hacer un mejor uso de los recursos hídricos existentes, se encuentra en primer lugar el almacenamiento de las aguas superficiales en embalses construidos para tal fin. Y son instrumentos importantes también la utilización de embalses subterráneos y los trasvases o intercambios de agua entre cuencas, o dentro de una misma cuenca. La mejora de los suministros mediante métodos para ahorro de agua, en especial los que tienen como resultado la reducción de las pérdidas, pueden ser una medida viable. En estos casos, entre las buenas prácticas están las siguientes: revestir o impermeabilizar los canales para controlar y reducir el consumo de agua; conservar el suelo para aumentar su capacidad de infiltración y sus rendimientos culturales; reducir la evaporación mediante la gestión de escurrimientos; aplicar sistemas de riego que ahorran agua, etc.

Dentro de la compleja mejora de los recursos de agua para el suministro, se puede mencionar la interconexión y ampliación de grandes sistemas de abastecimiento; el uso conjunto de todos los recursos hídricos; y la gestión especial de la nieve y del hielo que forman también parte de la redistribución temporal de los recursos hídricos para suministro.

#### *Medidas orientadas a la demanda:*

El objetivo de las medidas orientadas hacia la demanda, para el control de la sequía, es hacer que los recursos inadecuados existentes, cualquiera que sea su cantidad, sirvan a los usuarios de la manera más eficaz posible. Los métodos más importantes de este tipo de medidas son: la modificación de la demanda a nivel de explotación; la reducción al mínimo de las pérdidas por escurrimiento; drenaje y evaporación; cumplimiento de la asignación de las dotaciones de agua; procedimientos específicos para cada región; análisis de las experiencias obtenidas de sequías anteriores.

#### *Medidas para minimizar los impactos de la sequía:*

1. Anticiparse a los efectos que produce la sequía mediante predicciones y análisis de datos.
2. Investigar la frecuencia y duración de sequías en el pasado. 2. Realizar pronósticos y alertar para que la población esté mejor preparada frente a tales fenómenos. Esto da como resultado acciones conscientes y sistemáticas que pueden ayudar a aliviar las consecuencias.

### **Reducción de Daños**

Existen varios métodos prácticos, principalmente desarrollados para la agricultura, que ayudan a reducir los daños potenciales de una sequía prolongada, entre los cuales se encuentran: el cambio ó elección óptima para el uso de la tierra; la rotación o modificación de cultivos; la selección lógica de las variedades de plantas; y los cambios en las técnicas agrícolas y agropecuarias utilizadas. Los programas y acciones para recuperación del suelo pueden ayudar considerablemente a reducir los daños causados por la sequía en un área determinada. Así mismo, el cultivo de plantas para obtener variedades más tolerantes a la sequía.

### **Coordinación y Organización**

Dado que la sequía es un fenómeno muy complejo, la lucha contra sus impactos requiere de una buena organización y coordinación minuciosa entre las partes involucradas. La formulación de estrategias nacionales para las sequías requiere labor multidisciplinar y coordinada entre diferentes especialistas. La mayoría de los especialistas coinciden en que debe existir una Comisión Nacional para la Sequía, a fin de ejecutar la propia estrategia nacional.

Esta Comisión puede actuar como instrumento de información y recomendación a través de un comité de valoración de los impactos, evaluando los programas regionales y estatales disponibles para ayudar a los productores agrarios y a los municipios, durante el periodo de emergencia. La Comisión Nacional para la Sequía debe incluir a los representantes más relevantes de los organismos competentes, reconociendo la naturaleza multidisciplinar de la sequía, así como sus diversos impactos y la importancia de la valoración y respuesta en cualquier estrategia integrada en los objetivos de desarrollo a largo plazo.

## Planificación Contra la Sequía

En la planificación es necesario considerar los siguientes factores:

- Los políticos y la población pueden carecer de información sobre la sequía.
- En zonas donde la sequía es poco frecuente, no dar prioridad baja a la sequía.
- Los gobiernos pueden tener recursos económicos inadecuados ó mal empleados.
- Las responsabilidades están divididas en demasiadas jurisdicciones gubernamentales.
- En algunos Países se carece de filosofía unificada para gestión de recursos naturales y agua.

En las últimas décadas el interés por la planificación se ha incrementado a todos los niveles. El tremendo costo económico, social y medioambiental asociado a los efectos de la sequía es una de las razones para este cambio de actitud. El proceso actual de planificación no es estático.

El National Drought Mitigation Center (NDMC) basa su plan contra la sequía en tres componentes principales:

1. Monitorización y aviso temprano.
2. Valoración del riesgo.
3. Mitigación y respuesta.

La complejidad de los efectos de la sequía requieren procedimientos preventivos para reducir el riesgo. Y para disminuir la vulnerabilidad respecto a la sequía los gobiernos deben formular medidas políticas con objetivos claros, y establecer un planes adecuados para lograr los objetivos. Muchos gobiernos han utilizado un proceso con diez pasos para desarrollar planes contra la sequía, donde el proceso de desarrollo del plan identifica áreas vulnerables, grupos de población y sectores medioambientales y económicos.

La meta de estos planes es reducir los efectos de la escasez de agua, las dificultades personales y los conflictos entre los usuarios del agua y de otros recursos naturales. Para que tengan éxito estos planes deben estar integrados con otros planes y estrategias gubernamentales tales como las relacionadas con la seguridad alimentaria y la lucha contra la desertificación.

**Los diez pasos** para el desarrollo de un plan nacional de sequía propuesto por el Dr. Donald Wilhite del National Drought Mitigation Center (NDMC) son los siguientes:

### *1. Nombramiento de un Comité de Sequía*

El Comité debe reflejar la naturaleza multidisciplinaria de la sequía y sus impactos. Este Comité tiene dos propósitos:

- Supervisar y coordinar el desarrollo del plan.
- Una vez que se ha desarrollado el plan y durante el periodo en que el plan se encuentre activo, el Comité coordinará las acciones, implementará programas de mitigación y de respuesta, y emitirá recomendaciones de planes de acción.

## *2. Plantear una política de sequía, objetivos y propósitos del plan*

Como primera acción oficial, el Comité para la sequía deberá presentar el propósito de un plan para la sequía. Para definir el propósito de un plan habrá que hacer frente a las siguientes cuestiones:

- El gobierno en la mitigación de la sequía y en la respuesta de apoyo.
- El alcance del plan.
- Las zonas más sensibles a la sequía en el Estado.
- Los impactos históricos de la sequía y las respuestas históricas ante la misma.
- Los sectores económicos y sociales más vulnerables.
- Resolución de conflictos entre usuarios del agua en periodos de escasez.
- Tendencias actuales (por ejemplo, uso de suelos y agua, crecimiento poblacional) que puedan incrementar o disminuir la vulnerabilidad y los conflictos en el futuro.
- Recursos (humanos y económicos) que el Estado está dispuesto a dedicar al plan.
- Implicaciones legales y sociales del plan.
- Las principales consecuencias ambientales causadas por la sequía.
- Un propósito general del plan es el de reducir los impactos de la sequía al identificar las principales actividades, grupos o regiones en riesgo y promover acciones de mitigación y programas para alterar estas vulnerabilidades.
- El Comité para la sequía debe identificar los objetivos específicos para apoyar el propósito del plan. Entre los objetivos que deben considerarse están los siguientes:
- Reunir y analizar sistemáticamente a tiempo la información relacionada con la sequía.
- Establecer los criterios para declarar las emergencias de sequías e iniciar varias actividades de mitigación y respuesta ante la sequía.
- Proveer una estructura organizativa y sistema de entrega que garantice el flujo de información entre y dentro de los varios niveles del gobierno.
- Definir las tareas y responsabilidades de cada dependencia con respecto a la sequía.
- Identificar las áreas susceptibles a la sequía del Estado y los sectores económicos, poblaciones o ecosistemas vulnerables.
- Identificar las acciones de mitigación que pueden tomarse para atender vulnerabilidades y reducir impactos de la sequía.
- Mantener informado al público sobre las condiciones actuales y acciones de respuesta, brindando información a los medios de comunicación.
- Establecer y consolidar una estrategia para eliminar los obstáculos para una asignación equitativa de agua durante periodos de escasez y establecer requerimientos o proveer incentivos para motivar la conservación del agua.
- Establecer un conjunto de procedimientos para evaluar continuamente y ejercitar el plan, revisándolo periódicamente para que se mantenga adecuado a las necesidades del Estado.

## *3. Evitar y resolver conflictos entre sectores usuarios del agua*

A medida que el agua escasea, los diversos intereses sociales, económicos y ambientales se enfrentan a la intensificación de la competencia por este recurso vital. Por lo tanto, es importante que los miembros del Comité para la sequía, identifiquen a todos los grupos ciudadanos y sus intereses, que vayan a ser afectados por el plan contra sequía. Estos grupos deben ser involucrados temprana y continuamente para lograr una representatividad justa, además de lograr una planificación y administración efectiva de los recursos hídricos.

#### *4. Recursos humanos y naturales. Restricciones financieras y legales*

La Comisión para la sequía requiere la realización de un inventario de los recursos naturales, biológicos y humanos, incluyendo la identificación de las restricciones que pueden impedir el proceso de planificación. Es importante determinar la vulnerabilidad de estos recursos a los periodos de escasez de agua a consecuencia de la sequía.

#### *5. Alerta temprana, evaluación del impacto, componente de respuesta*

Este paso describe el proceso de integración de los organismos relevantes para redactar el plan de la sequía y desarrollar la estructura organizativa necesaria para poder desempeñar sus responsabilidades. El plan para la sequía debe contar con tres componentes primarios: monitorización, evaluación de riesgos, y mitigación-respuesta.

#### *6. Identificar necesidades de investigación y deficiencias institucionales*

Como las necesidades de investigación y deficiencias en la responsabilidad institucional se hacen evidentes durante la planificación de sequía, el Comité de sequía debe compilar una lista de aquellas carencias y hacer recomendaciones a las personas responsables o al organismo administrativo pertinente sobre cómo remediarlas.

#### *7. Interrelación de los asuntos científicos y políticos*

En muchos casos, se debe mejorar la comunicación y el entendimiento entre las comunidades científicas y los distintos responsables si se desea un proceso de planificación exitoso. La integración de la ciencia y la elaboración de planes son también útiles para establecer prioridades de investigación y sintetizar el estado actual de conocimiento. El comité para la sequía debe considerar varias alternativas para acercar estos grupos y mantener una estrecha relación de trabajo.

#### *8. Comunicación del plan a la sociedad*

Si existiera una buena comunicación con el público durante todo el proceso de elaboración del plan, podría haber una mejor noción de la sequía y su planificación para cuando el Comité recomiende las distintas opciones de mitigación de la sequía y las respuestas oportunas. En años siguientes, al inicio de la estación del año más sensible a la sequía, es útil hacer recordar el plan pertinente, dando a conocer a los usuarios que existe presión sobre las reservas del agua o si existen razones para creer que habrá carencias conforme evoluciona la estación, y recordando la existencia e historia del plan. Puede ser útil recordarle a la población de forma anticipada las circunstancias que llevarían a las restricciones en el uso del agua.

#### *9. Desarrollo de programas de educación y capacitación para diferentes niveles*

Un programa educativo amplio para despertar la conciencia sobre aspectos de reservas de agua a largo plazo ayudará a que la gente sepa cómo responder ante una sequía cuando esta ocurra y que la planificación continúe en años en que no aparezca.

#### *10. Procedimientos para evaluación del plan de preparación para la sequía y programa de evaluación operativa y de evaluación post-sequía*

Una vez que el plan ha sido aceptado se debe vigilar la implementación de los aspectos operativos, tanto a corto plazo como las medidas de mitigación de la sequía a largo plazo.



Las pruebas periódicas, la evaluación y la actualización del plan de sequía, son esenciales para adecuarlo a las necesidades locales, municipales y nacionales. Para maximizar la efectividad del sistema deben incluirse dos tipos de evaluación: operativa (durante el proceso de sequía) y a posteriori.

**Evaluación operativa:** Puede aportar ideas de cómo los cambios sociales (nuevas tecnologías, investigaciones, legislaciones, y cambios en la dirección política) pueden afectar tanto al riesgo de sequía como a los aspectos operacionales del plan. Mientras que los riesgos de la sequía pueden ser controlados habitualmente, el plan de sequía en general puede ser evaluado con una menor frecuencia. Se recomienda una evaluación del plan bajo condiciones de sequía simuladas y una realización de valoraciones periódicas. La planificación ante sequías es un proceso continuo, no un evento aislado.

**Evaluación post-sequía:** Facilita la adquisición de un mecanismo para impulsar recomendaciones y así mejorar el sistema mediante la documentación y el análisis de las acciones de evaluación y las respuestas del gobierno o las organizaciones no gubernamentales entre otros. Sin estas evaluaciones, es difícil aprender de éxitos y fracasos pasados, pues se pierde la memoria institucional. Las evaluaciones post-sequía deben incluir análisis de los aspectos climáticos y ambientales, su impacto social y económico, el alcance que tuvo la planificación anterior a la sequía en mitigar los impactos, en facilitar la ayuda o asistencia a las áreas afectadas, y en la recuperación posterior. Para asegurar una apreciación objetiva sin tendencias, los gobiernos pueden asignar la responsabilidad de evaluar la sequía y la respuesta social ante el plan, a organizaciones no gubernamentales como las universidades y/o los institutos de investigación especializados.

## Referencias

Alley, W. M.: The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology.*, 23, 1100-1109, 1984. Bowles, D.S, Hughes, T.C., James W.R., Jensen D.T., Haws F.W. Vulnerability of Water Supply Systems to Droughts. Utah water Research Laboratory UWRL/P-80/08, Utah State Univ., Logan, Utah, 1980. CIREN. Cartografía de la Evapotranspiración Potencial de Chile. 1997. Guttman B. Comparing The Palmer Drought Index and The Standardized Precipitation Index, *JAWRA*, Vol. 34 Nº 1 PP113-121, 1998. Hayes M. Drought Indices. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln. 1998. En <http://www.drought.unl.edu/> <http://www.tecnociencia.es> Palmer, W. C., 1965. Meteorological Drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C. Shafer, B. A. and L. E. Dezman, 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp. 164-175. Johnson W.K. y Roger W. Kohne. Susceptibility of Reservoirs to Drought Using Palmer Index. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 119, No. 3, May/June 1993, pp. 367-387. Wells, N. Documentation for the Original and Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index used in the National Agriculture Decision Support System. Marzo 2003. Vargas, X. Apuntes del Curso C41C, Hidrología. Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile, 2000.

## 1.3 El Agua

### La Lluvia en México

En todo México anualmente llueven alrededor de 1511 kilómetros cúbicos de agua. El 72% de esa agua de lluvia se evapora. México es un país árido o semiárido en 56% de su territorio. Y el 67% de las lluvias caen de junio a septiembre. Al promediar la lluvia en la República Mexicana se reciben alrededor de 711 mm. anuales.

El territorio mexicano hacia el norte es ancho y con lluvia escasa. Hacia el sur el territorio es angosto y allí llueve más. El 50% del territorio mexicano está ocupado por los estados del norte donde sólo llueve 25% del total. La parte angosta del país ocupa 27.5% de la superficie territorial, y allí la mayor parte del agua de lluvia (49.6%) cae en Estados del sureste como Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco. Entre los Estados más secos se encuentra Baja California, donde sólo llueve en promedio 199 mm. anuales. Por el contrario, en Tabasco se reciben alrededor de 2588 mm. de agua de lluvia cada año. En México, de 1994 a la fecha ha llovido menos del promedio histórico anterior, es decir, cada vez llueve menos. Mundialmente a México se le considera país con escasa disponibilidad de agua. Los países ricos en disponibilidad de agua son Canadá y Brasil.

La mayor parte del territorio mexicano (66%) presenta régimen de lluvias de verano, y la precipitación se concentra marcadamente en los meses de junio a septiembre, mientras que en la temporada de invierno las lluvias son escasas (menores a 10% del total). El régimen de lluvia intermedio cubre el 31% del país y corresponde a la frontera norte y a las zonas de mayor precipitación en el trópico mexicano. Finalmente, una pequeña porción ubicada en la parte norte de la vertiente del Pacífico de la Península de Baja California tiene régimen de lluvias de invierno que se concentran en los meses fríos del año.

El valor de 711 mm. de precipitación anual promedio en México, no refleja la heterogeneidad al interior del país, ni las variaciones que ocurren entre años. Por ejemplo, de 1990 a 1993 la precipitación fue casi un 14% superior al promedio, mientras que en 1994, 1996 y 1997 estuvo muy por debajo de los 711 mm. (7.9%, 13.3% y 9.2%, respectivamente). Considerando todo el país desde 1994, la precipitación promedio ha estado por debajo de la media histórica.

Si se compara el volumen de agua recibido en algunos estados durante los últimos 11 años (1990-2001) con respecto a su promedio histórico, Campeche, Coahuila, Distrito Federal, Guanajuato y Puebla recibieron entre 15 y 20% más de lluvia, mientras que Durango, Guerrero, Estado de México y San Luís Potosí sufrieron una disminución de entre 15 y 25%. Cuatro grandes periodos de sequía: 1948-1952, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996, afectaron principalmente a los estados del norte del territorio nacional: Chihuahua, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, San Luís Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala (Cenapred, 2001).

Por otra parte, en territorio mexicano se presentan alrededor de 25 ciclones al año, con vientos mayores a 63 Km. por hora, repartidos en las costas del Pacífico (60%) y del Atlántico (40%), de los cuales cuatro en promedio tienen efectos importantes sobre el territorio. La ocurrencia de ciclones tropicales se concentra entre mayo y noviembre, y ocasiona a veces inundaciones y daños a las poblaciones asentadas cerca de las costas. El agua de los ciclones generalmente no es aprovechable porque escurre rápidamente hacia el mar.

Además del agua de lluvia, México recibe 48 km<sup>3</sup> de agua provenientes de Guatemala y 1.8 km<sup>3</sup> del río Colorado. Por otro lado, México entrega 0.44 km<sup>3</sup> de agua del río Bravo a Estados Unidos de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América, firmado en 1944. El balance general muestra que la disponibilidad media natural de agua en México es de 472 km<sup>3</sup> al año, valor superior al de la mayoría de los países europeos.

Del total de agua disponible, alrededor de 84% (397 km<sup>3</sup> en promedio) escurre superficialmente, y el restante 16% (75 km<sup>3</sup>) se incorpora a los acuíferos. El escurrimiento superficial también muestra variaciones importantes en el país. En la región de la frontera sur escurre cerca del 35% del total nacional, encauzado básicamente en los ríos Grijalva y Usumacinta, mientras que en las penínsulas de Baja California y Yucatán el escurrimiento superficial es inferior a 1%, debido a que en Baja California la precipitación es muy escasa, y en la Península de Yucatán por razón del poco relieve y sustrato permeable.

La mayor parte de los escurrimientos superficiales se canalizan por los grandes ríos de México. Los ríos Grijalva, Usumacinta, Papaloapan, Pánuco y Lerma-Santiago captan en conjunto casi 54% del escurrimiento superficial (Cenapred, 2001).

Debido al régimen climático en el país, en casi todos los ríos existe una diferencia notable en el volumen de agua que acarrearán en las épocas de lluvia y sequía. Esta variación se acentúa debido a las obras de retención de agua e irrigación. De tal manera, muchos ríos que eran permanentes ahora son intermitentes, por lo menos en algunas partes de su recorrido (Conabio, 1998), lo cual trae consigo afectaciones a los ecosistemas acuáticos y costeros.

La capacidad de almacenamiento en la infraestructura hidráulica del país es de 150 km<sup>3</sup>. Y de las 4500 presas existentes, 840 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con los criterios de la Comisión Internacional de Grandes Presas. La capacidad de almacenamiento conjunto equivaldría al 37% del escurrimiento promedio anual del país. Sin embargo, cerca del 80% de esta agua se descarga al mar sin ser totalmente aprovechada.

Las grandes presas podrían aportar agua en las temporadas desfavorables del año, pero su función principal está centrada en la generación de energía eléctrica, y en el control de avenidas. En menor medida y principalmente en el norte del país, las presas se utilizan para proveer de agua a las actividades agropecuarias.

### **El Agua Subterránea en México**

El número de acuíferos reportados en el país para el año 2000 fue de 653, distribuidos en todo el territorio nacional. El volumen estimado de agua que se extrae de los acuíferos es de 28.5 km<sup>3</sup>/año, cantidad que no tuvo variaciones importantes en los últimos diez años.

Este volumen corresponde al 38% del estimado de recarga anual para el país, lo que indicaría un balance positivo y, en teoría, todavía una reserva aprovechable importante. Sin embargo, a nivel regional la situación es muy diferente, las regiones de la Península de Baja California, las Cuencas Centrales del Norte y el Valle de México tienen déficit estimados entre 17.38% y 32%, respectivamente, y la región noroeste está prácticamente con balance cero (0.8% de sobreexplotación).

<b>Año</b>	<b>Acuíferos Sobreexplotados</b>
1975	35
1981	36
1985	80
2000	96

Comisión Nacional del Agua 2002

Los acuíferos sobreexplotados representan el 14% del total de acuíferos registrados en el país. Estos acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales, Bravo y Lerma- Santiago-Pacífico. Además de la sobreexplotación, 17 acuíferos tienen problemas de intrusión salina (13 de ellos están entre los sobreexplotados), sobretodo los que se localizan en las costas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Veracruz y Colima.

En amplias zonas de riego la sobreexplotación de los acuíferos ha acarreado que los niveles de agua subterránea se hayan abatido decenas de metros, como es el caso de los acuíferos de Maneadero y Camalú en Baja California, que tienen registradas disminuciones del nivel estático de más de 12 metros en la zona cercana a la costa, lo cual ha favorecido la intrusión salina.

El uso racional del agua subterránea es indispensable, porque cada día más regiones dependen de sus reservas agua almacenadas en el subsuelo. Los acuíferos se convertirán en recurso patrimonial estratégico (CNA, 2001). Actualmente 70% del agua que se suministra a las ciudades proviene de acuíferos, y con ésta agua se abastecen 75 millones de personas (55 millones en ciudades y 20 millones en comunidades rurales).

### **Agricultura y Agua**

La agricultura es la actividad humana que demanda más agua, y la que más efectos tiene sobre la calidad y cantidad del recurso. Esta actividad consume más del 70% del agua que se extrae en el mundo, y frecuentemente está asociada a cambios en la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, debido a la construcción de presas y canales de riego.

Además, las actividades agrícolas propician la incorporación en el agua de sólidos suspendidos producidos por la erosión hídrica del suelo, así como por fertilizantes y plaguicidas. El tipo de cultivo es también factor determinante en el consumo de agua. Diversos cultivos requieren diferentes volúmenes de agua.

Por ejemplo, para producir un kilo de papa se requieren alrededor de 500 litros de agua, mientras que para producir un kilo de maíz la cantidad de agua requerida se encuentra alrededor de los 1400 litros de agua.

El uso del agua para fines agrícolas afecta los ecosistemas acuáticos naturales, porque los productos de las actividades agrícolas como el fósforo y el nitrógeno provenientes de los fertilizantes promueven la eutroficación con daños severos en la vida acuática. Además, la disminución del volumen de agua de los ríos debido a la extracción para uso agrícola disminuye su capacidad de dilución y purificación.

### **Recuperar Agua de Lluvia**

En este experimento supongamos que tenemos techos inclinados sobre una superficie de diez mil metros cuadrados (una hectárea); ó una hectárea en terrenos inclinados cubiertos con plástico para recuperar el agua de lluvia que cae sobre dichas superficies. Entonces, la cantidad de agua de lluvia recuperada, y la producción estimada que podrían obtenerse con esa agua, sería la expresada en la siguiente tabla:

Lluvia MM Año	M3 Agua Hectárea	LT Agua Hectárea	Prod. Papa 500 LT/Kg.	Prod. Maíz 1400 LT/Kg.	Ganado 20,000 LT Cabeza/Año
200	2000	2,000,000	4 Ton.	1.4 Ton.	100 reses
300	3000	3,000,000	6 Ton.	2.1 Ton.	150 reses
400	4000	4,000,000	8 Ton.	2.8 Ton.	200 reses
500	5000	5,000,000	10 Ton.	3.6 Ton.	250 reses
600	6000	6,000,000	12 Ton.	4.2 Ton.	300 reses
700	7000	7,000,000	14 Ton.	5.0 Ton.	350 reses
800	8000	8,000,000	16 Ton.	5.7 Ton.	400 reses
900	9000	9,000,000	18 Ton.	6.4 Ton.	450 reses
1000	10,000	10,000,000	20 Ton.	7.2 Ton.	500 reses
1500	15,000	15,000,000	30 Ton.	10.7 Ton.	750 reses
2000	20,000	20,000,000	40 Ton.	14.2 Ton.	1000 reses

Fuente: Jorge A. DelaVega L. 2006

Superficie y Precipitación Pluvial		
Región Administrativa	Superficie Miles de Km2	Precipitación Milímetros
I Baja California	148.9	199
II Noroeste	216.1	476
III Pacífico Norte	150.1	684
VI Río Bravo	377.0	449
IV Balsas	118.6	806
V Pacífico Sur	79.6	1125
X Golfo Centro	105.3	1549
XI Frontera Sur	101.7	2258
XII Yucatán	139.5	1290

Fuente: CNA Compendio Básico desagua en México 2002.

### Calidad del Agua

En México se emplea el Índice de Calidad del Agua (ICA), que agrupa de manera ponderada algunos parámetros del deterioro de la calidad del líquido (León, 1991). El índice toma valores en escala de 0% a 100%, y mientras mayor el valor porcentual mejor es la calidad. El ICA se calcula a partir de una ponderación de 18 parámetros físico-químicos, entre los que se encuentran la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto, coliformes, fosfatos, pH, sólidos suspendidos, etc.

En el año 2000, la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA) contaba en su red primaria con 403 estaciones permanentes, de las cuales 215 se ubicaban en cuerpos de agua superficiales, 45 en zonas costeras y 143 en acuíferos. En la red secundaria se tenían 244 estaciones semifijas o móviles, de las cuales 227 estaban localizadas en aguas superficiales y 17 en zonas costeras. La mayoría de los cuerpos de agua superficiales del país reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento, lo cual ocasiona contaminación en prácticamente todos los cuerpos de agua. La información del Índice de Calidad del Agua de 2001, estimada a partir de los datos de la Red Nacional de Monitoreo, muestra que sólo el 6% de los cuerpos de agua monitoreados están en la categoría de excelente.

## **Aguas Residuales**

Antes de continuar con información sobre tratamiento de aguas residuales, debemos primeramente considerar que la mejor forma para conservar la calidad y disponibilidad de agua, es evitando su contaminación.

### **Tratamientos**

**Primario.** Son medios mecánicos para remoción de partículas grandes y las no disueltas en el agua. Utiliza cribas, mallas de filtrado, trampas de grasa, tanques desarenadores, tanques de sedimentación, floculadores, aplicación de químicos, etc. Remueve cerca del 60% de los sólidos suspendidos y hasta 35% de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

**Secundario.** Utiliza medios mecánicos para remoción de partículas grandes, y procesos biológicos aerobios y anaerobios. Se utilizan lodos activados, filtros percoladores, reactores anaerobios, biodiscos, etc. Remueve sólidos suspendidos, nitratos, fosfatos, metales pesados, bacterias patógenas y hasta 85% de la DBO.

**Terciario.** Utiliza microfiltración, coagulación y precipitación, absorción por carbón activado, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, remoción de nutrientes, cloración y la ionización.

### **Tratamiento de Aguas Residuales**

**Lagunas de estabilización.** Consiste en retener el agua contaminada en estanques poco profundos durante períodos suficientemente largos para propiciar la degradación de la materia orgánica contaminante mediante actividad microbiológica. La eficiencia para remoción de DBO es entre el 80 y el 90%, y es afectada por la temperatura ambiente.

**Lodos activados.** Es una masa activa de microorganismos capaces de remover la materia orgánica en el agua. La función del lodo activado es absorber y flocular. El lodo contiene población activa de microorganismos, por lo cual es un proceso de contacto aeróbico que requiere de abastecimiento constante de oxígeno. Su eficiencia para remoción de DBO está entre 85% y 90%.

**Tanque séptico.** Es un recipiente cerrado impermeable que ofrece tratamiento primario a las aguas residuales, mediante oxidación anaerobia que remueve sólidos suspendidos y los fragmenta anaeróbicamente. Remueve alrededor de 45% de la DBO.

**RAFA.** Es un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) con un sistema de separación gas-líquido-sólido que evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente, y favorece la evacuación del gas y la decantación de los flóculos. Produce remoción media de sólidos suspendidos totales y entre 35% y 55% de la DBO.

**Filtros biológicos.** Mantienen colonias de bacterias y son atravesados el agua a limpiar, con esto se logra que el agua y las bacterias participen en el reciclaje. Su efectividad en la remoción de DBO está cerca del 80%.

**Tanque Imhoff.** Es un tanque séptico de forma cilíndrica para el tratamiento anaeróbico de aguas residuales. Tiene un dispositivo decantador que evita que los gases y sólidos en suspensión se mezclen, mejorando así la sedimentación y la digestión. Remueve aproximadamente 60% de la DBO.

**Zanjas de oxidación.** Poco profundas reciben aguas residuales crudas y las tratan mediante estabilización natural. La actividad anaerobia produce la estabilización parcial de los lodos y libera la materia orgánica en forma soluble para su mayor degradación en la zona aerobia. Remueve alrededor del 85% de la DBO.

**Tratamiento anaerobio.** Se realiza por hidrólisis de los compuestos orgánicos complejos, los cuales producen unidades menores transformadas en metano y bióxido de carbono por microorganismos metanogénicos.

**Primario avanzado.** Incluye la filtración por arena o grava y la desinfección con cloro, luz ultravioleta u ozono. Permite una depuración significativa de organismos patógenos, sólidos suspendidos, DBO, fósforo, H<sub>2</sub>S y metales pesados.

**Lagunas de aireación.** Son embalses de escasa profundidad, donde la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación que mantiene los sólidos en suspensión y proporcionan oxígeno disuelto a toda el agua. La depuración la realizan bacterias anaerobias. Retienen la mayoría de los sólidos en suspensión que se depositan en el fondo. Remueven hasta un 80% de la DBO.

**Biodiscos.** Son tratamientos biológicos aerobios, en los cuales la población bacteriana se autorregula en función de la afluencia. Se garantiza una calidad constante del efluente. Remueven hasta un 80% de la DBO.

**Biológico.** Son tanques con difusores que generan burbujas de aire que aportan el oxígeno necesario para la degradación aerobia de la materia orgánica disuelta en el agua residual.

**Dual.** Consiste en la degradación de la materia orgánica del agua residual por métodos biológicos. En este proceso las aguas son fuertemente aireadas para estimular el crecimiento de bacterias aerobias y otros microorganismos que oxidan la materia orgánica a bióxido de carbono y agua.

**Digestor anaeróbico.** Consiste en el calentamiento de aguas residuales para mayor producción de gas, seguido de sedimentación estática y separación de sólidos. Este es un tratamiento aeróbico y de lodos.

## **Agua y Ganado**

El agua es nutriente simple muy importante para el ganado. Los animales, así como los humanos, pueden vivir por largos períodos sin comida, pero sin agua, la muerte puede ocurrir en cuestión de días. Cuestiones sobre la calidad y cantidad del agua para el ganado son a menudo descuidadas, aún cuando el agua está involucrada directa e indirectamente en virtualmente cada proceso fisiológico de los animales. El agua es un medio por el cual se transportan nutrientes, material de desecho, hormonas, mensajeros químicos, así como el alimento a través del tracto gastrointestinal.

Así mismo, el agua juega un papel muy importante en la regulación de la temperatura corporal, actúa como lubricante en las coyunturas del esqueleto y es un componente de muchas reacciones químicas básicas. La calidad del agua se determina por análisis de muestras. Un análisis bacteriano indica cuando el agua contiene microorganismos, tales como bacterias que pueden ser peligrosas para la salud. El análisis químico determina los niveles de varios minerales presentes en el agua.

### **Interpretación del Análisis Químico**

La concentración de iones de Hidrógeno en el agua determina el PH (acidez). Un valor PH de 7 indica agua neutra. Valores menores a 7 indican mayor acidez, y valores mayores a 7 indican mayor alcalinidad. La mayor parte de las aguas caen dentro de un rango aceptable de PH 6.5 a 8.5. Cuando el PH es menor a 5.5, puede darse acidosis y una ingesta reducida de alimento en el ganado. Es poco probable que el agua con bajo PH tenga efecto directo en los cerdos, debido a las condiciones de por sí ácidas del su estómago. El PH en el agua es factor importante para determinar la efectividad de los tratamientos en el líquido. La eficacia de la cloración se reduce cuando el agua tiene un alto PH. Por otra parte, un bajo PH puede causar precipitación de algunos agentes antibacterianos distribuidos en el sistema de agua. Por ejemplo, las sulfonamidas son una preocupación particular, ya que al precipitar la medicación puede regresar al agua luego que el tratamiento terminó, contribuyendo así a la existencia de residuos de sulfamidas en las canales.

### **Sólidos Disueltos Totales en el Agua**

*Menos de 1000 miligramos por litro de agua:*

Nivel relativamente bajo de salinidad sin seria opresión en cualquier tipo de ganado.

*1000 a 2999 miligramos por litro de agua:*

Satisfactoria para todas las especies de ganado. El agua puede causar temporalmente diarrea leve en el ganado no acostumbrado, pero no debería afectar ni la salud ni el rendimiento. Los niveles de minerales deben ser vigilados.

*3000 a 4999 miligramos por litro de agua:*

Satisfactoria para el ganado, aunque puede causar diarrea y rechazo al principio en animales no acostumbrados.

*5000 a 6999 miligramos por litro agua:*

Razonablemente segura para el ganado de carne y leche, ovejas, cerdos y caballos. Evitar utilizar aguas con niveles más altos para animales preñados ó en lactancia.

*7000 a 10000 miligramos por litro de agua:*

Probablemente inadecuada para cerdos. Puede existir riesgo considerable en el uso de esta agua para vacas preñadas ó en lactancia, caballos, ovejas, animales jóvenes de estas especies, y para cualquier animal sujeto a alto estrés por calor ó pérdida de agua. El uso de este tipo de agua debe ser evitado, aunque los rumiantes mayores, los caballos y aún los porcinos pueden subsistir con ella por largos períodos, siempre y cuando existan condiciones bajas de estrés.



*Más de 10000 miligramos por litro de agua:*

Los riesgos con estas aguas altamente salinas son tan significativos que no pueden recomendarse para su uso bajo ninguna circunstancia. (Fuente: Nutrientes y Sustancias Tóxicas en el Agua para el Ganado y la Avicultura, 1974, Academia Nacional de Ciencias, Manitoba, Canadá).

### **Residuos Filtrables (miligramos por litro de agua –Mg/L-)**

Los residuos filtrables o sólidos disueltos totales (TDS en inglés) indican principalmente sobre la calidad del agua. Cuando el TDS es aceptable, resulta poco probable que los niveles de los minerales sean un problema. Agua con TDS menor a 1,000 Mg/l es aceptable para toda clase de ganado. Entre 1,000 y 7,000 Mg/L, los efectos del TDS son menos precisos y pueden variar desde ningún efecto notable hasta diarrea temporal y productividad atenuada. Cuando el TDS cae en el rango de 1,000 a 7,000 Mg/L, es necesaria una evaluación de los niveles de minerales que integran el TDS. Los minerales pueden elevar el TDS, pero por ejemplo, El Calcio y el Magnesio que contribuyen al TDS, tienen efectos fisiológicos muy diferentes comparados con los sulfatos. Cuando el TDS se encuentra entre 7,000 y 10,000 Mg/L, pueden desarrollarse serios problemas de salud en los animales, y ocurrir rechazo al agua por parte del ganado. Aguas con TDS sobre 10,000 Mg/L no deben ser utilizadas para consumo animal.

### **Alcalinidad Total (Mg/L de CaCO<sub>3</sub>)**

La alcalinidad mide la habilidad del agua para neutralizar un ácido. Niveles de alcalinidad por encima de los 500 Mg/L pueden tener efecto laxante en el ganado. Por otra parte, niveles de alcalinidad inferiores a 500 Mg/L pueden tener efectos laxantes cuando existen niveles altos de sulfatos. Al aumentar la alcalinidad, el nivel de sulfatos disminuye.

### **Cobre (Cu en Mg/L)**

Solamente 0. 1 Mg/L de Cobre pueden causar sabor a óxido en la leche de las vacas. Se estima que niveles de Cobre por encima de 0.6 Mg/L pueden causar daños hepáticos en las vacas lecheras. Para porcinos, la Task Force Canadiense en Calidad del Agua ha establecido un nivel máximo recomendado de 5 mg de Cobre/L de agua.

### **Dureza (Mg/L de CaCO<sub>3</sub>)**

A pesar de que la dureza no tiene efecto en la seguridad del agua, puede resultar en la acumulación de sarro (mayormente carbonatos de Magnesio, Manganeso, Hierro y Calcio) en el equipo de distribución de agua. Las obstrucciones de caños y bebederos pueden llevar a reducir el consumo de agua y problemas asociados. El agua con más de 121 Mg/L de CaCO<sub>3</sub> es considerada dura.

### **Hierro (Fe en Mg/L)**

Bajos niveles de Hierro pueden ser problemáticos en el agua. Niveles por sobre 0. 1 Mg/L han sido reportados como causa de carne roja en terneras. Niveles de Hierro por encima de los 0.3 Mg/L pueden manchar la ropa. También pueden propiciar el crecimiento de la bacteria del Hierro, lo que resulta en olores fétidos y taponamiento de los sistemas de agua. Niveles de Hierro sobre 0.3 Mg/L pueden causar reducción en la ingesta de agua, así como en la producción de las vacas lecheras. Solamente 0. 1 Mg/L de Hierro pueden causar sabor a óxido en la leche.

### **Magnesio (Mg en Mg/L)**

El Sulfato de Magnesio, también conocido como sales de Epsom, es indeseable en el agua por sus efectos laxantes. Límites entre 300 y 400 Mg/L ha sido sugerido para vacas lecheras. Los niveles de Magnesio en el agua son usualmente considerablemente más bajos que esto.

### **Nitratos (NO<sub>3</sub>-NO<sub>2</sub>-N [disueltos] en Mg/L)**

Los nitratos y nitritos en el agua significan problemas potenciales muy serios, ya que reaccionan con la hemoglobina en la sangre haciéndola incapaz de transportar oxígeno. Los infantes están en serio riesgo con este problema. Entre el ganado, los rumiantes son los más susceptibles porque la bacteria en el rumen convierte el nitrato en peligroso nitrito. Los cerdos son menos susceptibles porque esta conversión no ocurre con el mismo alcance.

La mayor parte de los nitratos en el agua provienen de material orgánico que escapa de los campos demasiado fertilizados. Se sabe que los nitratos se mueven a través de los suelos húmedos, a una velocidad de más de un metro por día. De éste modo pueden rápidamente contaminar el agua de pozos. Los nitratos se reportan como nitratos y mezcla de nitritos, debido a que el nitrito es inestable y se convierte en nitrato antes que el análisis sea hecho. El agua que contenga más de 100 Mg/L de nitratos o 23 mg NO<sub>3</sub>-NO<sub>2</sub>-N/L, es potencialmente peligrosa.

### **Sodio (Na en Mg/L)**

El sulfato de sodio, también conocido como sales de Glauber, es laxante bien conocido. Por sí mismos, el Magnesio y el Sodio normalmente presentan poco riesgo para el ganado, pero su asociación con el sulfato resulta preocupante. Agua con más de 800 Mg de Sodio por litro puede causar diarrea y caída en la producción de las vacas lecheras. Cuando existen niveles altos de Sodio (mayor componente de la sal) pueden requerirse ajustes en la ración. Sin embargo, debe asegurarse que cuando se quita ó reduce la sal de las raciones no exista deficiencia de Cloro. La sal debe ser reducida en las dietas porcinas si el Sodio en el agua excede los 400 Mg/L.

### **Sulfatos (SO<sub>4</sub> en Mg/L)**

Niveles de sulfatos por encima de 150 Mg/L pueden causar sabor desagradable que puede ó no afectar la ingesta de agua. Sin embargo, el agua con niveles de sulfato por encima de 500 Mg/L puede tener efecto laxante. El efecto de los sulfatos depende enormemente de la masa corporal del animal, es decir, entre más pequeño el animal, mayor el efecto. Los cerdos recién destetados pueden, por tanto, ser afectados debido a niveles relativamente bajos de sulfatos.

Los efectos laxantes del agua alta por sulfatos, serán más pronunciados al acercarse el nivel de alcalinidad al límite de 500 Mg/L. Dependiendo de los niveles de alcalinidad, niveles de sulfato de 1000 a 1500 Mg/L pueden causar diarrea crónica en cerdos recién destetados. Niveles de sulfato mayores a 2000 Mg/L pueden causar diarrea y reducción en la producción de leche en vacas. Así mismo, altos niveles de sulfatos pueden también contribuir a deficiencias de cobre en el ganado de carne y leche.

### **Microbiología**

El agua puede contener gran variedad de microorganismos, incluyendo bacterias, hongos, virus, protozoarios y huevos de parásitos.

El conteo de bacteria coliforme por encima de 1/100 ML. puede causar diarrea en terneros, y por encima de 20/100 ML. puede causar diarrea en vacas. La cloración del agua evita buena parte de la bacteria peligrosa y otros microorganismos. Sin embargo, los protozoarios y enterovirus son más resistentes a la cloración que las bacterias.

**Fuentes:** Karen Dupchak: Nutrióloga de Animales, Manitoba Agriculture and Food Universidad Crescent, Winnipeg, Manitoba, Canadá. National Academy of Sciences, Nutrients and Toxic Substances in Water for Livestock and Poultry (Washington, D.C.) Patience, J.F., J. McLeese and M.L. Tremblay, 1989. Water Quality - Implications for Pork Production (Proceedings of the Tenth Western Nutrition Conference, Saskatoon, Saskatchewan). Smart, M.E., D. McLean and D.A. Christensen, 1989. The Dietary Impact of Water Quality (Proceedings of the Tenth Western Nutrition Conference, Saskatoon, Saskatchewan.) **Reconocimiento:** A Richard Pasquill (Supervisor de Agri-Water, Comité de Servicios de Agua) en el desarrollo de este trabajo. Cenapred. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgo de desastres en México. Cenapred. México. 2001. CNA. Compendio Básico del Agua en México. CNA. México. 2002. CNA. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. CNA. México. 2001. Conabio. La diversidad biológica de México: estudio de país. Conabio. México. 1988. FNUAP. El estado de la población mundial 2000. Huellas e hitos: población y cambio del medio ambiente. 2001. León, L. F. Índice de Calidad del Agua, ICA. Inf. # SH-9101/01. [www.agua.org.mx](http://www.agua.org.mx) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 1991. OCDE. Análisis del desempeño ambiental: México. OCDE Francia. 1998. OECD. OECD in figures: statistics on the member countries. Supplement I. France. 2002. PNUMA. Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO-3. Grupo Mundi-Prensa. España. 2002. WRI. Pilot analysis of global ecosystems : freshwater systems. World Resources Institute. U.S.A. 2000. Semarnat y Comisión Nacional del Agua.

## 1.4 Ecología

### Conferencia de Bali

Representantes de 180 países participaron en la conferencia convocada por las Naciones Unidas del 3 al 14 de diciembre de 2007 en Bali, Indonesia. El objetivo era negociar un nuevo tratado internacional del cambio climático que reemplace al Protocolo de Kyoto, que expira en 2012.

El término de la conferencia llegaba a su fin y las naciones no habían llegado a un consenso para acentuar la lucha contra el cambio climático después de 2012. El Secretario General de la ONU, Ban Ki-moon hizo alusión a las consecuencias irreversibles de cualquier demora en la aprobación de las medidas que se esperaban de la asamblea.

Estados Unidos, que en ocasiones anteriores había expresado su total renuencia a adoptar el Protocolo de Kyoto decidió unirse a la lucha contra el cambio climático, siempre y cuando no se fijaran límites cuantitativos para la emisión de gases – entre el 25 y el 40 por ciento para los países industrializados antes de 2020.

Por su parte, algunas naciones, incluyendo a México, manifestaron su interés en la creación de un fondo multinacional que permita apoyar a los países en vías de desarrollo a afrontar el cambio climático. “Basta recordar las inundaciones que recientemente afectaron a Tabasco, dejando por su paso pérdidas millonarias que destruyeron casi en su totalidad la economía de ese estado”, recordó el Secretario Mexicano de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Latinoamérica en su conjunto es sólo responsable del 8% de las emisiones de gases de efecto invernadero y sin embargo, varios gobiernos han aplicado políticas dirigidas a reducir este tipo de gases. La Unión Europea declaró estar dispuesta a hacer un esfuerzo adicional y aumentar sus recortes de emisiones del 8% actual hasta el 20 o incluso 30% si los otros países desarrollados "se suben al tren".

Después de dos semanas de largos debates entre los representantes de los distintos países y de forma unánime, se logró un acuerdo que establece el curso de futuras negociaciones para un nuevo tratado en contra del calentamiento global. El mismo no compromete a los países a tomar acciones específicas contra el cambio climático, se trata más bien, de una agenda que se llevará a cabo dentro de los próximos 2 años y en donde los países buscarán adoptar acuerdos en cuatro áreas clave:

- a. Mitigar las emisiones de gases.
- b. Ayudar a los países en vías de desarrollo a adaptarse a las consecuencias del cambio climático.
- c. Transmitir, de forma acelerada, tecnología "eficiente".
- d. Asistir financieramente a los países en vías de desarrollo.

Adicionalmente, la deforestación, causante del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero, figuró por primera vez en la agenda con un mayor énfasis.

Para algunas personas, la conferencia no logró los objetivos deseados, pero hay que recordar que esta reunión permitió que los países adoptaran una visión compartida respecto a la imperante necesidad de que las naciones se unan para reducir las emisiones de gases, tomando en cuenta las condiciones sociales y económicas de cada nación.

Fuente: Centro Mario Molina <http://www.centromariomolina.org>

## **Tormentas Tropicales**

Las tormentas tropicales transportan y distribuyen el calor global que emana de los océanos. Estas tormentas tienen distintos nombres según la región del planeta donde se presentan. Por ejemplo, en el Océano Atlántico se les llama huracanes, en el Océano Índico ciclones y en el Pacífico Tifones. El mecanismo que propicia estas tormentas es el mismo en todos los océanos. Este tipo de tormentas se forman en regiones oceánicas donde la superficie del agua alcanza temperaturas cálidas de al menos veintisiete grados centígrados, sobretodo al final del verano.

La desviación de estas tormentas es consecuencia del movimiento rotacional del planeta que forma vórtice y fuerza mayor cerca del ecuador. Por esta razón las tormentas tropicales se originan generalmente en zonas a más de 5 grados del ecuador, y de allí se mueven hacia ambos polos del planeta en forma de remolinos. Cada tormenta tropical se forma inicialmente a partir de un pequeño e inofensivo vórtice que mantiene una zona de baja presión en el centro y, regularmente 10% de estos fenómenos se transforman en verdaderas tormentas que inciden fuertemente en las condiciones atmosféricas marítimas y terrestres del planeta.

El calor y la intensa radiación solar incrementan los índices de evaporación del agua, y esta humedad excesiva forma enormes torres de nubes cargadas de lluvia. Las masas de aire caliente se elevan provocando disminución en la presión del aire sobre la superficie de los océanos. Y para igualar esta diferencia de presiones, nuevo aire se absorbe de afuera hacia adentro de la zona de tormenta, el cual también se eleva subsecuentemente.

De tal manera, podría esperarse que el flujo de aire dentro de la zona central de baja presión mitigara los efectos de la tormenta, pero el calor en la superficie del mar en estas regiones restablece y suministra constantemente la energía requerida para la formación de nubes de tormenta.

La rotación del planeta hace girar el sistema de tormenta y provoca remolinos. En este sentido, entre más rápida sea la elevación del aire caliente, mayor será la velocidad del viento y más fuerte la rotación del remolino. Adicionalmente, la formación de nubes libera energía en forma de calor, lo cual hace sostenible el proceso de la tormenta.

La alta velocidad del viento como resultado de la tormenta provoca movimientos en los océanos. Y estos movimientos oceánicos traen agua fresca a la superficie, lo cual en algún momento detiene la tormenta, debido a la disminución en la energía calórica. Por esta razón, las tormentas marítimas tropicales dejan siempre un ambiente fresco detrás de ellas y, de este modo se evita que otra tormenta pase por el mismo camino, ya que las tormentas evitan el aire fresco.

### **Los Océanos y las Tormentas**

En los océanos se forman las tormentas. Actualmente, más de 60% de la superficie terrestre está cubierta por agua y 97% es agua de mar. Todos los océanos se comunican y forman un gran mar planetario. En el hemisferio norte del planeta se encuentran las enormes masas de territorio pertenecientes a Norte América, Europa y Asia donde la superficie terrestre equivale a 39% y los océanos ocupan el 61%, lo cual significa 155 millones de kilómetros cuadrados de mar. Por otra parte, en el hemisferio sur la situación es muy diferente, es decir, continentes como América del Sur, Africa, Australia y Antártica comprenden únicamente 19% de la superficie terrestre, y los océanos ocupan el 81%, lo cual significa 207 millones de kilómetros cuadrados de mar en el hemisferio sur.

Cuarenta por ciento de la superficie terrestre esta ubicada en zonas de climas tropicales, entre los trópicos de los hemisferios norte y sur. El calor y la intensa radiación solar tropical provocan altos niveles de evaporación, especialmente sobre el agua de los océanos, lo cual es fundamental para el balance entre calor y agua en el planeta. Los océanos difieren considerablemente en cuanto a su superficie y a la asimilación de ríos que desembocan en ellos.

El Océano Atlántico está rodeado principalmente por territorios planos divididos por enormes ríos como el Amazonas, Mississippi, Congo, Níger y Nilo que desembocan en este océano.

El Océano Indico se encuentra rodeado por pequeños territorios, algunos de los cuales están dentro del cinturón de la sequía, sin embargo ríos como el Zambezi y el Ganges desembocan en este océano.

El Océano Pacífico se encuentra rodeado de cadenas montañosas, y recibe menor cantidad de agua de ríos como el Colorado, Columbia, Amur y el Yangtze principalmente. En gran parte de las regiones marítimas, las principales corrientes son influenciadas por los vientos locales que transportan enormes volúmenes de agua de Norte a Sur y de Este a Oeste en el planeta. De este modo grandes cantidades de energía calórica se distribuyen en el agua. Es decir, los océanos no solamente almacenan calor, sino que lo transportan y distribuyen. El agua es un mejor medio para almacenar calor que el aire. Este calor al moverse conforma los climas templados del planeta.

Una de las características principales del océano Atlántico consiste en el flujo de energía calorífica hacia el norte en ambos hemisferios del planeta. Alrededor de mil millones de mega-watts de energía calorífica son transferidos mediante este océano hacia el occidente y norte de Europa. Sin este fenómeno, el invierno en Europa Central sería similar al que existe en regiones árticas. En la región norte del planeta, entre Groenlandia y Noruega, las aguas del Atlántico se enfrían considerablemente, y se hacen más densas y pesadas debido al enfriamiento. En el mar Groenlandia, esta agua pesada y densa se hunde a profundidades de hasta 2000 metros, en columnas de sólo 15 km. de ancho, a razón de hasta 17 millones de metros cúbicos de agua por segundo, llevando consigo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) disuelto.

En este sentido, el "Efecto Invernadero" en el planeta tiene consecuencias directas porque propicia el calentamiento global que derrite mayor cantidad de hielo polar y de esta manera se reduce la sal en el agua de mar haciéndola más ligera y evitando su hundimiento necesario para el ciclo vital y el balance de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera del planeta.

### **Fenómeno "El Niño"**

"El Niño" nos muestra claramente las consecuencias de la interrelación entre océanos y atmósfera en la formación de eventos climáticos. A intervalos irregulares, pero siempre alrededor de la época navideña, una cálida corriente oceánica causada por intercambio entre zonas de presiones altas y bajas en el pacífico occidental empuja a la corriente Humbolt, rica en nutrientes, lejos de la costa oeste de América del Sur. Es decir, corrientes de agua cálida, con temperatura alrededor de 28°C y pobre en nutrientes (plancton), quedan sobre las corrientes frescas que tienen temperatura de 20°C aproximadamente.

De tal manera, la ausencia de nutrientes reduce la producción de plancton y, como resultado los peces se alejan hacia mejores regiones donde existe plancton, afectando la economía de flotas pesqueras, y propiciando la muerte de aves, focas y otros animales marítimos que viven de los peces. Pero esto no es todo, el clima en las regiones afectadas por "El Niño" se altera drásticamente. Y los niveles de precipitación pluvial pueden disminuir por la desviación en las precipitaciones, y aumentar notablemente debido a la inestabilidad atmosférica causada por "El Niño".

Por ejemplo, en las islas Galápagos donde normalmente se reciben 460 mm. de precipitación pluvial anual, el fenómeno de "El Niño" (1982-1983) causó severas inundaciones con una precipitación pluvial de 3225 mm. Y sus efectos no sólo se sintieron en Perú y Ecuador, sino también en América Central y Australia. El fenómeno de "El Niño" puede describirse como un ciclo natural climático recurrente que se presenta generalmente cada tres a ocho años, siempre alrededor de la época navideña desde hace más de 400 años según los científicos.

### **Efecto Invernadero**

El intercambio de gases entre océanos y atmósfera, se presenta como importante factor global climático. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), llamado también "gas de invernadero", es particularmente importante en este aspecto. Aún cuando este gas forma parte de sólo 0.035% de la atmósfera, su presencia en la atmósfera aumenta cada día, lo cual afecta negativamente el desarrollo del clima y las condiciones de vida en el planeta.

La característica especial de este gas es que se encuentra en el agua de mar en tres formas distintas:

1. Como gas de dióxido de carbono disuelto ( $\text{CO}_2$ ).
2. Como carbonato de hidrógeno ( $\text{HCO}_3$ ).
3. Como carbonato ( $\text{CO}_3$ ).

Cuando la concentración de  $\text{CO}_2$  es la misma en el agua de los océanos y en el aire, entonces el proceso de intercambio estaría en balance.

Sin embargo, una parte del  $\text{CO}_2$  en el agua se convierte en  $\text{HCO}_3$  y en  $\text{CO}_3$ . De este modo el agua de mar tiene mucho mayor capacidad que la atmósfera para almacenar  $\text{CO}_2$ . Entre más fría sea el agua de mar, mayor será la cantidad de  $\text{CO}_2$  disuelto en ella. Los océanos en regiones tropicales y subtropicales descargan  $\text{CO}_2$  a la atmósfera, mientras que grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  ("gas invernadero") se encuentran en solución en los océanos polares. Las zonas marítimas donde se forman aguas profundas, así como en los océanos árticos, el  $\text{CO}_2$  se separa del medio ambiente al hundirse en las corrientes marítimas, y años después vuelve con las corrientes a la superficie para incrementar la cantidad de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera.

Por otra parte, las algas marinas durante el proceso de fotosíntesis consumen  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua de mar. Sin embargo, en los océanos donde existe gran cantidad de algas marinas, el consumo de estas algas por la fauna marina es más lento que el crecimiento de las algas.

De tal manera, las algas se ven obligadas a consumir todos los nutrientes en el agua, tales como nitratos y fosfatos, y ya sin nutrientes suficientes no pueden continuar proliferando, entonces mueren y se hunden en el fondo de los océanos conjuntamente con el  $\text{CO}_2$  que se encuentra en sus células, el cual finalmente será captado por el aire, incrementado así la cantidad de  $\text{CO}_2$  circulando en la atmósfera.

Además, las capas calcáreas y corales en los océanos producen  $\text{CO}_2$  por reacción química donde dos moléculas de  $\text{HCO}_3$  se transforman en  $\text{CO}_3$ , agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y  $\text{CO}_2$ . De este modo las capas calcáreas y los arrecifes coralinos incrementan la cantidad de  $\text{CO}_2$  en los océanos que finalmente es expulsada a la atmósfera. Investigaciones recientes demuestran que los arrecifes coralinos producen cuatro veces más  $\text{CO}_2$  que las algas. Los arrecifes coralinos se encuentran en aguas tropicales calidas de escasa profundidad, y el  $\text{CO}_2$  no se disuelve fácilmente en aguas cálidas, lo cual hace que el  $\text{CO}_2$  sea expulsado hacia la atmósfera más rápidamente.

El calentamiento global, debido al "Efecto Invernadero", se encuentra íntimamente relacionado a la incapacidad de los océanos para almacenar los excedentes de  $\text{CO}_2$  producidos en nuestra sociedad "tecnológicamente avanzada".

### **El Calentamiento Global y sus Consecuencias**

La interrelación de los procesos para el balance del  $\text{CO}_2$  entre los océanos y el clima mundial resulta compleja. Calentamiento global causado por el "Efecto Invernadero", significa que la capacidad de los océanos para mantener el  $\text{CO}_2$  en solución es reducida. Y esto es aún más grave cuando el agua del mar se calienta y su contenido de sal disminuye debido a que los glaciares se derriten. El agua llega a ser demasiado cálida y muy ligera, lo cual evita su hundimiento conjuntamente con el  $\text{CO}_2$  hacia las profundidades de los océanos.

El calentamiento global incrementa también la estabilidad del agua superficial, lo cual evita el transporte de nutrientes marinos hacia aguas más profundas, disminuyendo así la producción de algas que captan  $\text{CO}_2$  y la cantidad de peces que se alimentan de las algas.

Así mismo, el aumento de la temperatura en las aguas de los océanos propicia el desarrollo de huracanes. Lo anterior nos muestra claramente lo importante y delicado que es el balance del CO<sub>2</sub> en las condiciones climáticas para la vida en el planeta. Sin embargo, mediante vehículos automotores y procesos industriales que generan enormes cantidades de CO<sub>2</sub>, continuamos contribuyendo al balance inadecuado del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, lo cual tarde o temprano afectará negativamente nuestras vidas. Se hace cada vez más necesario el uso de energía limpia en nuestra sociedad.

### **Captura y Bonos de Carbono**

Las regiones tropicales ofrecen posibilidad para establecer y manejar pastizales y plantaciones forestales a fin de vender los derechos por el carbono fijado en la biomasa producida. Es decir, bonos de carbono. La captura de carbono atmosférico y su valor económico depende principalmente de la productividad en plantaciones forestales y pastizales, y del precio del carbono. Es posible establecer plantaciones en terrenos con alto potencial productivo, lo cual significa más de 25 m<sup>3</sup>/ha/año de madera. Y para minimizar la cantidad del carbono liberado se deben reforestar terrenos agropecuarios. Se estima que en el sureste de México la reforestación de pastizales con eucaliptos de alta productividad (40 m<sup>3</sup>/ha/año) genera una captura neta de CO<sub>2</sub> entre 320 y 610 toneladas por hectárea en un periodo de siete años, lo cual en el mercado internacional del carbono tiene un valor de US \$ 0.90 a US \$2.10 por tonelada (Chicago Climate Exchange) y de €6.40 a €19.70 Euros por tonelada (European Climate Exchange Carbon) (junio 2005).

Para compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la deforestación en el sureste de México, se requiere establecer anualmente entre 27000 y 50000 hectáreas de plantaciones de rápido crecimiento. Las empresas reforestadoras deben considerar la venta de bonos de carbono como producto complementario en sus proyectos. Difícilmente un proyecto productivo puede basarse solamente en la captura de carbono. Cuando se obtiene un buen precio por el carbono fijado en la biomasa de la plantación, su impacto financiero es considerable pero no debe ser decisivo para el proyecto. Es factible pensar que a través de la venta de bonos de carbono pueda financiarse buena parte de los costos de reforestación (Petteri Seppänen).

### **El Mercado de Bonos de Carbono**

El nombre "bonos de carbono" se ha dado al conjunto de instrumentos que pueden generarse por diversas actividades en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Existen varios tipos de bonos de carbono, dependiendo de la forma en que éstos fueron generados:

- Certificados de Reducción de Emisiones (CER)
- Montos Asignados Anualmente (AAU)
- Unidades de Reducción de Emisiones (ERU)
- Unidades de Remoción de Emisiones (RMU)

**Certificados de Reducción de Emisiones (CER).**- Los países (Anexo Uno) que inviertan en proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio, pueden obtener Certificados de Reducción de Emisiones por un monto equivalente a la cantidad de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se dejó de emitir a la atmósfera como resultado del proyecto.



Para ello, el proyecto debe cumplir con los requisitos establecidos por el *Consejo Ejecutivo del Mecanismo de Desarrollo Limpio*.

**Montos Asignados Anualmente (AAU).**- Corresponde al monto total de las emisiones de "gases de efecto invernadero" que a un país se le permite emitir a la atmósfera durante el primer período de compromiso (2008-2012) del Protocolo de Kyoto. Cada país divide y asigna el monto de emisiones a empresas localizadas en su territorio a manera de límite por empresa.

**Unidades de Reducción de Emisiones (ERU).**- Corresponde a un monto específico de emisiones de "gases de efecto invernadero" que dejaron de ser emitidas por la ejecución de un proyecto de implementación conjunta.

**Unidades de Remoción de Emisiones (RMU).**- Corresponde a créditos obtenidos por un país durante proyectos de captura de carbono. Estas unidades o créditos pueden ser obtenidas sólo por países en el Anexo Uno del Protocolo de Kyoto, y pueden obtenerse también en proyectos de implementación conjunta. *Unidades de Remoción de Emisiones* pueden ser utilizadas únicamente por los países dentro del período de compromiso durante el cual fueron generadas, y son para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones. Estos créditos no pueden ser considerados en períodos de compromiso posteriores.

### **Transacciones de Bonos de Carbono**

Las transacciones de bonos de carbono pueden consistir desde una simple compra-venta de una cantidad específica de bonos, hasta una estructura de compra-venta con diversas opciones. Algunas de las opciones son las siguientes:

**Compras Spot:** el precio del bono y la cantidad de bonos se acuerdan en la fecha del convenio de compra-venta pero la entrega y el pago del bono se realizan en fecha futura cercana. Se puede considerar que la compra-venta es en el momento, aún cuando pasen unos días entre el pago y la entrega. Esto se hace para asegurar un precio conveniente para ambas partes y para reducir el riesgo de que el bono no se venda en el futuro.

**Contratos de entrega futura:** se acuerda la compra-venta de una cantidad específica de bonos al precio de mercado actual, pero el pago y la entrega se realizarán en fechas futuras, generalmente de acuerdo a un calendario de entregas.

**Opciones:** las partes compran o venden la opción, es decir, el derecho a decidir si la venta se realizará o no, en la fecha y al precio pactados. De esta manera, el comprador tiene derecho a comprar los bonos ofrecidos por el vendedor, pero no la obligación de comprarlos una vez llegada la fecha límite. Las condiciones de precio, cantidad y fecha de entrega de los bonos se acuerdan el día de la elaboración del contrato, y también se acuerda la fecha límite para que el comprador mantenga su derecho de compra. En este caso el vendedor está a la expectativa y depende de la decisión del comprador, pero si la compra-venta se realiza, entonces el comprador tendrá que pagar al vendedor una cantidad adicional denominada Premium.

### **Valor de los Bonos de Carbono**

Todas las operaciones de compra-venta en el comercio de bonos de carbono están regidas por un contrato entre comprador y el vendedor. Es decir, no hay "valor oficial" sobre el precio de una tonelada de CO<sub>2</sub> reducida o no emitida.

Y aún cuando algunas agencias multilaterales han establecido precios para la reducción de emisiones en proyectos financiados por ellas mismas, como por ejemplo hasta 2005 el Banco Mundial empleaba un precio de US \$5 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente no emitida, el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> está sujeto a la oferta y la demanda de bonos de carbono en el mercado. Existen diferentes esquemas para el comercio de bonos de carbono, y diferentes sitios en el mundo donde se pueden comprar y vender. De tal manera, los precios son diferentes por cada tonelada de CO<sub>2</sub>.

*Por ejemplo:*

▪ **Chicago Climate Exchange:** en operación desde diciembre del 2003; el precio ha fluctuado desde \$0.90 hasta los \$2.10 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> (datos a junio de 2005).

▪ **European Climate Exchange Carbon:** en operación desde abril del 2005; el precio ha fluctuado entre \$6.40 y \$19.70 euros por tonelada de CO<sub>2</sub> (datos a junio de 2005).

### **La Absorción de Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Los ecosistemas forestales pueden absorber cantidades significativas de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal gas de efecto invernadero (GEI).

Recientemente ha surgido un interés considerable por incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre mediante la conservación forestal, la reforestación, la agroforestería, los pastizales y otros métodos de manejo del suelo. Gran número de estudios han demostrado el enorme potencial que poseen los bosques y ecosistemas agropecuarios para almacenar carbono.

El ciclo de carbono en la vegetación comienza con la fijación del CO<sub>2</sub> mediante los procesos de fotosíntesis realizada por las plantas y microorganismos. En estos procesos, catalizados por la energía solar, el CO<sub>2</sub> y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Una parte de estos carbohidratos son consumidos directamente para suministrar energía a la planta. Por otra parte, CO<sub>2</sub> es liberado a través de las hojas, ramas y raíces de las plantas como producto de este proceso. Otra parte de los carbohidratos son consumidos por los animales, que también respiran y liberan CO<sub>2</sub>. Las plantas y los animales que mueren, son finalmente descompuestos por macro y micro-organismos, lo cual da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en CO<sub>2</sub> y regrese a la atmósfera (Schimel 1995 y Smith et al.1993).

La fijación de carbono por bacterias y animales contribuye también a disminuir la cantidad de bióxido de carbono, aunque cuantitativamente es menos importante que la fijación de carbono en las plantas. Cuando mueren los organismos son comprimidos por sedimentación y sufren una serie de cambios químicos que forman turba, luego carbón pardo o lignito, y finalmente carbón.

Se considera que el CO<sub>2</sub> se encuentra capturado cuando forma parte de alguna estructura de la planta o el suelo, y hasta que es liberado a la atmósfera. En el momento de su liberación, ya sea por descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa, el CO<sub>2</sub> fluye para regresar al ciclo de carbono. México presenta condiciones naturales muy favorables para mitigar las acciones negativas en el área de recursos naturales, debido a que buena parte de la superficie terrestre esta todavía cubierta de selvas y bosques que es necesario conservar, reforestar y ampliar.

## **Cafetales Entre los Ecosistemas que Capturan y Transforman Carbono**

Según estudio presentado por investigadores de la Universidad Veracruzana. Incluir los cafetales en la lista de ecosistemas que capturan y transforman naturalmente el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que es el principal contaminante de la atmósfera y causante del cambio climático, permitiría a muchos cafetaleros recibir de los países industrializados bonos económicos ("bonos de carbono") por conservar sus fincas.

Esta propuesta al aceptarse daría valor ecológico agregado a este cultivo y generaría una fuente alternativa de recursos económicos para los campesinos veracruzanos que no han podido recuperarse de la caída de los precios del aromático que frenó su desarrollo desde hace 20 años, y que ha impulsado un fenómeno masivo de migración hacia Estados Unidos.

El grupo de investigadores del Laboratorio de Biotecnología Aplicada (Labioteca) argumenta en el estudio que si 88% de los cafetales coexiste con árboles y especies del bosque mesófilo de montaña, que es el agro-ecosistema que más CO<sub>2</sub> capta en la atmósfera, los cafetales deberían incluirse como sitios a conservar y, por tanto, serían sujetos de pago por servicios ambientales. Esta alternativa resulta especialmente valiosa para el Estado de Veracruz si se considera que en él existen 152 mil hectáreas fragmentadas de superficie cafetalera, manejadas por más de 67 mil productores, y que el 94% de ellos cultiva menos de cinco hectáreas, según estudio de Gustavo Ortiz Ceballos.

Lázaro Sánchez, director del *Labioteca*, explicó que el pago por servicios ambientales se está constituyendo como un mecanismo mundial para tratar de remediar el daño ambiental por emisión de CO<sub>2</sub>, al permitir que países industrializados financien la conservación de bosques y de ecosistemas que purifican el medio ambiente, y que capturan este gas invernadero que, entre otras cosas, está provocando el calentamiento global y las alteraciones climáticas severas ya evidentes. Explicó que la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se debe a que los bosques de viejo crecimiento, así como la vegetación en general y los océanos que funcionan conjuntamente como sumideros o reservas de bióxido de carbono, no alcanzan a capturar las crecientes cantidades de CO<sub>2</sub> contaminante que se emiten diariamente por los procesos de combustión necesarios en un mundo cada vez más industrializado.

De ahí que los países hayan identificado como línea de acción la mitigación del incremento de este gas CO<sub>2</sub>, lo cual sólo es posible en dos sentidos: frenando las actividades industriales (lo que afecta intereses económicos) o aumentando el número de sumideros o ecosistemas que, al transformar el bióxido de carbono en madera a través de la fotosíntesis, o en otros compuestos, apoyan esta labor. El hecho es que los bosques y otros ecosistemas actúan como "secuestradores" o "captadores" de dióxido de carbono, por lo que el pago de servicios ambientales promueve que países con más emisiones de este contaminante (industrializados o desarrollados), paguen por la conservación y reforestación en los países en vías de desarrollo para equilibrar la emisión y la captura de CO<sub>2</sub>.

Para ello, dijo, se han creado certificados denominados "bonos de carbono", que permiten a los países industrializados cumplir con su obligación de mitigar la cantidad de gases de efecto invernadero conforme a parámetros internacionales, y a los países en vías de desarrollo utilizar este recurso económico les permite promover la reforestación, la investigación y la conservación. De los proyectos desarrollados hasta 2003 en América Latina conforme a los acuerdos internacionales para mitigación de contaminantes, los principales compradores de bonos de carbono fueron: el Fondo Prototipo de Carbono del Banco Mundial; Fondos Holandeses y fondos mixtos de empresas como MGM Internacional y Eco-energy internacional, según confirma un estudio de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de 2004.

En la región central de Veracruz, productora de café, a partir de la perspectiva intermunicipal, se requiere promover un programa que proponga considerar los cafetales con sombra para la captura de carbono donde se incluya no sólo justificación ambiental, sino también su dimensión jurídica, señalan Rosario Pineda López, Gustavo Ortiz y Lázaro Sánchez, autores del estudio. Además, proponen diseñar un instrumento que permita monitorear y evaluar geográficamente los ecosistemas y su contribución a la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en el ámbito local y regional, para priorizar acciones de pago, manejo y conservación de los ecosistemas, dentro de una perspectiva de desarrollo regional.

Entre otras cosas, los autores destacaron la necesidad de sensibilizar a las autoridades municipales sobre la necesidad de fomentar el mantenimiento de los cafetales con sombra diversificada como proveedores de servicios ambientales locales, y proponer su consideración como parte del Plan de Desarrollo Municipal, así como del reglamento ambiental municipal, en el entendido de que gran parte de la economía de la región está basada en la cafeticultura.

### **Protocolo de Kyoto**

La protección del ambiente es una labor de todos: gobiernos, empresas y particulares. Con esa finalidad, las iniciativas para proteger al planeta del "efecto invernadero" forman parte de las nuevas reglas internacionales, desde la Convención sobre el Cambio Climático hasta el Protocolo de Kyoto y las normas de la Unión Europea para ayudar a un mundo más saludable. La nota característica de los mecanismos de Kyoto es su condición de "mecanismos de mercado", lo cual abre oportunidad para defender el planeta y a la vez hacer negocios mediante los bonos de carbono.

Las acciones no están apoyadas en sanciones y controles, sino en el intercambio mutuo conveniente para el beneficio general. Sin embargo, la construcción de este nuevo mercado mundial en el que la unidad de intercambio es el Carbono, ha llevado diseñar normas y reglamentaciones complejas y sofisticadas.

A fin de cumplir con sus compromisos, los países desarrollados deben reducir las emisiones que tenían en 1990 en un porcentaje determinado para cada uno de ellos. En la Unión Europea es frecuentemente mencionada por ser la "punta de lanza" en el mercado del Carbono.

Las reducciones obligatorias son del 5 %, pero hay países que no sólo no han reducido sino que han sobrepasado en alrededor de 40 % los límites para las emisiones autorizadas y, en consecuencia deben impulsar fuertes medidas para la reducción de las emisiones de "gases de efecto invernadero" y para adquirir derechos por emisiones. En caso contrario sus empresas deberán afrontar multas por cada tonelada de CO<sub>2</sub> que sobrepase los límites.

### **Los Gases de Efecto Invernadero son Seis**

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

Cada uno de estos gases tiene una equivalencia determinada con el CO<sub>2</sub> que actúa como "unidad de cuenta". Entre los más usuales, además del CO<sub>2</sub>, están el Metano, producido por descomposición orgánica de residuos sólidos y aguas con valor 21 en las emisiones; y el Óxido nitroso, producido por la combustión interna en motores, principalmente de transporte con valor de 290 en las emisiones.

Las reglamentaciones públicas y privadas, oportunidades de financiamiento para proyectos limpios, así como las normas internas de los países y las de Naciones Unidas se actualizan frecuentemente. Esto hace aún más necesaria la información al respecto, ya sea nacional e internacional, a fin de cumplir con los requisitos para proyectos que deben tener un enfoque altamente especializado y actualizado para estar en posibilidad de obtener respuesta satisfactoria de quienes participan en este tipo de mercado.

En este sentido es posible solicitar información en las entidades gubernamentales encargadas del medio ambiente y la ecología, a fin de facilitar la tarea de consultoría y gestión de proyectos ambientales y forestales, detectando oportunidades de inversión, y diseñando mecanismos que hagan accesible el Mercado del Carbono a los participantes en los países, ya sean productores agropecuarios, empresas privadas y municipios que deseen agregar rentabilidad a sus proyectos beneficiándose del intercambio mundial propiciado por el Protocolo de Kyoto.

<b>Emisiones Mundiales de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>		
<b>País</b>	<b>Emisiones</b>	<b>%</b>
Alemania	1,012,443	7.4
Australia	288,965	2.1
Austria	59,200	0.4
Bélgica	113,405	0.8
Bulgaria	82,990	0.6
Canadá	457,441	3.3
Dinamarca	52,100	0.4
Eslovaquia	58,278	0.4
España	260,654	1.9
<b>Estados Unidos de América</b>	<b>4,957,022</b>	<b>36.1</b>
Estonia	37,797	0.3
Federación de Rusia	2,388,720	17.4
Finlandia	53,900	0.4
Francia	366,536	2.7
Grecia	82,100	0.6
Hungría	71,673	0.5
Irlanda	30,719	0.2
Islandia	2,172	0.0

Italia	428,941	3.1
Japón	1,173,360	8.5
Letonia	22,976	0.2
Liechtenstein	208	0.0
Luxemburgo	11,343	0.1
Mónaco	71	0.0
Noruega	35,533	0.3
Nueva Zelanda	25,530	0.2
Países Bajos	167,600	1.2
Polonia	414,930	3.0
Portugal	42,148	0.3
Gran Bretaña e Irlanda del Norte	584,078	4.3
República Checa	169,514	1.2
Rumania	171,103	1.2
Suecia	61,256	0.4
Suiza	43,600	0.3
<b>Total</b>	<b>13,728,306</b>	<b>100.0</b>

Datos basados en la información recibida de las 34 Partes del anexo I que presentaron sus primeras comunicaciones nacionales el 11 de diciembre de 1997 o antes de esa fecha, recopilada por la secretaría en varios documentos (A/AC.237/81; FCCC/CP/1996/12/Add.2 y FCCC/SB/1997/6).

## Bibliografía

Bennett, IL; Finch, AV; Holmes, CR. 1985. Time spent in shade and its relationship with physiological factors of thermoregulation in three breeds of cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 13: 227-236.

Bernabucci, U; Bani, P; Ronchi, B; Lacetera, N; Nardone, A. 1999. Influence of short and long term exposure to a hot environment on rumen passage rate and diet digestibility by Friesian heifers. *Journal of Dairy Science* 82: 967-973.

Casasola, F. 2000. Productividad de los sistemas Silvopastoriles Tradicionales en Moropotente, Estelí, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 94 p.

Drugociu, G; Runceanu, L; Nicorici, R; Hritcu, V; Pascal, S. 1977. Nervous typology of cows as a determining factor of reproductive and productive behaviour. *Animal Breeding* 45: 1262.

Guerrero, A; Soriano, C. 1992. Monografía de Matagalpa (en línea). Consultado jun. 2002. 27 p. Disponible en [www.inifom.gov.ni/carácter/Información/Matagalpa/Matiguas](http://www.inifom.gov.ni/carácter/Información/Matagalpa/Matiguas).

Hahn, G. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Dairy Science* 82: 10-20.

Pagot, J. 1993. Animal production in the tropics and subtropics. London, UK, Macmillan. 517 p.

Paul, RM; Turner, LW; Larson, BT. 1999. Effects of shade on production and body temperatures of grazing beef cows (en línea). In 2000 KY Beef Cattle Report. Disponible en <http://www-.bae.uky.edu/ext/Publications/AEUs/aeu-91.pdf>

Robinson, P. 1983. The role of silvopastoralism in small farming systems. In ICRAF/BAT workshop (Nairobi, KE). Proceedings. Nairobi, KE, ICRAF. p. 147-169.

Restrepo, C. 2001. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico se-co, Cañas, Costa Rica. Tesis. Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.

Souza de Abreu, M; Ibrahim, M; Harvey, C; Jimenez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería de las Américas* 7(26): 53-56.

Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, CA; Sinclair, FL; Gomez, R; López, M; Esquivel, H. 2004. The importance of silvopastoral systems in rural livelihoods to provide ecosystems services. In Mannetje, L T; Ramirez, L; Ibrahim, M; Sandoval, C; Ojeda, N; Ku, J. eds. *International Symposium on silvopastoral systems*. Mérida, MX, Universidad Autónoma de Yucatán. p. 183-188.

## Referencias

The Lighthouse Foundation, Alemania.  
Dixon et al. 1994, Dixon et al. 1996, Maser et al. 1995, y De Jong et al. 1995.  
Petteri Seppänen.  
Edgar Onofre, Universidad Veracruzana, México.  
Eco-Consulting, Argentina.  
Instituto Nacional de Ecología, México.  
Centro Mario Molina, México.

## 1.5 Maíz Transgénico en México

### Introducción

México es el centro de origen del maíz en el mundo. Las variedades mexicanas de maíz, tienen importancia global, económica, social, cultural y medioambiental. En este sentido, los efectos del maíz transgénico adquieren particular relieve en el caso de México, donde a partir de la domesticación del "Teocintle" surgieron las razas de maíz que a través de miles de años lograron colocarse, adaptarse y desarrollarse en las condiciones particulares de clima y suelo en México. Se ha debatido sobre los efectos del maíz transgénico, debido a que el maíz genéticamente modificado puede ser considerado una amenaza para las variedades cultivadas y silvestres de maíz en mexicano.

En el año 2001 se conoció sobre la propagación de maíz genéticamente modificado entre las variedades criollas de maíz mexicano que prosperan en los maizales de los valles altos y la sierra norte de Oaxaca. Las plantas de polinización abierta como el maíz, intercambian sus genes con gran facilidad, de ahí la preocupación y dudas en México acerca de los efectos por la propagación de maíz transgénico entre las variedades nativas del maíz mexicano, así como en las razas silvestres de maíz en México cuya rica diversidad genética es importante recurso mundial.

En 1994 se estableció entre México, Canadá y Estados Unidos la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), que tiene como objetivo contribuir a la protección, conservación y mejoramiento del medio ambiente en los países mencionados. En el año 2002, representantes de organizaciones internacionales, la sociedad civil mexicana, así como grupos de indígenas y campesinos de Oaxaca, solicitaron a la CCA presentar un estudio para determinar los efectos de la propagación de maíz transgénico en México. La CCA aceptó estudiar el asunto y elaborar un informe en base al artículo 13 del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN) para ser presentado a los Secretarios Estado y de medio ambiente en cada país.

En el quinto informe de la CCA donde participan expertos de diversas partes del mundo en torno a tan importante tema ambiental que afecta de manera global, debido a que las variedades nativas de maíz mexicano son importante recurso mundial, se afirma por un lado que la modificación genética representa esperanzas para mejorar la productividad agrícola, aumentar la resistencia a las enfermedades en las plantas y disminuir la dependencia de plaguicidas. Por otro lado se acepta que se desconocen los efectos en el largo plazo del maíz transgénico en el medio ambiente y la salud, así como en las variedades locales y especies silvestres de maíz en México. La complejidad de éste asunto y la falta de acuerdos entre científicos resultaron muy desconcertantes.

En México, la problemática se torna especialmente grave, debido a las controversias sobre este asunto, y la falta de planteamientos que representen conclusiones unánimes. La CCA menciona especialmente los esfuerzos del Grupo Asesor de la CCA sobre Maíz y Biodiversidad, presidido por el doctor José Sarukhán, ex-rector de la UNAM, cuyos integrantes han trabajado para llegar a acuerdos sobre las principales conclusiones y recomendaciones.

## **Contexto**

En abril del año 2002, la CCA recibió solicitud de 21 comunidades indígenas de Oaxaca, y de tres grupos ambientalistas mexicanos: 1. Green-Peace México. 2. Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA). 3. Unión de Grupos Ambientalistas (UGAM). La solicitud fue apoyada por más de 90 cartas de organizaciones e instituciones de los tres países miembros del TLCAN. En la solicitud se exhorta a realizar análisis y presentar un informe sobre los efectos de la introgresión transgénica en las variedades de maíz criollo en México. Se indica que la redacción del informe no fue tarea fácil, porque la ciencia aún no logra resolver numerosas cuestiones en torno del maíz transgénico, entre ellas el alcance regional de la introgresión de transgenes en las variedades criollas de México, y que persisten profundas diferencias respecto de los posibles riesgos que los organismos genéticamente modificados pueden representar para el medio ambiente, la salud humana y animal. Así mismo persisten las discrepancias acerca las posibles ventajas asociadas a los organismos transgénicos.

## **Visión y Alcance**

El informe se centra en los posibles efectos que el cultivo de variedades comerciales de maíz transgénico podrían tener en las razas tradicionales de maíz, y en los "Teocintles", así como en el impacto de la posible introgresión de transgenes en esas entidades taxonómicas. Por otra parte, se consideran las probables variedades futuras de maíz transgénico, a fin de contribuir en la definición de políticas, y la investigación científica. Varios de los capítulos que conforman el informe, analizan cuestiones relacionadas con el flujo de genes, ya sea directo ó indirecto de variedades transgénicas hacia maíces criollos y sus parientes silvestres.

En otros capítulos se analiza sobre la conservación de la diversidad biológica del maíz en las inmediaciones de su centro de origen, así como el contexto y los antecedentes del maíz silvestre cultivado en México. Se trata de juzgar y comprender la biología del maíz, los valores comunitarios, las opciones para manejar riesgos potenciales, los efectos del maíz transgénico en la biodiversidad, la diversidad genética, la agricultura, la sociedad, la cultura y la salud humana. Así mismo se indica que las limitaciones en tiempo y dinero impidieron completar un análisis económico sobre el maíz transgénico en México. Los textos reflejan diferentes interpretaciones, y perspectivas contrastantes, debido al número y diversidad de expertos que contribuyeron en el informe.

## **El Proceso**

El Grupo Asesor sobre Maíz y Biodiversidad se comprometió a procurar altos niveles de precisión científica, objetividad, transparencia y participación de los interesados en la elaboración y revisión del informe, para orientar al Secretariado de la CCA en el proceso de análisis que proporcione a los tres países del TLCAN recomendaciones y perspectivas, las cuales por su rigor analítico y propuesta conceptual, sirvan de base para la acción de las dependencias nacionales responsables en la definición de políticas. Las versión preliminar del informe, se presentó en el Simposio de la CCA sobre Maíz y Biodiversidad, el 11 de marzo de



2004 en Oaxaca, a fin de recibir comentarios y sugerencias. El simposio contó con 384 asistentes: 280 de México, 51 de Estados Unidos y 43 de Canadá. El informe final fue presentado al Consejo de la CCA el 14 de mayo de 2004 para su revisión técnica. Hubo algunas modificaciones, pero las principales conclusiones y recomendaciones se conservan sin cambios.

## **Enfoque**

El Grupo Asesor consideró que las opciones políticas pueden incluir enfoques para eludir, mitigar y tolerar los riesgos del maíz transgénico. Entre los ejemplos que se mencionan para eludir riesgos está la opción que restringe la importación de maíz genéticamente modificado. Para mitigar riesgos se sugiere crear políticas que tiendan a eliminar los transgenes en las variedades de maíz afectadas. Entre las opciones para tolerar los riesgos se menciona la comunicación y la participación entre las partes interesadas y afectadas, para formular estrategias que mantengan los riesgos dentro de límites que resulten aceptables para ambas partes. La pregunta ineludible: ¿Cómo México, un país que depende excesivamente de las importaciones de maíz (6 millones de toneladas anuales) podría restringir su importación?

El Grupo Asesor tomó en cuenta las disposiciones del artículo 282 de la Ley General de Salud, cuya aplicación recae en la Secretaría de Salud de México, que establece como requisito obligatorio la notificación de la intención de introducir en el mercado un producto biotecnológico. A efecto de cumplir con esta ley, el exportador debe presentar un expediente de análisis sobre la seguridad del alimento para ser revisado por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). La COFEPRIS comunica la resolución final de la evaluación, y publica una "lista definitiva" del cultivo transgénico y los rasgos específicos aprobados para el consumo.

Así mismo, se consideró el acuerdo trilateral: "Requisitos de Documentación para Organismos Vivos Modificados para Alimentación, Forraje o Procesamiento OVM/AFP", que Canadá, Estados Unidos y México suscribieron en octubre de 2003, con el propósito de aclarar los requisitos de documentación que cumplen con el Protocolo de Bio-seguridad de Cartagena "sin interrumpir innecesariamente el comercio de mercancías".

Finalmente, el Grupo Asesor indicó que hasta finales de 2003, Estados Unidos había registrado y liberado hacia México alrededor de 20 variedades de maíz transgénico para uso comercial, en tanto que Canadá tiene actualmente registradas unas diez. México ha autorizado seis variedades de maíz para importación con fines de alimentación. Por consiguiente, las importaciones de maíz en México contienen una mezcla de variedades autorizadas y no autorizadas. Estas discrepancias denotan la evidente necesidad de desarrollo en las capacidades del sector salud en México, en lo referente a la detección y evaluación del riesgo para el consumo.

## **Maíz Genéticamente Modificado en México**

Los elevados niveles de pobreza en México, hacen que grandes sectores de la población indígena dependan casi exclusivamente de la agricultura para su ingreso y seguridad alimentaria, lo cual resulta ser factor fundamental que distingue al México rural, del agro en Estados Unidos o Canadá.

En regiones de México donde se cultiva maíz criollo, la memoria cultural, y la historia política, han propiciado entre comunidades indígenas la percepción de inequidades e injusticias provenientes de las élites de poder.

En este sentido, el asunto del impacto del maíz transgénico sobre el maíz criollo, se ha visto entrelazado con problemas y agravios históricos, sobretodo cuando es muy posible que quienes defienden el uso extendido de la ingeniería genética y comercio sin restricciones, tengan intereses creados en relación con aspectos del desarrollo científico y tecnológico, el comercio, la influencia política y la agricultura industrializada en Canadá, Estados Unidos y México.

### **Flujo Génico entre Maíz y Teocintle**

El flujo de genes ocurre entre razas de maíz criollo y variedades modernas. Todas las variedades de maíz *Zea mays* ssp. *mays*, son inter-fértiles y producen progenie fértil. Estudios descriptivos han demostrado que el flujo génico ocurre entre maíz y Teocintle (planta a partir de la cual el maíz se creó), pero no se sabe cuánto tiempo persisten los genes de maíz en las poblaciones de Teocintle después de que la hibridación ha tenido lugar en el campo.

El ritmo con que los genes de variedades cultivadas se introducen en las poblaciones de Teocintle, puede estar limitado por barreras genéticas parciales, y posteriormente por la aptitud relativa de los híbridos. El flujo de genes es importante en el dinámico proceso por el que los recursos genéticos del maíz se manejan en las milpas (*in situ*) en México.

### **Presencia y Origen de Transgenes en México**

Los transgenes se han introducido en las variedades tradicionales de maíz en México. Esto ha sido confirmado mediante investigaciones científicas auspiciadas por el gobierno mexicano. Sin embargo, no se han publicado resúmenes de este trabajo para que sea revisado por especialistas, y la información difundida hasta ahora ha sido vaga.

Es indudable que los transgenes están ya presentes en el maíz mexicano y se propagarán. Constantemente entra en México maíz transgénico vivo, a través de las importaciones del grano, por lo que la principal fuente de transgenes presentes en las razas de maíz mexicano es el grano cultivado en Estados Unidos.

En base a la proporción de maíz transgénico que se cultiva en Estados Unidos, se estima que las importaciones mexicanas de maíz estadounidense son transgénicas en una proporción de entre 25 y 30 por ciento. En Estados Unidos, luego de la cosecha no se etiqueta ni se separa el maíz transgénico, sino que se mezcla con el grano no transgénico. Las dos variedades de maíz transgénico más cultivadas en Estados Unidos, poseen, dos rasgos genéticamente modificados: 1. Transgenes Bt para resistencia a ciertas larvas de insectos. 2. Transgenes para resistencia a ciertos herbicidas. El cultivo de variedades transgénicas con esterilidad masculina ha sido desregulado en Estados Unidos. El cultivo de maíz transgénico está en constante aumento en Canadá y Estados Unidos. Actualmente se desarrollan nuevas clases de maíz transgénico, y es probable que en los próximos años se liberalice totalmente su cultivo en estos países.

### **Maíz Transgénico “Starlink”**

El cultivo de una clase de maíz transgénico (Bt) denominado Starlink™ se prohibió en Estados Unidos, luego de que en el año 2000 se aprobara para uso exclusivo en la alimentación animal. El maíz Starlink™ se cultivó ampliamente, y de forma inadvertida se introdujo en el suministro de alimentos para seres humanos.

Se afirma que no se han asociado a este evento efectos dañinos en la salud o el medio ambiente. El transgén Bt Starlink™ aún se encuentra en frecuencias bajas en el sistema de granos estadounidense, pero no se sabe si está presente en variedades mexicanas de maíz. En Estados Unidos y Canadá se han cultivado de manera experimental variedades de maíz no reguladas, las cuales tienen decenas de rasgos transgénicos diferentes.

Una ruta probable de intro-gresión transgénica, es decir, propagación y persistencia de transgenes en razas nativas, consiste en que campesinos de comunidades rurales siembren granos transgénicos importados que han llegado a sus manos sin haber sido previamente etiquetados como productos transgénicos. De este modo, la polinización cruzada, entre variedades transgénicas y tradicionales de maíz, sucede en cultivos que crecen en proximidad y florecen al mismo tiempo.

Los campesinos almacenan e intercambian los granos, algunos de los cuales pueden ser transgénicos, así el ciclo y flujo de genes se repite, y los transgenes se propagan aún más.

### **Transgenes en Variedades de Maíz Locales y en "Teocintles"**

Los nuevos alelos introducidos en el maíz por flujo génico, pueden persistir o no en las poblaciones receptoras, dependiendo de: 1. El flujo de genes como evento único o recurrente. 2. La tasa de flujo génico. 3. La cantidad de plantas receptoras de transgenes. 4. Si el nuevo alelo resulta localmente perjudicial, benéfico o neutral. Los transgenes llamados benéficos y neutrales en términos de selección, tienen el potencial de persistir indefinidamente en las variedades criollas de maíz.

Los transgenes que expresan tolerancia a herbicidas serán neutros para la selección, a menos que la población receptora sea tratada con el herbicida específico en cuestión, en cuyo caso le conferirían una ventaja. Estos pronósticos se sustentan en la premisa de que, aparte del rasgo buscado, la variedad transgénica no registra ningún otro cambio en su fenotipo. La remoción de los transgenes que han ingresado en forma extendida en las variedades tradicionales de maíz, resultaría sumamente difícil, si no es que imposible.

### **Transgenes y Prácticas Agrícolas**

La reserva genética del maíz consiste en decenas de miles de genes, muchos de los cuales varían dentro y entre las poblaciones. Se informa, pero sin haber quedado demostrado, que siendo el maíz una planta de fertilización cruzada con muy elevada frecuencia de recombinación genética, resulta poco probable que los transgenes lleguen a desplazar totalmente la reserva genética nativa, sino que únicamente se agregarían a la mezcla dinámica de genes presentes en las razas locales, sin tener efecto biológico significativo en la diversidad genética de las variedades criollas de maíz.

Las presiones económicas asociadas a la agricultura moderna, y las actuales asimetrías en la economía de intercambio comercial de maíz entre México y Estados Unidos, podrían provocar que campesinos y pequeños agricultores abandonaran el uso de variedades nativas. El problema específico de la erosión genética en el maíz, es producto de la interacción de muchos factores socioeconómicos, donde los efectos potenciales, directos e indirectos del maíz transgénico, no resultan todavía claros. Habrá que combinar prácticas de conservación *in situ* y *ex situ* para mantener en forma óptima la diversidad genética de las razas criollas de maíz mexicano. La conservación *ex situ* de la diversidad de las razas nativas de maíz mexicano resulta insuficiente por sí misma, ya que son entidades en constante evolución.

Tampoco basta con la conservación *in situ* para preservar la diversidad genética, debido a que no abarca toda la diversidad del pasado. (Bellon, M.R. y J. Berthaud. 2004. "Transgenic maize and the evolution of landrace diversity in México. The importance of farmers' behavior". Plant Physiology).

### **Biodiversidad y Consumo de Maíz**

El Convenio sobre Diversidad Biológica, ratificado por México y Canadá, suscrito pero nunca firmado por Estados Unidos, alienta el respeto por las comunidades indígenas en relación con la aplicación de sus conocimientos tradicionales, así como una participación equitativa de los beneficios de ellos derivados, y refrenda un enfoque de precaución para la evaluación de riesgos. En el Convenio sobre Diversidad Biológica, se expresa que la biodiversidad tiene valores ecológicos, genéticos, sociales, económicos, científicos, educativos, culturales, recreativos y estéticos, esenciales para la vida humana.

Las razas nativas de maíz en México tratan de mantenerse fundamentalmente gracias a las comunidades indígenas, ya que para los indígenas en México el maíz tiene importante valor cultural, simbólico y espiritual, lo cual no ocurre en Canadá, ni en Estados Unidos. Mediante las prácticas de los indígenas mexicanos se ha podido conservar una parte de los recursos genéticos del maíz, que constituyen la base de la alimentación y de la producción agrícola. La evaluación de riesgos en cuanto al maíz transgénico en México debe considerar estos valores..

Las variedades de maíz mexicano se han producido en forma dinámica y cambian continuamente como resultado de la selección humana y natural. No se trata de entidades estáticas o separadas, sino de diferentes variedades regionales del grano en México, donde el volumen y la forma en que se consume maíz, difiere enormemente de las formas y volúmenes de consumo en Estados Unidos y Canadá. El maíz en México ha sido parte principal en la dieta de los mexicanos, razón suficiente para que los transgenes ya aprobados, y los propuestos, sean considerados con especial atención. El sentir público en el simposio de la CCA expresa elevados niveles de preocupación sobre la toxicidad del maíz transgénico entre la población mexicana. Deben evaluarse los efectos de los cultivos transgénicos.

### **Sistema del Maíz en México**

Las decisiones de política nacional, y los efectos de los mercados mundiales en relación con las exportaciones estadounidenses de maíz hacia México, dan cuenta de la insuficiencia mexicana en la producción de maíz. La industria del maíz en México es un sistema complejo en el que participan actores tan variados como molineros, importadores, transportistas, y tortillerías en pequeña y gran escala.

La cadena de abasto de maíz en México implica una amplia variedad en el intercambio de semilla para la siembra, y de grano para el consumo. Pequeños productores que cultivan parcelas de menos de cinco hectáreas, generalmente en tierras de temporal, constituyen dos terceras partes de los productores de maíz en México. Hace tiempo que los campesinos mexicanos tuvieron acceso a granos fértiles de maíz transgénico, almacenados en silos del gobierno, principalmente para procesamiento industrial y consumo animal, los cuales fueron sembrados, y a la fecha no se ha demostrado que los rasgos de tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos de las variedades de maíz transgénico hayan sido benéficos para los campesinos en México.

## **El Teocintle**

Hay quienes consideran al Teocintle una maleza que reduce la productividad, pero en algunas zonas los campesinos todavía la conservan entre sus milpas pues es la planta "madre del maíz". De esa forma, el Teocintle trata de persistir como fuente de variabilidad genética para las distintas especies silvestres y cultivadas de maíz. "La introgresión de un transgén en el maíz mexicano es inaceptable y se le considera una contaminación", así se expresó en documentos y presentaciones relacionadas con el artículo 13 del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). Por otro lado se afirma que hasta ahora no hay evidencia alguna de que la introgresión de los rasgos en las variedades de maíz transgénico entrañe "daños significativos" para la salud y el medio ambiente. Sin embargo, esta cuestión no ha quedado demostrada en el contexto de México. Organizaciones comunitarias mantienen preocupación por el flujo de maíz transgénico que amenaza directamente la autonomía política, la identidad cultural, la seguridad personal, la biodiversidad y la economía.

## **Instituciones Públicas**

La introducción en México, a través de importaciones legales, oficialmente autorizadas de maíz transgénico proveniente de Estados Unidos, ha ocurrido en ausencia de información o de consentimiento al interior de las comunidades rurales. Se menciona que la introducción de maíz transgénico en las comunidades rurales fue resultado imprevisto de su importación como alimento, pero nunca con el propósito de introducir tales cultivos. Las comunidades rurales desconfían de gobiernos e instituciones encargadas de la bioseguridad, según se expresa en las mismas conclusiones relacionadas con el artículo 13 del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN).

La capacidad en investigación científica para evaluar, reglamentar y aplicar políticas difiere notablemente entre los tres países miembros del TLCAN. En relación con esto, se dice que la capacidad de México mejorará gracias a un proyecto con valor de más de un millón de dólares estadounidenses financiado por el Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), para la instrumentación de políticas sobre bioseguridad. La ciudadanía en general, desconoce la postura, funciones y responsabilidades del gobierno mexicano en torno al maíz transgénico.

La política mexicana de moratoria para la siembra comercial de maíz transgénico, resulta obsoleta, debido al cultivo a veces inadvertido, de maíz importado, y no cumplirá con su objetivo mientras existan importaciones de maíz transgénico fértil no etiquetado, ni separado, proveniente de Estados Unidos. Cabe destacar que México al ratificar el Protocolo de Bioseguridad, mostró su compromiso con la aplicación del "enfoque precautorio" a la regulación del movimiento trans-fronterizo de organismos genéticamente modificados. En el contexto de los acuerdos internacionales de comercio, México debe atender las preocupaciones socioeconómicas de los productores agropecuarios, proteger al campesinado y sus variedades tradicionales de maíz, y resguardar las necesidades de grupos que podrían verse afectados por cambios en la política actual. Resulta claro que la reducción máxima de los riesgos de la introgresión de transgenes en las razas locales de maíz mexicano se lograría mediante la prohibición total de la importación de organismos vivos modificados en la forma de maíz transgénico. Sin embargo, los costos económicos y las restricciones comerciales de esta medida, tanto para Estados Unidos como para México, resultan al parecer inaceptables.

## **Recomendaciones del Grupo Asesor**

1. Investigar qué transgenes específicos y con qué frecuencia se han introducido en las variedades de maíz mexicano y en las poblaciones silvestres de Teocintle. 2. Formular mejores métodos para detectar y monitorear la propagación de transgenes. 3. Determinar las consecuencias de la acumulación de genes que influye en la persistencia de los transgenes en las poblaciones receptoras de maíz criollo y Teocintle. 4. Moler los granos de maíz transgénico en el puerto de entrada de la importación (6 millones de toneladas). 5. Notificar a los campesinos sobre probabilidad de que el maíz distribuido contenga materiales transgénicos. 6. Etiquetar los costales, contenedores y silos en los que se almacena y transporta el grano transgénico. 7. Evaluar y formular posibles métodos para eliminar los transgenes de las razas locales cuando sea deseable. 8. Las políticas para controlar la propagación de transgenes en el maíz, no deben interferir con las formas tradicionales de flujo génico en las razas locales. 9. Programas más eficaces para la conservación, tanto *in situ* como *ex situ*, de la diversidad genética del maíz mexicano.

## **Naturaleza y Diversidad Genética**

La naturaleza genética cambiante de las poblaciones de maíz y Teocintle en México ha de monitorearse de forma permanente, tanto para tener registro de los genes presentes, ya sean transgénicos o no, como para detectar nuevos genes que se establecen. El sistema de monitoreo deberá aportar al público información oportuna. La diversidad genética de las razas locales de maíz mexicano y Teocintle ha de conservarse, lo mismo en la naturaleza que en la agricultura, así como en los cultivos *ex situ* y en los bancos de semillas. A esta cada vez más importante iniciativa deberán destinarse recursos financieros, públicos y privados, nacionales e internacionales. Deberá apoyarse el desarrollo de la capacidad humana en México para contar con especialistas en todas las áreas de estudio y mejoramiento del maíz, desde la genética molecular hasta la ecología, incluidas la economía y las ciencias sociales.

Muchos aspectos del cultivo y el mejoramiento del maíz en México requieren de mayor estudio, con particular atención al desempeño y las necesidades de los campesinos, que hasta ahora han sido en buena medida desatendidas. Es urgente examinar y evaluar los efectos directos e indirectos del cultivo de maíz genéticamente modificado que se forman en torno al maíz en las milpas y otros sistemas agrícolas mexicanos, y en la biodiversidad de las comunidades naturales vecinas.

Los nuevos avances en el cultivo de maíz en México deberán tener en cuenta las necesidades de campesinos, pequeños productores y agricultores comerciales de gran escala, así como los posibles beneficios y riesgos para cada quien. Los agricultores de todo tipo y clase deberán participar en el desarrollo de nuevas prácticas agrícolas desde el principio del proceso.

## **Contaminación del Maíz en México**

En septiembre de año 2001, funcionarios del gobierno mexicano informaron sobre la contaminación de variedades locales de maíz con secuencias transgénicas en comunidades de los estados de Oaxaca y Puebla. En enero 2002 el gobierno mexicano informó que en 11 comunidades los niveles de contaminación detectados eran entre 3 y 13 por ciento, en tanto que en cuatro localidades se registraba contaminación mucho más elevada, entre 20 y 60 por ciento. En las tiendas de Diconsa, 37% de los granos resultaron ser transgénicos. Los efectos en la diversidad genética del maíz mexicano podrían tener repercusiones directas en la diversidad del maíz y ecosistemas en toda América del Norte y el resto del mundo.

Recordemos que México es centro de origen del maíz, y perder una variedad del grano en México significa perderla en todo el planeta. Uno de los genes contaminantes expresa un plaguicida: la toxina Bt, que se sabe produce efectos en otros organismos vivos aparte de las plagas objetivo que suelen encontrarse en Estados Unidos. Dada la naturaleza internacional de los efectos de esta contaminación genética, debe plantearse el caso ante la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), que es organismo ambiental regional establecido con arreglo al TLCAN. La CCA tiene autoridad para examinar las amenazas ambientales que pueden ocurrir en el ámbito regional, nacional o internacional, y posee mecanismos para que la ciudadanía pueda plantear sus preocupaciones sobre la aplicación de la legislación ambiental al interior de los tres países del TLCAN.

El Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN), fue creado para asegurar que cada gobierno aplique con efectividad las leyes y reglamentos ambientales. El artículo 13 del ACAAN confiere al Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), autoridad para iniciar investigaciones independientes, y preparar informes sobre cualquier asunto ambiental. En años anteriores se han elaborado varios informes sobre el artículo 13, incluyendo el informe en el año 1995 sobre la muerte masiva de aves en la presa Silva, en el estado de Guanajuato, México. La CCA puede ocuparse también de asuntos fuera de su programa de trabajo, a menos que dos de las tres partes del TLCAN se lo impidan.

### **Peticiones a la CCA**

Se presenta solicitud para que el Secretariado de la CCA elabore un informe, conforme al artículo 13 del ACAAN, en el que se examinen los efectos ambientales, directos e indirectos que podrían tener lugar en caso de que el maíz transgénico escapara de las fronteras del estado de Oaxaca. Los peticionarios solicitan que se considere en particular los siguientes puntos:

1. Valorar los impactos ambientales en la biodiversidad del maíz y los ecosistemas de las comunidades de Oaxaca que presentan contaminación por la liberación de maíz genéticamente modificado.
2. Evaluar los efectos directos e indirectos del flujo de genes de maíz transgénico en la diversidad genética del maíz existente en las comunidades afectadas en Oaxaca.
3. Efectuar una valoración de los impactos ambientales que las semillas de maíz transgénico provocan en el ecosistema donde se registra la contaminación.
4. Detectar las fuentes del grano genéticamente modificado que contaminan el maíz nativo.
5. Analizar el riesgo de propagación de la contaminación del maíz nativo por la liberación de semillas de maíz transgénico.
6. Formular recomendaciones al gobierno mexicano para enfrentar el daño causado a las variedades nativas de maíz por la liberación de maíz transgénico.

El Artículo 13 se titula "Maíz y biodiversidad: efectos del maíz transgénico en México", y sobre este artículo se redacta el informe indicando que persisten profundas diferencias respecto de los posibles riesgos que los organismos genéticamente modificados pueden representar para el medio ambiente, la salud humana y animal. En las conclusiones y recomendaciones esenciales provenientes del Grupo Asesor, existen discrepancias entre las conclusiones científicas fundamentales y las recomendaciones respecto al flujo génico.

Es difícil conciliar las discrepancias cuando no se dispone de todos los datos que han servido para elaborar las recomendaciones. Se propone que cada país debe resolver el tema de la importación de maíz transgénico sobre la base de una evaluación científica del riesgo, en el contexto de un sistema reglamentario que respete el derecho de los países a establecer sus propios niveles de protección de una manera consecuente con sus obligaciones internacionales.

El informe podría haber sido más ilustrativo y completo, ofrecido un marco adecuado para las recomendaciones, presentando un análisis más profundo de los enfoques reglamentarios nacionales existentes, y de las obligaciones internacionales de los tres gobiernos, expresando también las posibles consecuencias del flujo génico y sus efectos sobre la biodiversidad, lo cual resulta fundamental en la evaluación del riesgo ambiental respecto de las nuevas variedades vegetales.

### **Relación entre Conclusiones y Recomendaciones**

Preocupa que algunas de las recomendaciones no estén sustentadas en las evidencias que se presentan en las principales conclusiones. Ello ocurre marcadamente en materia de flujo génico. Las recomendaciones reconocen que el flujo génico hacia variedades de maíz criollo en México tiene lugar, pero eluden cualquier mención sobre el efecto del flujo génico que ocurre entre las variedades no transgénicas, y se pasa por alto la falta de consenso respecto de si el flujo de transgenes afecta en forma adversa la biodiversidad y el medio ambiente.

Muchas de las recomendaciones estarían mejor formuladas, si se acompañaran de un examen más completo de los marcos normativos vigentes en Canadá, Estados Unidos y México. Hasta donde se sabe, México aún no ha concluido un proceso normativo para realizar evaluaciones de riesgo ambiental a partir de las cuales aprobar o rechazar el cultivo de maíz transgénico.

Por esta razón, México ha decretado una moratoria al cultivo de maíz transgénico. México debe formular sus propias decisiones respecto del maíz transgénico, derivadas de procesos de evaluación del riesgo adecuadas para el entorno mexicano como centro de origen del maíz.

### **Ingeniería Genética**

Se afirma que entre los que defienden el uso extendido de la ingeniería genética y comercio sin restricciones puede haber intereses creados en aspectos del desarrollo científico y tecnológico, así como en cuestiones comerciales, políticas, y de agricultura industrializada en Canadá, Estados Unidos y México.

Siendo Estados Unidos el país que ha estado a la vanguardia de las gestiones para concretar la promesa de la biotecnología agrícola, expresa decepción ante la CCA diciendo que se ha elaborado un informe del Artículo 13 que pasa por alto datos científicos clave sobre biotecnología, y que no se centra en las cuestiones sobre la preservación de la diversidad genética del maíz como objetivo principal del informe. Los científicos concuerdan en que se debe continuar la investigación biotecnológica antes de fomentar la producción de maíz transgénico.



## 1.6 Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB)

### Introducción

El continente americano ocupa el primer lugar mundial en la producción de carne, y el segundo lugar como productor de leche. Esto debido principalmente a los extensos pastizales, la calidad genética del ganado y las inversiones privadas en el sector ganadero. En Latinoamérica, los esfuerzos encaminados al incremento de la producción ganadera y a la exportación de productos bovinos, podrían verse afectados por cambios negativos en la condición zoonositaria de los hatos. Se estima que la población humana mundial para el año 2010 será de 7.28 billones de personas, lo cual representa un gran reto para gobiernos y sectores privados que deberán proveer alimentación inocua y nutritiva a la población. En éste reto la especie bovina jugará un papel fundamental, sobretodo en Latinoamérica, debido a los índices de crecimiento poblacional y a la posibilidad de criar ganado.

Se calcula que la población bovina en el Continente Americano es de 476 millones de cabezas, y que el 70 % de ésta cantidad se encuentra en: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Paraguay, Perú y Uruguay. Esto indica que la ganadería bovina es una de las principales actividades económicas en éstos países. Estudios recientes sobre tendencias en la producción bovina muestran el gran potencial de crecimiento en la ganadería de éstos países, así como las ventajas comparativas respecto de los continentes europeo y asiático. La emergencia sanitaria mundial por la presencia de la Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB) en continentes distintos al Europeo, y ante la posibilidad de que la EEB pudiese ser detectada en países Latinoamericanos, los gobiernos de Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Paraguay, Perú y Uruguay, solicitaron a la FAO asistencia técnica para evaluar y reforzar sus sistemas que previenen la enfermedad. En éste sentido, la FAO aprobó el proyecto TCP/RLA/0177 denominado "Evaluación y Reforzamiento del Sistema de Prevención de la EEB y Sistema de Control de Calidad de Piensos", cuya primera actividad consistió en la Consulta Técnica de Especialistas en EEB.

### La EEB

La Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB) es una enfermedad neurológica degenerativa y mortal en bovinos. Se diagnosticó por primera vez en Inglaterra durante 1986 y causó estragos económicos y gran preocupación por parte de los consumidores. La sintomatología, características de propagación y transmisibilidad de la EEB, sugieren que la enfermedad es causada por un agente transmisible no convencional, al cual se le ha denominado Prión para expresar que se trata de una proteína infecciosa.

Esta proteína es similar a la que provoca el Prurigo Lumbar (Scrapie) en ovinos y caprinos, enfermedad que ha estado presente de forma endémica en Inglaterra por más de dos siglos, y se presenta también en muchos países del mundo. El Prión es muy resistente a tratamientos físicoquímicos tales como: calor, ionización, radiación ultra violeta, y presenta resistencia a productos que habitualmente inactivan los virus y bacterias.

**La EEB** se manifiesta en bovinos adultos de ambos sexos. Esto es debido a que el periodo de incubación es generalmente de 4 a 5 años. La patología corresponde a una alteración neurológica. Su sintomatología clínica expresa cambios significativos en el estado mental de los animales. Los bovinos afectados se muestran nerviosos, temblorosos y tambalean. De ahí surge el nombre de "vaca loca" dado a la enfermedad EEB.

Así mismo se presenta hiperestesia, pérdida de peso y disminución en la producción de leche. El curso clínico que dura varias semanas, es progresivo y fatal. La confirmación de la enfermedad solo es posible mediante examen histoquímico del tejido cerebral cuando el animal ha muerto ó es sacrificado. La ausencia de una prueba capaz de detectar la enfermedad en el animal vivo, ha dificultado considerablemente la lucha contra la enfermedad.

### **Patología de la EEB**

En términos sencillos, la patología de la EEB comienza en una proteína fibrilar que se conoce como PrP, la cual es constituyente normal en algunas células nerviosas. El problema se presenta cuando se alimenta al rumiante con proteínas de rumiantes, por ejemplo, harinas de carne y hueso. El agente infeccioso Prión llega al sistema nervioso central generando alteraciones degenerativas en la masa encefálica. El Prión al asociarse con la proteína PrP propicia un proceso de mutación que consiste en un cambio de la conformación a nivel post-translacional (no génico), y se transforma en proteína PrP modificada. La PrP modificada induce la misma alteración en las PrP que están siendo sintetizadas de manera normal por el animal, generándose así un proceso continuo. La proteína PrP modificada comienza a acumularse intracelularmente, debido a que la alteración conformacional no puede ser degradada por acción proteásica, como ocurre con la proteína PrP normal. De éste modo, mediante el proceso acumulativo se van generando cambios histológicos irreversibles en la masa encefálica, desarrollándose así la enfermedad.

### **EEB y Seres Humanos**

La EEB forma parte de un grupo de enfermedades que afectan a mamíferos, conocidas como EET, ó enfermedades por priones, que se producen por la acumulación de proteínas priónicas anormales en el cerebro y en el sistema nervioso, causando finalmente la muerte. La enfermedad por priones más comúnmente conocida en humanos es el Síndrome de CreutzfeldtJacob (ECJ). Se han encontrado evidencias de relación epidemiológica entre la EEB y la nueva variante de la enfermedad CreutzfeldtJacob (nvECJ) en seres humanos.

Como resultado, la EEB se transformó en zoonosis de importancia para la salud pública mundial. En algunos casos, la enfermedad CreutzfeldtJacob (ECJ) típica, es similar a otras enfermedades como el Alzheimer ó la Esclerosis Lateral Amiotrófica. Se cree que el origen de la variante de la enfermedad CreutzfeldtJacob (nvECJ) en seres humanos, tiene su origen en el alimento para el ganado, elaborado a partir de subproductos bovinos infectados con EEB. La manifestación clínica de la variante (nvECJ) es muy distinta de la (ECJ) típica. Los primeros síntomas de la (nvECJ) son semejantes a los trastornos psiquiátricos, y afectan generalmente a personas entre 16 y 48 años de edad. La enfermedad (nvECJ) se desarrolla entre 9 meses y 3 años. En la (ECJ) típica, el trastorno suele aparecer en personas con alrededor de 60 años de edad, y se caracteriza primeramente por la pérdida de la coordinación, y posteriormente por la demencia.

La (nvECJ) ha causado enormes repercusiones en la salud animal, el comercio internacional de carne y ganado, así como en la salud pública, debido a que la EEB se propagó en otros países europeos, asiáticos y del continente americano, por vía de las harinas exportadas desde Inglaterra, ó bien a través de la importación de animales vivos. La presencia de casos de EEB en varios países europeos a fines del 2000 desencadenó gran alarma entre la población, provocando una reducción estimada del 40% en el consumo de carne bovina, así como incertidumbre en las actividades comerciales relacionadas con los productos derivados de esta especie, lo cual propició una caída drástica en los precios, y el impacto negativo en la economía de algunos países productores.

La EEB alcanzó proporciones endémicas. Datos oficiales indican que hasta Septiembre del 2002 se habían registrado 182,802 casos positivos de EEB en Inglaterra, y alrededor de 3,363 casos en el resto de la Unión Europea (EU). Existe evidencia de la presencia de EEB en países fuera de la UE como Eslovenia, Eslovaquia, Israel, República Checa, Liechstein, Polonia, Suiza, Japón, Estados Unidos y Canadá.

La Organización Mundial de la Salud (OMC) ha publicado documentos para informar a los sectores públicos y privados sobre los peligros que conlleva el consumo de bovino infectado con EEB. Los documentos ofrecen información sobre la enfermedad, así como recomendaciones para prevenir su diseminación, y se da respuesta a las interrogantes más frecuentes de los consumidores frente a la potencial amenaza representa la EEB.

### **Origen de la EEB**

A pesar de las investigaciones, nadie ha expresado exactamente de dónde proviene la EEB. SE afirma que pudo haber sido resultado de la mutación genética espontánea en una vaca u otro animal durante la década de 1970. Era práctica común en el Reino Unido reciclar proteína animal para incorporarla al alimento del ganado bovino. Esto pudo haber propiciado el ciclo de la EEB en la población de ganado, así como su diseminación.

Una de las primeras teorías sobre la diseminación de la EEB en el ganado bovino, se relacionaba con el cambio en los procesos de extracción de grasas para producir harina de carne y hueso, pero al parecer éste resultó improbable.

### **Riesgo e Incertidumbre**

Quizá más que cualquier otra área de la inocuidad en los alimentos, la EEB se caracteriza por la incertidumbre científica, al no saber sobre la naturaleza precisa del agente causante, ni cómo se disemina en el huésped. La imprecisión científica característica en la EEB significa que durante toda la crisis de EEB, las opciones de manejo de riesgos para la protección de la salud pública han sido únicamente de naturaleza precautoria, enfocadas a la reducción de riesgos frente a los escasos conocimientos actuales.

El riesgo de EEB será de eliminar por completo, y se han tenido que reevaluar las opciones precautorias constantemente, en función de los más recientes conocimientos emergentes. De manera permanentemente los gobiernos han establecido comités de asesoramiento científico con expertos para evaluar las evidencias científicas. Esto comenzó con el Southwood Working Party en 1988 que, en 1989 se transformó en el Comité de Tyrrell, y posteriormente en el Comité Asesor sobre Encefalopatía Espongiforme (CAEE).

### **Cronología de la EEB en el Reino Unido**

#### **Noviembre de 1986**

Se identificó la EEB en ganado bovino.

#### **Diciembre de 1987**

Se completaron estudios epidemiológicos iniciales en ganado bovino. La conclusión fue que la harina de carne y huesos de rumiantes era la única hipótesis viable de la causa de la EEB.

#### **Junio de 1988**

Se prohibió el uso de derivados de harina de carne y huesos de rumiantes como alimento del ganado.

**Agosto de 1988**

Se introdujo una política para compensar a los ganaderos por animales muertos, así como medidas para la salud animal con impacto indirecto sobre la salud humana.

**Diciembre de 1988**

Se consideró la EEB como zoonosis, y se habilitaron cuestiones legales para reducir el riesgo a la salud humana. Esta medida fue solamente precautoria ya que en ese momento había pocos indicios de que la EEB pudiera afectar a seres humanos.

**Noviembre de 1989**

Determinadas vísceras de ganado bovino fueron prohibidas para alimento humano. Se incluían partes del animal que se consideraban con mayor probabilidad de transportar el agente de la EEB.

**Septiembre de 1990**

Informes indicaban sobre 5 antílopes y un gato habían fallecido por EEB, y acerca la transmisión experimental de EEB a un cerdo. Se instauró la prohibición de vísceras en todos los alimentos para animales, incluyendo comida para mascotas.

**Marzo de 1991**

Se anunció el primer caso de EEB en una cría (bovino) después de la prohibición sobre alimentos para rumiantes en junio de 1988. Esto indicaba que dicha prohibición no estaba siendo aplicada en forma efectiva. Si bien pudo haber algunos casos de transmisión vertical, ahora se cree que la mayoría de los casos de EEB en el ganado nacido después de la prohibición de alimentos a rumiantes, ocurrieron debido a que se continuó usando el alimento prohibido y por la contaminación cruzada con otros alimentos para animales.

**Noviembre de 1994**

Se amplió la prohibición sobre el uso de vísceras específicas de bovinos en los alimentos para animales. Se prohibieron todas las proteínas de mamíferos en alimentos para rumiantes.

**Diciembre de 1995**

Se promulgó una medida adicional para proteger la salud humana que prohibía el uso de la columna vertebral.

**Marzo de 1996**

Se anunciaron los primeros casos de (nvECJ) en seres humanos. Marzo de 1996 Se prohibió la venta de cualquier tipo de carne de bovino de más de treinta meses de edad para consumo humano.

**Abril de 1996**

Se prohibió la alimentación con carne de mamíferos y harina de huesos a todos los animales de granja.

**Junio de 1996**

Se lanzó un esquema de devolución de alimentos (que se completó en octubre de 1996) para recolectar y eliminar toda carne y harina de huesos y el alimento que los contuvieran. Esto se hizo para retirar esta posible fuente de infección de la cadena alimentaria.

**Enero de 1997**

Se introdujo el sacrificio selectivo del ganado que tuviera mayor riesgo de EEB.

## **Diciembre de 1997**

Se puso en vigencia la legislación sobre deshuesado de carne proveniente de ganado bovino, tanto nacional como importada, de animales con más de 6 meses de edad al momento de la matanza. Esto se hizo para controlar el riesgo de infección en la médula ósea y en los ganglios de la raíz dorsal. (Posteriormente, esta medida se levantó cuando se consideró que el riesgo se había reducido). Mediante controles se reducen los casos de EEB, pero el tamaño y la forma de la epidemia (nvECJ) en seres humanos es imposible de predecir con certeza.

## **Perspectiva en Europa y otros Países**

La emergencia de EEB no sólo afectó al Reino Unido, sino que también tuvo impactos significativos en sus socios comerciales. Esto particularmente dentro de Europa, pero también hubo ramificaciones más amplias en el mundo. Alrededor de un 0.5% de todos los casos de EEB ocurrieron fuera del Reino Unido. Se cree que la diseminación inicial de la enfermedad en otros países se debió a la exportación de alimento ó de animales vivos, pero también se estima que los casos de EEB que han estado apareciendo en otros países podrían deberse a un reciclaje de la enfermedad en esos países. En 1989, Irlanda fue el primer país fuera del Reino Unido en tener casos de EEB. Después hubo casos en Portugal y Suiza (1990), Francia (1991), Alemania y Dinamarca (1992). Italia tuvo sus dos primeros casos en 1994, Bélgica, Luxemburgo y Holanda tuvieron sus primeros casos de EEB en 1997.

## **Respuesta Europea**

Inmediatamente después del anuncio en marzo de 1996 sobre el primer caso de (nvECJ) en seres humanos, relacionado con la EEB, se introdujo la regla de más de treinta meses, es decir se prohibió la venta de carne de bovino procedente de animales con más de 30 meses de edad. En junio de 1996 a través del Acuerdo de Florencia se dieron los primeros intentos para levantar la prohibición sobre exportación de carne de bovino procedente del Reino Unido. En el mismo acuerdo se establecían las siguientes condiciones para levantar gradualmente la prohibición:

- 1.** Retirar toda la carne y harina de huesos de las granjas y establecimientos que elaboran alimento para animales.
- 2.** Aumentar los controles en los mataderos.
- 3.** Introducir un sistema de pasaportes para el ganado bovino y mejorar el sistema computarizado para la identificación y el monitoreo del ganado.
- 4.** Retirar de las cadenas alimenticias de animales y humanos el ganado bovino de más de 30 meses de edad.
- 5.** Aplicar un programa de matanza selectiva. El cumplimiento de estas disposiciones permitió la exportación en Europa de carne de bovino y sus productos.

## **Acciones en Países No Europeos**

La EEB tuvo consecuencias en otros países fuera de Europa. Los primeros controles aplicados en terceros países tuvieron lugar en 1989 cuando en Estados Unidos se prohibió la importación de ganado bovino en pie, ó carne de bovino y sus productos provenientes del Reino Unido. Esto luego se extendió a todos los países con casos confirmados de EEB.

El argumento de Estados Unidos estuvo fundamentado en la protección de su ganado bovino frente a la EEB. Muchos otros países siguieron a los Estados Unidos con sus propias prohibiciones. Ya para 1996, diversos países no europeos habían prohibido la carne de bovino del Reino Unido.

### **Importaciones de Carne y Ganado en Europa**

Las prohibiciones sobre carne y ganado, teóricamente no aplican a importaciones procedentes de países con escasa probabilidad de presentar riesgo de EEB. Cuando se importa carne o sus productos de terceros países, éstos deben ir acompañados de certificado para efecto de garantizar que los materiales de riesgo específicos han sido retirados y que los animales fueron sacrificados de acuerdo con los estándares requeridos en la Unión Europea. La prohibición del Reino Unido sobre la venta de ganado vacuno de más de 30 meses para consumo humano (en vigencia desde 1996) se aplicó a toda la carne importada con excepción de la que provenía de los siguientes países: Argentina, Australia, Botswana, Brasil, Mauricio, Namibia, Nueva Zelanda, Paraguay, Polonia, Sudáfrica, Swazilandia, Uruguay, Estados Unidos y Zimbabue. Otra iniciativa europea fue la clasificación de países en categorías de riesgo. En julio de 2000, el Comité Directivo de Científicos de la Unión Europea expresó su opinión sobre el riesgo geográfico de EEB en todos los Estados Miembros y en algunos terceros países. Determinó y asignó cuatro categorías de riesgo: A) Categoría I (Altamente improbable que presenten riesgo de EEB). B) Categoría II (El riesgo de EEB es improbable pero no puede ser excluido). C) Categoría III (Probabilidad de que presenten riesgo de EEB, incluso si no se ha confirmado, o presenta un bajo nivel de riesgo de EEB confirmado). D) Categoría IV (Confirmado, el nivel más elevado). Posteriormente se tomaron otras medidas para reevaluar estas categorías. Se consideraron los siguientes factores además de los casos confirmados de EEB: 1) Importaciones de alimentos contaminados para animales contaminados. 2) Importaciones de animales infectados. 3) Posibilidad de contaminación cruzada de alimento para ganado vacuno con otros alimentos que contienen carne y harina de huesos de mamíferos.

### **Efectividad de los Controles**

Para que las medidas de control sean efectivas, deben aplicarse rigurosamente y revisarse de manera continua mediante un régimen de inspección muy estricto. La EEB fue una lección aprendida en el Reino Unido. Se descubrió que las prácticas en los mataderos deben ser monitoreadas muy de cerca si se quiere garantizar la eliminación del material riesgoso. Las acciones desarrolladas por el Servicio de Higiene de la Carne aportó mejoras en el Reino Unido. Es sumamente importante monitorear las importaciones de carne y ganado en todo el mundo, principalmente en los países que por ahora se encuentran libres de EEB.

### **Conclusiones**

La EEB es un riesgo descubierto desde 1986 que pertenece al grupo de enfermedades EET, las cuales todavía no se entienden bien y producen dificultades en la evaluación de riesgos. Cuando no hay disponibilidad de datos confiables, se presenta un alto grado de incertidumbre. Las decisiones en áreas de incertidumbre generan políticas únicamente precautorias. Diferentes grupos de expertos emiten evaluaciones distintas en base a la misma evidencia, como ya ocurrió en diferentes comités de expertos en Europa. La EEB ha causado problemas transnacionales en el comercio de animales y carne. Las acciones coordinadas han sido esenciales para controlar la EEB, pero la protección al consumidor continúa dependiendo de los esfuerzos para erradicar la enfermedad, y de los controles eficaces en la cadena alimentaria a nivel mundial. Fuente: Departamento de Agricultura, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

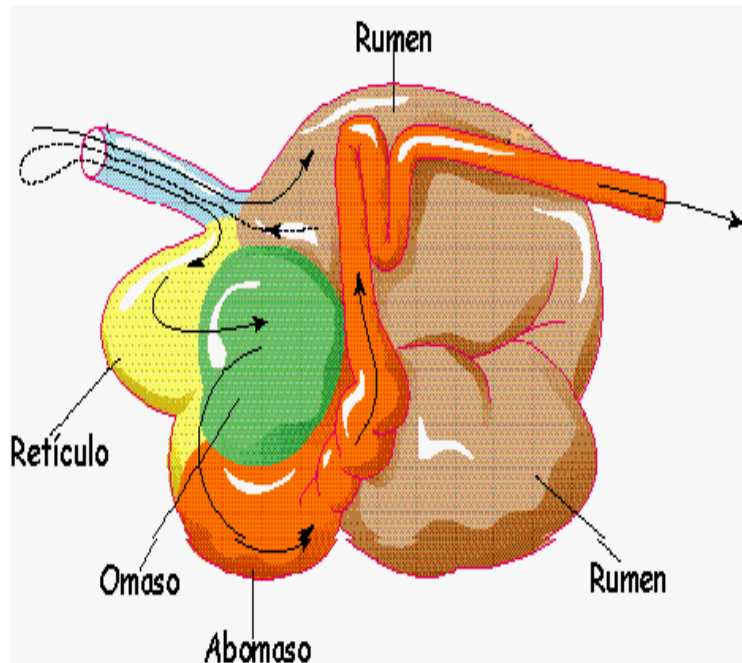
## 1.7 El Rumen

### Introducción

El rumen es la porción dilatada en el tubo digestivo de los rumiantes, donde los alimentos fibrosos y voluminosos quedan detenidos durante un tiempo (9 a 12 horas) para que sea posible la fermentación necesaria que hace a los alimentos aprovechables en el organismo de los animales rumiantes.

El estómago de los rumiantes consta de cuatro compartimientos:

- 1) Rumen.
- 2) Retículo.
- 3) Omaso.
- 4) Abomaso.



Estos compartimientos se desarrollan desde el estómago embrionario. El principal estímulo para el desarrollo del rumen en animales recién nacidos, es la ingestión de alimento sólido y nutritivo con alta tendencia a la fermentación como los alimentos concentrados y los pastos.

El tamaño permanente de los cuatro compartimientos se alcanza después de un año, cuando el rumen ocupa ya alrededor del 80% del volumen total del estómago. La capacidad del rumen en bovinos adultos, varía considerablemente de acuerdo con la edad y tamaño del animal, y por lo general su capacidad volumétrica oscila entre 100 y 300 litros.

En animales recién nacidos, el rumen no es funcional, sin embargo la fermentación ruminal puede comenzar en unas cuantas semanas cuando se proporciona alimento sólido y nutritivo con alta tendencia a la fermentación.

El revestimiento interior del rumen, consiste en un epitelio estratificado con papilas, pero en animales muy jóvenes las papilas son rudimentarias, y el desarrollo de las papilas rudimentarias tiene lugar paralelamente con la fermentación en el rumen que sabemos depende de la ingestión de alimento sólido con las características anteriormente mencionadas. La presencia de papilas incrementa la superficie de pared en el rumen que es necesaria para la absorción de los metabolitos.

A medida que se desarrolla el rumen, se establecen en su interior poblaciones de bacterias y protozoarios. Por lo general encontramos gran cantidad y variedad de protozoarios por cada gramo de contenido en el rumen de un solo animal. Así mismo encontramos gran cantidad y variedad de bacterias en proporción y tipo de acuerdo con la dieta del animal.

Organismos aerobios se introducen en el rumen por medio del alimento y el agua, pero éstos organismos no pueden establecerse en las condiciones anaerobias (sin oxígeno) del rumen. Los microorganismos del rumen existen en simbiosis con el animal rumiante y entre ellos mismos.

El rumen es un depósito de fermentaciones que proporciona el medio ambiente conveniente para las poblaciones de microorganismos. El equilibrio de la fermentación en el rumen se logra mediante el consumo frecuente de alimentos, los cuales proporcionan sustento a los microorganismos del rumen. Los productos solubles como resultado de la actividad microbiana son absorbidos por la pared ruminal para que no se acumulen ni inhiban la acción enzimática.

El organismo del animal sano se encarga sostener la temperatura del rumen entre 38°C y 42°C para propiciar la fermentación. El volumen del contenido en el rumen se regula por el paso de material líquido hacia el omaso, a través del orificio retículo-omaso. De éste modo también salen del rumen pequeñas partículas de alimento y de población microbiana. Los rumiantes secretan gran cantidad de saliva (bovinos: 50 a 100 litros por día) que contiene bicarbonato y otros iones que juegan papel importante en el equilibrio del PH, la composición iónica y el volumen en el rumen. Los alimentos ingeridos quedan en el rumen hasta que alcanzan una consistencia fina. Luego pasan lentamente a las zonas bajas del tracto digestivo.

Las contracciones regulares del retículo devuelven el líquido al rumen para diluir el contenido en el mismo. Subsecuentemente, las contracciones del rumen regresan el líquido al retículo. De ésta forma, las partículas alimenticias más pequeñas se separan de la masa alimenticia en el rumen y pasan al omaso a través del orificio retículo-omaso.

Rumiar es el proceso por el cual los alimentos que se encuentran en el rumen y en el retículo regresan a la boca del animal para ser masticados nuevamente, mezclarse con saliva y ser otra vez ingeridos. Este proceso reduce el tamaño de las partículas alimenticias para que puedan salir del rumen hacia el omaso. El rumen es importante porque entre 70% y 85% de la materia seca digestible se utiliza en el rumen (Gray).

El alimento semi-líquido en el retículo entra al omaso, y las contracciones del omaso comprimen y trituran el alimento. Ahí en el omaso, entre 60% y 70% del agua es absorbida.

Posteriormente, el alimento cuya consistencia es más sólida, pasa al abomaso para su digestión, donde el jugo gástrico compensa la pérdida de líquido en el omaso. El contenido de ácido clorhídrico en el jugo gástrico hace que el PH descienda hasta llegar a condiciones ácidas que los protozoarios y bacterias que han llegado del rumen al abomaso no pueden soportar y entonces mueren.

Puede decirse que la función principal del rumen es la digestión de la celulosa, mediante la actividad de la población microbiana en el rumen. Esto hace posible que los rumiantes se vivan alimentándose de alimentos fibrosos. Decíamos que en los rumiantes jóvenes el rumen es poco funcional, por ésta razón requieren en su dieta gran parte de los aminoácidos esenciales y de las vitaminas del complejo B.

### **Microbiología en el Rumen**

El rumen es esencialmente un sistema de fermentación anaeróbico (sin oxígeno) que se mantiene en un medio ligeramente ácido donde la temperatura es alrededor de 39°C, en atmósfera gaseosa compuesta principalmente de bióxido de carbono, nitrógeno y metano.



En éste medio ambiente se desarrollan microorganismos sumamente especializados que requieren del alimento del rumiante. Este sistema requiere también para su mantenimiento el flujo constante de saliva y la absorción de productos finales del metabolismo a través de la pared ruminal.

La cantidad de bacterias presentes en el rumen puede llegar a  $10^{10}$  por cada gramo de contenido en el rumen, y se incluye gran variedad de especies. Las cantidades y proporciones de cada especie de microorganismos fluctúan de acuerdo a las diversas condiciones ruminales. Los grupos de microorganismos con mayor presencia en el rumen son los bacilos y los cocos. La cantidad de protozoarios en el rumen es alrededor de un millón por cada gramo de contenido en el rumen y pueden ocupar un volumen equivalente al de las bacterias. El tamaño de los protozoarios varía desde 20 micras hasta 250 micras y pueden tener estructura interna y especialidad muy diferente entre ellos.

### **Protozoarios**

Los protozoarios almacenan sustancias de buen valor biológico que contribuyen a la digestión en los animales rumiantes. Los protozoarios ciliados del rumen son anaeróbicos y entre ellos se encuentran los siguientes: *Diplodinium* y *Metadinium*; *Entodinium*; *Isotricha* y *Dasytricha*.

Los protozoarios ciliados holotricos, principalmente *Isotricha prostoma*; *Isotricha intestinales* y *Dasytricha ruminantium* se encuentran en casi todos los alimentos que se suministran en las dietas para los rumiantes, y son más abundantes en dietas que contienen heno y raíces. Estos organismos son capaces de incidir en gran variedad de azúcares solubles que absorben para transformarlos en polisacáridos in solubles, los cuales quedan acumulados en sus cuerpos.

Los ciliados holotricos también absorben pequeñas partículas de almidón, y frente a la escasez de carbohidratos, éstos organismos fermentan sus polisacáridos acumulados (Heald y Oxford). Los ciliados holotricos *Dasytricha* aislados inciden en glucosa y en la celobiosa, mientras que los ciliados holotricos *Isotricha* sólo fermentan la glucosa. La fermentación produce bióxido de carbono, hidrógeno, ácido láctico, ácido acético y ácido butírico.

Cuando los protozoarios se mantienen en ambiente con PH equilibrado su vida es entre 2 y 3 días, pero cuando se adicionan carbohidratos a la dieta, la vida de los protozoarios aumenta hasta 5 u 8 días. Los holotricos desaparecen cuando sólo se les suministra celulosa.

Entre las poblaciones de protozoarios en el rumen se encuentran varios géneros de ciliados oligotricos como el *Metadinium medium* que es capaz de ingerir celulosa para almacenarla en forma de polisacáridos. Grandes poblaciones del género *Metadinium* se encuentran en dietas ricas en celulosa y en proteína soluble (pastos). Hay también en el rumen ciliados oligotricos más pequeños como el *Entodinium* que prevalecen en dietas ricas en almidón y en alimentos concentrados.

Los protozoarios ingieren partículas del tamaño de las bacterias, como almidón, fibras y cloroplastos. La mayoría son protozoarios ciliados, microorganismos unicelulares complejos. Su biomasa (tamaño) es similar al de las bacterias, pero pueden triplicar ésta dimensión según la ración alimenticia, ó desaparecer cuando los ingredientes en la dieta no son adecuados. Se agrupan en 17 géneros de la sub clase Entodiniomorphes y 2 géneros de la sub clase Holotriches, los cuales difieren en su morfología y metabolismo.

Las especies presentes varían con la especie animal, la región y la dieta. Los tiempos de generación oscilan entre 0.5 a 2 días. Los más lentos pueden llegar a desaparecer con los fluidos del rumen, otros quedan adheridos a fragmentos de alimento.

**Los protozoarios ciliados** difieren de las bacterias en varios aspectos: 1) Tienen mayor movilidad e invaden los alimentos recién ingeridos tan rápido como las bacterias a pesar de ser menor cantidad. 2) Pueden almacenar hidratos de carbono en forma de polímeros insolubles (amilopectina). 3) Son fácilmente destruidos por la acidez, sobretodo los Holotriches son más sensibles que los Entodiniomorpha. 4) No pueden sintetizar aminoácidos a partir de compuestos simples de nitrógeno y dependen de las bacterias, empleando los aminoácidos luego de fagocitarlas (1 % de las bacterias son fagocitadas en cada minuto). 5) Son mayormente responsables de la producción de amonio en el rumen. Los ciliados no son esenciales para los procesos de fermentación pero ayudan a que sean más eficientes.

**En Protozoarios Ciliados Celulolíticos**, pocos géneros de Epidinium están implicados en la fragmentación de restos vegetales. Estos segregan enzimas que causan separación de las células y fragmentación de las sustancias. La mayor actividad se da cuando la enzima es liberada luego de la lisis celular que ocurre por exposición al oxígeno en el proceso de rumia ó por hipotonía causada por la ingestión de agua.

**En Protozoarios Ciliados Amilolíticos**, todos los Entodiniomorpha usan almidón cuyo exceso almacenan como amilopectina. La mayoría prefiere azúcares solubles y se mueven rápidamente hacia los azúcares. Los protozoarios ciliados son responsables de entre 30 y 40 % de la lipólisis y aumentan el contenido de ácidos grasos saturados. Alrededor de 75 % de los lípidos microbianos están generalmente asociados con los protozoarios ciliados, pero éstos microorganismos no son muy importantes en la degradación de proteínas que forman parte de la dieta, porque usan las proteínas de las bacterias fagocitadas.

## Las Bacterias

La relación entre bacterias y protozoarios es muy compleja, y en algunos casos es posible que las características y desarrollo de los protozoarios se deban especialmente a la contaminación por bacterias. Generalmente las bacterias son más fáciles de estudiar y de manejar que los protozoarios.

Sin embargo, las poblaciones de microorganismos en el rumen son tan complejas que es difícil hacer un estudio específico sobre las propiedades y funciones de cada microorganismo en el rumen. El examen microscópico del contenido en el rumen ofrece información general, pero datos escasos sobre las actividades metabólicas específicas de cada microorganismo ruminal. Frente a éste problema se han utilizado suspensiones lavadas, rumen artificial, y se han aislado especies microbianas del rumen para estudiar sus propiedades bioquímicas. La combinación de éstas técnicas puede llevar a conclusiones sobre lo que acontece entre los distintos componentes dentro del sistema en el rumen. El examen microscópico del contenido en el rumen permite estudiar a los microorganismos en su ambiente natural. Sabemos que las características de la flora en el rumen queda determinada por la cantidad y especies de microorganismos presentes. Generalmente el rumen contiene una flora bacteriana constante, aún cuando en la proporción relativa de diversas bacterias exista una variación considerable.

Entre las bacterias que se encuentran en el rumen, el *Streptococcus bovis* del grupo D (Lacefield) es la bacteria con mayor presencia en el rumen. Los *Lactobacilos* existen también en rumen, sobretodo cuando la cantidad de *Streptococcus* es menor.

Los *Lactobacilos* predominan en dietas ricas en heno y alimentos concentrados e inciden en los hidratos de carbono para proporcionar ácido láctico, y en ciertos casos ácido acético.

**Las Bacterias celulolíticas** son muy importantes en el rumen porque digieren la celulosa que es fundamental en la alimentación de los rumiantes. Entre las *Bacterias celulolíticas* se encuentran las siguientes: el bacilo gram-negativo *Bacteroides succinogenes*; el coco gram-negativo amarillo *Ruminococcus flavefaciens* y el coco gram-negativo incoloro *Ruminobacter parvum*.

**El Bacteroides succinogenes** fermenta la celulosa, glucosa y celobiosa, y proporciona ácidos acético, succínico y propiónico. El *Ruminobacter parvum* fermenta la celulosa y proporciona ácidos acético y propiónico. El *Ruminococcus flavefaciens* fermenta la celulosa y la celobiosa sin incidir en el almidón ó los azúcares, y proporciona ácidos fórmico, succínico y acético.

Los ácidos fórmico y succínico son posteriormente atacados por otros tipos de bacterias para proporcionar hidrógeno, bióxido de carbono ó metano, a partir del ácido fórmico, así como ácido propiónico y bióxido de carbono, a partir del ácido succínico. Las *Bacterias celulolíticas* producen ácidos grasos volátiles a partir de la celulosa.

**Las Selenomonas ruminantium** son organismos afines a los protozoarios, fermentan la glucosa y el glicerol formando gases, así como ácidos acético, propiónico y láctico. Estos organismos tienen un papel fundamental en rumiantes cuyas dietas son ricas en carbohidratos solubles.

Mediante la bacteria *Veillonella gazogenes* que se encuentra en el rumen se demostró que el ácido propiónico se produce a partir del lactato por fermentación que comprende la fijación de bióxido de carbono y la descarboxilación del ácido succínico para llegar al ácido propiónico (Johns). Otro organismo en el rumen que incide en el lactato es el coco LC gram-negativo que produce todos los ácidos grasos volátiles (Elsden). Algunas bacterias degradan componentes tóxicos en la ración alimenticia de los rumiantes, como los aminoácidos Mimosina y sus derivados que forman parte del forraje de Leucaena, así mismo fenoles vegetales como la Cumarina, y la Canavanina que es análoga a la Arginina, componente de la leguminosa Canavalia ensiformis, la cual inhibe algunas bacterias del rumen, pero es hidrolizada por otras.

Las bacterias del rumen son predominantemente anaerobias y coexisten con bacterias aerobias adheridas a las paredes del rumen que utilizan el oxígeno proveniente del torrente circulatorio, y son muy importantes en la fermentación de celulosa. Gran parte de las bacterias en el rumen son altamente especializadas y tienen requerimientos nutricionales específicos deben ser aportados por el sistema ruminal. Otras requieren menor energía, ó son inconstantes en sus requerimientos de energía. Las bacterias del rumen se caracterizan por su morfología, los productos como resultado de la fermentación, el medio que utilizan para realizar sus funciones, la relación molar (G+C) % de su DNA y su movilidad.

## **Celulosa y Glucosa**

La degradación de la celulosa es la principal función del rumen. Las bacterias activas en el rumen se adhieren a fragmentos vegetales y segregan sus enzimas hidrolíticas que liberan oligosacaridos solubles, principalmente celobiosa utilizada en la microflora celulolítica y en microorganismos que no degradan la celulosa. Si la celulosa no se hidroliza puede inhibirse el desarrollo de otro tipo de bacterias por no estar presente el sustrato que requieren.

La glucosa, otro producto de la celulolisis, puede inhibir la actividad de algunas enzimas. Muchas de las especies de bacterias celulolíticas pueden también degradar la hemicelulosa. Las bacterias celulolíticas colonizan la superficie de restos vegetales en la entrada al rumen. Ante la presencia de amonio éstas bacterias se multiplican rápidamente. De éste modo el agregar urea a la ración alimenticia puede favorecer el desarrollo y multiplicación de las bacterias celulolíticas. La mayor parte de las bacterias amilolíticas no utilizan la celulosa. Las enzimas amilolíticas se encuentran extensamente distribuidas entre las bacterias y son las que aseguran la transformación de materiales amiláceos como los granos de cereales, en ácidos grasos volátiles. Con la presencia de amonio el proceso se hace más eficiente.

## **Hongos**

Los hongos forman parte del rumen en cantidad que llega hasta el 8% de la biomasa ruminal y se establecen en la masa alimenticia de lento movimiento para evitar su lavado. Los hongos pueden contribuir en la digestión de forrajes de baja calidad. Los flagelados poseen zoosporas móviles y colonizan regiones dañadas en los tejidos vegetales. Su rol principal es facilitar la desaparición de la pared celular de la célula vegetal. Se han identificado especies de 4 géneros: *Neocallimastix*, *Caecomyces* (*Sphaeromona*), *Pyromyces* (*Phyromonas*) y *Orpinomyces*. Los hongos liberan un complejo celulósico más soluble que el de las bacterias, y atacan partículas rugosas a las que fermentan más rápidamente que las bacterias. Los hongos producen ácidos grasos volátiles, gases y trazas de etanol y lactato.

## **Metabolismo de los Carbohidratos**

Los ácidos volátiles en el rumen provienen principalmente de la fermentación de los carbohidratos que se encuentran en los alimentos suministrados a los rumiantes. Los ácidos grasos volátiles constituyen la mayor fuente de energía para los rumiantes, ya que sólo una pequeña parte de los carbohidratos digeridos escapa a la degradación en el rumen. La concentración de ácidos grasos volátiles, así como la cantidad de cada uno de ellos en el rumen, depende del tipo de dieta proporcionada a los rumiantes. Es decir, la producción de ácidos grasos volátiles está en función de la composición en la ración, pero también en relación con el régimen alimentario.

Generalmente el ácido acético predomina, pero se encuentran siempre cantidades considerables de ácidos propiónico y butírico en el rumen. Las raciones ricas en almidón ó sacarosa propician la formación de ácido propiónico.

El ácido propiónico es producido mediante la fermentación de celulosa, glucosa y ácido láctico. Regularmente, los alimentos con alta tendencia a la fermentación, producen menos ácido acético. Sabemos que los carbohidratos son la principal fuente de energía. Los carbohidratos se clasifican de acuerdo a sus distintas estructuras como sigue:

**Monosacáridos:** *Pentosas:* ribosa, arabinosa, xilosa. *Hexosas:* glucosa, manosa, galactosa, fructosa.

**Disacáridos:** Sacarosa, lactosa, maltosa.

**Trisacáridos:** rafinosa.

**Polisacáridos:** Hexosanas, almidón, glucógeno, celulosa, inulina, pentosanas.

**Heteropolisacáridos:** hemicelulosa, pectina, lignina.

También sabemos que la fuente de energía para los microorganismos se encuentra en la fermentación que produce ácidos grasos volátiles, los cuales son aprovechados por el rumiante.

**Los Azúcares** pueden provenir de los alimentos directamente ó de la hidrólisis de polisacáridos, y normalmente son degradados rápidamente por los microorganismos, favoreciendo la producción de ácido butírico. Raciones alimenticias ricas en azúcares pueden determinar presencia de ácido láctico en rumen. Los pastos verdes y la remolacha son fuentes importantes de azúcares.

**El Almidón** se encuentra en los granos y alimentos concentrados. El exceso de almidón lleva a una disminución del PH, lo cual modifica aspectos en la población de microorganismos en el rumen que se adaptan a una fermentación amilolítica. En estas condiciones aumenta la proporción de ácido propiónico.

**La Pectina** es otro polisacárido importante que es rápidamente degradado, con importante producción de ácido acético. Parte de los polisacáridos solubles luego de su hidrólisis pueden quedar como sustancias de reserva de los protozoarios.

Entre las bacterias importantes en estos compuestos se encuentran, el *Streptococcus Bovis* y el *Ruminobacter amylophilus*.

### **Carbohidratos Sin Fibra**

Carbohidratos que no contienen fibra, como los almidones y los azúcares, fermentan en el rumen de manera rápida y completamente. Este tipo de carbohidratos incrementan la densidad de energía en la ración alimenticia y determinan la cantidad de proteína bacteriana en el rumen.

La desventaja en estos carbohidratos sin fibra reside en que no estimulan la rumia en los animales, ni la producción de saliva, y cuando se proporcionan en grandes cantidades inhiben la fermentación de la fibra en el rumen.

Por ésta sencilla razón es fundamental el equilibrio entre carbohidratos fibrosos y no-fibrosos en las dietas para rumiantes.

### **Acidos Grasos Volátiles**

Los microorganismos ruminales fermentan los carbohidratos para producir energía, gases (metano y bióxido de carbono), calor y ácidos. Ácidos como el acético (vinagre), propiónico y butírico son ácidos grasos volátiles que conforman la mayor parte (más del 95%) de los ácidos producidos en el rumen. Por otra parte, la fermentación de los aminoácidos en el rumen produce también ácidos que, conjuntamente con la energía son utilizados por las bacterias para desarrollarse y sintetizar proteína. Los gases metano y bióxido de carbono son desechados por el animal, y la energía contenida en el metano se pierde. Sin embargo, el metano antes de ser desechado, es utilizado por animal para mantener su temperatura corporal.

Los ácidos grasos volátiles son producto de la fermentación microbiana en el rumen, y éstos son absorbidos a través de la pared del ruminal. La mayor parte del ácido acético y todo el ácido propiónico son transportados al hígado. Buena parte del ácido butírico en el rumen se transforma en cetona ( $\beta$ -hidroxibutirato).

Las cetonas son fuente principal de energía para el organismo de los rumiantes. Durante las etapas iniciales de lactancia en bovinos recién nacidos, las cetonas provienen también de la movilización de tejidos adiposos.

### **Glucosa en el Hígado**

En el hígado todo el propionato (ácido propiónico) se convierte en glucosa. Por otra parte, el hígado utiliza los aminoácidos para sintetizar la glucosa. Este proceso es importante, ya que normalmente no existe glucosa mediante absorción en el tracto digestivo, por lo que los azúcares, sobretodo en la producción de leche de vaca deben ser producidos en el hígado. Sin embargo cuando la vaca está siendo alimentada con buena cantidad de alimento concentrado rico en almidón (p.e. maíz molido), entonces la aportación de glucosa a través del hígado disminuye. Esto es debido a que el almidón escapa a la fermentación ruminal y alcanza directamente el intestino delgado.

El ácido láctico puede ser una fuente alternativa de glucosa para el hígado, y se encuentra en ensilajes bien conservados. La producción de ácido láctico en el rumen se lleva a cabo mediante el almidón en la ración alimenticia. Cuando existe un exceso de almidón en la ración alimenticia de la vaca, el ambiente en el rumen se torna ácido, la fermentación en la fibra disminuye, y en algunos casos los excedentes de almidón en la dieta propician que la vaca deje de comer ó que exista un desplazamiento del abomaso.

### **Lactosa y Grasa**

Durante la lactancia en la vaca, la ubre mantiene altos requerimientos de glucosa para formar lactosa (azúcar de la leche). La cantidad de lactosa sintetizada en la ubre está estrechamente relacionada a la cantidad de leche producida. En éste sentido es conveniente destacar que las concentraciones de lactosa en la leche son relativamente constantes.

La producción de leche de vaca queda siempre bajo la influencia de la glucosa derivada del propionato (ácido propiónico) producido en el rumen. La glucosa se convierte también en glicerol para la sintetizar la grasa que se encuentra en la leche. El acetato (ácido acético) y la cetonas ( $\beta$ -hidroxibutirato) son utilizados en la formación de los ácidos grasos que constituyen la grasa en la leche. La ubre sintetiza los ácidos grasos de cadena corta, y casi el 50% de la grasa en la leche es sintetizada en la ubre. La otra parte de la grasa en la leche, rica en ácidos grasos insaturados que contienen entre 16 y 22 átomos de carbón (ácidos grasos de cadena larga) se origina a partir de grasas en la ración alimenticia de la vaca. La energía que se requiere para la síntesis de la grasa y la lactosa proviene de la combustión de cetonas ( $\beta$ -hidroxibutirato). Sin embargo, el acetato (ácido acético) y la glucosa se utilizan también como fuentes de energía.

### **Dieta y Fermentación Ruminal**

Los carbohidratos en la ración alimenticia influyen notablemente en la cantidad y la relación entre ácidos grasos volátiles que se producen en el rumen. Sabemos que los microorganismos ruminales transforman los carbohidratos fermentados en ácido acético (65% aprox.), ácido propiónico (20% aprox.) y ácido butírico (15% aprox.). Esto sucede cuando la dieta contiene buena cantidad de forraje, que propicia la producción de acetato (ácido acético), el cual influye en la síntesis de la grasa en la leche. Una cantidad deficiente de propionato (ácido propiónico) producido en el rumen puede limitar la producción de leche, debido a que la aportación de glucosa quedaría limitada por la escasez de propionato.

En éste sentido, los alimentos concentrados (carbohidratos con escasa fibra) propician la producción de ácido propiónico, mientras que los forrajes (carbohidratos fibrosos) estimulan la producción de ácido acético en el rumen. Mediante alimentos concentrados que tienden a fermentarse de manera rápida y eficiente, es posible producir más energía a través de los ácidos grasos volátiles. De éste modo se incrementa la producción de propionato (ácido propiónico) y de ácidos grasos en lugar de acetato (ácido acético), lo cual puede ser deseable.

Cuando se suministran grandes cantidades de alimento concentrado y forraje molido, la cantidad de ácido acético queda por debajo del 40% mientras que la cantidad de propionato puede aumentar a más del 40%. De éste modo, la producción de leche puede aumentar, debido a que la glucosa proviene del propionato que bajo éstas circunstancias se incrementa.

### **Aparato Digestivo**

Sin embargo, en éstas condiciones, la cantidad de ácido acético necesaria para la síntesis de la grasa en la leche podría ser insuficiente. Generalmente, la escasez de ácido acético está relacionado a la disminución del porcentaje de grasa en la leche. Por otra parte, el exceso de propionato (alimentos concentrados) con relación al acetato puede ser causa suficiente para que la vaca comience a transformar la energía disponible en tejido adiposo (grasa), y de ésta forma aumentaría su peso corporal en lugar de la producción de leche.

Es decir, el exceso de concentrados en la dieta es inadecuado y puede afectar salud de la vaca (hígado graso, cetosis, y distocia , etc.). Cabe mencionar que la proporción entre forrajes y alimentos concentrados debe estar siempre bien equilibrada en la ración alimenticia de los rumiantes, para estar en posibilidad de mantener el sistema ruminal en buenas condiciones para la producción.

### **Microorganismos**

**Los Protozoarios** son un grupo de organismos unicelulares parecidos a las bacterias, pero 1000 veces más grandes. Los protistas surgieron después de las bacterias, hace casi 1 800 millones de años. Están compuestos por una célula eucarionte, más grande y compleja que la célula de las bacterias y con un núcleo bien definido. Entre ellos podemos encontrar a las algas, amibas y a los paramecios.

**Las Bacterias** son más grandes que los virus. Fueron los primeros organismos que habitaron nuestro planeta, hace casi 3.5 millones de años. Cada bacteria es una sola célula procarionte, es decir, la célula más sencilla que carece de núcleo y estructuras especializadas como las mitocondrias. Las bacterias producen su alimento, ya sea por procesos químicos o alimentándose de sus huéspedes o materia muerta. La mayoría de las bacterias son de vida libre, aunque algunas pueden invadir tejidos y enfermar, o vivir en simbiosis, es decir, de manera asociada con otro organismo de distinta especie, recibiendo mutuo beneficio. La mayoría de las bacterias son de vida libre, aunque algunas pueden invadir tejidos y enfermar, o vivir en simbiosis, es decir, de manera asociada con otro organismo de distinta especie, recibiendo mutuo beneficio.

**Los Hongos** microscópicos tienen en general más de una célula. Se alimentan de la materia orgánica del medio y no tienen manera de desplazarse. Por ello no pueden clasificarse entre las plantas que producen sus propios alimentos, ni entre los animales que pueden moverse. Algunos hongos microscópicos son la levadura, el moho negro del pan y el causante del pie de atleta.

**Los Virus** son grupo aparte, debido a que muchos investigadores consideran que no son seres vivos. Son los microorganismos más pequeños y simples, formados de material genético envuelto en una cápsula de proteína. Nadie sabe por cuánto tiempo han existido en la Tierra o cómo evolucionaron. Se reproducen inyectando sus genes a una célula huésped, para producir cientos de nuevos virus. Son patógenos para diferentes especies vivientes, desde bacterias (bacteriófagos), hasta plantas y animales, incluidos los seres humanos. Muchos de ellos pueden mantenerse sin alteraciones en diversos ambientes, como aire, agua y suelo. Para observarlos se requiere un microscopio electrónico.

### **Acidos Grasos y Aminoácidos**

Los animales monogástricos y los seres humanos reciben la mayor parte de la energía para sus organismos en forma de carbohidratos, los cuales se absorben en forma de glucosa en el intestino delgado. En los rumiantes, la mayor parte de los carbohidratos es transformada en ácidos grasos en el rumen, para aportar energía. El rumen provee un ambiente adecuado para el desarrollo y reproducción de microorganismos.

La ausencia de oxígeno en el rumen favorece el desarrollo de bacterias anaeróbicas que digieren las paredes de las células en las plantas (celulosa) para producir azúcares sencillos como la glucosa. Los microorganismos en el rumen fermentan la glucosa para absorber energía y producir ácidos grasos volátiles como productos finales de la fermentación. Los ácidos grasos volátiles son fuente de energía para los rumiantes. Los microorganismos del rumen producen también los aminoácidos fundamentales para la construcción de proteínas. Las bacterias pueden utilizar el nitrógeno en el amoníaco ó la urea para producir aminoácidos.

Las proteínas bacterianas producidas en el rumen son digeridas en el intestino delgado y constituyen fuente principal de aminoácidos para el animal, constituyen alrededor del 50% de la biomasa en el r1.16 umen y son responsables de la actividad metabólica.

### **PH en el Rumen**

Es necesario mencionar sobre la gran importancia que tiene el PH (acidez) en el rumen, debido a que incide en casi todos los procesos dentro del complejo sistema ruminal. Los valores de PH en el rumen, fluctúan por influencia de distintos factores, como por ejemplo el tipo de alimento y tiempo de ingestión. Los valores normales de PH se encuentran entre 5.4 y 6.9. En éste sentido hay que tener en cuenta lo siguiente:

#### **La influencia de los ácidos grasos volátiles en el aumento de la acidez**

- En los procesos fermentativos se producen los ácidos grasos volátiles.
- La mayor acidez se presenta luego de aproximadamente 3 horas de la ingestión de alimentos, y generalmente aumenta cuando los procesos de fermentación son más intensos.

#### **La cantidad de saliva secretada en la masticación y en la rumia.**

- La saliva tiene un PH entre 8.1 y 8.3, lo cual neutraliza ácidos grasos, debido a las sales que contiene (bicarbonatos, fosfatos de sodio y potasio).
- generalmente, la cantidad de saliva secretada fluctúa entre 50 y 100 litros por día, y en ocasiones el animal secreta más de 100 litros.



### **La velocidad de absorción de ácidos grasos volátiles.**

- La velocidad de absorción amortigua la acidez que producen los ácidos grasos volátiles.
- A menor grado de disociación mayor velocidad.
- Cuando el PH baja, se reduce el grado de disociación y aumenta la velocidad de absorción. Con ésto se logra en ocasiones cierta estabilización del PH.

La gran importancia del proceso de rumia se debe a la gran cantidad de saliva producida durante éste proceso, la cual incide en la masa alimenticia. Durante este proceso la aportación de saliva es tres veces mayor que durante la masticación. Hay que tener en cuenta que el tiempo de rumia dependerá del tipo de alimento y de su composición física y química.

### **Celulosa y Hemicelulosa**

La celulosa contiene beta poli-glucósidos con alto grado de polimeración que se encuentran en dietas ricas en fibra. La flora que degrada la celulosa se encuentra adherida a las fibras vegetales, y el desarrollo de ésta flora se relaciona a niveles PH por encima del necesario para la degradación (amilolítica) del almidón. El complejo enzimático que digiere la celulosa no se encuentra en la fase líquida del rumen. Gran cantidad de fibra en la ración alimenticia favorece la producción de ácido acético. Los procesos para degradación de la hemicelulosa son similares a los de la celulosa. Las bacterias que regularmente se encuentran en la celulosa y en la hemicelulosa son: *Fibrobacter succingenes*, *Ruminococcus albus*, *R. flavefaciens*, entre otras. En la celulosa, pero también en el almidón encontramos *Clostridium polysaccharolyticum*.

### **Lignina**

La degradación de este compuesto fibroso es realizada por bacterias aerobias, por lo que el bajo contenido de oxígeno en el rumen hace que su degradación sea casi nula. Recordemos que los procesos de desdoblamiento e hidrólisis en las distintas sustancias alimenticias son posibles debido a las enzimas que poseen las distintas bacterias. Algunas bacterias tienen mayor cantidad de enzimas que otras, y las sustancias que producen unas bacterias pueden servir como sustrato (sustento) para otras. De éste modo se crean interrelaciones entre las bacterias y se reducen casi completamente los sustratos.

### **Metabolismo de las Proteínas**

La proteína en el rumiante (metabolismo del nitrógeno) se asimila en el intestino delgado. Sin embargo los procesos en el rumen juegan un papel muy importante en relación al abastecimiento de proteína para el animal, debido a que los microorganismos se encargan de la proteína proveniente de la ración, y de la síntesis de proteínas. Una parte de las proteínas en el alimento pueden llegar directamente al intestino (proteína de sobrepaso), pero el resto es generalmente degradada por los microorganismos que la transforman en amoníaco y ácidos grasos principalmente.

El amoníaco sirve para la síntesis de proteína bacteriana. Es decir, las bacterias son finalmente arrastradas al intestino donde son degradadas. La proteína bruta en las bacterias puede oscilar entre 39% y 64%, con valor biológico alrededor de 69% y digestibilidad 69%. La digestibilidad se refiere a las proteínas que no excretadas por el animal, y el valor biológico indica la eficiencia de las sustancias nitrogenadas ingeridas para reparación y construcción de tejidos.

El amoníaco no utilizado por las bacterias es absorbido por las paredes del rumen y pasa al torrente sanguíneo para ser eliminado a través de orina, ó puede ser reutilizado cuando regresa en forma de urea a la saliva para introducirse nuevamente al rumen.

La cantidad de amoníaco depende de la naturaleza de las proteínas dietéticas y de la cantidad de hidratos de carbono en le ración. La alimentación de los rumiantes es fundamentalmente vegetal, y la mayor parte del nitrógeno se encuentra en forma de proteínas localizadas en los cloroplastos de los vegetales. A medida que los vegetales envejecen, aumenta el contenido fibroso y disminuye el nitrógeno total y el nitrógeno no proteico.

### **Fotosíntesis y Cloroplastos**

Fotosíntesis es la conversión de energía luminosa en energía química (ATP), que puede utilizarse para la síntesis de materia orgánica. La fotosíntesis es posible gracias a la existencia de moléculas llamadas pigmentos fotosintéticos, capaces de captar la energía luminosa. En otras palabras: es un proceso en el cual la planta utiliza luz solar para fabricar sustancias que contienen energía química. Estas sustancias sirven de alimento al vegetal y a otros seres vivos ( humanos y animales).

#### **Para realizar la fotosíntesis la planta requiere los siguientes elementos:**

**Luz Solar** que la planta capta mediante sus hojas. En las hojas de la planta y en los tallos tiernos se encuentra el pigmento verde llamado clorofila, dentro de estructuras denominadas cloroplastos.

**Las Células Vegetales** son las únicas que poseen cloroplastos.

**Anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>)** es el gas presente en la atmósfera que el vegetal puede incorporar al interior de sus células mediante poros llamados estomas.

**Agua** que el vegetal obtiene desde el suelo a través de sus raíces. El agua, al pasar a la raíz, asciende hasta las hojas por conductos llamados vasos conductores. En el proceso de fotosíntesis se distinguen dos etapas:

**Fase Luminosa:** requiere de la presencia de luz. En ésta fase intervienen los pigmentos fotosintetizadores. La energía luminosa propicia dos importantes consecuencias: a) Al ser absorbida por la clorofila se transfiere y almacena en compuestos ricos en energía como el ATP (*adenosín trifosfato*). b) Ocasiona la ruptura de una molécula de agua generando hidrógeno y oxígeno, éste último se libera a la atmósfera.

**Fase Oscura:** se produce sin intervención de la radiación luminosa y es en ella donde se generan los carbohidratos a partir del dióxido de carbono.

La Fotosíntesis es el proceso mediante el cual la energía de la luz solar queda atrapada en los enlaces químicos (CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono, cadenas de polímeros, carbohidratos).

La vida en el planeta tierra depende primordialmente de la energía solar atrapada a través del proceso de fotosíntesis. La fotosíntesis produce toda la materia orgánica, así como los alimentos para la supervivencia de seres humanos y animales. Así mismo, la fotosíntesis es responsable de la existencia de combustibles fósiles como petróleo, gas, y carbón, de los cuales se obtienen otros productos.

Si las plantas, algas y bacterias por alguna razón desaparecieran del planeta tierra, entonces sencillamente moriríamos todos los seres vivos, porque no habría oxígeno para respirar. Durante el proceso en la fotosíntesis, las plantas liberan oxígeno como producto de deshecho. Ese oxígeno es el que respiramos todos los seres vivos para poder vivir. La fotosíntesis ha sido estudiada intensamente y con bastante éxito a través de la espectroscopia, la cristalografía y la genética molecular para conocer la participación de las moléculas que están implicadas en el proceso. Los cloroplastos juegan papel fundamental en la fotosíntesis.

**Los Cloroplastos** son estructuras subcelulares de algas eucarióticas y de tejido vegetal capaces de procesar luz solar en las plantas mediante pigmentos que captan luz y otros compuestos esenciales en el proceso de fotosíntesis. En el esquema siguiente se aprecia en el cloroplasto una solución *estromática* y una estructura laminar inmersa en ella.

La estructura laminar (*tilacoides*) está constituida por bolsas de membranas que guardan los pigmentos fotosintéticos y demás componentes de la cadena de transporte electrónico. La composición de los tilacoides consiste en alrededor de 50 % proteínas (la mayoría estructurales); 50 % lípidos, de los cuales 20 % son pigmentos y de éstos 80 % corresponde a clorofila. Es decir, cada 100 mg de materia contiene 50 mg de proteínas y 50 mg de lípidos donde 40 mg corresponde a la clorofila. El proceso de la fotosíntesis en una de sus etapas (luminosa) depende de la energía solar atrapada en los *tilacoides* del cloroplasto para formar ATP y reducir moléculas portadoras de electrones; y otra etapa (oscura), que ocurre en el estroma del cloroplasto, donde los productos químicos anteriores se emplean para reducir el carbono del CO<sub>2</sub> a un simple azúcar.

La energía luminosa es captada por el cloroplasto mediante sistemas de pigmentos (clorofila, carotenos y xantofilas) que asociados con proteínas configuran los complejos que captan luz. Las reacciones que propician la fotosíntesis se desarrollan en foto-sistemas ó fases 1 y 2, cuyos componentes foto-activos son la clorofila. El proceso de la fotosíntesis inicia cuando un fotón (partícula de luz) bombardea un par de moléculas de clorofila en el foto-sistema ó fase 2. Al mismo tiempo el foto-sistema 1 absorbe otro fotón, el par está ubicado en el extremo del centro de reacción más cercano a la superficie interna de la membrana. El par de moléculas de clorofila absorbe la energía del fotón por lo que el electrón se aleja de su posición de equilibrio y es "atrapado" por una molécula de *feofitina* (molécula de composición y estructura similar a la clorofila).

En esta etapa del proceso, la cual es rapidísima (unas cuatro billonésimas de segundo) cada electrón pasa cerca de otra molécula de clorofila (denominada viajera) aunque no parece enlazarse con ella. De éste modo se genera carga positiva. En éste lapso, una molécula llamada componente Z cede un electrón para quedar con carga positiva. Tras acumular cuatro cargas positivas, debido a cuatro foto-actos sucesivos se recupera la situación basal mediante cuatro electrones que provienen de la ruptura de dos moléculas de agua con desprendimiento simultáneo de oxígeno. Posteriormente cada electrón se desplaza desde la *feofitina* hasta una molécula de *quinona* que transfiere el electrón a otra *quinona*, la cual lo cede a una *plastoquinona*, todo ésto sucede en la membrana laminar (*tilacoides*).

## La Célula Vegetal

Todos los organismos vivos están compuestos por células. El Británico, Robert Hooke en 1665, realizó cortes finos de una muestra de corcho y observó usando un microscopio rudimentario unos pequeños compartimentos, que no eran más que las paredes celulares de esas células muertas y las llamó células (del latín *cellula*, que significa habitación pequeña) ; ya que éste tejido le recordaba las celdas pequeñas que habitaban los monjes de aquella época.

No fue sino hasta el siglo XIX, que dos científicos alemanes el botánico Matthias Jakob Schleiden y el zoólogo Theodor Schwann, enunciaron en 1839 la primera teoría celular : " Todas las plantas y animales están compuestos por grupos de células y éstas son la unidad básica de todos los organismos vivos".

**Las Enzimas** son biocatalizadores de naturaleza proteica. Todas las reacciones químicas del metabolismo celular se realizan gracias a la acción de catalizadores o enzimas. La sustancia sobre la que actúa una enzima se denomina sustrato. Pasteur descubrió que la fermentación del azúcar mediante levaduras, con su conversión en alcohol etílico y anhídrido carbónico es catalizada por fermentos o enzimas.

**El Concepto Energía Libre**, fue propuesto independientemente por Gibbs y Helmholtz.. Si conocemos los cambios en energía libre a temperatura y presión constante, podemos predecir si una reacción es espontánea o no.

La energía libre es la energía útil, mientras que la entropía es la energía degradada. El ATP puede actuar como transportador de energía química, en cientos de reacciones celulares, por lo que se le considera como un compuesto rico en energía; ya que muestra una gran disminución de energía química cuando participa en reacciones hidrolíticas.

**La Respiración Aeróbica** es un proceso transductor de energía en la cual la molécula de glucosa se oxida en presencia de oxígeno liberando anhídrido carbónico, agua y energía en forma de ATP; mientras que la glucólisis o respiración anaeróbica es la degradación de la glucosa en ausencia de oxígeno molecular formándose alcohol etílico y anhídrido carbónico, o en algunos casos ácido láctico y ATP.

**Las Vacuolas** son vesículas muy grandes rodeadas de membranas que pueden llegar a ocupar el 90% del volumen celular. Realizan funciones de almacenamiento. Además ayudan a mantener la forma celular.

**La Pared Celular** o vegetal está situada hacia fuera de la membrana plasmática y es rígida, formada fundamentalmente por celulosa. Protege a las células y mantiene su forma.

**Los Cloroplastos** son orgánulos formados por una doble membrana, que deja en su interior un contenido llamado estroma y una serie de laminillas, llamadas tilacoides, que se apilan en la grana. Estas laminillas poseen clorofila, pigmento indispensable para realizar la fotosíntesis.

**La Transpiración** es la pérdida de agua en forma de vapor a través de los estomas, cutícula, y peridermis de las plantas. Casi toda el agua que se pierde por la hoja lo hace a través de los poros del aparato estomático, que son más abundantes en el envés de la hoja.

Las hojas pierden agua irremediablemente a través de los poros estomáticos, como consecuencia de la actividad fotosintética de las células del mesófilo. Se podría decir que la transpiración es un mal necesario, ya que si los estomas no se abren no penetra el CO<sub>2</sub> requerido para la fotosíntesis por las células del parénquima clorofílico.

## 1.8 Parto en Bovinos

El Parto Natural puede dividirse en tres etapas:

- 1) Etapa preliminar.
- 2) Etapa de Expulsión.
- 3) Etapa Final.

En la *Etapa Preliminar* del parto, el animal presenta signos de inquietud, mueve la cola constantemente, y de vez en cuando trata de patear su vientre. Las vaquillas (novillas) son más sensibles a las contracciones iniciales del parto. Las vacas adultas casi no presentan signos durante la etapa preliminar. Esta primera etapa se caracteriza por la dilatación del cervix, y marca el comienzo del parto cuando el cuello uterino alcanza entre 8 y 15 centímetros de diámetro. Las contracciones uterinas desplazan a la cría, conjuntamente con las membranas fetales hacia cervix. La membrana corioalantoidea, comúnmente llamada "bolsa de las aguas", penetra y dilata el cuello uterino. En éste momento se nota mayor inquietud en el animal, arqueamiento del lomo y cola extendida. Finalmente el dolor de las contracciones obligan al animal a recostarse. la etapa preliminar suele durar 2 a 3 horas en vacas y 4 a 6 horas en novillas primerizas.

Es muy importante estar alerta y no actuar prematuramente en el parto tratando de ayudar al animal en ésta etapa preliminar. Durante la *Etapa de Expulsión*, el carácter de la parturienta cambia de manera notable. En su intenso esfuerzo para expulsar a la cría aparece abstraída, ignorando todo lo que le rodea. En ésta etapa la cría por nacer es forzada y expulsada a través del canal del parto. hay que tomar en cuenta que ésta etapa dura de 2 a 4 horas en vacas con varios partos, y entre 3 y 6 horas en novillas primerizas. Además hay que considerar que si el la cría viene muy grande, entonces ésta etapa puede prolongarse por más de 6 horas. Al inicio de la segunda etapa, el cuello cervical está abierto 3/4 partes, y puede aparecer una porción de la "bolsa de las aguas" en la parte exterior de la vagina. Recuerde que la "bolsa de las aguas" y las manos de la cría por nacer sirven como cuña para abrir el cuello uterino. Nunca rompa usted la "bolsa de las aguas", porque estaría reteniendo el proceso de parto. En ésta misma etapa de expulsión, después de más de una docena de intensas contracciones, generalmente la cría por nacer gira 1/4 de círculo en dirección contraria a las manecillas del reloj. En éste momento la cabeza de la cría por nacer comienza a ejercer presión constante sobre la parte superior del cuello uterino.

Esta presión constante propicia el relajamiento de los músculos en cuello uterino, lo cual permite que el cuello uterino se abra en toda su magnitud. La "bolsa de las aguas" es de color azul claro y tiene gran cantidad de venas pequeñas, suele reventarse dentro de la vagina, cuando la vaca está de pié y pujando, ó bien cuando el animal está echado y la presión abdominal interna aumenta. Después del rompimiento de "la bolsa de las aguas", puede presentarse debilitamiento temporal en la vaca ó cese de esfuerzos abdominales que vuelven a comenzar al acercarse a la vulva de la vagina una segunda bolsa llamada Amnios ó segundo sacro que es blanquecino y sin venas.

Esta bolsa blanquecina que suele venir junto con los miembros anteriores de la cría por nacer, contiene elementos lubricantes para un mejor desplazamiento de la cría por nacer a través del canal obstétrico. Después de la ruptura de la bolsa blanquecina, se establece rápidamente un período muy enérgico de esfuerzo abdominal en la vaca.

Al principio ocurren 3 contracciones abdominales llegando hasta 5 ó 7 en cada período, y pueden llegar hasta 13. Estos esfuerzos pueden ser constantes durante los últimos minutos del parto. Casi todas éstas contracciones van acompañadas de rechinado de dientes, mugidos ó gruñidos. El mayor retraso ocurre cuando la cabeza de la cría por nacer llaga a la vulva de la vagina, sobretodo en novillas primerizas. Una vez que sale la cabeza, sigue rápidamente el resto del cuerpo, y a veces ya sin tanto esfuerzo para la vaca, sólo algunos esfuerzos adicionales para expulsar los hombros ó la cadera de la cría por nacer. Cuando la cría por nacer es expulsada de manera natural, el cordón umbilical se rompe a una altura de 10 a 20 centímetros de la pared abdominal, y cuando la cría por nacer es jalada por la fuerza, el cordón umbilical se rompe a nivel de la pared abdominal, lo cual predispone a hernias e infecciones del ombligo.

La intervención prematura en el parto es común en ganaderos y trabajadores nerviosos que no tienen conocimiento de las etapas en el parto. Es muy fácil dañar a las hembras y retener el proceso del parto cuando se interviene prematuramente. Se debe intervenir o llamar al médico veterinario cuando no aparece ninguna parte de la cría por nacer después de un período de intensas contracciones durante la etapa de expulsión. Es decir, alrededor de 1 a 2 horas en vacas, y 3 a 4 horas en novillas que se encuentren en la etapa de expulsión. Debemos actuar cuando la bolsa blanquecina Amnios se ha roto y el parto no sucede. No aplique más tracción que la de 2 ó 3 hombres, la cual equivale a 300 Kg. de fuerza de tracción aproximadamente. La mayor parte de los extractores de fetos proporcionan una fuerza de una tonelada de tracción. A veces es mejor 100 gramos de jabón que una tonelada de tracción. Es preferible usar sementales probados con mínima dificultad de sus hijas al parto. Es necesario proporcionar a las vacas lugar seco y cómodo durante el parto. No permita la presencia de otros animales cerca de las vacas en proceso de parto.

Post-Parto proporcione suficiente alimento de buena calidad y agua pura a libre acceso para una producción adecuada de calostro en la vaca y leche, así como para evitar retraso en el estro después del parto. Observe la ubre para detectar anomalías como inflamación. Ordeñe a la vaca en caso de severa hinchazón en la ubre. Conserve calostro congelado para cuando pudiera existir escasez. Observe a la vaca recién parida y a su cría al menos dos veces al día, en la mañana y en la tarde, durante algunos días, para brindar asistencia de emergencia en caso sea necesaria. Limpie y desinfecte el área de antes y después de los partos. Monitoree regularmente sobre la incidencia de enfermedades en la región para estar en posibilidad de tomar las medidas necesarias.

## 1.9 Etología Bovina

### Introducción

Comprender la conducta de los animales domésticos y su relación con el hombre puede contribuir de manera importante a incrementar los beneficios económicos en la producción animal y a facilitar el manejo del ganado.

### Etología

La etología del griego "ethos" (costumbre) y "logos" (ciencia)-, inicialmente estudiada principalmente por el austriaco Konrad Lorenz, premio Nóbel de Medicina en 1973, considera el comportamiento y los hábitos de los animales en condiciones de vida salvaje.

La etología es una sub-disciplina de la psico-biología que aborda el estudio de la conducta espontánea de los animales en su medio natural, considerando que la conducta es el conjunto de rasgos fenotípicos, lo cual indica que ésta sub-disciplina está influenciada por factores genéticos consecuencia de la selección natural. La etología estudia hasta que punto la conducta es un mecanismo de adaptación y trata de conocer su influencia sobre la reproducción.

Konrad Lorenz, considerado fundador de la etología, descubrió el "imprinting" (impresión) ó proceso de aprendizaje relativamente irreversible que ocurre después del nacimiento del ganado. El concepto básico del proceso de aprendizaje ("imprinting"), presenta al animal aprendiendo quien es su madre y a que especie pertenece. Los animales son sociables, interactúan, se comunican, desarrollan relaciones amistosas y apegos, unos son dominantes, otros subordinados, tienen necesidad de territorio, y son afectados por las "interrelaciones sociales.

Entender el comportamiento animal beneficia la producción ganadera (Ana Petryna. 2002. Producción Animal I, Capítulo XI. FAV UNRC ). En animales domésticos en lugar de etología se utiliza generalmente el término comportamiento ó conducta para conocer los hábitos. Es necesario conocer y aprovechar los hábitos del ganado para estar en posibilidad de manejarlo adecuadamente y evitar disminución en su productividad por causa del stress.

## **Manejo**

En su diario, el vaquero nortamericano Andy Adams escribió: "Muchachos, el secreto de arrear ganado es que la manada nunca se dé cuenta de que se le está obligando. Que todo lo que el ganado haga sea hecho voluntariamente" (Adams, 1903). Desafortunadamente, los métodos de manejo sosegado de principios del siglo XX fueron cayendo en el olvido, y los vaqueros más modernos se hicieron cada vez más rudos (Wyman, 1946; Hough, 1958; Burri, 1968). En la actualidad, los ganaderos progresistas saben que reducir el estrés en sus animales mejora la productividad y la seguridad.

Los bovinos, al igual que otras especies de herbívoros gregarios, son animales de presa. El miedo los mueve a estar permanentemente vigilantes para escapar de los predadores. En éste sentido, el miedo es un factor de estrés (Grandin, 1997) que eleva las hormonas asociadas con el estrés a niveles altos que propician situaciones adversas en la salud del ganado. Cuando el ganado se agita durante el manejo, ésto se debe al miedo. Los circuitos cerebrales en el ganado los cuales controlan el comportamiento originado por el miedo, fueron estudiados y ubicados por LeDoux y Rogan en 1996.

Los encargados en corrales de engorde donde se manejan miles de cabezas de ganado provenientes de entornos extensivos, han descubierto que el trabajo sosegado durante la vacunación contribuye a que los animales reingresen más rápidamente al régimen previo de alimentación (Grandin, 1998a y Voisinet 1997). Estos encargados han informado que el ganado nervioso que se agita demasiado durante la inmovilización en la manga de compresión tiene ganancias de peso menores a las del ganado que permanece en calma al ser sujetado. Originalmente, el ganado salvaje se encontraba libre en bosques y planicies, caminando extensamente en búsqueda de alimento, agua y lugares apropiados para descansar. El ganado pertenece al grupo de animales gregarios con alta actividad, lo cual significa que su alimentación, comportamiento social, acicalado, etc., tienen lugar durante el día, mientras que generalmente por las noches descansan.

## Modernidad

Los sistemas modernos de explotación impiden que los animales puedan seleccionar por sí mismos el ambiente que les resulta confortable. Por el contrario, los animales son forzados a permanecer en ambientes creados por el hombre, y sólo los animales que tienen mayor posibilidad de ejercitarse, están menos expuestos a padecer agobio ó stress. El comportamiento normal del ganado se presenta en condiciones naturales de libertad. Sin embargo, la mayor parte de los estudios acerca de la conducta del ganado se han centrado en los modernos sistemas intensivos de producción actual. La producción intensiva y los sistemas de alojamiento modernos se caracterizan por su alto grado de mecanización, y alta densidad de ganado por metro cuadrado.

En éstos sistemas intensivos de producción ganadera no siempre es factible satisfacer las necesidades básicas de todos los animales, y en ocasiones una parte del ganado no se adapta a éstos sistemas, lo cual ocasiona cambios en su comportamiento. El ganado nace con ciertos patrones conductuales fijos, como el instinto de mamar, pero la mayor parte de sus patrones conductuales se desarrollan a través del juego y la relación social con otros animales. Los animales domésticos son generalmente muy sociables y pueden modificar sus patrones de conducta bajo la influencia de factores ambientales y genéticos. La edad y el peso son factores clave en el orden social, pero también el sexo, la raza y la talla pueden tener influencia.

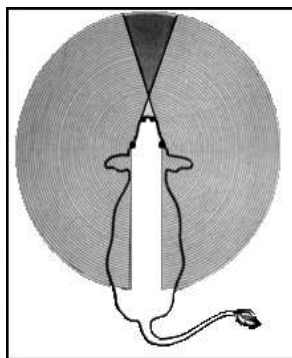
El grupo de animales puede vivir en armonía mientras cada uno acepte su lugar y reconozca a los de rango mayor. El rango jerárquico no es estático. Ante la respuesta agresiva en un grupo animal con orden social establecido, el animal subordinado tiende retirarse.

## Los Sentidos

Todos los sentidos en el ganado, se encuentran bien desarrollados, para la búsqueda de alimento, orientación y comunicación social.

### Visión

El rango de visión en el ganado cubre entre 330° y 360°, y el campo visual con ambos ojos al mismo tiempo es entre 25° y 30°. En ganado bovino puede distinguir los colores: rojo, amarillo, verde y azul, pero la distinción entre verde y azul es escasa.

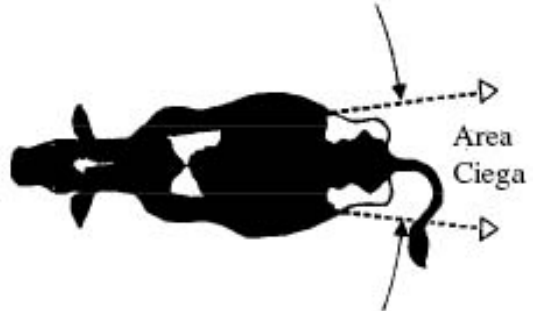


El ganado puede distinguir formas geométricas simples como triángulos, círculos y líneas, pero su habilidad para enfocar con la vista es escasa. Es frecuente que el ganado prefiera las áreas luminosas en lugar de las oscuras. Sin embargo, los animales son cuidadosos al entrar en áreas demasiado luminosas y evitan ambientes con contrastes fuertes entre sombras y luminosidad. Para evitar a los predadores, el ganado bovino tiene un campo visual amplio y panorámico, que abarca los 360° (Prince, 1977). Su sentido de la visión tiene más importancia que el de la audición (Uetake y Kudo, 1994). Los bovinos pueden distinguir colores (Thines y Soffie, 1977; Darbrowska 1981; Gilbert y Arave, 1986; Arave, 1996). Las investigaciones más recientes demuestran que los bovinos, los ovinos y los caprinos tienen visión dicromática, con conos de máxima sensibilidad a la luz amarillo-verdosa (552-555 nm) y azul-purpúrea (444-455 nm). Jacobs (1998) y Pick (1994) experimentaron con un caballo y demostraron que podía distinguir el rojo y el azul del gris, pero que no diferenciaba el verde del gris.



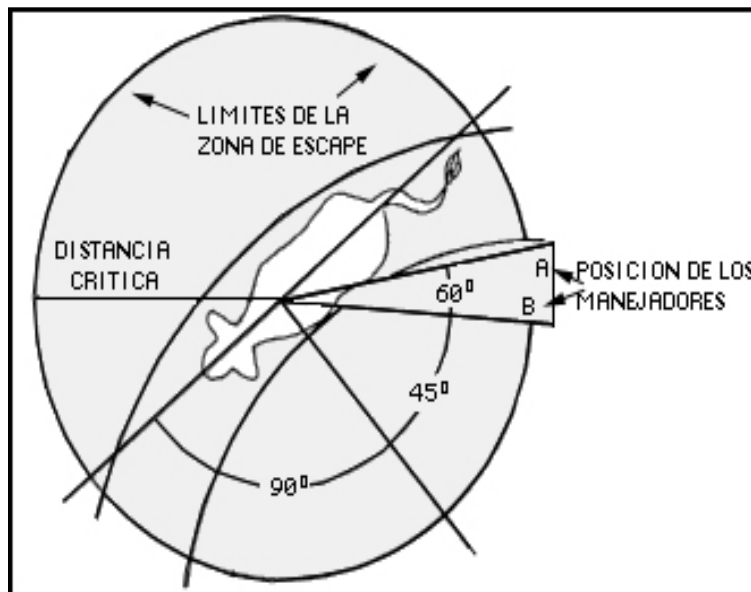
En otro estudio, Smith y Goldman (1999) encontraron que la mayoría de los caballos podía diferenciar el gris del rojo, del azul, del amarillo y del verde, pero no podía distinguir entre el amarillo y el verde. La visión dicromática puede servir para tener una mejor visión nocturna y para detectar movimientos (Miller y Murphy, 1995). La agudeza visual de los toros puede ser inferior a la del ganado más joven ó las ovejas (Rehkemper y Gorchach, 1998).

Los animales en pastoreo poseen un sistema óptico muy sensible al movimiento y a los contrastes de luz y sombra. Son capaces de visualizar permanentemente el horizonte mientras pastorean, pero pueden tener dificultades para enfocar rápidamente la vista en objetos cercanos, debido a que sus músculos oculares son débiles (Coulter y Schmidt, 1993). Esto explicaría por qué se sobresaltan cuando algo se mueve repentinamente en su entorno.



### Zona de Fuga

El concepto zona de fuga se aplicó originariamente a ungulados salvajes, según Hediger (1968), mediante manejo intensivo, cercano y experto de los animales salvajes para lograr que su zona de fuga desaparezca por completo, y que eventualmente los animales acepten ser tocados. Al eliminar la distancia entre animales y hombre resulta el amansamiento. El mismo principio se aplica al ganado domesticado y a los animales salvajes. El ganado en condiciones extensivas pueden tener una distancia (zona) de fuga de 30 metros, mientras que el ganado en corrales de engorde puede fugar a distancias entre 1.5 m y 7.5 m (Grandin, 1980a). El ganado que tiene contacto frecuente con personas tendrá distancias de fuga menores que aquél que rara vez mira personas.



Para que el animal se mueva hacia adelante, el vaquero debe ubicarse en la posición de los manejadores de la figura 3, entre los puntos A y B, y mantenerse fuera del punto ciego (figura 2) que está detrás del animal. Para hacer que el animal se adelante, el vaquero debe estar detrás del punto de balance del hombro del animal, y para hacer que retroceda, debe ubicarse adelante de dicho punto (Kilgour y Dalton, 1984).

El ganado que ha recibido buen trato, tendrá generalmente una zona de fuga menor que el que ha estado expuesto a un trato abusivo. El ganado lechero totalmente amansado llega a carecer de zona de fuga, y la gente lo puede tocar. Se puede determinar el límite de la zona de fuga caminando lentamente hacia un grupo de animales. Cuando los animales se dan vuelta para mirar de frente a la persona que irá a movilizarlos, la persona aún está fuera de la zona de fuga. Cuando la persona entra a la zona de fuga, los animales se dan vuelta y se alejan.

El ganado puede ser movido con la máxima eficiencia cuando el vaquero trabaja en el borde de la zona de fuga (Grandin, 1980b y 1987). De éste modo los animales se moverán cuando se penetre en su zona de fuga, y se detendrán cuando el vaquero retroceda. Por otra parte, Smith (1998) indica que el borde de la zona de fuga no siempre es estable, ya que cuando el vaquero se aproxima rápidamente al animal haciendo contacto visual con él, la zona de fuga se amplía. En éste sentido, el ganado excitado tiene una zona de fuga mucho más amplia.

En un grupo de toros, al invadir su zona de fuga usando una vara larga de donde colgaba una caja de cartón, los animales se apartaron y mantuvieron distancia constante entre ellos y la caja de cartón (Kilgour, 1971). La distancia de fuga dependía del tamaño de la caja de cartón que colgaba de la vara. El ganado se mantiene lejos de los objetos más grandes (Smith, 1998). Cuando una persona se aproxima de frente, la zona de fuga será más amplia que cuando se acerca lentamente de perfil.

Los operarios deben evitar la penetración en la zona de fuga, ya que ésto puede hacer que los animales entren en pánico. Si un animal retrocede en una manga, los trabajadores deberían alejarse para salir de su zona de fuga. No tratar de empujar al animal que reclusa, porque la penetración profunda de su zona de fuga le causa un pánico creciente y refuerza su impulso a escapar. Si el ganado trata de darse vuelta en un callejón, el vaquero deberá retroceder y salir de su posición, porque se encuentra muy adentro en la zona de fuga.

El ángulo de aproximación y las dimensiones del lugar donde se encuentra el animal, afectan también la amplitud en la zona de fuga. Experimentos con ovejas han mostrado que los animales encerrados en callejones estrechos tienen una zona de fuga mucho más pequeña que aquellos confinados en un callejones anchos (Hutson, 1982). El ganado tiene una zona de fuga más amplia cuando la persona se aproxima frontalmente. Los animales extremadamente mansos suelen ser difíciles de arrear porque no tienen zona de fuga. Estos animales deben ser conducidos (Smith, 1998).

## **Audición**

La capacidad del ganado para escuchar frecuencias de sonido, es similar a la capacidad humana, pero el ganado bovino puede escuchar tonos más altos que el ser humano no puede escuchar. Sin embargo el ganado no tiene gran habilidad para localizar exactamente el origen de los sonidos, ya que sólo puede determinar el origen de la sonoridad en un rango de 30°. Los animales se mantienen inquietos cuando desconocen de donde proviene el sonido. Los animales en pastoreo son muy sensibles a los sonidos de alta frecuencia. El oído humano tiene su máxima sensibilidad a frecuencias entre 1000 Hz y 3000 Hz, mientras que la capacidad auditiva en el ganado bovino es normalmente de 8000 Hz (Ames, 1974; Heffner y Heffner, 1983), pero puede escuchar con facilidad hasta los 21000 Hz (Algers, 1984). Sin embargo, Heffner y Heffner (1992) descubrieron que bovinos y caprinos tienen menor capacidad que el común de los mamíferos para conocer de donde exactamente provienen los sonidos que escuchan.

Estos autores sugieren que, dado que éstas especies de presa cubren con su mejor visión la casi totalidad del horizonte, quizás no necesitan ubicar los sonidos con tanta precisión como los animales que tienen un campo visual más estrecho. El ruido provoca estrés a los animales en pastoreo (Price y otros, 1993). Alaridos y chiflidos de personas generan mayor stress en el ganado que los ruidos de puertas metálicas retumbando al cerrarse (Waynert y otros, 1999).

Lanier y otros (1999a, 2000) y Lanier (1999) descubrieron que el ganado en exhibición tiene más propensión a retroceder ó a saltar en respuesta a movimientos ó sonidos súbitos e intermitentes que el ganado en corrales ó en pastoreo. Este tipo de movimientos y sonidos parecen ser más atemorizantes que los estímulos constantes. Talling (1998) constató que los cerdos reaccionaban más ante sonidos intermitentes que ante un sonido permanente. Los sonidos agudos aumentaban el ritmo cardíaco de los cerdos más que los sonidos bajos (Talling y otros, 1996). Los movimientos bruscos tienen mayor impacto activador sobre la amígdala (LeDoux, 1996), que es la parte del cerebro que controla el sentimiento del miedo (LeDoux, 1996; Rogan y LeDoux, 1996).

### **Olfato**

El sentido del olfato se encuentra bien desarrollado en el ganado para buscar alimento y comunicarse socialmente. Un toro mediante el olfato puede detectar días antes a una vaca que entrará en calor. La vaca reconoce a su cría mediante su sentido de olfato. El sentido del olfato es mucho más agudo en el ganado que en los humanos y es difícil para los humanos conocer la información que el ganado recibe a través del olfato. El ganado tiene un órgano olfatorio accesorio llamado órgano vomeronasal, el cual está ubicado entre la boca y la cavidad nasal del animal. Este órgano ofrece a los animales la oportunidad para percibir olores que los seres humanos no pueden detectar. El toro olfatea la orina de la hembra para saber si está en celo. Es decir, percibe el olor de las moléculas a través del órgano vomeronasal para su identificación.

### **Gusto**

El sentido del gusto en el ganado es muy importante en la elección de los alimentos. El ganado prefiere alimento dulce y medio ácido. Los animales evitan alimentos amargos y con demasiada sal. El ganado distingue fácilmente entre los cuatro tipos de sabores, así como las intensidades y combinaciones de los sabores. Se ha demostrado que los bovinos pueden discriminar entre 4% y 5% de los compuestos azucarados, y entre 0.04% y 0.08% de los compuestos salinos. En bovinos alimentados con ensilaje (sabor medio ácido) disminuye la sensibilidad al gusto de otros alimentos ácidos, e incrementa la sensibilidad al gusto de alimentos dulces. Un efecto similar ocurre en los seres humanos. El ganado confía en el gusto para discriminar entre alimentos.

### **Tacto**

El sentido del tacto se encuentra bien desarrollado en el ganado, y se asume que las experiencias de dolor y stress son similares entre personas y ganado. Los bovinos detectan fácilmente un insecto sobre su piel y pueden sacudir selectivamente áreas de piel para quitar los insectos. El ganado muestra cuidado considerable en su cuerpo. Los animales se frotan en postes y árboles, se rascan con las pezuñas ó cuernos. El tacto es importante en la comunicación del ganado. Generalmente el tacto suave entre los animales tranquiliza y ayuda a mantener lazos sociales.

Los animales se rascan, lamen y se espantan las moscas unos a otros. En ocasiones los bovinos tienen un contacto más estrecho entre ellos cuando están echados. Esto sucede con mayor frecuencia en las razas de ganado Cebú (*Bos Indicus*).

### **Sociabilidad**

Toda manifestación de vida entre el ganado se considera comportamiento social. Así como otros animales gregarios, el ganado tiene bien desarrollada su conducta social, la cual puede ser agresiva (ej. combate y reto) ó pacífica (ej. acicala a otros animales). El ganado bovino, al igual que otros animales ungulados, se asusta ante imprevistos que se presentan súbitamente. Por ejemplo, los animales reculan frente a cambios repentinos en la conformación de las cercas ó en la textura del piso (Lynch y Alexander, 1973). Las sombras, las aberturas en el drenaje y los charcos interrumpen también la tranquilidad en el ganado. Las especies de presa como los bovinos debe estar alertas ante imprevistos que pueden significar peligro. Lo novedoso produce agobio en el ganado. El ganado criado en condiciones extensivas puede ser fácilmente entrenado para que se acerque al ser llamado. Los animales aprenden fácilmente a asociar el sonidos con la llegada de alimento (Hasker y Hirst, 1987).

### **Comunicación**

Durante generaciones se ha sabido que el ganado se comunica enviando diferentes señales a través de posturas, sonidos y olores, que son recibidas mediante la vista, el oído, olfato y tacto del receptor(es). Sin embargo, la mayor parte de los patrones en el comportamiento del ganado requieren de aprendizaje y entrenamiento para que sean funcionales.

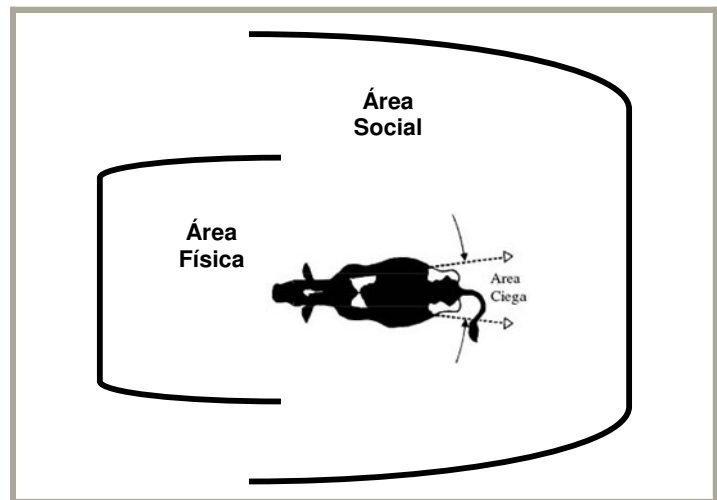
El aprendizaje se encuentra íntimamente ligado a las diferentes etapas en la vida del animal, y cuando éste aprendizaje queda limitado, por ejemplo debido al aislamiento, entonces se generan problemas de comunicación con otros animales. Ha quedado demostrado que animales recién nacidos mantenidos en aislamiento durante los primeros dos ó tres meses de sus vidas, posteriormente encuentran difícil socializar con otros animales. La carencia de contacto social con otros animales propicia stress en el animal aislado. Los animales recién nacidos mantenidos en cunas donde no les es posible mirar otros animales, frecuentemente se lamen a sí mismos (as). Posteriormente éste tipo de comportamiento se extiende y aumenta cuando las son mantenidas en corrales sin cama y en su dieta no se suministran alimentos ricos en fibra.

### **Distancias**

La distancia individual entre animales puede dividirse en áreas física y social. El área física comprende el espacio que un animal necesita para sus movimientos corporales, como por ejemplo, echarse, levantarse, estirarse, etc. El área social es la distancia mínima que el animal mantiene con otros animales. Cuando la distancia mínima en el área social es sobrepasada, el animal trata de huir, ó se comporta agresivamente (zona de fuga). La distancia mínima individual que requiere el ganado, queda establecida por un círculo imaginario alrededor de la cabeza de los animales, porque éstos se orientan a través de las impresiones que reciben por la vista, el oído y el olfato. De éste modo, la distancia individual necesaria entre animales es siempre medida entre una cabeza y otra. Por ejemplo, la distancia individual mínima necesaria entre vacas en pastoreo, dentro de un buen pastizal con alta densidad de forraje por metro cuadrado, es típicamente entre dos y cuatro metros. Además, la distancia individual depende mucho de la actividad en el ganado, por ejemplo cuando los animales se acicalan entre sí, la distancia entre ellos es cero.

Resultados de investigaciones muestran que la alta densidad poblacional de ganado, limita la libertad y el movimiento de cada animal, y cuando éstas circunstancias permanecen y se repiten, causan tensión social en el hato, la cual se presenta mediante agresividad y conductas indeseables en los animales.

La Jerarquía bidireccional es común y presenta una ó mas interacciones. En éstos casos un animal puede ser desplazado por tres animales. Es decir, el primer animal domina al segundo; el segundo animal domina al tercero; el tercer animal domina al primero. De éste modo los tres animales dominan al resto del grupo en el hato. En La Jerarquía Compleja se presentan varias jerarquías bidireccionales sin orden preestablecido. El orden jerárquico es importante para el mantenimiento de la estabilidad en el hato ganadero, pero existe otro orden social llamado liderazgo.



## Liderazgo

Para facilitar los movimientos de ganado, es posible aprovechar la conducta natural de seguimiento que tienen los animales. En éste sentido los animales líderes tienen gran valor reconocido desde la antigüedad en los arros de ganado. Un buen animal líder es generalmente una vaca sociable, no un animal dominante (Smith 1998). Los animales nerviosos y agresivos que se convierten en líderes, son frecuentemente reemplazados en poco tiempo de sus funciones como líderes, para permitir el acceso solamente a líderes serenos. Por lo general se utilizan grupos de animales mansos juntar ganado que todavía no ha sido amansado. Se recomienda incluir animales viejos y mansos con el ganado joven, para facilitar su entrenamiento en los procedimientos de manejo. No hay ninguna evidencia de que exista relación entre dominancia y liderazgo en el ganado. Los animales con alto rango en los hatos tienden a líderes de los animales de rango medio, y los animales de rango bajo tienden a ser independientes.

Se considera que mediante la alta actividad de movimiento en animales de alto rango en el hato, conjuntamente con el movimiento independiente de los animales de bajo rango se establecen los patrones de pastoreo. Los animales jóvenes siguen primeramente a sus madres, y posteriormente a los animales más viejos. De éste modo, los animales viejos tienden a ser líderes. Las relaciones sociales se constituyen normalmente entre miembros de una misma especie, pero en circunstancias especiales es factible que la relación social se desarrolle entre dos especies.

## Pastoreo

Las actividades de pastoreo toman largo tiempo del día. En vacas productoras de de leche alrededor de 8 horas diarias, y en ganado productor de carne 9 horas diarias aproximadamente.

El patrón de comportamiento de cada animal en pastoreo, es relativamente similar. Se ha observado que los bovinos en condiciones extensivas tienden a pastorear de cara al viento. De ésta manera los pastizales podrían ser sobre-pastoreados en dirección contraria al viento. Para controlar ésto, se proporciona agua y sal en el área del pastizal sub-pastoreado. Los bovinos tienden a beber de una a cuatro veces por día, dependiendo de la temperatura, cantidad y tipo de alimento. Los animales que se alimentan con forrajes cuyo contenido de agua es alto requieren menos agua. Los bovinos no pueden pastorear a ras del suelo debido a que al grosor de sus labios y su tendencia a tomar el forraje con la lengua se lo impiden.

Durante las actividades de pastoreo, el animal se mueve lentamente y mantiene su hocico cerca del suelo, mordiendo y rasgando los forrajes con sus dientes incisivos y con la almohadilla dental. Los caprinos y ovinos pueden pastorear a ras del suelo debido a que sus labios son más delgados. El bovino traga los alimentos habiéndolos masticado sólo parcialmente. Posteriormente, durante su tiempo de descanso se dedica a rumiar el alimento ingerido, lo cual toma alrededor de 3/4 partes del tiempo utilizado para pastorear.

El tiempo necesario para la rumia puede cambiar debido a las características , cantidad y calidad de forrajes disponibles para el animal. Un rango conveniente entre pastoreo y rumia puede encontrarse por ejemplo, cuando el sistema de manejo en el ganado no restringe las actividades de pastoreo, y existe abundante forraje de buena calidad, así como factores ambientales convenientes. De ésta forma disminuye el tiempo de rumia y el rango entre rumia y pastoreo.

$$\frac{\text{Rumia}}{\text{Pastoreo}} \frac{6 \text{ Horas}}{9 \text{ Horas}} = \text{Rango } 0.6$$

$$\frac{\text{Rumia}}{\text{Pastoreo}} \frac{5 \text{ Horas}}{9 \text{ Horas}} = \text{Rango } 0.5$$

Cuando los forrajes que consume el ganado son demasiado fibrosos y pobres en contenido de nutrientes, el tiempo de rumia, y el rango entre rumia y pastoreo aumentan.

$$\frac{\text{Rumia}}{\text{Pastoreo}} \frac{11 \text{ Horas}}{9 \text{ Horas}} = \text{Rango } 1.2$$

## Cortisol

El manejo rudo en el ganado puede ser muy estresante y eleva los niveles de cortisol hasta 65% por encima de los niveles normales. Además causa aumento del ritmo cardiaco. La severidad y duración del manejo rudo y atemorizante determinan el período que el animal requiere para su ritmo cardíaco vuelva a la normalidad.

Tras estrés severo debido al mal manejo, se necesitan en ocasiones más de 30 minutos para que el ritmo cardíaco del animal vuelva a niveles normales.

Mediante la medición de los niveles de cortisol en el ganado, se ha demostrado que los animales se acostumbran a los procedimientos adecuados de manejo, y se adaptan a tratamientos que no causan dolor. Frente a situaciones desagradables, los animales mansos tienen reacciones más leves que los animales que no han sido amansados. En experimentos, que ha sido acariciado, muestra niveles de cortisol significativamente inferiores a los del ganado que no había tenido contacto con la gente (Boandle y otros, 1989).

Cuando se expone a los animales a niveles razonables de música ó de sonidos variados, bajan los niveles de cortisol y se aminora su reacción de miedo ante ruidos súbitos e inesperados. Se ha comprobado que si se tocaba algún instrumento musical o se escuchaban sonidos variados de hasta 75 decibeles, la ganancia de peso aumentaba en los ovinos (Ames, 1974), pero los sonidos más fuertes reducían las ganancias. Se ha encontrado que las cruza Hereford x Brahman y Angus x Brahman presentan niveles de cortisol más altos durante la inmovilización, que las cruza Hereford x Angus. La genética aumenta los niveles de cortisol, y los mayores niveles correspondieron a las cruza Angus x Brahman (Savy, 1992).

### **Estrés**

El miedo es una respuesta emocional que se manifiesta con cambios en la conducta y en la fisiología del ganado. Estos cambios corresponden a lo que generalmente se denomina estrés y significa carencia de bienestar. García-Belenguer y Mormède (1993) indican que en 1935 Canon se refirió a la "homeostasis" para indicar sobre la estabilidad de los fluidos corporales, y utilizó la palabra "estrés" para denominar factores capaces de alterar la "homeostasis".

Posteriormente Salye en 1936 definió el estrés como "Síndrome General de Adaptación" y concluyó que la exposición de los animales a factores ambientales nocivos produce reacciones no específicas caracterizadas por un aumento en la actividad hipófisis-adrenal tendiente a reestablecer la "homeostasis" (Salye, 1956). Broom en 1988 indica que estrés es el proceso por el cual los factores del medio ambiente sobrecargan los sistemas de regulación de un individuo y perturban su estado de adaptación. Se utiliza la palabra estrés para designar tanto al estímulo como a la respuesta de adaptación del individuo y a sus efectos perjudiciales sobre la salud.

En el estrés se ven implicados los sistemas siguientes: 1. Simpático-adrenal, responsable de la respuesta inmediata mediante adrenalina y noradrenalina. 2. Hipotálamo-hipofisario-adrenal, controlado por los centros nerviosos superiores. Durante el estrés el hipotálamo libera el factor corticotropina (CRF) que estimula la producción de propiomelanocortina de la que se derivan: ACTH (hormona adrenocorticotropica), b-endorfinas y hormonas melanotropicas.

**La ACTH** estimula la producción de glucocorticoides (cortisol y corticosterona) en la glándula adrenal, y éstos glucocorticoides ejercen acción de retro-control sobre la liberación de CRF y ACTH. La respuesta de estrés es en general catabólica, ya que tiende a movilizar reservas energéticas del cuerpo para ponerlas a disposición del cerebro y de los músculos. Las catecolaminas aumentan la función cardiovascular, y conjuntamente con los glucocorticoides propician: incremento de la gluconeogénesis, degradación proteica en las fibras musculares, lipólisis, y concentración de ácidos grasos en la sangre. Así mismo se genera acción anti-inflamatoria y efectos sobre el sistema inmunitario. Como consecuencia del estrés se producen cambios fisiológicos que pueden utilizarse como criterios de diagnóstico en animales estresados.

La medición de éstos criterios de estrés puede llevar a conclusiones erróneas si no se tiene en cuenta que el simple manejo de los animales puede ser suficiente para causar aumento importante de ACTH y de los niveles de cortisol. En bovinos se encontraron grandes diferencias entre animales según su mansedumbre, raza y las experiencias previas del ganado (Lay, 1992; Dantzer, 1983, Mitchell, 1988).

La influencia del manejo se extiende al hematocrito y otros metabolitos plasmáticos (Mitchell y col., 1988). En ovinos se ha observado que el aislamiento social les origina incremento del ritmo cardiaco y alteraciones en el comportamiento (Syme, 1981). Se sugiere habituar a los animales a los procedimientos de manejo, el cual debe ser siempre lo menos estresante posible, evitando el aislamiento y cualquier novedad súbita. Sin embargo, siempre es probable que quede la variabilidad individual de origen genético que causa estrés.

### **Factores Psico-Biológicos**

El ganado reacciona ante distintas situaciones con un comportamiento individualizado, es decir, según su temperamento, como resultado de la organización hormonal, nerviosa y física del animal. Frecuentemente, el concepto temperamento queda restringido a la expresión en la cual los animales perciben y reaccionan a estímulos que originan miedo (Boissy y Bouissou, 1995). Se habla entonces de reactividad emocional y del carácter miedoso. El temperamento es la respuesta de comportamiento de un animal al manejo producido por el hombre (Burrow 1977). Las investigaciones relativas al miedo pueden ser relevantes para evaluar el bienestar animal. El bienestar depende de la capacidad del animal para hacer frente a los desafíos ambientales (Broom, 1988). El miedo prolongado ó intenso tiene efectos negativos en la productividad ( Boissy, 1998).

El temperamento en el ganado puede valorarse mediante observadores adiestrados; escalas con puntuaciones predeterminadas y pruebas de comportamiento. Muchas de las pruebas están destinadas a evaluar el miedo imitando condiciones peligrosas con las que se encuentran los animales en su ambiente natural ó de producción.

Con ésto se pretende facilitar la comparación de la reactividad psicobiológica estandarizada (Boissy, 1998). Hay pruebas que restringen físicamente el comportamiento del animal para observar y registrar vocalizaciones, movimientos, intentos de huida, etc. Otras pruebas se realizan dejando al animal en libertad dentro de un área extensa en presencia del observador para conocer distancia de aproximación y de huida, docilidad, evasión, rapidez de huida, etc. También es posible evaluar los movimientos de los animales en instalaciones y dispositivos de manejo, aunque éstos resultados suelen ser difíciles de interpretar.

Una forma alternativa para evaluar el temperamento es percibiendo la respuesta del ganado a cambios ambientales, aislamiento social (los rumiantes son animales altamente sociales), manejo, introducción de un objeto nuevo a su medio ambiente y competencia alimentaria. La prueba de campo abierto sería para detectar el miedo generalizado, mientras que la determinación del miedo a personas podría hacerse mediante un prueba de aproximación - evasión.

Se ha observado que el buen manejo intensivo del ganado en razas para producción de leche puede ser útil para modificar el comportamiento de los animales, pero en bovinos de carne, el manejo intensivo no siempre mejora el temperamento de los animales ni a corto ni a largo plazo (Burrow, 1997; experimento realizado con animales *Shorthorn* por McIntyre y Ryan, 1986).



## **Variabilidad Genética**

Las experiencias previas de cada animal tienen efecto importante sobre la magnitud de la respuesta al miedo (Hemsworth y Barnett, 1991). Investigaciones ha mostrado que algunos de los procesos de miedo y ansiedad se encuentran en parte bajo control genético, lo cual contribuye a la existencia de diferencias individuales (Bouchard, 1990). El factor genético es responsable de una parte de las diferencias individuales en la respuesta de los animales hacia los seres humanos. La heredabilidad en la reacción de defensa de los animales hacia los humanos ha mostrado valores consistentes en bovinos lecheros (Dickson y col., 1970) y bovinos de carne (Le Neindre y col., 1995). Se ha visto que existen diferencias en las reacciones relacionadas con el miedo entre dos razas de bovinos (Romeyer y Bouissou, 1992). La raza influye también en la reacción social. Dado que la reactividad emocional está en cierta medida bajo control genético, son posibles los programas de selección para reducir los comportamientos relacionados con el miedo y la ansiedad en los animales (Le Neindre y col., 1996).

El desarrollo de investigaciones encaminadas a evaluar patrones de reactividad psicofisiológica en los animales mejora nuestro conocimiento de los factores y mecanismos que gobiernan las causas del estrés, y ofrecen nuevas estrategias para optimizar el bienestar y la eficiencia en la producción ganadera.

## **Reacción Emocional**

Decíamos que se han demostrado diferencias entre razas en relación con el miedo y la ansiedad en el ganado, pero existe dificultad para conocer las reacciones emocionales. Dado que no existe un indicador único que detecte la reacción del ganado al miedo, suelen utilizarse demasiadas pruebas que implican la medición de múltiples variables. Un gran número de medidas obliga en general a limitar el tamaño de la muestra. Además, las variables en las medidas son de distinta naturaleza, ya que pueden ser discontinuas, casi continuas y continuas. En el caso de las medidas continuas se presentan distribuciones anormales y/o variables no homogéneas, por lo cual deben llevarse a cabo análisis no paramétricos (ej. Mann-Whitney) ó análisis complejos sobre la variabilidad que limitan el potencial estadístico de los experimentos.

## **Experimentación**

Dickson y sus colaboradores (1970) evaluaron el temperamento de vacas lecheras durante el ordeño en escala de 1 a 4. De éste modo 1: Vacas quietas, dóciles, ideales para el ordeño y, 4: Vacas inquietas en la preparación del ordeño, que a patean al operario y tiemblan cuando se les pone la mano encima. En el experimento se estudiaron 1017 vacas pertenecientes a 27 hatos en Wisconsin, Estados Unidos, y se analizó la variabilidad genética de los padres en los hatos para estimar la heredabilidad. El resultado sobre heredabilidad del temperamento estuvo alrededor de 0.5. En éste sentido, sería interesante estudiar nuevamente este parámetro utilizando un modelo que se ajuste al tipo de datos que fueron analizados.

Más reciente es el estudio sobre docilidad en vacas de la raza *Limousin* realizado por Le Neindre y col. (1995). En éste estudio se registraron valores de agresividad, número de veces en que los animales intentan escapar durante la prueba, tiempo que transcurre hasta que los animales son manejados nuevamente y durante el manejo, intervalos entre el inicio de la prueba de manejo y los momentos en que son sujetados por tiempo menor a 10, 15, 20, 25, y 30 segundos, sujeción en la esquina más de 30 segundos y actitud para dejarse acariciar.

Las variables no quedaron distribuidas normalmente, por lo cual no se utilizó su suma, sino que a partir de las variables se elaboró el valor de docilidad después de un análisis multidimensional. Se definieron además los criterios de docilidad, en base a categorías con cuatro clases. Para estimar la heredabilidad de la docilidad se asumió un modelo de semental convencional, mientras que para el criterio de docilidad se utilizó un análisis del umbral. Las estimaciones obtenidas fueron 0.22 para heredabilidad y 0.18 para criterio de docilidad. En éste experimento se manifiesta claramente la complejidad biológica y estadística de los estudios conductuales. Según Faure (1994), la genética del comportamiento juega un papel importante, aunque quizá de forma oculta durante las primeras etapas de la domesticación.

Los factores genéticos que determinan el comportamiento de los animales han sido estudiados escasamente, debido tal vez a las siguientes razones: a) Se percibe el comportamiento del ganado únicamente como resultado de factores medioambientales, b) El comportamiento es difícil de medir. c) Los caracteres de comportamiento a menudo no se distribuyen normalmente.

### **Dominancia**

Se ha encontrado por ejemplo que, las vacas tienen mayor rango de dominancia en los hatos cuando son adultas y su peso aumenta. Su rango tiende a ser menor cuando pierden peso. En condiciones extensivas existen diversas jerarquías en el ganado adulto y joven dentro de hatos con hembras y machos. Los machos jóvenes al crecer tienden a pelear con las hembras adultas y eventualmente llegan a dominarlas. La jerarquía tiende a ser lineal, y en hatos grandes es posible que se divida en varias jerarquías más pequeñas (Hafez y Bouisson, 1975). Existe evidencia de que las jerarquías dominantes en machos jóvenes, se forman rápidamente después del destete, y se mantienen estables, incluso cuando éstos grupos de animales son trasladados hacia otros corrales (Stricklin et al., 1980).

Aspectos de la dominancia y de la conducta en la alimentación del ganado han sido observados en animales para producción de carne, en circunstancias donde sólo un animal podía comer a una misma vez. Se encontró que el ganado con mayor rango en el hato (dominante) se alimentaba menor cantidad de veces, pero tomaba más tiempo del día para alimentarse. El ganado con mayor rango no impedía que los animales subordinados (rango medio) accedieran al comedero diseñado para un solo animal, y los animales de rango bajo reemplazaban a los de rango más alto, tan frecuentemente como ellos eran reemplazados por animales de mayor rango.

Las conductas dominantes llegan a ser importantes entre el ganado cuando existen cantidades muy limitadas de alimentos por las cuales deben competir (Stricklin & Gonyou, 1981). Aún cuando no se ha encontrado relación entre dominancia y producción de leche, observaciones en granjas lecheras indican que las vacas con más altos promedios de producción, llegan a la sala de ordeño antes que las vacas con menores promedios de producción de leche (Rathore 1982). Generalmente las interacciones agresivas entre vacas se presentan como un rito y ocurren en las siguientes secuencias: acercamiento, reto, contacto físico y pelea. Sin embargo, una vez que el par de animales aprende sobre la experiencia, la necesidad de combate desaparece (Beilharz y Zeeb, 1982). El animal subordinado recula ante un leve reto del animal dominante. De éste modo, el contacto físico se evita cuando el animal subordinado percibe la postura del otro.

## Descanso

La cantidad de tiempo que el ganado emplea en descansar, depende de las condiciones medioambientales, así como del tiempo que fue necesario para el pastoreo y la rumia, y de la raza del ganado. Estudios en ganado Cebú han mostrado que ésta raza elige lugares bien específicos para descansar. La frecuencia con la cual el animal se echa en su lugar de descanso, es independiente de su jerarquía dominante. Esto indica que los animales no compiten entre sí por los lugares de descanso. Sabemos que el ganado Cebú soporta bien el sol durante su descanso. Por el contrario, las razas europeas buscan la sombra.

En ambientes donde el ganado se encuentra cómodo y adaptado, los períodos de descanso y sueño permiten la recuperación metabólica y conservación de energía corporal. Los bovinos tienen varias fases en sus períodos de descanso. Se encuentran somnolientos unas 7 u 8 horas diarias en alrededor de 20 etapas que preceden ó prosiguen al sueño profundo de unas 4 ó 5 horas.

La falta de descanso y sueño propician comportamiento anormal en el ganado. Se ha observado que todas las especies de ganado experimentan el sueño profundo, con relajación muscular, ritmos cardíacos y respiratorios más bajos, movimiento rápido de los ojos y movimientos sugieren respuesta al estímulo del sueño.

El sueño profundo en el ganado adulto, a veces no se presenta, debido a los movimientos del rumen y del retículo que requieren que el esternón se encuentre en una posición determinada, pero el sueño profundo puede darse en animales echados sobre su costado ó relajados sobre su esternón. Esto puede explicar porque algunos bovinos adultos tienen sueño profundo relativo cuando están recostados sobre un objeto que les ayuda a mantener al esternón en buena posición con relación al rumen y al retículo. Los animales muy jóvenes, cuyos rumen y retículo aún no está desarrollado, tienen sueño profundo frecuente.

El comportamiento del ganado está relacionado con las condiciones ambientales. Sin embargo, aún cuando la condición ambiental sea uniforme, los animales reaccionan de manera diferente unos de otros, dependiendo del sexo, raza, y línea genética (Fuller y Thompson, 1960; Scott y Fuller, 1965). Los efectos medioambientales sobre el comportamiento del ganado, son muchos más complejos y variados que la influencia genética, ya que la genética de un animal queda establecida en la concepción, sin embargo, las influencias ambientales cambian durante la vida de los animales.

## Desórdenes

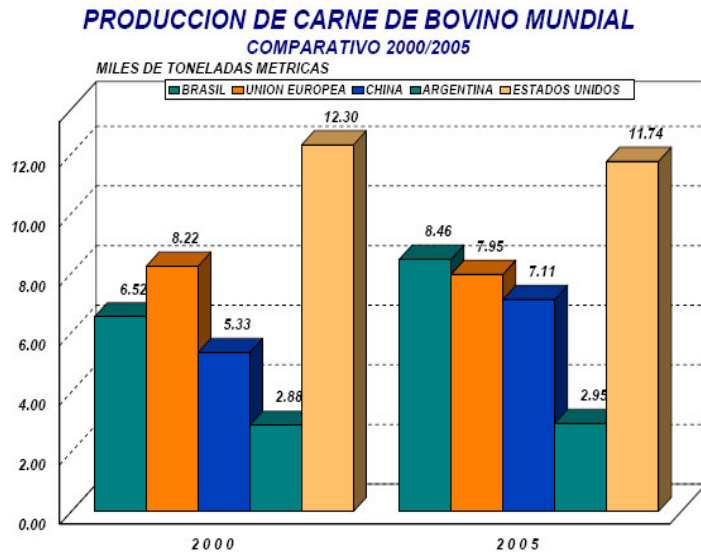
***Ineptitud Maternal*** puede ser ocasionada debido a un parto difícil y prolongado, lo cual impide que la vaca pueda mantenerse en pie para alimentar a la cría. Esta situación en ocasiones presenta en vacas cuyos partos han sido sincronizados, sobre todo en explotaciones intensivas con grandes grupos de vacas. En ciertos casos también puede suceder que la cría se encuentre tan débil que no le sea posible alimentarse de su madre (Albright et al., 1997).

***Ninfomanía*** se presenta en vacas que se comportan como toros. Es decir montan a otras vacas pero evitan que otras vacas las monten. Esto puede ser resultado de una condición heredada. La ninfomanía es más frecuente en razas para producción de leche, y se presenta en vacas con altos promedios de producción. En razas para producción de carne, la incidencia de ninfomanía es menor. Así mismo la ninfomanía se encuentra a veces asociado a quistes foliculares (ovarios) (Haupt, 1998).

**Monta entre Novillos** es problema común en los corrales para engorda intensiva. Un animal atrae sexualmente a sus compañeros en el hato y éstos toman turnos para montarlo. Al parecer no existe ninguna relación entre éste comportamiento y al rango de los animales en el hato. Muchas veces ésta actitud puede deberse al aburrimiento en los animales. Aproximadamente 2% de los animales en corrales de engorde presentan ésta situación (Ulbrich, 1981 y Houpt, 1998).

Las Enfermedades en el ganado cuya salud se encuentra deteriorada pueden propiciar conductas anormales en los animales. El ganado en éstas condiciones no muestra interés en el medio ambiente que le rodea, tiene sus ojos opacos, se muestra perezoso y sus movimientos son lentos, su apetito es escaso y presenta una apariencia general muy pobre. Otras indicaciones de enfermedad pueden ser: estirar excesivamente el cuello, encorvar del lomo, patear su rumen indicando dolor, rechinar los dientes, etc. (Grandin 2001, Moran, 1993). Algunos de los desórdenes conductuales en el ganado, como la ninfomanía, homosexualidad, hipersexualidad y el comportamiento masturbatorio pueden deberse a factores genéticos y a balances endocrinos (hormonales) inadecuados en los animales, lo cual en muchas ocasiones puede ser revertido mediante medicamentos. La masturbación se presenta comúnmente en animales machos cuya ración alimenticia contiene alta cantidad de proteína. Esto puede evitarse mediante la aplicación de hormonas, castración ó reducción de la proteína en la dieta (Hafez, 2000 y Currie, 1995).

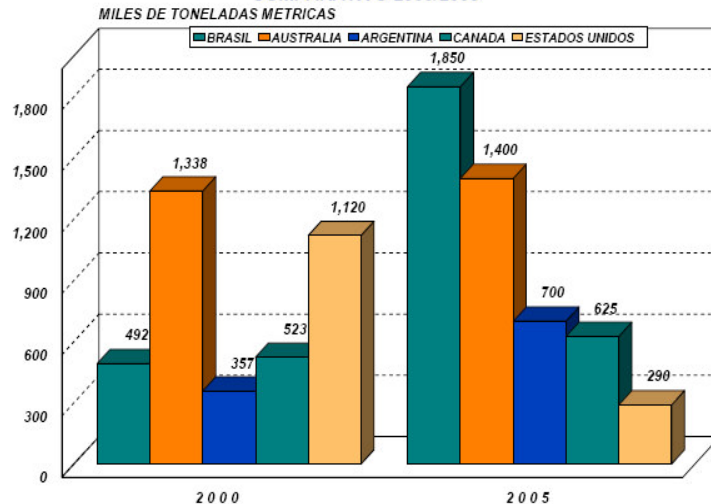
## 2.1 Mercado Mundial Carne de Bovino



FUENTE: ASERCA CON DATOS DE WORLD MARKETS AND TRADE, USDA, MARZO 2005.



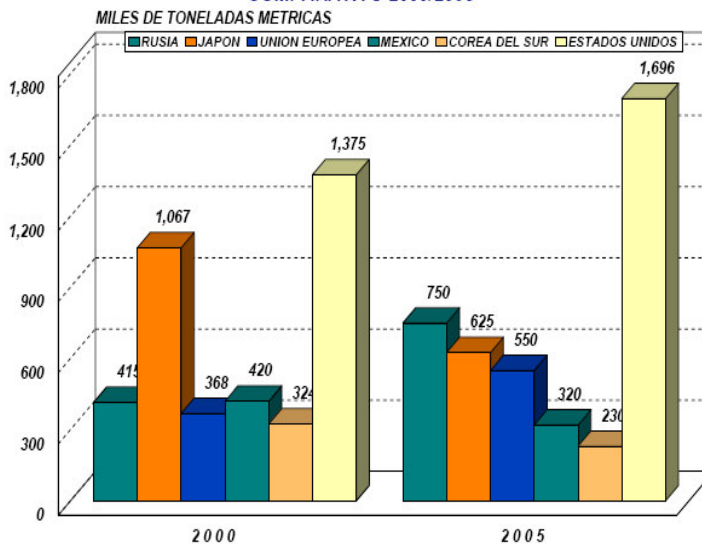
## EXPORTACIONES DE CARNE DE BOVINO MUNDIAL COMPARATIVO 2000/2005



FUENTE: ASERCA CON DATOS DE WORLD MARKETS AND TRADE, USDA, MARZO 2005.



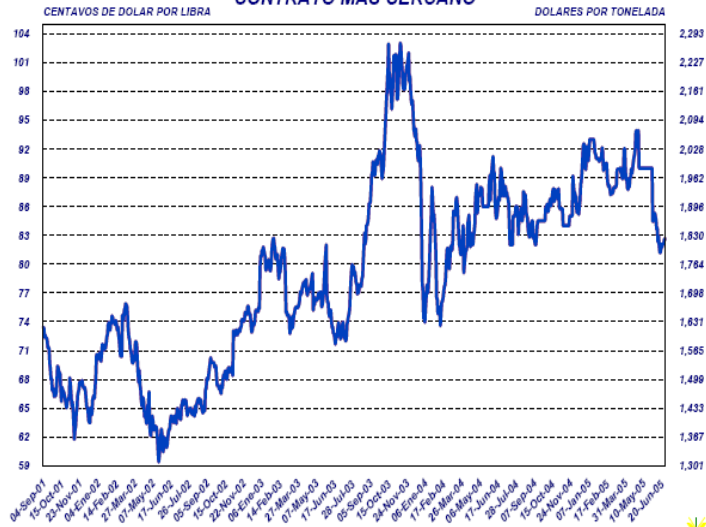
## IMPORTACIONES DE CARNE DE BOVINO MUNDIAL COMPARATIVO 2000/2005



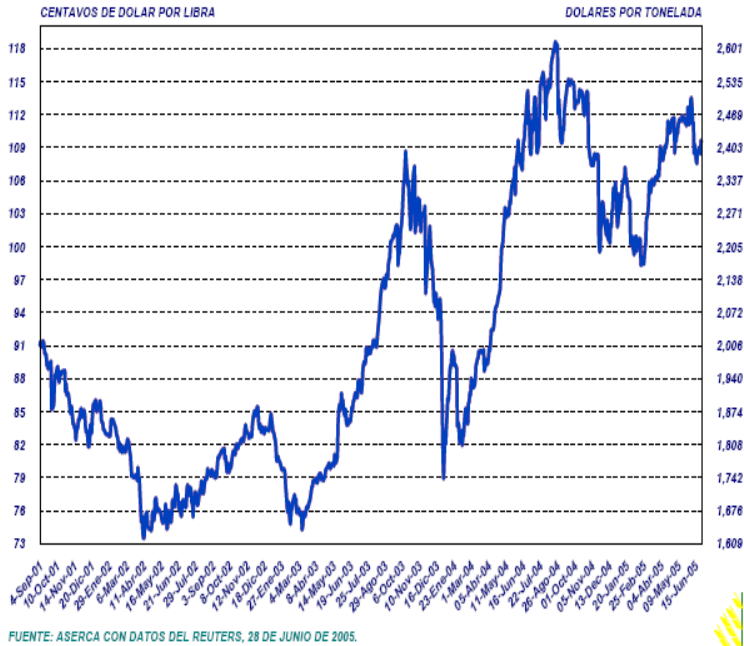
FUENTE: ASERCA CON DATOS DE WORLD MARKETS AND TRADE, USDA, MARZO 2005.



## GANADO BOVINO EN PIE CONTRATO MAS CERCANO



## GANADO BOVINO DE ENGORDA CONTRATO MAS CERCANO



## 2.2 Alimentos para el Ganado

Conocer acerca de la composición nutricional típica de los alimentos e ingredientes utilizados en la alimentación del ganado, es necesario para formular dietas que contengan cantidades óptimas de nutrientes. A diferencia de los componentes químicos puros que mantienen una composición constante, los alimentos para el ganado pueden variar en su composición nutritiva, debido a factores en la producción, manejo y almacenamiento. Las tablas con información nutricional de los alimentos para el ganado, sirven únicamente como referencia porque no abarcan todas las variaciones que pueden existir en la composición de los alimentos. Las nuevas variedades de alimentos, así como alimentos genéticamente modificados pueden tener cambios en su composición nutritiva, ya sea incrementando ó disminuyendo la cantidad de nutrientes disponibles.

Los alimentos para el ganado deben ser analizados cuando se desea conocer sus componentes con exactitud. La respuesta biológica del ganado a la composición química de los alimentos, está relacionada con la productividad del animal, debido y su respuesta biológica para aprovechar eficientemente los nutrientes disponibles, lo cual a la vez está estrechamente vinculado al estado nutricional y fisiológico del ganado.

Los atributos biológicos de un alimento son de importancia para predecir respuesta productiva en el ganado, aunque no con gran exactitud, debido a las variables entre la composición química del alimento, y la capacidad digestiva y metabólica del animal que está siendo alimentado. En ocasiones, la capacidad digestiva y metabólica de algunos animales, tiene más variables que las predecibles en los nutrientes que componen las raciones alimenticias que se suministran al ganado. Este generalmente debido a cuestiones genéticas, nutricionales, fisiológicas, manejo y salud del ganado, así como el sistema de producción implementado.

En las tablas que contienen la composición típica de los alimentos para el ganado, se indica la cantidad de nutrientes en función al 100% de la materia seca suministrada a los animales, ya que la cantidad de nutrientes varía de acuerdo al contenido de humedad en los alimentos. Cuando aumenta el consumo de materia seca y la digestibilidad se reduce, podrían emplearse nutrientes de sobrepaso, los cuales no son degradables en el rumen.

Un ingrediente alimenticio que conforma el 2% de la ración, tiende a digerirse mejor que cuando forma parte como 25% de la ración. La forma física de un alimento influye en su digestibilidad. Las partículas pequeñas de alimento tienden a mejorar la digestión, debido a mayor superficie disponible para cada unidad de peso. No obstante, es posible también que las partículas pequeñas de alimento pudieran dificultar la digestión cuando se apelmazan.

El porcentaje de nutrientes digestibles totales (NDT) está determinado en casi toda la información sobre alimentos para el ganado, y ha sido el sistema utilizado para expresar valores de energía en los alimentos, aún cuando en ciertos alimentos la digestibilidad de la fibra cruda puede ser más alta que la del extracto libre de nitrógeno. Por otro lado se señala que la energía no debe ser medida en porcentaje ó en kilogramos como sucede con los NDT, sino en mega-calorías (Mcal). Sin embargo, existe relación constante entre los NDT y Energía Digestible. La cantidad de Energía Digestible en Mcal por cada 45.4 kilogramos, puede obtenerse multiplicando el porcentaje de NDT por dos. Sin embargo es mucho mejor y exacto formular dietas en base a Energía Neta.

Las ecuaciones para calcular los componentes energéticos se basan fundamentalmente en la siguiente fórmula para los nutrientes digestibles totales (NDT):  $\% \text{NDT} = \text{Proteína Digestible}(\%) + \text{Fibra Cruda Digestible}(\%) + \text{Extracto Libre de Nitrógeno Digestible}(\%) + 2.25 \times \text{Extracto Etéreo Digestible}(\%)$ . Para calcular la energía digestible (ED):  $\text{ED (Mcal/Kg. materia seca)} = 0.04409 \times \% \text{ NDT}$ . Para Calcular la energía metabolizable (EM):  $\text{EM (Mcal/Kg. materia seca)} = 0.45 + 1.01 \times \text{ED}$ . Para el cálculo de la energía de lactancia (ENL):  $\text{ENL (Mcal/Hg. materia seca)} = 0.0245 \times \text{NDT (base materia seca)} - 0.12$ . La disponibilidad de energía un alimento está en función del tiempo que permanece en el sistema digestivo; en la cantidad que contiene el alimento; en la cantidad de alimento consumido; y la naturaleza de los otros alimentos en la ración.

Los valores de proteína cruda (PC) no proporcionan información acerca del nitrógeno proteico y no-proteico en los alimentos. Información sobre los valores de proteína digestible (PD) son a veces incluidos, pero el valor de la PD es menos exacto que el de la PC, debido a que la proteína microbial y corporal se incorpora a la orina y las heces. La PD puede estimarse a partir de la PC mediante la siguiente ecuación:  $\% \text{PD} = 0.9(\% \text{PC}) - 3$  ( $\% \text{PD}$  y  $\% \text{PC}$  en base a 100% de materia seca). Grandes cantidades de proteína soluble se pierden en el rumen cuando faltan carbohidratos solubles en la ración.

Los valores de proteína de sobre paso (PS) representan el porcentaje de proteína cruda que pasa a través de rumen sin ser degradada por los microorganismos. Los atributos biológicos de la proteína de sobre paso tampoco son constantes. En muchos alimentos aún no han sido determinados los valores de la proteína de sobrepaso. Normalmente la proteína degradable forma alrededor del 7% de la proteína cruda (PC). Cuando la proteína cruda requerida en la dieta excede del 7% en base materia seca, entonces la proteína cruda adicional necesaria consiste generalmente en proteína de sobrepaso. Es decir, si la ración alimenticia deberá contener 13% de proteína cruda en base materia seca, 6% del 13% podría suministrarse con proteína de sobre paso. También es posible calcular que el 46% de la proteína cruda requerida podría ser proteína de sobrepaso. El concepto de fibra cruda (FC) es demasiado general, y cada día los valores de fibra cruda son menos utilizados como medida relacionada con la cantidad de carbohidratos de difícil digestión en los alimentos para el ganado.

Por ésta razón, se desarrollaron métodos analíticos relacionados con la fibra detergente ácida (FDA) y la fibra detergente neutra (FDN). La FDA es la suma de celulosa y lignina, mientras que la FDN es la suma de hemicelulosa, lignina y celulosa. La información sobre niveles de hemicelulosa en los alimentos puede ser de utilidad, porque altos niveles de hemicelulosa reducen la digestibilidad de la fibra. Los valores de fibra cruda se mantienen expresados en las tablas sobre composición de los alimentos para el ganado como dato para el cálculo de los nutrientes digestibles totales (TDN).

El término "Fibra Detergente Neutra Efectiva" (FDNE) sirve para describir la función de la fibra dietética en raciones con alto contenido de alimentos concentrados. La FDNE es el porcentaje de fibra detergente neutra (FDN) que queda sobre una malla cuyas perforaciones son de tamaño similar al de las partículas que pasarían a través del rumen. Este valor de FDNE es posteriormente modificado de acuerdo con la densidad de los alimentos y su grado de hidratación. Cuando se formulan raciones altas en concentrados se recomienda entre 5% y 20% de FDNE en la dieta, para prevenir acidosis en el rumen. El consumo total de carbohidratos se divide en dos fracciones: la primera es una fracción soluble del contenido celular en las plantas llamada carbohidratos no estructurales; la segunda fracción contiene carbohidratos estructurales llamados fibra detergente neutra (FDN). La fracción soluble incluye también pectina que forma parte de la pared celular en los alimentos, pero debido a su alta solubilidad se le considera dentro de los carbohidratos solubles.



La cantidad de pectina en el maíz y en los pastos es alrededor de 2% en base a la materia seca, mientras que en la alfalfa es entre 10% y 15% en base materia seca. Generalmente la pectina se pierde durante el ensilaje de los alimentos. En cuanto a digestibilidad y solubilidad, en el transcurso de aproximadamente 60 minutos se digiere 20% del almidón, 43% de la pectina y 100% de la azúcar, aún cuando a éstos tres carbohidratos solubles se les asigne el mismo valor energético. Es conveniente entre 35% y 38% de carbohidratos solubles en base a la materia seca de la ración. Una porción de los carbohidratos solubles debe haberse solubilizado en el rumen entre 0 y 2 horas, otra de 2 a 8 horas, y la de solubilización lenta entre 8 y 24 horas. Aún en las primeras 12 horas después de haber sido ingerido el alimento existe gran cantidad de celulosa en el rumen, y la cantidad de organismos digestores de azúcares, almidón y pectina aumenta rápidamente entre las 4 y las 16 horas después de haber sido ingerido el alimento. Los microorganismos digestores del almidón son rápidos, pero ineficientes, mientras que los microorganismos digestores de la celulosa, son lentos pero más eficientes. Al suministrar porciones de carbohidratos de rápida, moderada y lenta digestión se propicia el crecimiento de microorganismos en el rumen.

Las grasas y aceites se utilizan cuando hay que aumentar la densidad energética y no se desea ocupar espacio del rumen destinado a otros nutrientes esenciales en la ración. Existen básicamente tres tipos de grasa: 1) Grasa Endógena que comprende lípidos de forrajes y granos. Generalmente éste tipo de grasa forma el 2% de la ración, y la cantidad de éste tipo de grasa aumenta cuando se alimenta con semilla de algodón ó con soya integral, ya que éstos ingredientes contienen 20% o más de aceite vegetal. 2) Grasa No Protegida que se suministra directamente en la ración en cantidad no mayor al 5% de total de la materia seca. 3) Grasa Protegida ó de Sobrepasso, la cual no puede ser degradada por los microorganismos del rumen. La Grasa Protegida ó de Sobre paso se usa cuando agregar más grasa no protegida a la ración puede causar problemas. La fiebre de leche se debe a un incremento repentino en los requerimientos de calcio para la producción de leche, y se presenta frecuentemente en vacas adultas cuyo metabolismo del calcio está debilitado. En general, la fiebre de leche se previene manteniendo bajos los niveles de calcio en las vacas secas. La inclusión de sales aniónicas puede también ayudar en la prevención de la fiebre de leche, pero su correcta aplicación requiere del entendimiento completo de un tema complejo relacionado con la respiración, el PH de la sangre y los índices de excreción en los riñones. Se sugiere que las sales aniónicas se utilicen, sólo cuando no sea posible controlar la fiebre de leche mediante el manejo tradicional.

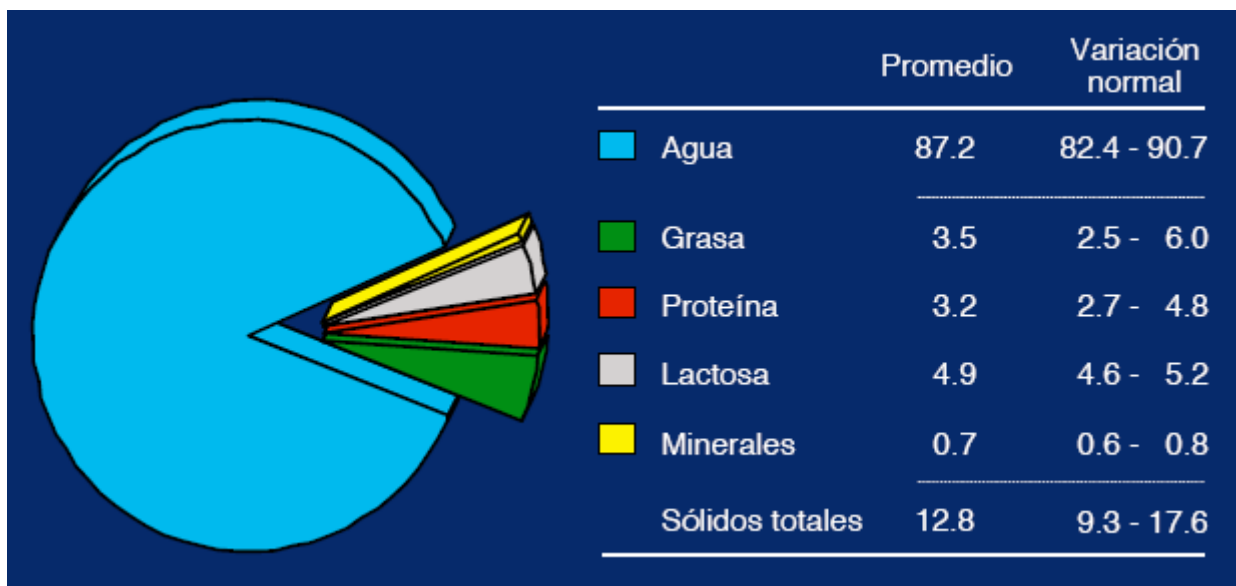
*El fósforo* es uno de los elementos costosos en la ración, por lo que en ocasiones se usan niveles inadecuados como medida económica, lo cual puede no causar decremento inmediato u obvio de la producción, pero se manifestará como pérdida de fertilidad. Es poco común encontrar deficiencia de potasio, debido a que la mayoría de los alimentos condenen suficiente potasio, y los requerimientos de potasio en el ganado no son muy altos. Uno de los pocos alimentos bajos en potasio son los granos de cervecera. La mayoría de los forrajes contienen suficiente potasio. Los granos de cervecera deben ser suministrados sólo en cantidades adecuadas. *El magnesio* se requiere en aproximadamente 0.25% de la materia seca. Cantidades adecuadas de magnesio pueden prevenir la tetania de los pastos. Sobretudo cuando la fertilización de las praderas es alta puede reducirse la digestibilidad del magnesio. El análisis de los alimentos puede indicar que el magnesio está presente, pero no revela cuestiones sobre digestibilidad de éste mineral. Cuando existe deficiencia de manganeso se incrementan la incidencia de defectos en las crías al nacimiento. También se ha encontrado que las crías de las vacas con deficiencia en zinc presentan problemas inmunológicos que no podrían ser corregidos después suministrando zinc. El yodo se requiere para la síntesis de la hormonas de la glándula tiroides que regula el metabolismo. La deficiencia de yodo causa hipertrofia de la glándula tiroides.

## 2.3 Leche y Lactancia

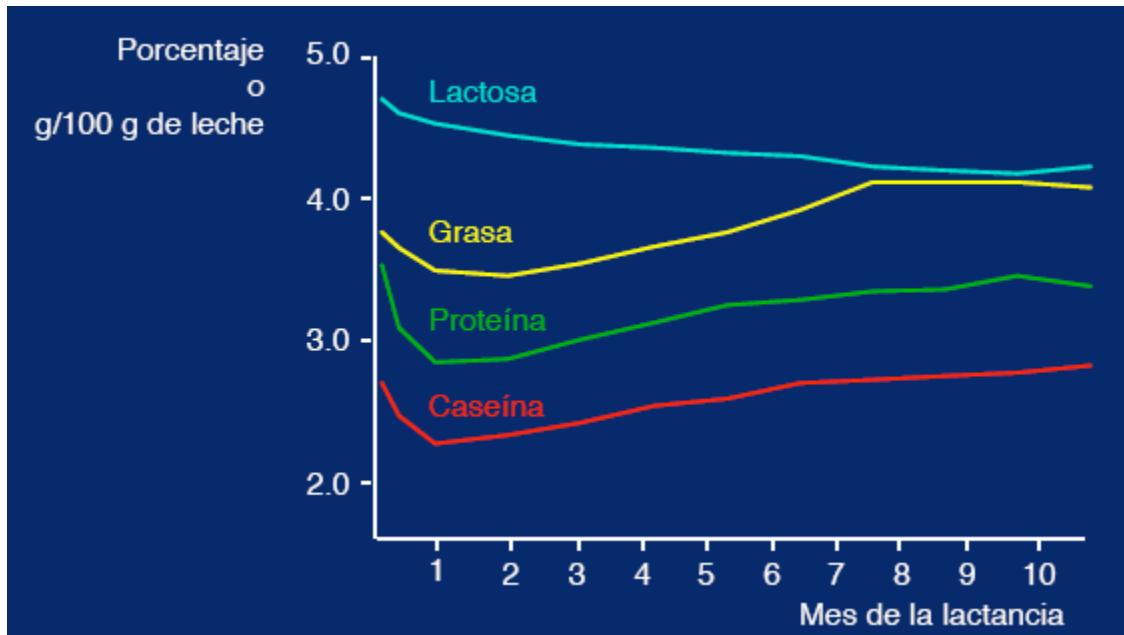
### Composición Química de la Leche



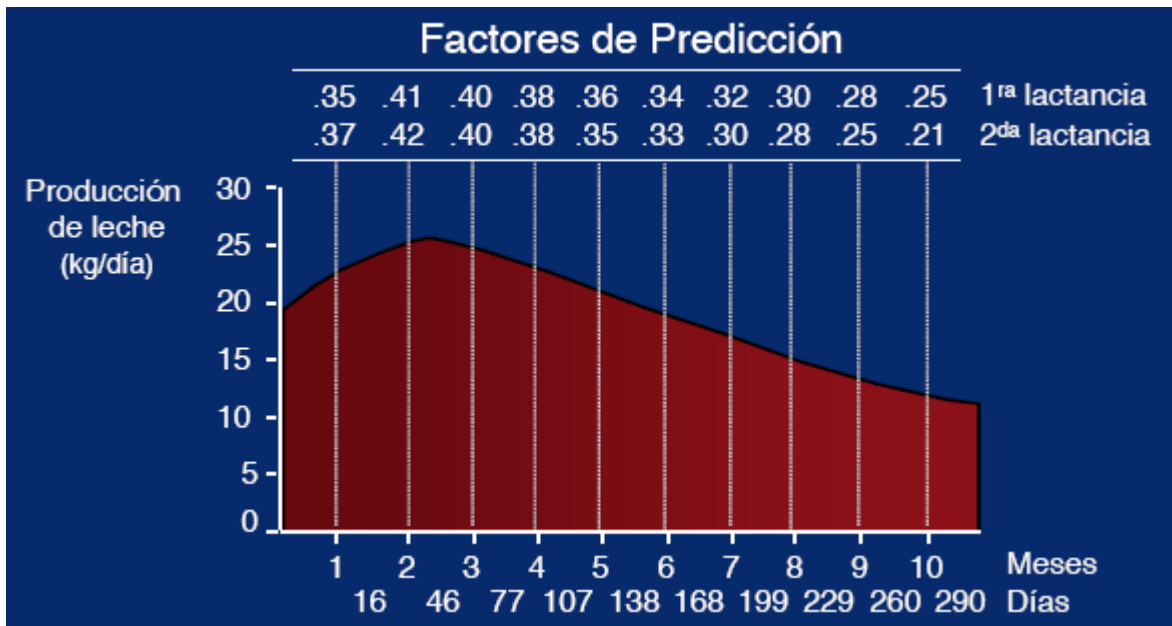
### Composición Promedio Leche de Vaca Razas Europeas



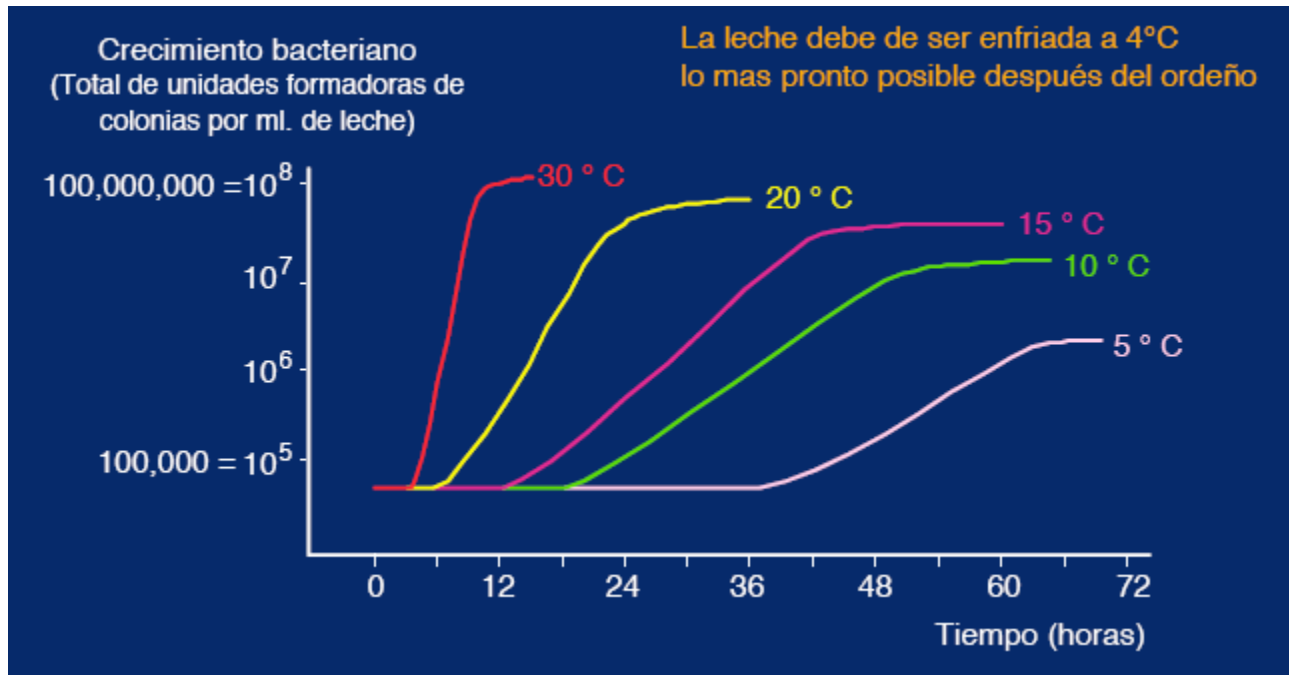
### Composición Leche Durante Lactancia



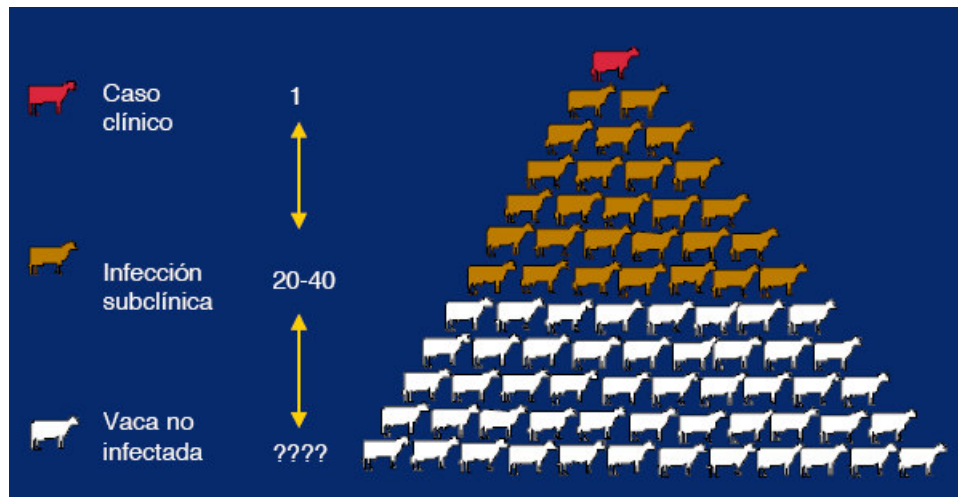
### Producción Estimada Vacas Holstein en 305 Días



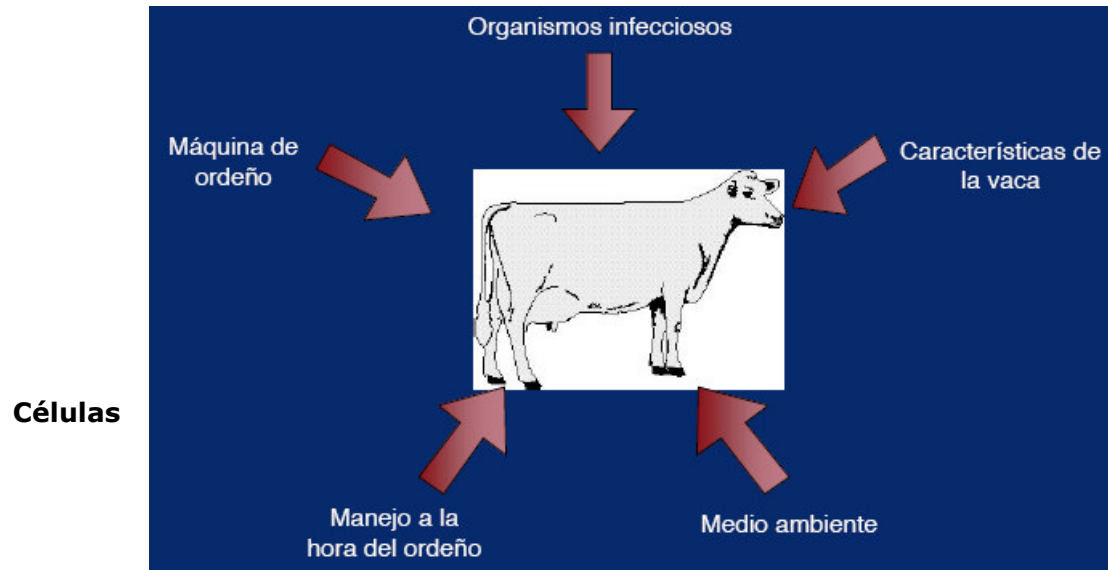
## Bacterias y Temperatura de la Leche



## Mastitis Clínica y Sub-Clínica



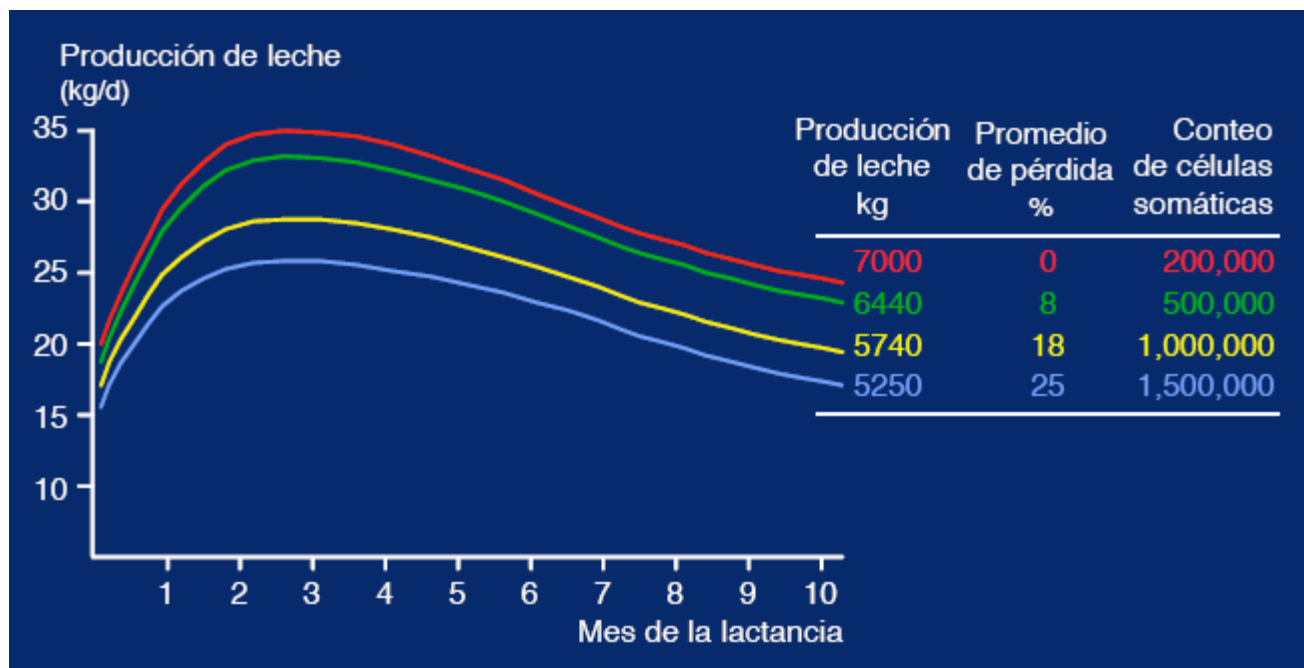
## Factores de Riesgo en Mastitis



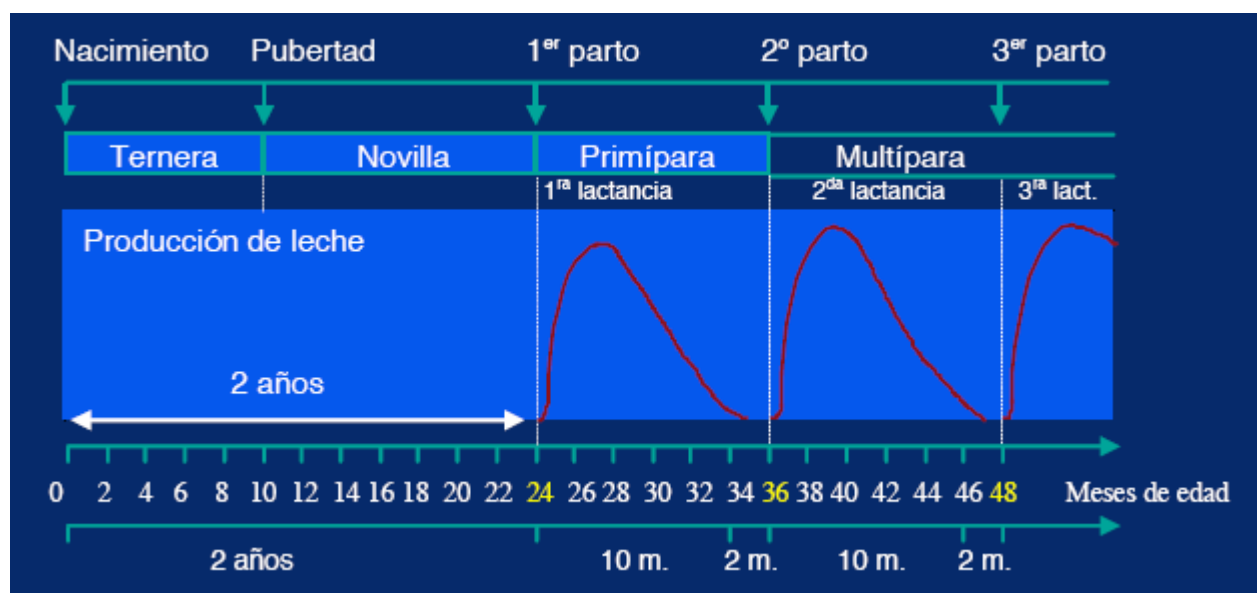
## Somáticas y Pérdida de Leche

Conteo de células somáticas (número/ml)	Cuartos infectados	Pérdida en prod. de leche (%)	Mastitis subclínica
Menos de 200,000	6 %	0 - 5	Cerca de cero
200,000 - 500,000	16 %	6 - 9	Algunos casos
500,000 - 1,000,000	32 %	10 - 18	Expandida ampliamente
Más de 1,000,000	48 %	19 - 29	Epidemia

## Células Somáticas y Producción de Leche



## Ciclos de Lactancia



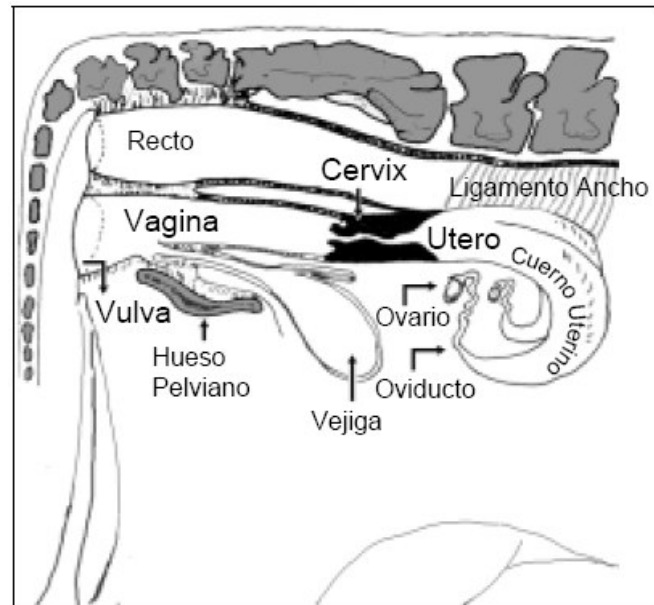
Fuente: The Babcock Institute.

## 2.4 Aparato Reproductor Bovino

### Las Hembras

**Vagina** es de forma tubular, y generalmente tiene 30 cm. de largo. En éste lugar queda el semen durante la monta natural. Este órgano es el conducto por el cual nacen las crías durante el parto. Y sirve como pasaje para introducir los instrumentos en la inseminación artificial.

**Cervix** es un músculo que mide alrededor de 10 cm. de largo y entre 2.5 cm. y 5.0 cm. de diámetro. Este órgano tiene un angosto canal central que normalmente se encuentra cerrado y sellado, especialmente durante la gestación, y se abre durante el estro y el parto. El cervix previene la entrada de patógenos y sustancias extrañas que pueden invadir el útero.



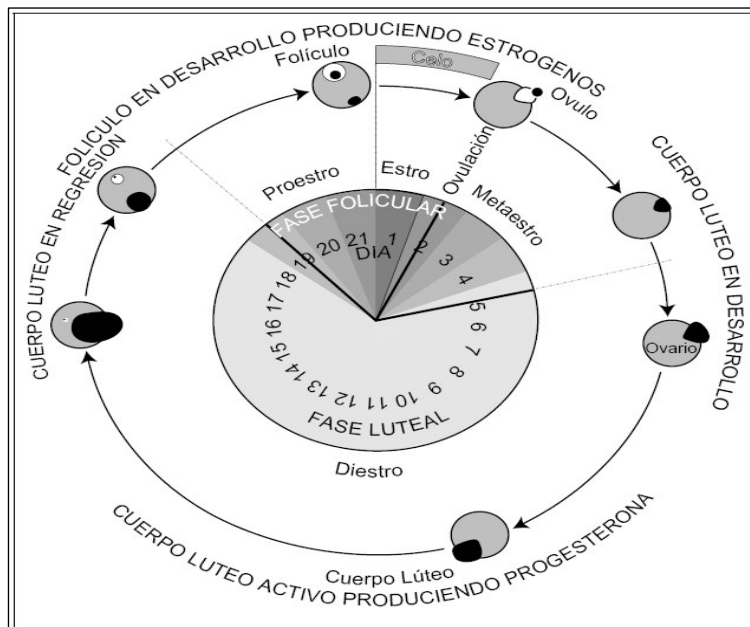
**Útero** es la parte del tracto reproductivo donde se desarrolla el feto. En vacas no preñadas el útero mide menos de cinco centímetros de longitud. Tiene dos cuernos curvados, izquierdo y derecho. Es capaz de expandirse enormemente para alojar al feto en crecimiento. Durante las últimas semanas de gestación, el útero contiene a la cría cuyo peso puede oscilar entre 35 Kg. y 40 Kg., además contiene de 20 Kg. a 30 Kg. de fluidos, y aproximadamente 5 Kg. de placenta. Alrededor de 40 días después del parto, el útero, así como otras partes del aparato reproductivo alcanzan nuevamente su tamaño normal.

**Los Oviductos** unen a los cuernos del útero con el ovario respectivo. Miden alrededor de 20 cm. de longitud y sólo 0.6 cm. de diámetro. En el extremo de cada oviducto se abre en una estructura en forma de embudo. Esta estructura colecta el óvulo que es liberado del ovario durante el estro. La fertilización del óvulo mediante espermatozoides, ocurre en el oviducto. El embrión permanece en el oviducto durante 3 ó 4 días antes de desplazarse al útero. Este período es necesario para que el útero se prepare a sí mismo a recibir el feto.

**Los Ovarios** tienen forma elíptica y miden entre 4 cm. y 6 cm. de longitud, y entre 2 cm. y 4 cm. de diámetro. Las funciones de los ovarios son: a) producir un óvulo maduro cada 21 días cuando la vaca posee un ciclo estral normal. b) secretar hormonas que controlan el crecimiento del óvulo dentro del ovario y que cambian la conducta de la vaca durante el estro. Estas mismas hormonas preparan el tracto reproductivo para la preñez.



Dos estructuras predominan en los ovarios, ya sea el folículo que contiene al óvulo maduro que será fertilizado por el espermatozoide, ó el cuerpo lúteo (cuerpo amarillo) que crece a partir de remanentes del folículo luego de que el óvulo ha sido liberado.



**El Óvulo** tiene sólo una copia de la información genética de los cromosomas. Los óvulos se encuentran en el ovario desde antes del nacimiento, pero la maduración de los óvulos inicia con la madurez sexual, es decir durante la pubertad que se presenta entre los 12 y 14 meses de edad. conjuntamente con el ciclo estral.

El Ciclo Estral es el intervalo (21 días en promedio) entre dos estros. El estro tiene una duración entre 6 Hrs. y 30 Hrs., período de receptividad sexual y primer día del ciclo estral.

La Fase Folicular se presenta hacia el final del ciclo estral, cuando el óvulo alcanza la madurez y se encuentra envuelto en un conjunto células que contienen sustancias nutritivas. La estructura completa que se genera en el ovario se denomina folículo y proporciona estrógenos, hormona que cambia la conducta de la vaca durante el estro (celo).

Sólo durante el celo la vaca se deja montar por el semental ó por otras hembras. Durante el celo, el óvulo y el folículo alcanzan la maduración. En la ovulación que dura 12 horas luego del final del estro, el folículo se rompe para que el óvulo sea pulsado hacia el oviducto. Las células que permanecen en el ovario comienzan a formar el cuerpo lúteo. Este cuerpo lúteo proporciona la progesterona que evita el crecimiento completo de los folículos para mantener la preñez.

**La Fase Luteal:** El desarrollo del cuerpo lúteo toma aproximadamente tres días (Día 2 a 5 del ciclo). Algunos folículos comienzan a crecer el Día 1 del ciclo, pero la progesterona secretada por el cuerpo lúteo evita que los folículos maduren.

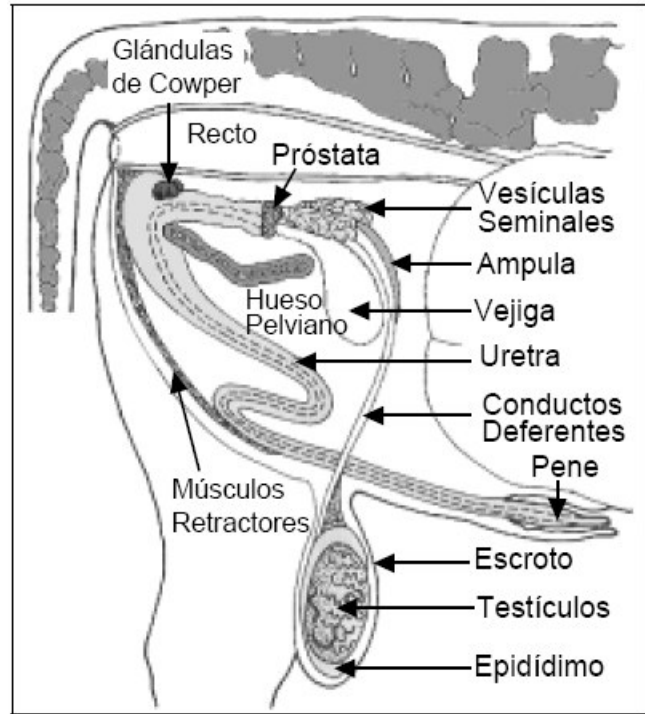
Entre los días 16 y 18 del ciclo, cuando el útero no detecta la presencia de un embrión, envía una señal hormonal (prostaglandinas) que produce la regresión del cuerpo lúteo. Esta regresión permite al folículo dominante completar su maduración, lo cual conduce a un nuevo estro y al inicio de un nuevo ciclo estral. En caso de preñez, el útero y el embrión envían hormonas que ayudan a mantener el cuerpo lúteo durante toda la gestación.



## Los Sementales

Los testículos de los sementales producen los espermatozoides que, como el óvulo, tienen sólo una copia de la información necesaria para constituir a un individuo. Los órganos sexuales del semental, comienzan a producir hormonas antes del nacimiento, pero la producción de espermatozoides inicia sólo en la pubertad, es decir entre los 7 meses y los 12 meses de edad.

El Escroto contiene los testículos y regula su temperatura. Esto es necesario ya que para la formación de espermatozoides se requiere temperatura entre 2°C y 4°C menor que la temperatura corporal normal en el animal. Algunos sementales sólo tienen un testículo en el escroto. El testículo que ha descendido al escroto funciona bien, a diferencia del que permanece en la cavidad el cual no funciona. Esta condición es hereditaria y debe evitarse el uso del semen de éstos sementales que podría propagar éste defecto.



Los Testículos tienen dos funciones principales: a) Producir espermatozoides viables y fértiles. b) Producir las hormonas masculinas. Cada testículo se encuentra en su propio compartimiento, y cada uno de ellos es unidad completa independiente. Los testículos se están formados principalmente de tubos seminíferos donde se lleva a cabo la producción de espermatozoides. Las células especializadas llamadas de Leydig ó células intersticiales, se encuentran diseminadas por los tejidos del testículo y producen testosterona, la hormona masculina predominante. Esta hormona es importante para a) La formación de espermatozoides. b) Determinar el impulso sexual del toro (libido). c) Mantener la actividad de los órganos sexuales secundarios, como la próstata, vesículas seminales y glándulas de Cowper. En el momento de la cópula, antes de que el semen sea eyaculado, los espermatozoides se mezclan con las secreciones ricas en sustancias nutritivas, provenientes de los órganos sexuales secundarios.

La Formación de Espermatozoides toma aproximadamente entre 64 días y 74 días, y entre 14 y 18 días para que el esperma viaje a lo largo del epidídimo, que es lugar de acumulación y maduración final de los espermatozoides. Los síntomas de infertilidad en el semental, se presentan entre 2.5 y 3.0 meses luego que el proceso de formación de espermatozoides ha sido afectado. Generalmente, la formación de espermatozoides aumenta con el peso y el diámetro de los testículos.

Los toros más grandes y más viejos normalmente producen mayor cantidad de espermatozoides. La secreción de glándulas accesorias contribuye en promedio, al 80% del volumen del eyaculado. Un toro joven entrando en servicio produce tan solo 1ml. a 2ml. de semen por eyaculación mientras que un toro maduro produce 10ml. a 15ml. de semen por cada eyaculación.

Normalmente, cuando el semental sirve por segunda ó tercera vez consecutiva, el volumen de semen no disminuye, pero la concentración de espermatozoides sí tiende a disminuir. Las eyaculaciones frecuentes no afectan la fertilidad de un toro adulto, pero sí pueden afectar a un toro joven.

## 2.5 Juzgamiento de Ganado Lechero

El juzgamiento y la exposición de ganado son generalmente fuentes de motivación para que la juventud se involucre más en la producción lechera. Son actividades comunes en las asociaciones ganaderas a nivel mundial, y suelen ser temas en universidades. El juzgamiento del ganado lechero es un ejercicio de evaluación, calificación, comparación, selección y justificación. Entender las etapas del juzgamiento en el ganado lechero permite que los aprenden los pasos para tomar decisiones responsables. Es también un ejercicio de paciencia y observación. Nada se debe pasar por alto. Las virtudes y debilidades en el ganado deben ser correctamente analizados en la decisión final que integra varias observaciones sencillas. Es importante reconocer lo multifacético en el juzgamiento del ganado lechero.



**El sentido de competencia** no debe ser la única motivación, sino que además debe haber interés por aprender y adquirir nuevas habilidades. Para estar en posibilidad de juzgar al ganado, es necesario conocer el cuerpo del ganado, y entender la forma en que las partes de su cuerpo se relacionan entre sí, para cumplir diferentes funciones.

**La línea superior** en el cuerpo del ganado comienza en la cruz e incluye todo el dorso del animal. Las partes principales de la línea superior son la zona lumbar, la zona torácica, espinazo y grupa

**La columna vertebral** ó espina dorsal es la base ósea de la línea superior en el animal. En animales flacos resulta fácil distinguir cada una de las vértebras a lo largo de la línea superior. En ocasiones la vértebra entre la zona torácica y lumbar es muy notoria.

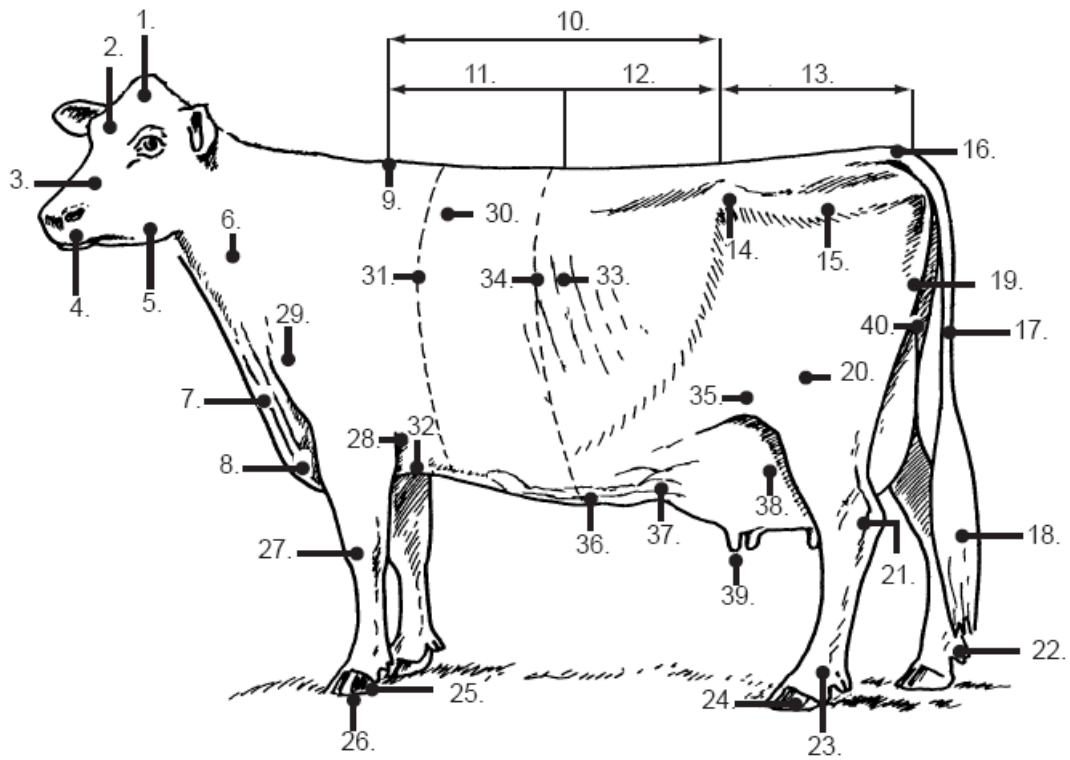
**Varias partes de la vaca** se combinan para formar la grupa en la línea superior. La grupa comienza en los huesos iliacos y termina en los ísquiones. Las tuberosidades iliacas son estructuras óseas que sobresalen a cada uno de los lados del animal.

**En la parte posterior de la grupa** se encuentran los ísquiones (tuberosidad isquiática). Aproximadamente a mitad de la distancia entre la tuberosidad iliaca y la isquiática se encuentra la articulación coxo-femoral (cadera), que conecta la pata trasera con la grupa.

**La grupa** es parte muy importante en el animal porque el punto inicial de las patas traseras y contiene el tracto reproductivo de la vaca. Así mismo, la grupa sirve como soporte de la ubre.

**Una grupa larga, ancha y bien conformada** es importante para dar soporte a una ubre larga, ancha y bien formada. La última parte de la línea superior es la base de la cola. En éste punto comienza la cola que termina en pelos largos.

En cada una de las patas de la vaca se encuentran las pezuñas con dos dedos en cada una. Cada pezuña tiene talón, dedo y suela. El talón está en la parte trasera, el dedo en el frente y la suela en la parte inferior de la pezuña.



Cabeza y Cuello	Linea superior	Patas y Piernas	Cuerpo y Pecho
1. Zona de cuernos	9. Cruz	19. Nalga o muslo	31. Circunferencia torácica
2. Frente	10. Espinazo	20. Patela	32. Piso del pecho
3. Nariz	11. Zona torácica	21. Corvejón	33. Costillas
4. Morro	12. Zona lumbar	22. Dedos rudimentarios	34. Barril
5. Mandíbula	13. Grupa	23. Cuartilla	35. Flanco
6. Cuello	14. Tuberosidad lúfaca	24. Pezuña	<b>Ubre</b>
7. Papada	15. Articulación coxo-femoral (cadera)	25. Talón	36. Venas mamarias
8. Punta del Estermón	16. Base de la cola	26. Suela	37. Ligamento suspensorio anterior
	17. Cola	27. Rodilla	38. Ubre
	18. Pelos de la cola	28. Olécranon ("codo")	39. Pezones
		29. Articulación escapulohumeral (hombro)	40. Ligamento suspensorio posterior

Inmediatamente arriba de la pezuña se encuentra la cuartilla. La cuartilla actúa como amortiguador en cada paso que da la vaca. Los dedos rudimentarios son las proyecciones que se encuentran en la parte posterior y superior de las cuartillas. La estructura de las patas posteriores se extiende dorsalmente desde la pezuña y la cuartilla hasta la unión coxo-femoral. Las piernas del ganado bovino tienen varias articulaciones ó uniones (cadera, patela, talón, dedos o falanges). Entre las articulaciones del corvejón y la coxo-femoral se encuentra la articulación patela. El área que se encuentra dorsalmente a la parte posterior de las patas traseras es el muslo.

Encima de la pezuña y de las cuartillas de las patas delanteras se encuentra lo que se conoce como la rodilla del animal. La articulación que se encuentra en las patas delanteras, por arriba de la rodilla es el codo (olécranon). Hacia arriba en las patas delanteras se encuentra la punta del hombro. El húmero (base ósea del hombro) se une a la escápula, que es el hueso plano, largo y triangular que forma la estructura ósea de la espalda en la vaca. La escápula se extiende hacia arriba y atrás en ángulo desde la punta del hombro hacia la cruz.

Por debajo de la línea dorsal de la vaca, desde la cruz a los ilíacos, se puede denominar barril. El barril tiene que ser lo suficientemente largo para poder almacenar todo el forraje necesario para llenar el rumen de la vaca. A la porción anterior del barril se le conoce también como pecho y al área que se encuentra atrás de las patas delanteras se la conoce como el piso del pecho. La vaca requiere tórax y pecho suficientemente grandes para contener el corazón y pulmones. Una vaca puede llegar a producir anualmente 9500, 12000, 15000 ó más kilogramos de leche.

Por ésta razón es importante estar familiarizado con la ubre. Los cuatro pezones que se encuentran localizados en la base de la ubre permiten que la leche sea extraída de cada uno de los cuatro cuartos de la ubre (dos cuartos delanteros y dos posteriores).

Los dos cuartos ubicados en la parte izquierda de la ubre se encuentran separados de los dos cuartos en la parte derecha de la ubre por el ligamento suspensorio medio de la ubre. La profundidad y conformación del ligamento suspensorio medio, al igual que los otros ligamentos de la ubre, son responsables de la buena implantación de la glándula mamaria (ubre).

El ligamento suspensorio medio se encuentra estrechamente relacionado al soporte de la ubre (caída ó alta). Generalmente se evalúa la disposición de la ubre considerando la base de la ubre y el corvejón. Las vacas que tienen ubres un poco por encima de los corvejones (altas) tendrán menos lesiones en ubre y pezones, y se espera que sean longevas. Las ubres por debajo de los corvejones son más susceptibles a sufrir lesiones.

En la implantación delantera de la ubre, el ligamento suspensorio anterior, es responsable del soporte delantero de la ubre. Por otra parte, el ligamento suspensorio posterior de la ubre, encuentra entre las patas traseras y los muslos, y es responsable del soporte posterior de la ubre. Una vez que se tiene conocimiento sobre las diferentes partes de la vaca, es necesario conocer cuales de las partes en el animal son las más importantes.

La Asociación de Razas Puras de Ganado Lechero (Purebred Dairy Cattle Association), integrada por representantes de cada una de las razas lecheras ha diseñado tarjeta de calificación ó puntaje para el juzgamiento del ganado. Las tarjetas de calificación indican donde poner mayor énfasis durante el juzgamiento, y se adjudica puntaje a cinco diferentes categorías.

### **Ubre: 40 Puntos**

- Piso de la ubre encima de los corvejones.
- Buena posición de los pezones en la base de cada cuarto.
- Parte trasera de la ubre: alta, ancha y llena.
- Ligamento suspensorio medio: profundo mostrando buen implante mamario.
- Parte delantera firme y bien implantada.
- Pezones: forma y tamaño uniforme; diámetro y longitud media.
- Piso de la ubre: nivelado.
- Los cuatro cuartos: en balance homogéneo y con textura suave.

### **Carácter Lechero: 20 puntos**

- Piel delgada sin grasa cubriendo los huesos de la vaca.
- Se deben notar cada una de las costillas.
- Cuello largo y magro sin pliegues debajo de la garganta.
- Estructura corporal grande.
- Cruz y zona lumbar prominentes y con apariencia angulosa.
- Cada vértebra a lo largo de la línea superior debe ser visible.
- Huesos ilíacos e ísquiones marcados.
- Muslos con piel delgada levemente curvados hacia adentro.

### **Patas y pezuñas: 15 puntos**

- Pezuñas en buenas condiciones.
- Talones bajos y con buen ángulo.
- Cuartillas cortas y con cierta flexibilidad.
- Patas no muy rectas ni muy dobladas.
- Corvejones limpios que no muestren durezas ó inflamación.

- Articulación coxo-femoral localizada entre ilíacos y los ísquiones.
- Apariencia cómoda y saludable al caminar.

### **Estructura y Conformación: 15 puntos**

- Grupa larga y ancha.
- Tuberosidad isquiática un poco más baja que la ilíaca.
- Caderas e ísquiones separados.
- Base de la cola claramente visible entre los ísquiones.
- Levemente más alta en la cruz que en la grupa.
- Tercio anterior armonioso.
- Buenos aplomos delanteros.
- Espalda recta y fuerte.
- Lomo fuerte y ancho.
- Figura estilizada y bien balanceada característica de su raza.

### **Capacidad corporal: 10 puntos**

- Gran capacidad para alimento en el barril (estimar el volumen del barril).
- Profundidad del pecho y del barril en vista lateral.
- Ancho del pecho y capacidad de expansión de las costillas vista desde atrás.

### **Defectos**

#### **No Afectan la Puntuación Final:**

- Vaca con cuernos
- Coxales pequeños, siempre que no interfieran con la movilidad de la vaca.
- Vaca sin cuernos.
- Orejas pequeñas ó con lesiones por congelamiento.
- Pelos largos de la cola amontonados.
- Vacas ó novillas con la cola cortada.
- Color inusual.
- Pezones supernumerarios, siempre que no interfieran con el ordeño.

#### **Efecto Leve en la Puntuación Final:**

- Tuerta.
- Ojos cruzados u ojos saltones.
- Claudicación temporal.
- Edema en corvejones.
- Dedo chueco (patas delanteras).
- Pezón que gotea levemente.
- Lesión menor temporal.
- Ubre ligeramente fuera de balance.

#### **Efecto Leve a Serio en la Puntuación Final:**

- Indicación de ceguera.
- Rostro torcido.
- Mandíbula inferior corta.
- Hombros abiertos.
- Cola doblada.

- Base de la cola ladeada.
- Cuartillas débiles.
- División media de la ubre inaparente.
- Ligamentos suspensorios anteriores ó posteriores flojos (ubre caída).
- Cuerpo pequeño.
- Gordura.
- Dedos abiertos.
- Leche sanguinolenta, coagulada ó aguada.
- Obstrucción en pezones.
- Dureza en la ubre.

#### **Efecto Serio en la Puntuación final:**

- Patas traseras artríticas.
- Ligamento anterior de la ubre roto.
- Ligamento posterior de la ubre roto.
- Ubre colgante.

#### **Descalificación**

- Ceguera total.
- Uno ó más cuartos de la ubre improproductivos.
- Claudicación permanente.
- Practica desleal, tramposa (disimular o esconder fallas).
- Novilla machorra ó freemartin, a menos que se pruebe que está gestante.

## **2.6 Evaluación de la Salud en Vacas**

La Evaluación de la Salud en las Vacas debe ser constante. Vacas cuya salud sea deficiente estarían actuando como freno en los promedios de la producción en el hato y ocasionarían pérdida para el ganadero. Entre más tempranamente sea detectada y atendida la enfermedad, habrá mayores posibilidades de una completa y más rápida recuperación del animal y de los niveles de producción en el hato. Por ejemplo, las infecciones en patas y ubres pueden reducir los promedios de producción en 20%, además de los costos del tratamiento y medicamentos. Evaluar la salud en el ganado, no se trata de una mirada rápida, sino de observación crítica y cercana, tomando suficiente tiempo diariamente para efectuar comparación entre las vacas del hato. Separe del hato a la vaca cuyo comportamiento sea diferente. Asegúrese que la vaca descanse y se relaje hasta que su frecuencia cardiaca y respiratoria sean normales para poder comenzar a examinarla y llegar a conclusiones.



#### **Los siguientes pasos pueden indicar al productor cuando algo anda mal con la salud de la vaca:**

**1)** Comience tomando la impresión general del animal y continúe con el sistema respiratorio, la frecuencia cardiaca, la temperatura corporal y finalmente mantenga a esa vaca en observación individual durante los días siguientes.

**2)** Observe a la vaca desde algunos metros de distancia, poniendo especial atención en áreas específicas del animal, como su condición corporal, el rumen, pelo y comportamiento general, buscando anormalidades visibles.

**3)** Compruebe si la vaca presta atención a su alrededor y está rumiando, si se incorpora o se aísla de hato y si ingiere alimento con regularidad.

**4)** La vaca alimentada regularmente tendrá el rumen lleno. Observe por detrás a la vaca. Cuando el rumen está lleno se notara una voluptuosidad del lado izquierdo del animal y será difícil palpa con la mano la última costilla en ese lado. Cuando el rumen no está lleno, lo más probable será que la vaca tenga problemas para alimentarse, ó que la cantidad suministrada de alimento sea inadecuada.

**5)** El excremento de una vaca sana es consistente (no muy líquido, ni muy sólido).

**6)** Compare a esa vaca con otras que se encuentren en la misma etapa de lactación. La condición corporal de esa vaca no deberá variar demasiado en comparación con la condición corporal de sus compañeras en el hato. La condición corporal indica la cantidad de reservas almacenadas en el cuerpo de la vaca. Cuando el consumo y calidad de los alimentos queda por debajo de los requerimientos, el balance de energía será negativo.

**7)** El pelo en una vaca sana se muestra fino y brillante. El ganado con escasa condición corporal mostrará generalmente pelo largo y tosco.

**8)** Resulta fácil detectar problemas de audición.

**9)** Es necesario observar detenidamente, patas, ubres y membranas mucosas. La buena posición de las patas traseras es buen indicador de la salud en las pezuñas.

**10)** La ubre hinchada, enrojecida y muy sensible al tacto, así como grumos en la leche, indican infección en la ubre.

**11)** Inspeccione la membranas mucosas en boca, ojos y vulva. En las vacas sanas, las membranas mucosas se encuentran húmedas y color rosa. La coloración entre gris y café de las membranas indica envenenamiento con nitratos, el color amarillento indica posible mal funcionamiento del hígado y el color rojo en las membranas mucosas puede indicar infección.

**12)** La vaca sana respira sin dificultad. Párese al lado derecho de la vaca para observar su respiración. La respiración debe ser suave y cadenciosa. La vaca sana exhala 10 a 30 veces por minuto. El número de respiraciones por minuto puede verse y escucharse. La carcasa del animal se expande con cada inhalación y se contrae en la exhalación. La inhalación puede escucharse claramente debido a la gran cantidad de aire que penetra a los pulmones. Normalmente las exhalaciones son difíciles de escuchar. Cuando se oyen crujidos durante la respiración, quiere decir que el rumen está soportando la exhalación, lo cual puede indicar posible enfermedad respiratoria ó daño en el tejido pulmonar. El aliento con olor a acetona, puede indicar cetosis. La respiración se lleva a cabo a través de la nariz. La nariz de una vaca sana, está húmeda y tibia.

**13)** La función del corazón en la vaca es muy importante. Cada litro de leche que la vaca produce, requiere alrededor de 400 litros de sangre. El corazón debe mantener la sangre circulando continuamente. Una vaca sana mantiene una frecuencia cardiaca de 60 a 80 latidos por minuto. El corazón se encuentra detrás de la pata delantera izquierda. Ponga su mano en ese lugar y podrá sentir los latidos.



También podrá escuchar los latidos poniendo su oído en ese lugar. Así mismo, es posible sentir los latidos a través de las arterias: en medio y en el extremo de la cola, así como por debajo de la quijada. En ocasiones es factible detectar más de 80 latidos por minuto, debido a las siguientes causas: la vaca posee mayor frecuencia cardiaca natural, pérdida de sangre, envenenamiento con nitratos ó afecciones de las válvulas cardiacas. Cuando las infecciones penetran en la sangre, bacterias puede infectar las válvulas del corazón y como resultado dichas válvulas ya no cerrarán completamente, ocasionando que el corazón pierda capacidad de funcionamiento. Cuando las válvulas se encuentren seriamente deterioradas, no es posible una buen circulación sanguínea, lo cual propicia que parte de la sangre quede detenida ocasionando edema que a veces puede sentirse presionando con los dedos en el área del corazón.

**14)** La temperatura corporal en una vaca sana, oscila generalmente entre 38 y 39 grados centígrados. Al existir infección en el animal, la temperatura excederá de los 39 grados centígrados. Cuando la hembra está en calor, su temperatura corporal se incrementa normalmente alrededor de medio grado centígrado.

Tome la temperatura colocando termómetro en el recto del animal, haciendo descender el mercurio en el termómetro primeramente. Inserte el termómetro humedecido con vaselina y déjelo en el animal por un minuto.

Cuando una vaca tiene fiebre, algunas partes de su cuerpo se sentirán frías al tacto, especialmente orejas, cola y pezones. Cuando dichas partes se encuentran demasiado frías, quiere decir que poca sangre está circulando por esos órganos. Al existir quietosis, la vaca también se sentirá fría al tacto, pero no por causa de fiebre, sino como consecuencia de un descenso general en la temperatura corporal del animal debido a ésta enfermedad.

**Las Precauciones Zoonitarias** a seguir: respete las indicaciones de los fabricantes de productos. Use las dosis correctas de medicamentos. En vacas lactantes no use antibióticos recomendados para vacas secas. Identifique con brazaletes ó collares a los animales que se encuentren en tratamiento médico y ordéñelos por separado sin incluir la leche. Establezca un calendario de tratamientos para vacas lactantes. No use más de un antibiótico en los tratamientos, a menos que sea recomendado por el veterinario.

No trate mastitis subclínica durante la lactancia, amenos que sea recomendado por el médico veterinario. Establezca un programa para prevención de mastitis. La leche con mastitis no debe estar a la venta. mantenga un registro de todos los tratamientos médicos, incluyendo fecha, número de vaca, medicamento(s) utilizado, duración del tratamiento y persona encargada de aplicar el tratamiento. Rigurosas condiciones de higiene durante los tratamientos intra-mamarios para tratar mastitis con antibióticos siguiendo los siguientes pasos: limpie y desinfecte los pezones antes de aplicar el medicamento. Inserte la punta de la cánula del envase con el medicamento aproximadamente 3 milímetros dentro del pezón. Deseche las cánulas en lugar seguro para evitar su reutilización. Cumpla con la normatividad zoonitaria.

**La Higiene y Salud de los Trabajadores** deben ser satisfactorias de acuerdo con las autoridades sanitarias para mantener la competitividad en el sistema de producción y evitar riesgos de salud en seres humanos y animales. Trate a todos los trabajadores con respeto. Cumpla con las leyes relacionadas al trabajo. Brinde capacitación actualización a los trabajadores. El sistema de producción debe brindar seguridad a trabajadores y ganado. Pague salarios justos y ofrezca remuneraciones a los trabajadores que las merezcan. No contrate a niños. Emplee personal capaz. Cumpla la normatividad en cuanto a seguridad ecológica. Conozca sobre la salud de los trabajadores. Los trabajadores que manejan agroquímicos y otros productos peligrosos, deben ser capacitados previamente.

**En el manejo Medioambiental** conserve y proteja los cuerpos de agua pura. Desempeñe actividades conforme a parámetros ecológicos propiciando el desarrollo sostenible. La planeación deben tomar en cuenta la prevención y corrección de cuestiones indeseables para el medio ambiente durante todas las fases de producción.

**La Asistencia Técnica es Importante** cuando se desea integrar los esfuerzos de varios productores para mejorar la organización social mediante asociación y cooperativas para tener mayor oportunidad de acceso a los mercados. La asistencia técnica es fundamental en la producción de leche y productos lácteos, desde en inicio en la planeación del negocio hasta la comercialización.

## 2.7 Producción de Leche

El manejo del ganado lechero puede comprarse con el entrenamiento intensivo que reciben atletas sobresalientes a nivel mundial. Los atletas requieren condiciones óptimas para aprovechar el potencial genético y lograr altos rendimientos en las pistas de competencia. El ganado lechero requiere de buen manejo y acondicionamiento para que el potencial genético sea aprovechado, es decir, la disposición de las vacas para producir leche. Las equivocaciones y descuidos en el manejo del ganado lechero, así como las fluctuaciones en la vida de las vacas, enseñan siempre cosas nuevas a sus propietarios.



### **Tomemos el caso específico de la siguiente vaca Holstein Friesian:**

En la última lactancia, ésta vaca y su entrenador tuvieron problemas por descuidos que persistieron desde el inicio del período seco hasta el día del parto. Durante el período seco, el sobrepeso y excesiva condición corporal en la vaca, provocaron complicaciones posteriores como fiebre de leche crónica, fluctuaciones en la producción, problemas en patas, disminución de la fertilidad y alto conteo de células somáticas en la leche. El sobrepeso y excesiva condición corporal en la vaca permanecieron sin cambios hasta el día del parto. Su condición corporal de 4.5 debía estar entre 3.0 y 3.5.

En condiciones normales se espera incremento adecuado del peso en las vacas durante las últimas semanas del período seco, ya que la cría crece alrededor de 500 gramos diarios al final de la gestación. Esta vaca utilizó sus reservas de grasa para el crecimiento de la cría, lo cual provocó balance negativo de energía y, como consecuencia problemas al momento del parto y posteriores.

En el período del parto la vaca perdió 105 Kg. de peso (la cría pesó 50 Kg.). De éste modo, el peso corporal de la vaca disminuyó repentinamente. Después del parto, el peso y la condición corporal de ésta vaca continuaron decreciendo hasta llegar a 1.75 su condición corporal y a 265 Kg. la pérdida total de peso. En promedio la vaca había utilizado alrededor de 3 Kg. de grasa corporal por día, cuando normalmente es aceptable la combustión de hasta un kilo de grasa diario durante las primeras semanas de lactancia. No fue sino hasta después de los 55 días de lactancia, que la vaca comenzó paulatinamente a recuperar su condición normal, y sólo después de 403 días de lactancia la vaca pudo iniciar su período seco con una condición corporal de 3.5 y un peso de 820 Kg.

Es bien sabido que la ingesta de materia seca en las vacas se reduce en promedio 15% durante el período seco, con máxima reducción en la última semana de éste período. Los problemas de ésta vaca iniciaron con el período seco, debido al tipo y método de alimentación, así como por razón de la insuficiente supervisión.

El sobrepeso y excesiva condición corporal causaron un balance negativo de energía frente a los requerimientos energéticos que se incrementaban. De éste modo, la ingesta de materia seca se mantuvo por debajo de las necesidades nutricionales del animal, y el nivel de insulina en la sangre se redujo debido a la alta demanda de energía. La vaca entonces comenzó a utilizar sus amino ácidos (proteína del tejido muscular) y grasa corporal (fuente de energía), lo cual empeora las cosas porque se desencadenan reacciones negativas, es decir, la grasa corporal liberada ocasiona disminución persistente en la ingesta de materia seca, así como incremento del balance negativo de energía en detrimento de la condición corporal de la vaca.

Esta vaca mantuvo su peso durante las tres últimas semanas antes del parto, cuando era necesario que su peso incrementara. La degeneración de la grasa durante el período seco tiene serias consecuencias en la condición general y reproductiva de las vacas. Algunas de las consecuencias son bien conocidas: fiebre de leche crónica, quistes en los ovarios, desplazamiento de abomaso, mastitis, etc.

Por otra parte, las vacas que utilizan su grasa corporal como fuente de energía en el período seco y guardan el exceso de grasa como triglicéridos, tarde o temprano sufrirán síndrome de hígado graso, y por consiguiente no podrán digerir suficiente alimento. Esto fue lo que ocasionó problemas a ésta vaca, así como a su propietario y al entrenador.

Conservar el mismo peso en las últimas semanas del período seco indica que la ingesta de alimento se encuentra por debajo de los requerimientos de la vaca. El primer día después del parto, ésta vaca tuvo que ser tratada dos veces al día contra fiebre de leche (Ca-Mg)), y su producción de leche no pudo ser normal sino hasta después de mucho tiempo. Además, en la leche el contenido de grasa (6.28%) en relación con la proteína (3.66%) indicaban sobre la inadecuada condición en la vaca. Cuando la diferencia entre grasa y proteína es mayor a 1.5%, resulta conveniente el tratamiento con propylene-glycol. La relación grasa-proteína en la leche de ésta vaca, no pudo ser normal sino hasta alrededor de los 200 días de lactancia.

Otro problema fue el alto conteo de células somáticas en la leche de ésta vaca. Habitualmente, el conteo de células no debe exceder el límite crítico de 250'000. Sin embargo, en ésta vaca sólo cuatro lecturas fueron menores de 250'000. Estos conteos fueron tomados cuando la producción de leche de ésta vaca fue más alta, lo cual indica sin duda que la dilución formaba parte importante en el conteo de células somáticas.

Un alto conteo de células afecta la producción de leche, y con frecuencia tiene origen en el período seco, debido a errores en el manejo y falta de supervisión, cuyos efectos causan disminución en la resistencia del animal. Esta misma vaca tuvo que ser tratada en dos ocasiones por mastitis en el cuarto delantero derecho. El análisis bacteriano mostró que la bacteria causante de mastitis fue *Staphylococcus Aureus*. Esta bacteria difícil de controlar, fue la razón del alto conteo de células somáticas. Generalmente se obtienen buenos resultados al tratar intensivamente el tipo clínico de mastitis, pero el tipo subclínico es difícil de controlar. Los efectos benéficos de los tratamientos preventivos contra mastitis, aplicados durante el período seco, y el buen manejo, así como el acondicionamiento óptimo de las vacas harán visibles en partos posteriores.

Era difícil que ésta vaca padeciendo fiebre de leche y teniendo problemas en ubre y patas, quedara preñada a tiempo. Es necesario que las vacas se encuentren en buenas condiciones antes de ser inseminadas, y la vaca aquí mencionada no es la excepción a ésta regla. En éstas circunstancias, después del parto en ésta vaca hubo retención de placenta, y los ovarios se encontraban inactivos debido al balance negativo de energía. La vaca sólo mostró débiles señales de estro.

Es importante palpar el útero y los ovarios regularmente para que las vacas puedan ser diagnosticadas y tratadas tempranamente. El tratamiento con prostaglandina mejoró las condiciones de ésta vaca, y tres días después del tratamiento mostró claras señales de estro. La primera inseminación no fue exitosa, pero en el siguiente estro la vaca quedó preñada finalmente.

Lo anterior muestra que resulta primordial poner atención en la nutrición de las vacas durante el período seco, para evitar problemas subsecuentes. Es también fundamental mantener óptima estimulación de las funciones en el rumen, suministrar suficientes cantidades de alimentos fibrosos durante la etapa temprana del período seco e incluir gradualmente alimentos ricos en almidón tres semanas antes del parto, y durante el período de transición.

Los cambios en la dieta deben ser graduales, porque la bacteria, protozoarios y hongos en el rumen requieren tiempo para adaptarse a los nuevos alimentos. Gran parte de la capacidad en la vaca para ingerir alimentos está determinada por las papilas del rumen. La eficiencia en la digestión de los ácidos grasos volátiles, depende de la calidad (ej. longitud), así como de la cantidad de papilas en el rumen.

Los alimentos fibrosos suministrados al inicio del período seco, causan disminución en la longitud de las papilas, debido a la cantidad de ácido acético y escaso propionato. Al proporcionar alimentos ricos en almidón se reduce la cantidad de microorganismos que producen ácido acético en el rumen, y al mismo tiempo aumenta notablemente la cantidad de microorganismos que producen propionato. El propionato fomenta el aumento en la longitud de las papilas en el rumen.

Normalmente las raciones alimenticias suministradas durante el período seco, contienen abundantes cantidades de iones con cargas positivas (cationes), sodio y potasio que pueden dar lugar a hipocalcemia en las vacas. En éste sentido se recomienda proporcionar sales aniónicas durante la última etapa del período seco, para reducir el riesgo de hipocalcemia. La cantidad de sales aniónicas requerida, puede ser calculada mediante el PH (acidez) en la orina. El PH ideal durante el período seco debe estar entre 5.5 y 6.5. Valores de PH entre 7.0 y 8.0 podrían indicar que la vaca está sufriendo de hipocalcemia. Es recomendable analizar regularmente el PH en la orina durante el período seco, particularmente en las últimas semanas.

La etapa crítica en la vida de las vacas se presenta entre el inicio del período seco y el parto. La salud de la vaca, así como su producción y reproducción dependen en buena parte del adecuado manejo y acondicionamiento durante éste período. Este período de transición es el que tiene mayor impacto en la lactancia. La ingesta adecuada de materia seca durante el período seco es de vital importancia para minimizar las posibilidades de un balance negativo de energía en el animal, y el riesgo de síndrome de hígado graso. La vaca que ha sido bien alimentada y acondicionada irradia salud, aún durante el parto. Fuente: Veepro Holland

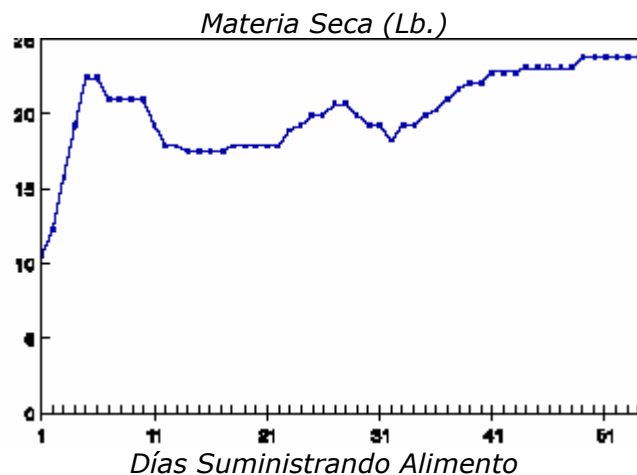
## 2.8 Ingesta de Alimento

La tecnología nos proporciona herramientas para engordar intensivamente el ganado bovino. Cada día sabemos más sobre aspectos nutricionales del ganado. Tenemos ionóforos para favorecer la fermentación en el rumen, y anabólicos para estimular el apetito y crecimiento del ganado. Disponemos de antibióticos para controlar enfermedades infecciosas y metabólicas. Las computadoras nos ayudan a balancear las dietas y proyectar el negocio. Pero aún así no todos tienen éxito en la engorda, porque en ocasiones sus costos son altos, y a veces debido a la inexperiencia en la comercialización. En muchos casos nuestros registros en programas de producción, indican cuando la relación entre ganancia en peso y alimento consumido fue alta, también cuando fue baja, pero no nos dicen por qué.

### Pruebas

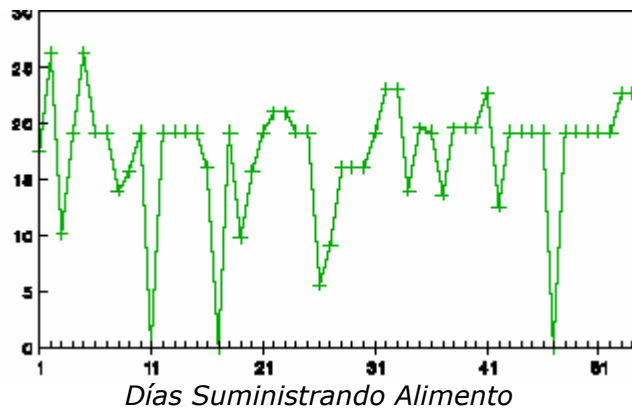
Las siguientes gráficas 1 y 2 muestran las tendencias de dos lotes de ganado en un experimento realizado en Estados Unidos, por el Dr. Robbi H. Pritchard de la Universidad de Dakota del Sur. Una parte del ganado en el corral B, la otra en el corral A. La misma dieta para todo el ganado en éste experimento. El ganado en el corral B, fue manejado por un experimentado engordador de ganado bajo la premisa de mantener los comederos llenos siempre de alimento. El ganado en el corral A, fue manejado considerando que el suministro de alimento debe coincidir con el apetito del ganado. La ingesta de materia seca en los dos corrales se muestra en las gráficas 1 y 2.

**Gráfica 1: Patrones de Ingesta Corral "A"**



**Gráfica 2: Patrones de Ingesta Corral "B":**

*Materia Seca (Lb.)*



### Comentarios sobre las Gráficas 1 y 2

La cantidad de alimentos suministrada fue similar en ambos corrales, A y B, pero el promedio diario de ganancia en peso, y la conversión alimenticia no fueron similares, debido a la forma errática en el suministro de alimento en el corral B. Habrá que preguntarse porqué si el ganado en el corral B tuvo siempre alimento enfrente, y recibió la misma cantidad que el ganado en el corral A, su desempeño fue tan malo. Esto se debe a una ingesta de alimento errática, que genera desperdicio y problemas digestivos, además incrementa la cantidad de alimento requerida por unidad de ganancia en peso, y subsecuentemente aumentan los costos de producción. Es en éste sentido que resulta fundamental optimizar el manejo y administración de los alimentos en comederos.

### Administración del Alimento

Habrá que recordar los tres factores siguientes para estar en posibilidad de encontrar equilibrio entre la cantidad suministrada de alimento, y el alimento que el ganado nos pide y puede asimilar saludablemente:

1. Sabemos que el ganado es depósito de fermentaciones, y en los depósitos de fermentaciones todo debe mantenerse constante. Es decir, una dieta constante, suministrada en cantidades y tiempos constantes, porque las variaciones son el peor enemigo de las fermentaciones.
2. Tener en mente que el ganado no sabe cuánto debe comer. Si supiera no tendría problemas digestivos. Frecuentemente su cerebro les indica que deben comer cuando los organismos en el rumen están ya más allá de sus límites. Nuestro trabajo es saber la diferencia entre cuánto alimento desea el ganado, y cuánto alimento puede soportar su organismo de manera saludable.
3. Un error en el suministro de alimentos, tarda entre dos y tres días en mostrarse. Sin registros de lo que está sucediendo en los comederos, sería difícil saber porqué el ganado no comió durante el día. Los bovinos son seres de hábitos, lo cual resulta ser muy útil para administrar alimento en comederos. Hay que establecer buenos hábitos de alimentación desde el principio para mantener la constancia que se requiere en la fermentación de los alimentos. Suministrar cantidades exactas de alimento es crucial. En éste sentido, una báscula en el carro mezclador resulta fundamental. Mediante el carro mezclador con báscula es posible asegurar cantidad y uniformidad en la mezcla de alimento a suministrar. Debemos asegurarnos de suministrar el alimento dentro un mismo horario.

## Ejemplo

Supongamos un grupo de reses saludables alimentándose en los corrales, una dieta bien balanceada y un carro mezclador con báscula. Un primer día temprano por la mañana, notamos que el primer comedero en los corrales está totalmente vacío, nos preguntamos qué cantidad de alimento debemos descargar allí. Recordamos o creemos recordar que el día anterior descargamos 350 Kg. de alimento en ese primer comedero. Decidimos entonces descargar 375 Kg. en ese comedero vacío, para que al día siguiente por la mañana no encontremos ese comedero vacío. Ese mismo día notamos que el segundo comedero en los corrales se encuentra medio lleno de alimento al 50% y decidimos no descargar alimento allí en ese momento. Al día siguiente, el primer comedero amanece medio lleno de alimento al 50%, y el segundo comedero está totalmente vacío, entonces repetimos el mismo procedimiento realizado el primer día.

Lo cierto es que primeramente habría que preguntarnos porqué el primer día encontramos el primer comedero vacío, seguramente debido a que dos días antes se incrementó de 325 Kg. a 350 Kg. la cantidad de alimento suministrado, y al descargar 375 Kg. de alimento en el primer comedero incrementamos 15% la cantidad de alimento en sólo dos días, y sobre alimentamos al ganado. Probablemente hicimos lo mismo en todos los demás comederos de los corrales durante la semana. En éstas circunstancias, el suministro de alimento resulta errático, y podemos esperar una ingesta errática en el ganado, así como incremento considerable en nuestros costos.

Para evitar éste problema necesitamos llevar registro del suministro de alimento en cada comedero de cada corral específicamente, para conocer cantidad y horario subsiguientes de suministro de alimento en cada comedero. En el formato de los registros podrían asignarse números del 0 al 4 para determinar la cantidad de alimento remanente en los comederos, por ejemplo: totalmente vacío=0; casi vacío=0.5; capa uniforme de alimento con espesor de un centímetro=1; remanente entre 25% y 50%=2; Más de 50% de alimento=3; Comedero totalmente lleno=4. Estos datos podrían añadirse a la cantidad de alimento y horario de suministro en cada corral. Este tipo de registros será útil para saber si la ingesta de materia seca está incrementando, disminuyendo o manteniéndose más o menos estática, y evitará el suministro errático de alimento.

Para saber cuándo suministrar alimento es necesario primeramente conocer cuánto alimento ha consumido el ganado. Si suministramos 375 Kg. de alimento ayer, y en los registros para ese comedero muestran hoy un número dos (25%-50%), quiere decir que el remanente estimado de alimento en ese corral es alrededor de 125 Kg., y que el ganado en ese corral consumió ayer alrededor de 250 Kg. de alimento. Descargar hoy 125 Kg. de alimento en el comedero de ese corral, significaría completar los 375 Kg. iniciales, pero el ganado consumió sólo 250 Kg. ayer, por lo que hoy no consumirá 375 Kg. Hoy lo más conveniente sería reducir el suministro de alimento en ese comedero, es decir, suministrar sólo 150 Kg., en lugar de 250 Kg. De éste modo, quedarían 275 Kg. de alimento disponibles, es decir, el remanente de 125 Kg. más el suministro hoy de 150 Kg.

Es necesario observar al ganado cuando encontramos los comederos vacíos para saber si está hambriento, o satisfecho y contento. Cuando el comedero está vacío, y el ganado está satisfecho y contento, podemos esperar dos o tres días antes de incrementar la cantidad de alimento en ese comedero que queda vacío. De éste modo conservamos equilibrio entre el máximo de ingesta tolerada y la sobre alimentación. Por ejemplo, una noche fría, el ganado puede consumir mayor cantidad de alimento, lo cual no quiere decir que diariamente consumirá esa misma cantidad, a menos que todas las noches resulten frías.

Cuando el ganado se nota hambriento podríamos aumentar inicialmente un 5% la cantidad de alimento para asegurarnos que realmente está hambriento. Habrá también que observar el excremento del ganado para saber cuando estamos forzando la alimentación más allá de un límite saludable. La consistencia firme y color café en el excremento del ganado puede significar que no estamos forzando la alimentación más allá de los límites saludables. Por otro lado, el excremento sin consistencia y de color grisáceo puede indicar que estamos forzando la alimentación más allá de los límites saludables. Hay que tener en cuenta que el excremento inconsistente y grisáceo se origina poco antes de que los niveles de ingesta disminuyan.

Algunos engordadores creen que comederos vacíos significa pérdida de peso en el ganado. Esto es cierto cuando los comederos quedan vacíos muy frecuentemente. En éste sentido, cabe destacar que usualmente los falsos incrementos en la ingesta de materia seca son seguidos de algunos días con disminución en la ingesta, por ésta razón se llaman falsos incrementos en la ingesta de materia seca. Esto no afecta tanto el consumo de materia seca si lo comparamos con las consecuencias de una sobre alimentación.

Sabemos que el calor húmedo acelera la descomposición de los alimentos para el ganado, y que el escaso consumo de agua en el ganado reduce la ingesta de materia seca. También sabemos que los fines de semana pueden ser un problema, es decir, la emoción anticipada de algunos trabajadores ante una noche de fin de semana, o los efectos de esa noche, pueden causar problemas, como por ejemplo errores en los registros y suministro incorrecto de alimentos.

Por otra parte, cuando pequeñas cantidades remanentes de alimentos en los comederos son únicamente partículas finas, podría ser señal de que existe problema con los micro ingredientes, balanceo o mezcla en la dieta, y esos remanentes podrían ser los de mayor costo en la dieta. Añadir aceites vegetales u otros suplementos alimenticios líquidos en la dieta, así como ensilajes y forrajes con alto contenido de humedad ayuda a estabilizar los ingredientes para un consumo uniforme.

Experimentos donde se usó "tilosina" (Tylan) a través de una proteína en la dieta, para evitar enfermedades del hígado en el ganado, mostraron en dietas sin suplemento líquido un 17.5% de abscesos del hígado, y en dietas con suplementos líquidos el porcentaje bajó a 8.8%. El ganado no aprovechará bien la dieta cuando la ración no está uniformemente mezclada y, como resultado, el ganado no responderá igual a las descargas de alimento en los comederos. La falta de uniformidad en la mezcla de alimento, causaría decrementos cíclicos en el consumo de alimento en ciertos grupos de ganado, lo cual podría no reflejarse en los registros de manejo y administración de alimento en comederos. En ésta situación se notaría incremento de peso desigual en el ganado de un mismo corral, y algunas reses estarían listas para el mercado incluso semanas antes que las otras. Es decir, se perdería la uniformidad en la producción.

### **Alimentación Inicial**

En sistemas donde se va disminuyendo la cantidad de forraje para llegar a la dieta de finalización, es necesario que 21 días después de haber llegado el ganado esté ya consumiendo la dieta final, y a partir del día veintiuno, simplemente ir incrementando la cantidad de alimento proveniente de una dieta bien balanceada. Es también posible llegar a la dieta final limitando inicialmente la cantidad diaria de dieta de finalización suministrada al ganado recién llegado.



Una estrategia al respecto podría ser la siguiente: después del segundo día comenzar a suministrar la dieta de finalización a razón de 2.3% sobre el peso del ganado, es decir, a una res cuyo peso sea de 240 Kg. se le suministrará inicialmente 5.5 Kg. de la dieta final, y semanalmente incrementaremos la cantidad a 2.5%, 2.7% y 2.9%. Será recomendable usar un ionóforo en este sistema y tener a todo el ganado comiendo al mismo tiempo. Se considera éste sistema como más recomendable, ya que evita el manejo excesivo de forrajes en las dietas iniciales. Mediante éste sistema llegaríamos a la dieta final en 28 o 30 días, pero con mayor incremento diario de peso. Habrá que recordar que alimentar lentamente al ganado significa añadir días al período de engorde, y que cuando alimentamos al ganado demasiado rápido ocasionamos decremento en la ingesta durante semanas posteriores, y podemos inducir un consumo errático de alimento durante todo el período de la engorda intensiva, lo cual afectaría seriamente el desempeño del ganado.

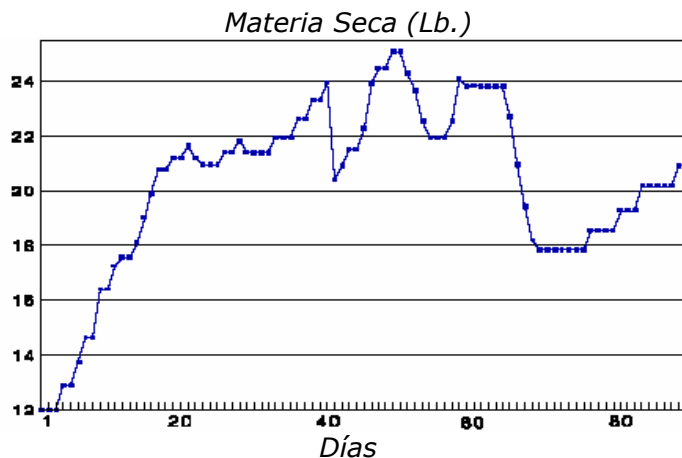
### Gráfica 3

La gráfica 3 nos muestra un patrón indeseable en el consumo de materia seca, debido a que con frecuencia la ingesta sobrepasa los niveles saludables, y en ocasiones queda por debajo de niveles aceptables, debido a un suministro errático de alimentos desde el inicio de la engorda intensiva. En estas circunstancias la relación entre alimento y ganancia en peso no fue atractiva. Hubiera sido conveniente un período más prolongado entre descargas de alimento, y tal vez mayor cantidad de alimento en las descargas. En este caso no se llevaron registros para el manejo de alimentos en los comederos.

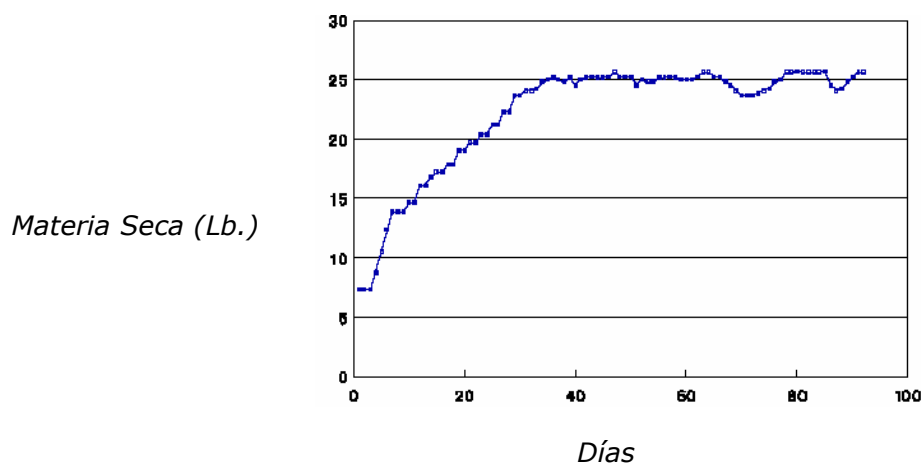
### Gráfica 4

La gráfica 4 nos muestra un patrón deseable en el consumo de materia seca, donde se llevaron registros sobre el consumo y manejo de alimentos en los comederos, lo cual tomó sólo unos minutos diariamente. Este tipo de registro es esencial, y no lo sustituye ningún programa de computadora, aditivo alimenticio o implante. Un buen manejo de los alimentos en los comederos creará circunstancias para encontrar una relación más atractiva entre alimento y ganancia en peso, por lo que no debe ser ignorado. Al usar registros se trata de ser constante y conocer la cantidad de alimento que el ganado nos pide. Habrá también que revisar muy bien la formulación en la dieta que suministramos. Esto requiere de práctica, conocimiento y paciencia que se pagan con la reducción en los costos de producción, y con la satisfacción de haber realizado una inversión redituable.

**Gráfica 3: Patrones de Ingesta Corral "B"**



**Gráfica 4: Patrones de Ingesta Corral "A"**



## 2.9 Ordeño

Mediante el ordeño es posible obtener leche de las vacas, luego de estimular adecuadamente al animal para que libere leche de la ubre. La obtención de leche de vaca incluye aspectos que van mucho más allá de los procedimientos puramente mecánicos. El ordeño consiste fundamentalmente en un esfuerzo compartido donde las vacas, la maquinaria para ordeña, los operadores y las crías juegan papeles importantes. Cuando se desea que el ordeño sea rápido y completo, la vaca debe de recibir señales apropiadas en su medio ambiente, las cuales propician la liberación de leche. En éste sentido, una vez que el reflejo para liberación de la leche se inicia, la leche fluye del alvéolo en la ubre a través de células mioepiteliales hacia el sistema de conductos. Subsecuentemente, mediante el hocico de la cría, la mano del operador ó la máquina de ordeño, es posible colectar la leche que fluye hacia el canal del pezón.

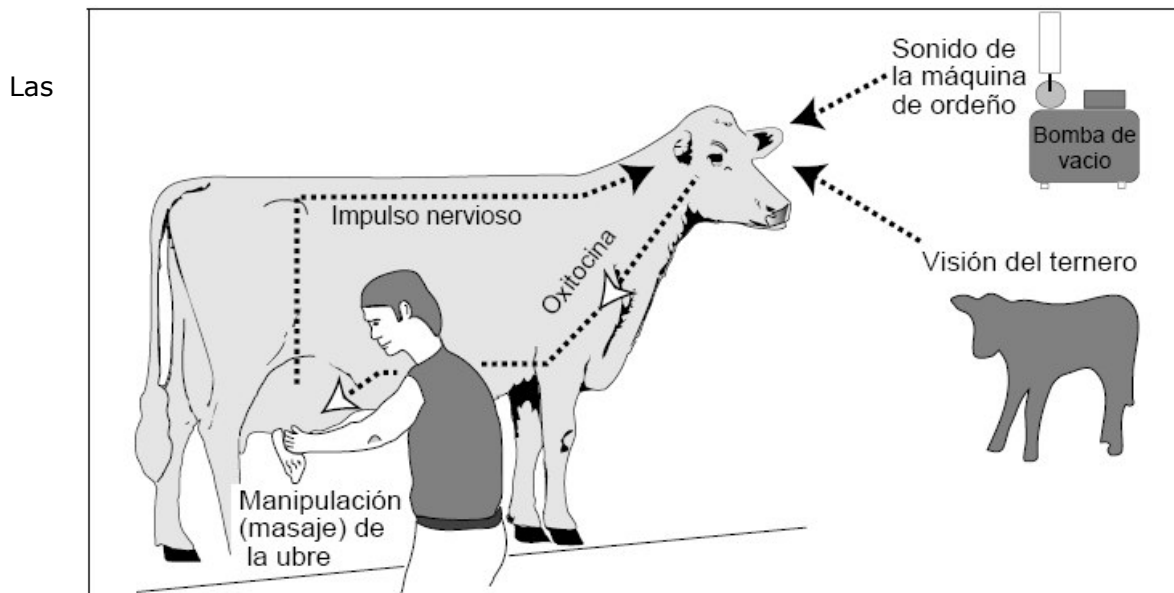
Entre ordeños, la mayor parte de la leche se acumula dentro del alvéolo. La liberación de la leche comienza con el estímulo del sistema nervioso en la vaca, desde donde se generan impulsos que son interpretados por el hipotálamo cerebro indicando a la vaca que el ordeño es inminente. De éste modo, ya sea un sólo estímulo ó la combinación de los siguientes estímulos pueden propiciar el reflejo para liberación la de leche:

1. Succión de los pezones por la cría.
2. Operador limpiando los pezones (sensibles al tacto y a la temperatura).
3. La vaca mirando a la cría, especialmente en vacas cebú.
4. Sonido de la máquina de ordeño.

Luego de estos estímulos, el cerebro envía señales a la glándula pituitaria posterior, la cual libera hormona oxitocina al sistema circulatorio. De éste modo, la sangre transporta oxitocina hacia la ubre para estimular la contracción de células mioepiteliales que rodean los alvéolos llenos de leche. Estas contracciones se presentan cada 20 ó 60 segundos luego de los estímulos. Las contracciones aumenta la presión intramamaria que propicia el flujo de la leche a través de conductos hacia la glándula y cisterna del pezón.

La acción de la hormona oxitocina permanece solamente de seis a ocho minutos, debido a que su concentración en la sangre disminuye de manera muy rápida. Por ésta sencilla razón resulta esencial comenzar el ordeño alrededor de un minuto luego de haber iniciado la preparación de la ubre. Retrasar el ordeño reduciría la cantidad de leche a obtener. Es posible que se presente una segunda descarga de oxitocina, pero ésta es generalmente menos efectiva que la primera. El reflejo para liberación de la leche quedar inhibido cuando los impulsos nerviosos son enviados a la glándula adrenal siempre que los eventos externos no sean placenteros durante el ordeño. Es decir, cuando se presenta dolor, excitación y temor, la hormona adrenalina liberada por la glándula adrenal puede comprimir los vasos sanguíneos y capilares de la ubre, lo cual propicia la disminución del flujo sanguíneo y decrece la cantidad de oxitocina que llega a la ubre. Además, la adrenalina parece inhibir directamente la contracción de las células mioepiteliales en la ubre. En éstas circunstancias, la vaca puede no ser ordeñada rápida y completamente. Por ésta razón es necesario evitar lo siguiente:

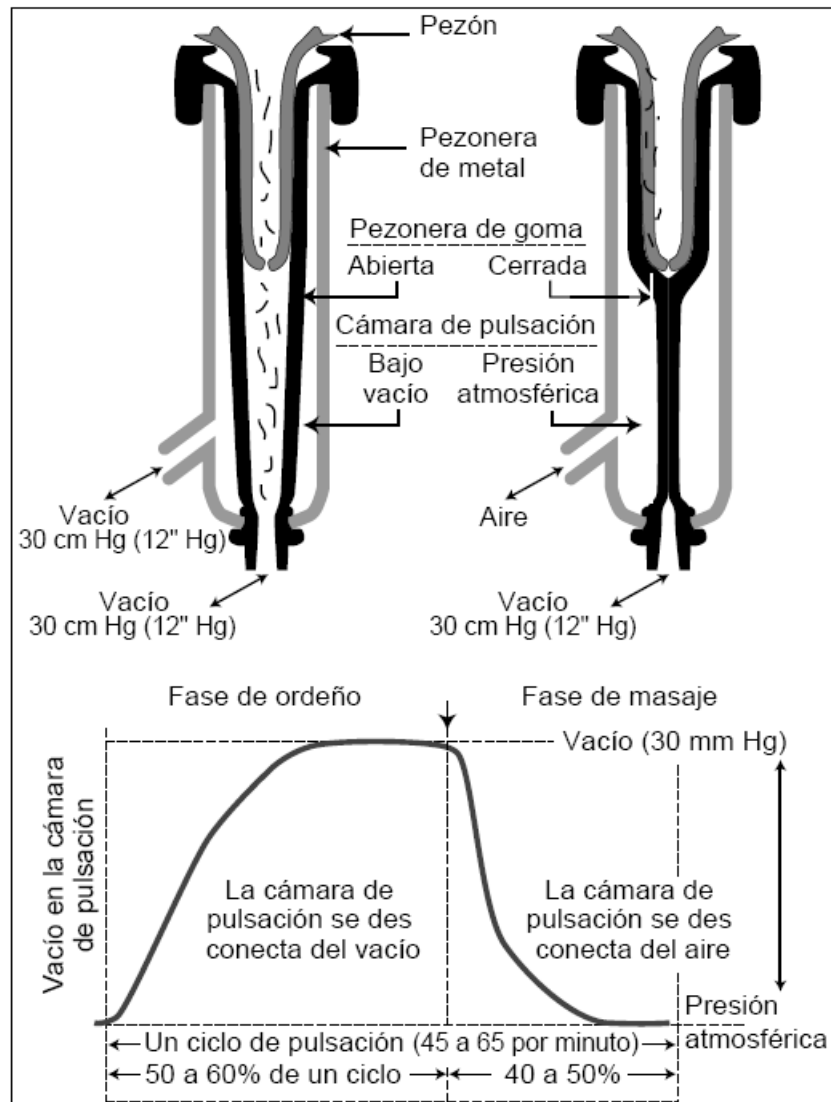
1. Inadecuada preparación de la ubre.
2. Demora en el ordeño luego de haber preparado a la ubre.
3. Eventos inusuales que causan estrés en las vacas.
4. Fallas en el equipo de ordeño.
5. Errores del operador.



Hembras de primer parto deben de ser entrenadas en la rutina de ordeño. El malestar emocional que se presenta en estas vacas puede ser suficiente para inhibir el reflejo de liberación de la leche. En éste sentido, una inyección de oxitocina durante varios ordeños puede ayudar, pero ésta práctica no debe efectuarse en forma rutinaria, debido a que algunas vacas podrían hacerse fácilmente dependientes de la inyección de oxitocina para producir el reflejo que libera la leche. Las aberturas en los pezones se mantienen selladas mediante músculos circulares (esfínter). De éste modo, la leche en la glándula y en la cisterna del pezón no fluye hacia afuera sin una fuerza externa suficiente que supere la fuerza de los músculos del esfínter. La leche de vacas con intensos reflejos para la liberación de leche y/o con esfínteres débiles, en ocasiones puede perderse a través de los pezones, debido al incremento de la presión en la ubre que supera la fuerza del esfínter.

La diferencia entre la presión interior y el exterior del pezón es necesaria para abrir el esfínter y dejar salir la leche. En el ordeño manual, la mano de operario toma todo el pezón. El pulgar y el índice comprimen la parte superior del pezón y, al mismo tiempo los otros dedos de la mano aprietan hacia adentro y abajo.

La mayor presión dentro de la ubre, en relación con la presión atmosférica fuera del pezón, hace que la leche pase a través del esfínter. es decir la presión interna en el pezón, es mayor a la existe afuera en el medio ambiente. La máquina de ordeño ó la cría aprovechan el vacío para extraer la leche desde la glándula y el canal del pezón de la vaca. Cuando se aplica presión suficiente (vacío) en la punta del pezón, la presión externa es inferior a la interna y entonces la leche es extraída. La cría al mamar envuelve su lengua y paladar alrededor del pezón. Así un vacío es creado en la punta del pezón cuando las mandíbulas se abren y la lengua se retrae. Como resultado, la leche se acumula en la boca, y cuando el ternero deglute la leche, el flujo desde el pezón se detiene, debido a que la presión dentro de la boca se torna a normal. De éste modo se presentan entre 80 y 120 ciclos alternativos de absorción y deglución por minuto.



La máquina de ordeño utiliza también vacío para extraer la leche de la ubre, pero cuando el vacío que se aplica al pezón es excesivo ó muy prolongado, la sangre y el tejido corporal se congestionan, y la congestión detiene el flujo sanguíneo. Este problema no se presenta en el caso de la cría al mamar, porque mientras la leche que se acumula en la boca es deglutida, no existe presión diferencial alrededor del pezón, lo cual permite la circulación sanguínea normal, así como el masaje del pezón. La máquina de ordeño hace que los pezones se sometan alternativamente al vacío (fase de ordeño) y a la presión atmosférica (fase de masaje). Típicamente, la máquina de ordeño trabaja con 45 a 65 pulsaciones por minuto, con ciclos de ordeño generalmente iguales ó mas prolongados que las fases de masaje en los pezones. Por ejemplo, un radio de pulsaciones 60 a 40 significa que el vacío se encuentra al máximo durante 60% del ciclo, y decrece durante el 40% de ciclo. Por ejemplo, asumiendo un ritmo de pulsación de 60, es decir un ciclo de pulsación por segundo, el radio de pulsación 60:40 indica que la fase de ordeño es de 0.6 segundos y la de masaje dura 0.4 segundos. Fuente: Michel A. Wattiaux.

### 3.1 Nutrición Bovinos

Una alimentación bien balanceada es necesaria para obtener buenos rendimientos en el ganado bovino saludable. La buena salud del ganado resulta fundamental para el aprovechamiento de los nutrientes destinados a satisfacer los requerimientos en el organismo de los animales. Comprender la nutrición animal, significa conocer la composición de los alimentos, los requerimientos nutricionales del ganado y la función de los nutrientes.

#### Composición Básica de los Alimentos

**Los componentes básicos en los alimentos son:**

- 1. Agua.**
- 2. Materia Seca Orgánica** que contiene proteínas, grasas, azúcares, almidón, fibra y vitaminas.
- 3. Materia Seca Inorgánica** que contiene minerales como calcio, fósforo, magnesio, potasio, iodo, cloruro de sodio (sal) y micro-minerales.

#### Destino de los Nutrientes

El ganado utiliza los nutrientes contenidos en los alimentos, para cubrir las siguientes funciones: 1. Mantenimiento. 2. Crecimiento. 3. Reproducción. 4. Producción. Se llama ración de Mantenimiento al suministro de nutrientes en equilibrio que satisfacen los requerimientos orgánicos mínimos del ganado, como respiración, circulación sanguínea y calor corporal, los cuales están en proporción directa al tamaño y peso del ganado.

La ración de Crecimiento incluye nutrientes adicionales para el desarrollo del animal. Para la Reproducción son indispensables los nutrientes adicionales, sobretodo durante las últimas ocho semanas de gestación, y para la producción de carne los bovinos demandan considerables cantidades de nutrientes adicionales a los de Mantenimiento.

## **Términos Empleados**

**Materia Seca (MS):** Es la parte libre de humedad en los alimentos donde se encuentran contenidos los nutrientes.

**Proteína Cruda (PC):** Es la cantidad total de proteína que contienen los alimentos y es ingerida por el ganado.

**Energía Neta (EN):** Define el calor de combustión de los alimentos, y el calor que requiere el animal diariamente, expresado en Megacalorías (MCAL). Una parte de la energía se elimina en las heces, otra se elimina en la orina y gases estomacales, por último queda la Energía Neta (EN), la cual después de satisfacer el calor corporal se utiliza para el Mantenimiento, Crecimiento, Reproducción y Producción.

**Nutrientes Digestibles Totales (NDT):** Indica la cantidad total de nutrientes digestibles contenidos en los alimentos.

**Minerales:** Constituyen la parte inorgánica de los alimentos, y los más importantes para el ganado son: Calcio, Fósforo y Cloruro de Sodio (sal).

### **Consumo Estimado de Materia Seca (MS)**

Una res para su Mantenimiento requiere alrededor del 2.5% de Materia Seca. Es decir, 12.5 Kg. de Materia Seca para res de 500 Kg. Por otra parte, para satisfacer los requerimientos de Crecimiento, Producción y Reproducción, las necesidades de Materia Seca se incrementan a 3.0% y 3.5%.

### **Consumo Estimado de Proteína Cruda (PC)**

Una res para su mantenimiento requiere entre 11% y 12% de proteína cruda en base a kilos de materia seca consumida. Esta cantidad se incrementa a 15% y 18% para reproducción y producción de leche ó carne. El ganado en engorde intensivo puede desempeñarse bien con 12% y 13% de proteína cruda dependiendo de su edad. Las crías desde el nacimiento hasta los 75 kg. de peso requieren hasta 24% de proteína cruda en base a la materia seca suministrada.

### **Consumo Estimado de Energía Neta (EN)**

Una res de 400 kg. para su mantenimiento requiere alrededor de 7.5 mega-calorías diarias de energía neta. esta cantidad puede incrementarse hasta un 100% para la reproducción y producción de leche ó carne. Las crías desde el nacimiento hasta los 75 kg. de peso requieren alrededor de 1.2 mega-calorías de energía neta por cada kilo de materia seca consumida.

### **Consumo Estimado de Nutrientes Digestibles Totales (NDT)**

Una res para su mantenimiento requiere alrededor de 56% de nutrientes digestibles totales en base a los kilogramos de materia seca suministrada. Esta cantidad se incrementa para reproducción y producción de leche ó carne.

## **Consumo Estimado de Sales Minerales**

Considerar el suministro de una fórmula de minerales para ganado bovino que contenga lo siguiente: Fósforo 10.0% (mínimo), Calcio 12.0% (máximo), Magnesio 0.1% (mínimo), Cobre 0.15% (mínimo), Zinc 0.12% (mínimo), Manganeso 0.055% (mínimo), Iodo 0.02% (mínimo), Selenio 200ppb (mínimo), Vitamina A 50'000 unidades. Puede suministrarse la fórmula de minerales en proporción de 5 Kg. a 10 Kg. por tonelada de Materia Seca.

En animales de alto rendimiento que consumen grandes cantidades de alimentos ricos en Calcio, la fórmula de minerales deberá contener lo siguiente, para prevenir problemas metabólicos debido a la relación Calcio-Fósforo (0.321): Fósforo 12.5gr., Sodio 12.9gr., Calcio 5.6gr., Magnesio 3.4gr. por cada 100gr. de sales minerales mezcladas a razón de 30 Kg. por tonelada de alimento. Ambas fórmulas pueden mezclarse con 25% de sal común

## **Alimentos y su Consumo**

El consumo de forraje y alimento concentrado, depende fundamentalmente de su calidad y presentación, así como del desarrollo y producción de los animales, los cuales tienen un límite para el consumo de Materia Seca en función de su peso corporal. Recordemos que los nutrientes se encuentran en la porción de Materia Seca de los alimentos, y que el suministro de alimentos se expresa en porcentaje del peso corporal de los animales.

## **Valor Nutritivo de los Forrajes**

### **Los forrajes se dividen en dos grandes grupos:**

**1. Gramíneas** (Pastos, Avena Forrajera, Zacates y otras gramíneas).

**2. Leguminosas** (Alfalfa, Tréboles y otras leguminosas). El valor nutritivo de los forrajes, depende principalmente de la especie, cultivo, fertilizantes, cantidad de agua y conservación (henificación ó ensilaje) adecuada. Una cantidad adecuada de nutrientes en los forrajes se obtiene cuando son cosechados antes de la floración.

## **Valor Nutritivo de los Alimentos Concentrados**

Los alimentos concentrados pueden clasificarse de acuerdo al tipo de nutrientes que mayormente aportan. Según su aporte pueden considerarse concentrados energéticos (maíz, sorgo, aceites, grasas, melazas, etc.), y concentrados proteicos (soya, semilla de algodón, harina de sangre, gluten de maíz, etc.). En el caso de los alimentos concentrados, éstos pueden ser obtenidos directamente de las cosechas, o como subproductos industriales. Ver Tabla I que expresa valores nutricionales promedio de algunos alimentos concentrados.

## **Proporción de Forraje y Alimento Concentrado**

La proporción entre forrajes y alimentos concentrados a utilizar depende generalmente de los niveles de producción.

De éste modo, tomando en cuenta 100% de Materia Seca, se suministra al ganado estabulado desde un 30% hasta un 70% de alimento concentrado en la ración.

En éste sentido, los niveles confiables de suministro de alimentos concentrados para prevenir enfermedades, se encuentran entre 35% y 45% del total de la Materia Seca en la ración. Un suministro de 50% y 70% de concentrados en la ración, debe ser más vigilado, debido a la posible influencia negativa en la salud de los animales.

### Máximo Recomendable de Algunos Ingredientes en las Dietas (Base Materia Seca)

Energéticos	%	Proteicos	%	Subproductos	%
Grasas	5	Harina Sangre	5	Cascarilla Algodón	40
Residuos Panadería	20	Harina Plumas	5	Cascarilla Arroz	15
Granos Destilería	60	Semilla Algodón	20	Cama Pollo	15
Olote de Maíz	40	Harina Carne	10		
Granos Cervecería	30	Harina Pescado	10		
Melazas	20	Harina Canola	14		
Subproductos Trigo	30	Harinolina	10		
Frijol	25	Harina Soya	12		
		Gluten Maíz	18		
		Urea	1		

### Ingredientes en la Alimentación del Ganado

GRANOS	MS %	NDF %	NDT %	EM Mcal/kg	PC %	PDR %	Ca %	P %
Grano de Avena	91.0	42.0	73.0	2.64	13.6	10.3	0.07	0.30
Grano de Cebada	88.0	18.1	84.0	3.03	13.2	8.8	0.05	0.35
Grano de Maíz	88.0	10.8	90.0	3.25	9.8	4.4	0.03	0.32
Grano de Arroz	89.0	1.8	89.0	3.21	8.6	5.7	0.03	0.13
Grano de Sorgo	89.0	23.0	76.0	2.74	12.4	6.3	0.05	0.34
Grano de Trigo	90.0	9.7	85.0	3.07	11.3	8.4	0.07	0.33
FORRAJES	MS %	NDF %	NDT %	EM Mcal/kg	PC %	PDR %	Ca %	P %
Pasto Bermuda (Calidad Alta)	91.0	74.0	52.0	1.90	11.0	8.3	0.25	0.22
Pasto Bermuda (Calidad Media)	91.0	76.6	49.0	1.77	7.8	6.6	0.26	0.18
Pasto Buffel (Calidad Alta)	89.0	73.0	51.0	1.84	9.5	7.6	0.27	0.19
Pasto Buffel (Calidad Media)	90.6	76.0	47.0	1.70	7.5	5.3	0.30	0.14
Pasto Pretoria (Calidad Media)	90.0	77.0	46.0	1.66	5.5	4.1	0.28	0.09
Pasto Pangola	21.0	70.0	55.0	1.99	9.1	7.6	0.38	0.22



Ryegrass	25.0	59.0	58.0	2.15	14.0	10.5	0.45	0.38
Paca Sorgo	91.0	66.0	56.1	2.03	11.3	7.8	0.51	0.31
Heno de Alfalfa (Calidad Alta)	91.0	42.0	62.0	2.24	19.9	16.7	1.63	0.22
Heno de Alfalfa (Calidad Media)	91.0	49.0	60.0	2.17	17.0	13.9	1.39	0.24
Heno de Alfalfa (Calidad Baja)	91.0	51.0	56.0	2.02	13.0	10.0	1.19	0.24
Olote de Maíz	90.0	87.0	50.0	1.81	2.8	0.6	0.12	0.04
Ensilaje de Maíz	33.0	45.0	66.0	2.38	9.2	7.2	0.31	0.27
Paja de Avena	92.2	74.4	45.0	1.62	4.4	2.4	0.23	0.06
Heno de avena	91.0	63.0	53.0	1.91	9.5	6.5	0.32	0.25
Ensilaje de Sorgo	30.0	60.8	60.0	2.17	9.4	6.9	0.49	0.22
Paja de Trigo	89.0	78.9	41.0	1.48	3.5	1.1	0.17	0.05
<b>FUENTES PROTEÍCAS</b>	<b>MS %</b>	<b>NDF %</b>	<b>NDT %</b>	<b>EM Mcal/kg</b>	<b>PC %</b>	<b>PDR %</b>	<b>Ca %</b>	<b>P %</b>
Harinolina	92.0	28.9	75.0	2.71	46.1	26.3	0.20	1.16
Canola	92.0	27.2	69.0	2.49	40.9	27.8	0.70	1.20
Gluten de Maíz	91.0	37.0	84.0	3.03	46.8	17.8	0.16	0.51
Harina de Soya	89.0	14.9	84.0	3.03	49.9	32.4	0.40	0.71
Soya Integral	90.0	13.4	94.0	3.39	42.8	16.4	0.27	0.65
Urea	99.0	0.0	0.0	0.00	281.0	281.0	0.00	0.00
Harina de Sangre	90.0	0.9	66.0	2.38	93.8	23.4	0.40	0.32
Harina de Pluma	90.0	42.9	68.0	2.46	85.8	25.7	1.19	0.68
Harina de Pescado	90.0	0.7	73.0	2.64	67.9	27.2	5.46	3.14
Harina de Carne y Hueso	95.0	32.8	71.0	2.56	58.2	26.2	9.13	4.34
<b>SUBPRODUCTOS</b>	<b>MS %</b>	<b>NDF %</b>	<b>NDT %</b>	<b>EM Mcal/kg</b>	<b>PC %</b>	<b>PDR %</b>	<b>Ca %</b>	<b>P %</b>
Cama de Pollo (Pollinaza)	85.0	28.0	59.0	2.14	30.0	24.0	2.8	1.6
Melaza	74.3	0.0	72.0	2.60	5.8	5.8	1.00	0.10
Salvado de arroz	90.5	33.0	70.0	2.53	14.4	7.3	0.10	1.73
Masilla de Cervecería	21.0	42.0	70.0	2.53	26.0	10.6	0.29	0.70
Granos de Destilería	91.0	46.0	88.0	3.18	29.5	8.0	0.32	0.83
Desperdicios de Panadería	92.0	18.0	89.0	3.21	9.0	6.8	0.15	0.24
Pulpa De Cítricos	91.0	23.0	82.0	2.96	6.7	2.8	1.88	0.13

Cascarilla de Soya	91.0	66.3	80.0	2.89	12.2	7.1	0.53	0.18
Cascarilla de Algodón	91.0	90.0	45.0	1.62	4.1	2.1	0.15	0.09
Salvado de Trigo	89.0	51.0	70.0	2.53	17.1	13.2	0.13	1.38
Sebo	99.0	0.0	177.0	6.39	0.0	0.0	0.57	0.06
Suero de Leche	7.0	0.0	78.0	2.82	14.2	14.2	0.81	0.71
<b>MINERALES</b>								
	<b>MS %</b>	<b>NDF %</b>	<b>NDT %</b>	<b>EM Mcal/kg</b>	<b>PC %</b>	<b>PDR %</b>	<b>Ca %</b>	<b>P %</b>
Carbonato de calcio	100.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	39.39	0.04
Fosfato monocalcico	97.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	16.4	21.6
Fosfato dicalcico	97.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	22.00	19.30
Piedra Caliza	100.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	34.00	0.02

### 3.2 Diagnóstico de Preñez

La detección vía rectal entre los 42 y los 60 días posteriores a la inseminación, continua siendo el método más utilizado y seguro para detectar la preñez. La detección temprana entre los 22 y los 24 días posteriores a la inseminación es posible a través de los niveles de progesterona en la sangre ó en la leche. Así mismo puede detectarse la preñez entre los 24 y los 25 días posteriores a la concepción, mediante la colección de la proteína B específica de la preñez. El aparato detector de preñez, puede confirmar gestaciones, 30 días después de la concepción, cuando el tamaño del embrión en ese momento es alrededor de un centímetro. El detector de preñez mostrará los latidos del corazón en el embrión. Generalmente la detección de preñez efectuada vía rectal antes de los 40 días resulta desventajosa, en virtud de que entre el 10 y el 11 por ciento de las vacas podrían perder el embrión. El diagnóstico temprano de la preñez implica un segundo diagnóstico, que deberá realizarse vía rectal después de los 40 días posteriores a la inseminación o monta. En todos los caso habrá que palpar nuevamente entre los 60 y los 100 días posteriores a la inseminación. Durante la palpación para detectar de preñez realizada entre los 60 y los 100 días posteriores a la inseminación, sólo 2% de las vacas pierden el embrión.

Es conveniente vigilar rutinariamente el proceso de gestación, aproximadamente cada dos meses después de la primera palpación y efectuar las labores necesarias en relación con problemas de fertilidad. Es también importante detectar la preñez a tiempo, y asegurarse de que no existen vacas abiertas en el hato. La labor fundamental en el examen vía rectal es encontrar primeramente el cervix. Posteriormente, para un examen preciso, retraer el útero hacia la pelvis para palpar con mayor facilidad. Esto es fácil cuando se realiza entre los 42 y los 70 días posteriores a la concepción. Después de los 90 días se torna difícil la palpación. Decíamos que el primer paso es encontrar el cervix, que es una estructura firme y cilíndrica cuya longitud es de 5 a 7 centímetros. Así mismo, deberá explorarse a todo lo largo de ambos cuernos en el útero para determinar su consistencia. Al estar los cuernos vacíos, tendrán consistencia de carne. Al existir preñez, fluidos estarán presentes en uno ó ambos cuernos, su consistencia será suave y existirá asimetría entre ambos cuernos.

Generalmente sólo en un cuerno se detecta preñez. A los 50 días el amnios se encuentra completamente turgente y por lo general se puede detectar al palpar de manera suave los cuernos uterinos entre los dedos pulgar e índice. Después de los 60 días puede palpase el feto, excepto durante un período de 170 a 230 días debido a que se encuentra muy profundo en la cavidad abdominal para alcanzarse en vacas grandes.

Los ovarios se encuentran en el extremo de ambos oviductos cuya longitud es de 20 a 30 centímetros y transportan óvulos de los ovarios al útero. Un ovario cuya actividad es normal, mide alrededor de 4 centímetros de longitud y 2 centímetros de ancho. Los ovarios producen hormonas y óvulos potenciales. Un cuerpo lúteo ó cuerpo amarillo se forma en la cavidad del ovario, como resultado de la ovulación. El cuerpo lúteo produce la hormona progesterona, mantiene la preñez y evita una segunda ovulación durante la gestación.

Durante el diagnóstico de preñez es posible detectar el cuerpo lúteo formado sobre el ovario que se encuentra en el cuerno del útero preñado. A los dos meses de gestación, el cuerpo lúteo se torna suave, más redondo y es cubierto por células epiteliales. El cuerpo lúteo proporciona indicación adicional de la preñez existente.

Los ovarios normales, muestran su actividad y contienen miles de óvulos potenciales. Una parte de los óvulos se encontrarán dentro de los folículos. Cada 21 días, bajo la influencia de la hormona folículo estimulante FSH, uno de los folículos crece hasta un tamaño de entre uno y dos centímetros. Dentro de ése folículo un óvulo estará desarrollándose. Cuando un óvulo maduro esté presente, la vaca entrará en calor y los estrógenos estarán presentes para detener la acción de la hormona FSH.

Durante la primera etapa de estro, la hormona luteinizante LH promueve la maduración final del óvulo y la ovulación sucederá 24 horas después. El folículo se rompe como una ampolla, y el óvulo dentro de él es expulsado para viajar a través del oviducto donde podrá ser fertilizado por el esperma. En la cavidad existente en el ovario como resultado de la ruptura del folículo, se forma el cuerpo lúteo bajo la influencia de la hormona LH. El cuerpo lúteo mantiene la preñez, pero cuando la vaca no ha quedado preñada, el cuerpo lúteo desaparece el día 17 y entonces la vaca podrá entrar en calor nuevamente.

Existen varios factores que clínicamente deben analizarse cuando los ovarios no funcionan adecuadamente. Frecuentemente será por razón de que los ovarios puedan estar inactivos ó mantengan quistes. En ocasiones los ovarios muestran inactividad. Una de las formas más comunes de inactividad, es por causa nutricional (infertilidad nutricional). Cuando existe insuficiente suministro de energía y alimentos de buena calidad, los ovarios no muestran actividad y la eficiencia reproductiva se reduce, no hay folículos en crecimiento, ni óvulos maduros. Es posible utilizar hormonas para solucionar el problema de manera artificial, aunque siempre será mejor alimentar adecuadamente a la vaca.

Las hormonas folículo estimulante FSH y la luteinizante LH, pueden provocar la formación de quistes en los folículos (ovario quístico). En éstos casos el folículo maduro crece pero no llega a romperse para expulsar el óvulo. Así la vaca se encuentra en calor constantemente. Generalmente es posible romper el folículo vía rectal para solucionar buena parte de éste tipo de problemas. El balance negativo de energía después del parto, así como la pérdida excesiva de peso pueden influenciar la presencia de ésta enfermedad.

### 3.3 Acetonemia

Un problema frecuente en vacas lecheras con altas producciones de leche es la enfermedad Acetonemia (Quetosis) relacionada con el incremento en la demanda de glucosa por el organismo del animal. Esta enfermedad ocurre también en bovinos para producción de carne, pero se percibe con mayor frecuencia en vacas con altas producciones de leche cuya dieta no ha sido bien balanceada.

Los síntomas de ésta enfermedad pueden presentarse antes del parto, pero comúnmente ocurren durante el primer mes después del parto, y en ocasiones en el segundo mes post-parto. En los hatos, la Acetonemia puede ser esporádica con sólo algunas vacas afectadas, ó endémica afectando a muchas vacas durante un período específico.

#### **Causa**

La Acetonemia (Quetosis) puede considerarse como una prolongación del proceso metabólico normal en vacas con altas producciones de leche. El problema radica fundamentalmente en la deficiencia de glucosa (o azúcar) en la sangre y los tejidos del animal. La glucosa es producida por la vaca a partir de los carbohidratos que se encuentran en forrajes y alimentos concentrados.

Durante las últimas semanas de gestación, buena parte de la glucosa en el animal para cubrir sus requerimientos corporales se emplea en la nutrición para el desarrollo de la cría por nacer. Inmediatamente después del parto se incrementan notablemente los requerimientos de glucosa en el organismo de la vaca para la producción de leche, ya que la glucosa es esencial en la formación de lactosa en la leche. De éste modo, los requerimientos de glucosa son tan altos que la sangre del animal se torna deficiente en glucosa.

Se necesitan alrededor de 80 gramos de glucosa por cada litro de leche producida. La glucosa se suministra a las vacas mediante carbohidratos apropiados en las dietas, pero cuando la cantidad y calidad de los carbohidratos no es suficiente para cubrir los requerimientos de glucosa en la vaca, entonces su hígado comienza a elaborar glucosa a partir de otros compuestos básicos en su organismo (generalmente a partir de las reservas de grasa). Sin embargo, desafortunadamente la producción de glucosa a través del hígado utilizando las reservas corporales, propicia la formación de ketones, sustancias de sobre paso indeseables, que conjuntamente a la carencia de azúcar en la sangre causan los síntomas que se perciben de ésta enfermedad.

La Acetonemia (Quetosis) primaria descrita anteriormente ocurre cuando vacas con altas producciones simplemente no ingieren, o no se les suministran suficientes carbohidratos de calidad para satisfacer sus necesidades de glucosa. Por otra parte, la Acetonemia secundaria se presenta cuando una enfermedad previa de otro tipo es causa de trastornos en la digestión o en el metabolismo de los carbohidratos en la vaca. La Acetonemia secundaria puede presentarse aún cuando la cantidad de carbohidratos sea adecuada para la producción de glucosa.

Las enfermedades previas que propician Acetonemia secundaria podrían ser: desplazamiento de abomaso, peritonitis, mastitis, metritis, fiebre de leche, o cualquier otro problema que propicie una disminución en el apetito de las vacas.

## Síntomas

Los síntomas principales síntomas de Acetonemia (Quetosis) en vacas son:

**1.** Inicialmente el apetito se reduce gradualmente de manera inusual durante dos a cinco días. La vaca come algo de forrajes, pero no granos ni ensilajes. Posteriormente su apetito aumenta de forma anormal, la vaca come cualquier objeto, incluso tierra y piedras. Consecuentemente la producción de leche disminuye a niveles mínimos, pero la producción de leche no cesa. En ésta etapa la vaca aparece enferma y no desea moverse, se tambalea al pararse, y su mantiene su cabeza baja. Su temperatura corporal, pulso y respiración se mantienen en niveles más o menos normales, mientras tanto la vaca pierde peso. Su piel y pelo se torna ásperos, debido a la pérdida de reservas de grasa bajo la piel. Los ketones producidos por las vacas con ésta enfermedad, tienen olor azucarado (dulce) que puede ser detectado en el aliento de la vaca. Sólo algunos animales mueren. Sin tratamiento, la recuperación es muy lenta. La producción de leche podría mejorar, pero nunca llegar a los niveles normales anteriores. Cuando la enfermedad no se presenta con alta intensidad, los síntomas pueden consistir solamente en una pequeña disminución en la producción de leche.

**2.** La forma de Acetonemia menos común presenta casos frecuentemente impactantes: las vacas afectadas presentan señales aparentes de ceguera, desequilibrio corporal y movimientos extraños de la lengua tendientes a lamer incesantemente la piel, caminan en círculo, vagan y braman fuertemente sin aparente razón. Este tipo de comportamientos pueden durar una o dos horas, y los síntomas se presentan más tempranamente que en la Acetonemia común.

## Diagnóstico

Los síntomas típicos de la enfermedad, conjuntamente a la historia de la vaca afectada que ha parido recientemente o está cercana al pico de producción (70 a 120 días post-parto), son generalmente suficientes para diagnosticar Acetonemia (Quetosis) primaria. Puede sospecharse de Acetonemia secundaria cuando no hay respuesta al tratamiento para Quetosis primaria. Cuando los síntomas no coinciden con los de Quetosis primaria, habrá que diagnosticarse y tratarse la enfermedad de fondo que causa la Acetonemia (mastitis, metritis, desplazamiento de abomaso, fiebre de leche, peritonitis o cualquier otra enfermedad que afecte el apetito de las vacas). Pruebas bioquímicas para detectar Quetosis pueden ser efectuadas en orina, leche o sangre para detectar la presencia de ketones.

## Tratamiento

El enfoque inicial de los tratamientos tiende a restaurar la carencia de glucosa en el organismo de animal. Primero es necesario aplicar de manera inmediata un suplemento de glucosa. El tratamiento subsiguiente se enfocará a mantener niveles adecuados de glucosa en el organismo de la vaca en el largo plazo. La inyección intravenosa de una solución que contenga dextrosa es efectiva en el corto plazo. El suministro de propilene-glycol o glicerina durante dos a cuatro días, después de aplicar la solución con dextrosa, tiene efectos a más largo plazo para reponer la glucosa. Por otro lado, los corticoesteroides (cortisona y esteroides) de liberación prolongada proporcionan en algunos casos efectos benéficos durante el tratamiento de Quetosis, y se administran en una sola inyección. Los corticoesteroides tienen la habilidad de fracturar las proteínas en músculos para producir glucosa que inmediatamente repone los niveles de glucosa en sangre. Al utilizar corticoesteroides es necesario suministrar conjuntamente glucosa, ya sea mediante una dieta alta carbohidratos o propilene-glycol, para evitar una excesiva fractura de la proteína en músculos, debido a los corticoesteroides.

## Prevención

Sabemos que es mejor prevenir que tratar las enfermedades cuando aparecen. La prevención consiste en una dieta bien balanceada y prácticas de manejo adecuadas, sobretodo en época de seguía con ganado en pastoreo que no recibe suficientes niveles de carbohidratos esenciales ni proteína adicional.

Es importante vigilar la condición corporal de las vacas antes del parto. Después del parto, las vacas alcanzan su máximo potencial para producir leche, pero generalmente sus requerimientos nutricionales son mayores que los proporcionados a través del forraje que ingieren voluntariamente. Por esto es necesario suministrar alimentos concentrados altos en carbohidratos y proteína para evitar Quetosis. Los alimentos concentrados deberán suministrarse al menos hasta que la vaca alcance su pico de producción en la lactancia.

### 3.4 Problemas en el Período de Parto

Infecciones uterinas e infertilidad, son problemas significativos que se presentan con mayor frecuencia alrededor del período de parto en las vacas. Esto puede estar siendo ocasionado debido a raciones mal balanceadas en la dieta de los animales durante las diferentes etapas de la lactancia. El balance negativo de energía en la ración es con frecuencia el problema principal en la mayoría de los casos. Cuando la producción diaria de leche se incrementa, el déficit de energía en raciones mal balanceadas empeora la situación, porque se pone en riesgo la salud de la vaca, debido a que su capacidad para consumir alimentos, queda por debajo de su potencial de producción, lo cual resulta desastroso cuando la vaca tiene que utilizar energía de sus reservas corporales (grasa) para balancear los niveles de energía requeridos, lo cual generalmente causa síndrome de hígado graso, especialmente en vacas gordas.

La ingesta máxima de alimentos y una ración bien balanceada, debe ser siempre la meta del productor para llegar al balance correcto entre nutrición, salud y producción lechera. Se requieren vacas sanas, en buena condición corporal, alimentos de calidad y alojamiento adecuado para evitar problemas y obtener resultados satisfactorios en las granjas lecheras. Así mismo, las metas de producción deben ir de la mano con la capacidad de manejo.

La fertilidad en las vacas depende mayormente de la facilidad con la que vaca pueda parir. En buena parte, a facilidad al parto puede ser determinada tempranamente durante la selección del semental. Evite sementales con dificultad al parto porque en éste sentido, los daños al tracto reproductivo resultantes de procesos difíciles en los partos, incrementan significativamente el riesgo de infecciones uterinas e infertilidad. Habrá que optimizar la condición corporal de la vaca (3.0 a 3.5) y su salud, mejorar las condiciones de stress en el medio ambiente, y disminuir las posibilidades de fiebre de leche subclínica que podrían retardar el proceso de parto.

Cuando la vaca pare suavemente, sin gran dificultad, la placenta se liberará después de seis horas aproximadamente. Cuando esto no sucede, las causas principales pueden ser: déficit de energía en la ración de los alimentos suministrados, partos anormales previos, fiebre de leche, insuficiencia de minerales y stress. Especialmente en vacas gordas, el déficit en energía ocurre generalmente durante las últimas semanas de gestación, y con frecuencia ocasiona síndrome de hígado graso. En éstos animales el déficit de energía en la dieta incrementa el riesgo de retener placentas.

El riesgo por deficiencia de energía en la dieta aumenta y es más frecuente en partos de crías grandes y gemelos. Sucede lo siguiente cuando existe déficit de energía en la ración alimenticia: el consumo de materia seca disminuye antes del parto, especialmente en el caso de animales que están gordos, los requerimientos de energía se incrementan notablemente, debido a que la cría está creciendo rápidamente y la ubre comienza a hincharse, la vaca utiliza sus reservas corporales (grasa) para satisfacer la demanda de energía, y esa grasa es convertida por el hígado en glucosa que sirve como recurso de energía, desarrolla síndrome de hígado graso.

Conforme se incrementa la utilización de las reservas corporales (grasa) en la vaca, la situación empeora, debido a la gran cantidad de grasa que debe ser convertida por el hígado en glucosa. Es decir, se rebasa la capacidad del hígado para convertir grasa en glucosa, entonces la grasa comienza a acumularse en el hígado y provoca síndrome de hígado graso, así como desórdenes metabólicos, quetosis, desplazamiento de abomaso y disminución en la resistencia del animal que incrementan la susceptibilidad a infecciones uterinas y de la ubre.

Especialmente hembras alrededor de los dos años de edad, pueden sufrir por carencia de selenio y cobre, sobretodo durante los dos últimos meses de gestación en su primer parto, debido a que por lo general desde el inicio de la preñez fueron alimentadas en pastoreo o exclusivamente con forraje de baja calidad. Por otra parte, el calcio juega un papel importante en la enfermedad por fiebre de leche. En muchos casos la placenta sólo es expulsada cuando se administra una solución de calcio-magnesio. Es decir, aún cuando la placenta puede encontrarse desprendida dentro del útero, en ocasiones sólo puede ser expulsada administrando solución de calcio – magnesio, debido a las débiles contracciones uterinas. Pruebas en sangre pueden encontrar deficiencias en minerales a considerar de inmediato para evitar problemas. Habrá que evitar la tensión en las vacas, causada frecuentemente por el movimiento inadecuado y aislamiento de los animales, así como por cambios abruptos en la dieta. Durante las situaciones de tensión, el consumo de alimento disminuye, sobretodo cuando las circunstancias de tensión suceden poco antes del parto. De éste modo, el déficit de energía aumenta conjuntamente con la movilización de reservas (grasas) que el hígado deberá transformar en glucosa para satisfacer las necesidades de energía.

En el tratamiento para retención de placenta, no deberán tratarse las vacas antes de tiempo, es decir, queda absolutamente prohibido, jalar la placenta o membranas que han sido parcialmente expulsadas, ya que esto causaría daño en el aparato reproductor de la vaca. Podría ser recomendable cortar únicamente las partes de la placenta que sobresalen. Lo cierto es que las vacas sufren visiblemente cuando la placenta queda retenida, especialmente porque se encuentran en el período más vulnerable del ciclo de producción. Sufren en primer lugar, debido al problema que causó la retención de la placenta, y se tornan muy susceptibles a tener otras complicaciones. La curación espontánea no es buena opción, porque toma largo tiempo.

El tratamiento inicial consiste en administrar bolos al útero en condiciones de asepsia. Tratamiento con antibióticos en caso la vaca desarrolle fiebre. En algunos países la aplicación de bolos está todavía a discusión. En cierto modo las infecciones uterinas son comunes en las vacas. Esto no es gran problema, a menos que la infección sea grave. Pero resulta difícil saber cuando la infección se transforma en grave. Alguna secreción de moco, proveniente de una vaca sana, no es de preocuparse, ya que ella misma podrá resolver el problema durante el estro. La vaca debe tratarse cuando existe gran cantidad de moco y visible malestar en el animal. Con el tratamiento adecuado, la vaca estará sana después de 4 a 6 semanas. Evidentemente, omitir el tratamiento agravaría el problema.

Las infecciones uterinas pueden agravarse debido a la falta o inadecuado tratamiento durante la retención de placenta, deficientes condiciones sanitarias durante el parto, desórdenes metabólicos que disminuyen la resistencia en la vaca, bajos niveles de resistencia en la vaca que evitan el proceso efectivo de limpieza en el útero, balance negativo de energía creado durante el período seco que empeora después del parto pudiendo ocasionar fiebre de leche, prácticas de manejo inadecuadas, laminitis durante el período de secado que causa disminución en la ingesta de alimentos y por lo mismo déficit en energía que promueve la movilización de grasas y consecuentemente síndrome de hígado graso, retención de placenta y eventualmente problemas de fertilidad.

Las infecciones uterinas leves pueden sanar por sí mismas cuando la salud en las vacas es óptima, sobretodo durante el estro intenso y rápido cuando el cervix se encuentra abierto y existe alta producción y flujo de moco que agiliza la limpieza en el útero. En éste sentido, es importante conocer si la vaca ha entrado en estro, porque en ocasiones el tratamiento consiste en inducir el estro, como solución cuando el problema no es de importancia. De éste modo, además de promover la limpieza del útero la vaca entra al ciclo reproductivo nuevamente. Cuando éste tratamiento no resuelve el problema, entonces el útero debe ser lavado. Siempre existen casos de infecciones uterinas en los hatos, pero cuando son más del cinco ó diez por ciento las vacas que requieren tratamiento, entonces el productor debe encontrar la causa principal del problema. Al encontrar la causa principal del problema, el productor eliminará también otros problemas que se derivan de la causa principal de la infección.

En áreas donde la producción es estacional, resulta difícil obtener crías en el tiempo estimado. En ésta circunstancias, las vacas deben parir cada año para estar en posibilidad de aprovechar los alimentos disponibles. Pero cuando la producción no es totalmente estacional, resulta mejor esperar un poco más, antes de preñar a la vaca nuevamente, en lugar de utilizar toda clase de "trucos" para que la vaca quede preñada tan pronto como sea posible. Cuando el balance de energía es adecuado, las oportunidades de preñez serán mucho mejores. Es importante la persistencia en producción. Los hatos con poca persistencia extienden el período entre partos, lo cual puede ocasionar incremento en la condición corporal (gordura) de las vacas al momento de secado y consecuentemente una menor producción diaria de leche.

Además de una adecuada inseminación, los órganos de reproducción deben estar limpios y completamente recuperados del parto anterior, así como un óvulo de buena calidad debe estar disponible. El balance en la energía tiene fuerte influencia en la calidad del óvulo. Los folículos en los ovarios comienzan a crecer aproximadamente ocho semanas antes de que los óvulos sean expulsados. El folículo es un a burbuja llena de humedad que contiene al óvulo. Cuando ésta burbuja se rompe, el óvulo es expulsado y viaja para encontrarse y fusionarse con uno de los millones de espermatozoides del animal macho. Si la vaca sufre por déficit de energía durante el crecimiento del folículo, la calidad del óvulo no será buena. Así mismo, cuando el déficit de energía es muy grande durante la última fase de desarrollo del folículo, las capas que cubren al óvulo y el óvulo mismo serán dañados.

Es importante cuidar el balance de energía durante el pico de producción. Esto es más fácil decirlo que hacerlo, sin embargo, asegúrese del buen manejo en las vacas durante el período de secado y del buen balanceo de la ración en la dieta, las vacas no deben llegar al pico en la lactancia demasiado rápido. Preferiblemente 50 a 60 días después del parto, maximice la ingesta de forraje de buena calidad, suministre la cantidad adecuada de concentrado vigilando los niveles de fibra en la dieta.



Factores que indican particularmente acerca del balance en energía son: condición corporal que no debe disminuir más de un punto después del parto, posponer la inseminación cuando la vaca pierde demasiada condición corporal, la diferencia entre el ratio de balance grasa y proteína no debe exceder del 1.5%. La proteína degradable puede ser factor de influencia negativa porque la proteína que no puede ser convertida en el rumen se elimina en forma de amoníaco (NH<sub>3</sub>). El NH<sub>3</sub> es absorbido por el útero a través de la sangre y las concentraciones de NH<sub>3</sub> reducen las posibilidades de supervivencia del óvulo y espermatozoides. No debe olvidarse el suministro de minerales, aunque cuando la alimentación se proporciona mediante raciones premezcladas es difícil que las deficiencias en minerales ocurran. Sin embargo incluso en éstos casos, debe ponerse especial atención cuando se proporciona gran cantidad de ingredientes en la premezcla, y cuando el suministro de concentrados es bajo.

*Resumen:* El régimen de alimentación tiene fuerte influencia en la fertilidad de las vacas. Los problemas uterinos ocurren principalmente después del parto, debido al déficit en energía durante el período seco. La carencia de energía desarrolla hígados grasos en el período seco. Las vacas con altos niveles de producción enfrentan con mayor frecuencia déficit de energía, lo cual tiene un impacto negativo en la calidad de los óvulos. Las vacas cuya persistencia láctea es baja y su condición corporal es excesiva al momento de secado, son más susceptibles a tener problemas de fertilidad.

*Sugerencias:* Durante el período de secado la condición corporal adecuada (3.0 a 3.5), balancee la ración para mantener la condición corporal (3.5 máximo), antes del parto suministre raciones bajas en calcio, prevenga enfermedades en patas, compense la baja ingesta de materia seca post-parto, mejorando la ración y suministrando concentrados dos a tres semanas antes del parto, evite el stress en las vacas, que las vacas tengan oportunidad de ejercitarse para prevenir el síndrome de hígado graso, suministre propilen-glycol y ordeñe antes del parto cuando se sospeche que pueda existir síndrome de hígado graso, ofrezca agua tibia inmediatamente después del parto para estimular el deseo comer y beber en las vacas, balancear la ración para evitar problemas de energía.

## 3.5 Ensilajes

El ensilaje es una técnica de preservación de forraje que se logra por medio de una fermentación láctica espontánea bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias epifíticas de ácido láctico (BAC) fermentan los carbohidratos hidrosolubles (CHS) del forraje produciendo ácido láctico y en menor cantidad, ácido acético. Al generarse estos ácidos, el pH del material ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción. Una vez que el material fresco ha sido almacenado, compactado y cubierto para excluir el aire, el proceso del ensilaje se puede dividir en cuatro etapas (Weinberg y Muck, 1996; Merry et al., 1997).

**Fase 1 - Fase aeróbica.** En esta fase -que dura sólo pocas horas- el oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal disminuye rápidamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como las levaduras y las enterobacterias. Además hay una actividad importante de varias enzimas vegetales, como las proteasas y las carbohidrasas, siempre que el pH se mantenga en el rango normal para el jugo del forraje fresco (pH 6,5-6,0).

**Fase 2 - Fase de fermentación.** Esta fase comienza al producirse un ambiente anaeróbico. Dura de varios días hasta varias semanas, dependiendo de las características del material ensilado y de las condiciones en el momento del ensilaje. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad BAC proliferará y se convertirá en la población predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos, el pH bajará a valores entre 3,8 a 5,0.

**Fase 3 - Fase estable.** Mientras se mantenga el ambiente sin aire, ocurren pocos cambios. La mayoría de los microorganismos de la Fase 2 lentamente reducen su presencia. Algunos microorganismos acidófilos sobreviven este período en estado inactivo; otros, como clostridios y bacilos, sobreviven como esporas. Sólo algunas proteasas y carbohidrasas, y microorganismos especializados, como *Lactobacillus buchneri* que toleran ambientes ácidos, continúan activos pero a menor ritmo. Más adelante se discutirá la actividad de *L. buchneri*.

**Fase 4 - Fase de deterioro aeróbico.** Esta fase comienza con la apertura del silo y la exposición del ensilaje al aire. Esto es inevitable cuando se requiere extraer y distribuir el ensilaje, pero puede ocurrir antes de iniciar la explotación por daño de la cobertura del silo (p. ej. roedores o pájaros). El período de deterioro puede dividirse en dos etapas. La primera se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje, por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto induce un aumento en el valor del pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro; en ella se constata un aumento de la temperatura y la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje, como algunos bacilos.

La última etapa también incluye la actividad de otros microorganismos aeróbicos -también facultativos- como mohos y enterobacterias. El deterioro aeróbico ocurre en casi todos los ensilajes al ser abiertos y expuestos al aire. Sin embargo, la tasa de deterioro depende de la concentración y de la actividad de los organismos que causan este deterioro en el ensilaje. Las pérdidas por deterioro que oscilan entre 1,5 y 4,5 por ciento de materia seca diarias pueden ser observadas en áreas afectadas. Estas pérdidas son similares a las que pueden ocurrir en silos herméticamente cerrados y durante períodos de almacenaje de varios meses (Honig y Woolford, 1980).

Es importante controlar y optimizar el proceso de ensilaje de cada fase. En la fase 1, las buenas prácticas para llenar el silo permitirán minimizar la cantidad de oxígeno presente en la masa ensilada. Las buenas técnicas de cosecha y de puesta en silo permiten reducir las pérdidas de nutrientes (CHS) inducidas por respiración aeróbica, dejando así mayor cantidad de nutrientes para la fermentación láctica en la Fase 2. Durante las Fases 2 y 3, el agricultor no tiene medio alguno para controlar el proceso de ensilaje.

Para optimizar el proceso en las Fases 2 y 3 es preciso recurrir a aditivos que se aplican en el momento del ensilado y cuyo uso se discutirá más adelante. La Fase 4 comienza en el momento en que reaparece la presencia del oxígeno. Para minimizar el deterioro durante el almacenaje, es preciso asegurar un silo hermético; las roturas de las cubiertas del silo deben ser reparadas inmediatamente. El deterioro durante la explotación del silo puede minimizarse manejando una rápida distribución del ensilaje. También se pueden agregar aditivos en el momento del ensilado, que pueden reducir las pérdidas por deterioro durante la explotación del silo.

**La microflora del ensilaje:** La microflora del ensilaje juega un papel clave para el éxito del proceso de conservación. Puede ser dividida en dos grupos principales: los microorganismos benéficos y los microorganismos indeseables. Los microorganismos benéficos son los microorganismos BAC.

Los indeseables son aquellos organismos que causan el deterioro anaeróbico (p. ej. clostridios y enterobacterias) o deterioro aeróbico (ej. levaduras, bacilos, *Listeria* sp. y mohos). Muchos de estos organismos indeseables no sólo reducen el valor nutritivo del ensilaje sino que pueden además afectar la salud de los animales o alterar la calidad de la leche, o ambas (p. ej.: *Listeria* sp., clostridios, hongos y bacilos).

### **Microorganismos benéficos - bacterias que producen ácido láctico (BAC)**

Las bacterias BAC pertenecen a la microflora epifítica de los vegetales. Su población natural crece significativamente entre la cosecha y el ensilaje. Esto se explica por la reactivación de células latentes y otras no cultivadas, y no por la inoculación de las máquinas cosechadoras o por el simple crecimiento de la población original.

Las características del cultivo como, contenido de azúcares, contenido de materia seca y composición de los azúcares, combinados con las propiedades del grupo BAC así como su tolerancia a condiciones ácidas o de presión osmótica, y el uso del substrato, influirán en forma decisiva sobre la capacidad de competencia de la flora BAC durante la fermentación del ensilaje (Woolford, 1984; McDonald et al., 1991).

Los componentes BAC que se asocian con el proceso de ensilaje pertenecen a los géneros: *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Lactococcus* y *Streptococcus*. La mayoría de ellos son mesófilos, o sea que pueden crecer en un rango de temperaturas que oscila entre 5° y 50°C, con un óptimo entre 25° y 40°C son capaces de bajar el pH del ensilaje a valores entre 4 y 5, dependiendo de las especies y del tipo de forraje.

Todos los miembros del BAC son aeróbicos facultativos, pero muestran cierta preferencia por la condición anaeróbica (Holzapfel y Schillinger 1992; Hammes et al., 1992; Devriese et al., 1992; Weiss, 1992; Teuber et al., 1992).

Tomando en cuenta su metabolismo de los azúcares, los miembros BAC pueden ser clasificados como homofermentadores obligatorios, heterofermentadores facultativos o heterofermentadores obligatorios. Los homofermentadores obligatorios producen más de 85 por ciento de ácido láctico a partir de hexosas (azúcares C6) como la glucosa, pero no pueden degradar las pentosas (azúcares C5) como la xilosa. Los heterofermentadores facultativos también producen principalmente ácido láctico a partir de hexosas, pero además pueden degradar algunas pentosas produciendo ácido láctico, ácido acético y/o etanol. Los heterofermentadores obligatorios degradan las hexosas y las pentosas, pero se distinguen de los homofermentadores en que degradan las hexosas en proporciones equimolares de ácido láctico, CO<sub>2</sub>, ácido acético y/o etanol (Hammes et al., 1992; Schleifer y Ludwig 1995). Los homofermentadores obligatorios reúnen especies como *Pediococcus damnosus* y *Lactobacillus ruminis*. Los heterofermentadores facultativos incluyen a *Lactobacillus plantarum*, *L. pentosus*, *Pediococcus acidilactici*, *P. pentosaceus* y *Enterococcus faecium*. Los heterofermentadores obligatorios incluyen miembros del género *Leuconostoc* y algunos *Lactobacillus* como *L. brevis* y *L. buchneri* (Devriese et al., 1992; Weiss, 1992; Holzapfel y Schillinger, 1992; Hammes et al., 1992).

### **Microorganismos indeseables**

**Levaduras:** Las levaduras son microorganismos eucarióticos, anaeróbicos facultativos y heterotróficos. En todo ensilaje, tanto la actividad de levaduras anaeróbicas como aeróbicas son indeseables. Bajo condiciones anaeróbicas las levaduras fermentan azúcares produciendo etanol y CO<sub>2</sub> (Schlegel, 1987; McDonald et al., 1991).

La producción de etanol no sólo disminuye el azúcar disponible para producir ácido láctico, sino que también produce un mal gusto en la leche (Randby et al., 1999). Bajo condiciones aeróbicas, muchas especies de levaduras degradan el ácido láctico en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

La degradación del ácido láctico eleva el valor del pH del ensilaje, lo cual a su vez permite el desarrollo de otros organismos indeseables (McDonald et al., 1991). Las poblaciones de levaduras pueden alcanzar hasta 10<sup>7</sup> unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo durante las primeras semanas del proceso de ensilaje; un período prolongado de almacenamiento reduce gradualmente la presencia de levaduras (Jonsson y Pahlow, 1984; Middelhoven y van Baalen, 1988; Driehuis y van Wixselaar, 1996). La supervivencia de las levaduras durante el almacenamiento depende de la severidad de la anaerobiosis y la concentración de ácidos orgánicos. La presencia de oxígeno facilita la supervivencia y el desarrollo de las levaduras durante el almacenamiento (Jonsson y Pahlow, 1984; Donald et al., 1995), mientras que un contenido elevado de ácido fórmico o ácido acético reducen su supervivencia (Driehuis y van Wixselaar, 1996; Oude Elferink et al., 1999).

La actividad inicial de las levaduras parece ser incrementada en forrajes que generan niveles bajos de pH (<5), por ejemplo, cuando se trata de materiales con un alto contenido de azúcares como papas, cáscaras de naranja o remolacha azucarera, o cuando se emplean aditivos ácidos. Bajo estas condiciones el ensilaje resultante tiene concentraciones altas de etanol y bajas en ácido láctico (Henderson et al., 1972; Ashbell et al., 1987; Weinberg et al., 1988; Driehuis y van Wixselaar, 1996). Más adelante se describen los aditivos desarrollados para reducir la actividad de las levaduras en el ensilaje.

**Enterobacterias:** Las enterobacterias son organismos anaeróbicos facultativos. Se considera que la mayoría de las enterobacterias presentes en el ensilaje no son patógenas. Pese a ello su desarrollo en el ensilaje es perjudicial porque compiten con los integrantes del BAC por los azúcares disponibles, y porque además pueden degradar las proteínas. La degradación proteica no sólo causa una reducción del valor nutritivo del ensilaje, sino que también permite la producción de compuestos tóxicos tales como aminas biogénicas y ácidos grasos de cadena múltiple. Se sabe que las aminas biogénicas tienen un efecto negativo sobre la palatabilidad del ensilaje (Woolford, 1984; McDonald et al., 1991; van Os y Dulphy, 1996), especialmente en animales todavía no acostumbrados a su sabor (van Os et al., 1997). Más aún, el amoníaco generado por la proteólisis aumenta el poder tampón del forraje ensilado, lo cual se opone a toda tendencia para un descenso rápido del pH del ensilaje. Un atributo particular de las enterobacterias es su habilidad, en el proceso de ensilaje, para reducir el nitrato (NO<sub>3</sub>) a nitrito (NO<sub>2</sub>). Las enterobacterias en el ensilaje pueden luego degradar el nitrito en amoníaco y óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O), pero este también puede ser transformado en monóxido de nitrógeno (NO) y nitrato (Spoelstra, 1985, 1987). En presencia de aire, el NO es oxidado produciendo una mezcla de gases, óxidos amarillomarrones de nitrógeno (NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Los gases de NO y NO<sub>2</sub> dañan el tejido pulmonar y pueden causar enfermedades con síntomas parecidos a la neumonía, conocida como enfermedad del ensilaje (Woolford, 1984). Para evitar el contacto de los animales con estos gases de nitrógeno se recomienda que no sean estabulados cerca de los silos cuando se llena el silo o durante su primera semana de almacenamiento (O'Kiely et al., 1999).

A pesar de estos problemas, se considera útil que ocurra una leve reducción de nitritos, ya que los nitritos y el NO que se generan son inhibidores muy potentes de los clostridios y mejoran la calidad del ensilaje (Woods et al., 1981; Spoelstra, 1985). Las enterobacterias no proliferan en ambientes con valores bajos de pH. Las técnicas de ensilaje que aseguren un rápido y significativo descenso del pH en el ensilaje, provocarán una inhibición del desarrollo de las enterobacterias (McDonald et al., 1991).

**Clostridios:** Los clostridios son bacterias anaeróbicas que forman endosporas. Muchas de ellas pueden fermentar tanto carbohidratos como proteínas, por lo cual disminuyen el valor nutritivo del ensilaje y al igual que las endobacterias crean problemas al producir aminos biogénicos. Además, la presencia de clostridios en el ensilaje altera la calidad de la leche ya que sus esporas sobreviven después de transitar por el tracto digestivo y se encuentran en las heces; esto puede resultar en la contaminación de la leche, ya sea directamente o por ubres mal aseadas. La especie de mayor importancia en las lecherías es *Clostridium tyrobutyricum*, un organismo ácido tolerante. Además de poder fermentar carbohidratos, *C. tyrobutyricum* también puede degradar el ácido láctico en ácido butírico, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, según la reacción siguiente: 2 ácido láctico  $\rightarrow$  1 ácido butírico + 2 H<sub>2</sub> + 2 CO<sub>2</sub>. La fermentación butírica no sólo interfiere con la fermentación láctica del ensilaje y de los quesos, sino que también es responsable de una abundante producción de gas, lo que causa en los quesos duros y semiduros el defecto conocido como "soplado tardío", común en quesos Emmental, Grana, Gouda y Parmesano (Gibson, 1965; Goudkov y Sharpe, 1965; Klijn et al., 1995). Serios problemas de salud pueden ser causados por ciertos tipos de clostridios. Una especie extremadamente tóxica es *Clostridium botulinum* que provoca el botulismo, y puede ser fatal para el ganado bovino. Afortunadamente, *C. botulinum* tiene una baja tolerancia a medios ácidos y por ello no se desarrolla en ensilajes bien fermentados.

El botulismo en los animales es causado por ingestión de ensilaje contaminado con *C. botulinum* y corresponde casi siempre a la descomposición de un cadáver (p. ej.: ratón, pájaro) dentro del ensilaje (Kehler y Scholz, 1996). Un "ensilaje clostridial" típico muestra un alto contenido de ácido butírico (más de 5 g/kg de MS), un pH alto (>5 en ensilajes con bajo contenido de MS), y alto contenido tanto de amoníaco como de aminos (Voss, 1966; McPherson y Violante, 1966).

Las técnicas de ensilaje que permiten una caída rápida y significativa del pH evitarán el problema, puesto que tanto el desarrollo de enterobacterias como de clostridios se inhibe con valores bajos de pH. Por otro lado, los clostridios muestran mayor susceptibilidad a la falta de humedad (o sea, bajo valor aw, baja actividad acuosa) que los integrantes del BAC (Kleter et al., 1982, 1984; Huchet et al., 1995).

Por ello, toda medida tomada para disminuir el valor aw de un forraje, como inducir su marchitez y por ende aumentar el valor del contenido de MS, permite la inhibición selectiva de clostridios (Wieringa, 1958). Por último, los nitritos y el NO u otros compuestos que puedan ser degradados en el ensilaje para producirlos, también inhibirán el desarrollo de los clostridios (Spoelstra, 1983, 1985).

**Bacterias productoras de ácido acético:** Estas bacterias son ácido tolerantes y aeróbicas obligatorias. Hasta la fecha, todas estas bacterias aisladas de muestras de ensilaje pertenecen al género *Acetobacter* (Spoelstra et al., 1988). La actividad de *Acetobacter* spp. en el ensilaje es perniciosa porque puede iniciar una deterioración aeróbica, ya que puede oxidar el lactato y el acetato produciendo CO<sub>2</sub> y agua. Generalmente, las responsables principales del inicio del deterioro aeróbico son levaduras; las bacterias acéticas se encuentran ausentes o juegan un papel poco importante en este problema. No obstante, existe evidencia que estas bacterias pueden iniciar un deterioro aeróbico en el ensilaje de maíz cuando incluye toda la planta, grano y forraje (Spoelstra et al., 1988). Por otro lado, la inhibición selectiva de las levaduras también puede aumentar la proliferación de bacterias que producen ácido acético en el ensilaje (Driehuis y van Wikselaar, 1996).

**Bacilos:** Los bacilos se asemejan a los clostridios: son bacterias de forma cilíndrica que forman esporas. Sin embargo, se los puede distinguir fácilmente ya que son aeróbicos facultativos, mientras que los clostridios son todos anaeróbicos obligatorios (Claus y

Berkeley, 1986; Cato et al., 1986). Los bacilos aeróbicos facultativos fermentan un amplio rango de carbohidratos generando compuestos tales como ácidos orgánicos (p. ej.: acetatos, lactatos y butiratos) o etanol, 2,3- butanodiol y glicerol (Claus y Berkely, 1986). Algunos *Bacillus* spp. son capaces de producir sustancias fungicidas, y se los ha usado para inhibir el proceso de deterioro aeróbico en ensilajes (Phillip y Fellner, 1992; Moran et al., 1993).

Con la excepción de estas estirpes, el desarrollo de los bacilos en el ensilaje es en general considerado como indeseable. Esto se debe a que los bacilos no sólo son menos eficaces como productores de ácido láctico y acético comparado con el grupo BAC (McDonald et al., 1991), si no que en las etapas finales, incrementan la deterioración aeróbica (Lindgren et al. 1985; Vreman et al., en imprenta). Además, un alto número de esporas de *Bacillus* en leche fresca ha sido asociado con un alto número de esporas en heces frescas de vaca (Waes, 1987; te Giffel et al., 1995). Parece muy posible que, tal como ocurre en el caso de esporas de los clostridios, las esporas de *Bacillus* sean transferidas del ensilaje a la leche vía las heces (Vreman et al., en imprenta). Las esporas psicrotróficas de *Bacillus cereus* son consideradas como los organismos más importantes del deterioro de la leche pasteurizada (te Giffel, 1997).

Altas concentraciones de esporas psicrotróficas de *B. cereus* han sido detectadas en ensilajes (Labots et al., 1965; te Giffel et al., 1995). Para disminuir el desarrollo de *Bacillus* en el ensilaje, la temperatura de almacenaje no debería ser muy alta (Gibson et al. 1958) y se deberá minimizar el ingreso de aire (Vreman et al., en imprenta). Además se debe reducir toda contaminación inicial del ensilaje con tierra o estiércol (McDonald et al., 1991; Rammer et al. 1994).

**Mohos:** Los mohos son organismos eucarióticos. Es fácil identificar un ensilaje infestado por mohos debido a los filamentos de diversos colores y de gran tamaño que producen muchas especies. Los mohos se desarrollan en cualquier sitio del ensilaje donde encuentren oxígeno, inclusive solo trazas. En un buen ensilaje eso ocurre sólo al inicio del almacenamiento y se restringe a la capa exterior de la masa ensilada, pero durante el deterioro aeróbico (Fase 4) todo el ensilaje puede ser invadido por mohos.

Las especies que se han identificado más frecuentemente en el ensilaje pertenecen a los géneros *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Byssosclamyces*, *Absidia*, *Arthrinium*, *Geotrichum*, *Monascus*, *Scopulariopsis* y *Trichoderma* (Pelhate, 1977; Woolford, 1984; Frevel et al., 1985; Jonsson et al., 1990; Nout et al., 1993). Los mohos no sólo disminuyen el valor nutritivo y la palatabilidad del ensilaje sino que también son un riesgo para la salud de los animales y las personas. Las esporas de mohos pueden asociarse a ciertas afecciones pulmonares y reacciones alérgicas (May, 1993). Otros problemas de salud asociados con los mohos se relacionan con las micotoxinas (Oldenburg, 1991; Auerbach, 1996).

Dependiendo del tipo y la cantidad de toxina presente en el ensilaje, los problemas de salud pueden variar desde ligeras molestias digestivas, pequeños problemas de fertilidad y una disminución de las defensas naturales, hasta daños serios al hígado o a los riñones y abortos (Scudamore y Livesey, 1998). Algunas especies de hongos que producen micotoxinas son: *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium roqueforti*, y *Byssosclamyces nivea*. *P. roqueforti* es una especie ácido tolerante que puede desarrollarse aún en ambientes con muy poco oxígeno y alta concentración de CO<sub>2</sub> y ha sido detectada como una especie predominante en diversos tipos de ensilajes (Lacey, 1989; Nout et al., 1993; Auerbach et al., 1998; Auerbach, 1996).

Todavía existen muchas dudas sobre cuales son las condiciones bajo las que se producen las micotoxinas en el ensilaje. No todos los ensilajes fuertemente infestados por mohos tienen forzosamente una gran cantidad de micotoxinas, y no todos los tipos de micotoxinas que pueden producir los mohos se encuentran necesariamente en un ensilaje infestado (Nout et al., 1993; Auerbach, 1996). Está confirmado que la aflatoxina B1, una micotoxina de *Aspergillus flavus*, puede ser transferida del ensilaje a la leche. A pesar de esto, no se sabe si esto mismo puede ocurrir con micotoxinas de *P. roqueforti* o *A. fumigatus* (Scudamore y Livesey, 1998). Las técnicas de ensilaje que minimizan el ingreso de aire (p. ej. buena compactación y cierre hermético del ensilaje), y la inclusión de aditivos que inhiben el deterioro aeróbico, podrán prevenir o limitar el desarrollo de mohos.

**Listeria:** Los integrantes del género *Listeria* son organismos aeróbicos o anaeróbicos. Con relación a los efectos negativos sobre la calidad del ensilaje, la más importante especie es el *L. monocytogenes*, anaeróbico facultativo, que es una especie patogénica para varios animales y para el hombre. Los animales que tienen su sistema inmune temporalmente inhibido (p. ej. hembras preñadas y neonatos) son muy susceptibles a infecciones de *L. monocytogenes* (Jones y Seeliger, 1992).

El ensilaje contaminado con *L. monocytogenes* ha sido asociado con casos fatales de listeriosis en ovejas y cabras (Vázquez- Boland et al., 1992; Wiedmann et al., 1994). Además, Sanaa et al. (1993) han señalado que el uso de ensilaje de mala calidad ha sido una de las fuentes principales de contaminación de la leche cruda con *L. monocytogenes*.

El desarrollo y supervivencia de *Listeria* spp. en el ensilaje están determinados por fallas en asegurar un ambiente anaeróbico, y por el valor pH del ensilaje. *L. monocytogenes* puede tolerar bajos niveles de pH entre 3,8 a 4,2 por largos períodos siempre que exista oxígeno, aún a exiguas concentraciones. Sin embargo, en un ámbito estrictamente anaeróbico, perece rápidamente al existir un valor de pH bajo (Donald et al., 1995). Los ensilajes con mayor susceptibilidad al deterioro aeróbico superficial, como es el caso de ensilajes en grandes pacas, parecen estar particularmente propensos a la contaminación con *Listeria* (Fenlon et al., 1989). Generalmente *L. monocytogenes* no se desarrolla en ensilajes bien fermentados que tienen un nivel bajo de pH. Hasta el momento, el mejor método para prevenir el desarrollo de *L. monocytogenes* es mantener un ámbito anaeróbico (McDonald et al., 1991).

### **Uso de aditivos en el ensilaje**

A partir de la década de 1990, el uso de aditivos para mejorar las condiciones del proceso de ensilaje comenzó hacerse muy común. Existe un amplio rango donde escoger sustancias como aditivos y actualmente se dispone de un gran número de aditivos químicos y biológicos comerciales adecuados para el ensilaje. El Programa UKASTA para Certificación de Forrajes del Reino Unido presenta una lista incluyendo más de 80 productos (Rider, 1997). Afortunadamente, es relativamente simple elegir el aditivo apropiado puesto que el modo de actuar de la mayoría de está comprendido en pocas categorías (Cuadro 1).

Entre aditivos de la misma categoría se manifiestan diferencias tales como la efectividad general, la adecuación para determinado tipo de forraje, y la facilidad para su manejo y aplicación. Estos factores, junto al precio y la disponibilidad, determinan cual es el aditivo más conveniente para un ensilaje específico. Un problema práctico que presentan algunos aditivos es su naturaleza corrosiva que puede dañar equipos y constituir un riesgo para su manipulación. Los aditivos biológicos no son corrosivos y no hay peligro en su manipulación, pero suelen ser caros. Además su eficacia es menor puesto que depende del estado de actividad de organismos vivos. La calidad del almacenaje de los aditivos biológicos por parte de fabricantes, vendedores y el propio agricultor es por ello un elemento fundamental.

Pese a estas exigencias, tanto en Europa como en los E.U. de América, los inoculantes con bacterias se han convertido en el tipo más frecuente de aditivo empleado en ensilajes de maíz, gramíneas y leguminosas que puedan secarse a una marchitez mayor a 300 g MS/ kg (Bolsen y Heidker, 1985; Pahlow y Honig, 1986; Bolsen et al., 1995; Kung, 1996; Weinberg y Muck, 1996). En Holanda, el uso de inoculantes con bacterias ha aumentado, porcentualmente y en términos absolutos, entre 1995 y 1998; en 1998, 13,7 por ciento de todo el ensilaje de gramíneas se ensilaba con algún aditivo, entre los cuales el 31 por ciento usaba este tipo de inoculantes, 37 por ciento usaban melaza y 29 por ciento usaban inhibidores de la fermentación (Hogenkamp, 1999).

### **Aditivos para mejorar la fermentación del ensilaje**

La aplicación de técnicas apropiadas durante la cosecha y el ensilado no son suficientes para impedir que la fermentación inicial del ensilaje (Fase 2) se realice en forma inadecuada. Esto puede ocurrir por una presencia escasa de microorganismos BAC apropiados o por una baja concentración de carbohidratos hidrosolubles (CHS), o ambos. La cantidad de carbohidratos hidrosolubles que se precisa para inducir una buena fermentación depende del contenido de materia seca y de la capacidad tampón del forraje. Weissbach y Honig (1996) ilustran la relación entre estos factores, como sigue:

$$CF = MS (\%) + 8 CHS/CT$$

Donde:

CF = coeficiente de fermentación

MS = contenido de materia seca

CHS = carbohidratos hidrosolubles

CT = capacidad tampón.

Los forrajes que contienen cantidades insuficientes de sustrato para fermentar o un bajo contenido de materia seca arrojan un valor  $CF < 35$ . En tales condiciones, para inducir una buena fermentación es preciso aumentar el contenido de azúcares, ya sea agregándolos directamente (p. ej. usando melaza) o introduciendo enzimas que puedan liberar otro tipo de azúcares presentes en el forraje. Los forrajes con valores de CF de 35 o más, tienen suficiente sustrato disponible para una buena fermentación. Sin embargo, agregando ciertos BAC se puede acelerar y mejorar el proceso del ensilaje. En casos de ensilajes con alto contenido de materia seca y poca disponibilidad de agua, la presencia de un BAC que sea tolerante a la presión osmótica pasa a ser el factor crítico para una buena fermentación. Debe recordarse que este tipo de bacteria representa una porción muy pequeña de la microflora natural de los cultivos forrajeros (Pahlow y Weissbach, 1996).

Los forrajes que contengan más de 50 por ciento de materia seca se consideran muy difíciles de ensilar (Staudacher et al., 1999). La fórmula de Weissbach y Honig (1996) no debe aplicarse a cultivos con una baja concentración de nitritos, como es el caso de gramíneas y cereales inmaduros cuando se cosecha la planta entera, porque estos cultivos son más propensos a fermentaciones de clostridios que otros cultivos que tienen un contenido moderado de nitratos (Spoelstra, 1983, 1985).

Puede ser útil usar inoculantes que incrementen la fermentación láctica para inhibir la actividad de clostridios. La menor concentración de BAC que se precisa para inhibir la actividad de clostridios es, como mínimo, 100 000 unidades formadoras de colonias por gramo de forraje fresco (Weissbach y Honig, 1996; Kaiser y Weiss, 1997).



## **Aditivos para inhibir la fermentación del ensilaje**

Este tipo de aditivos podrían, en teoría, usarse para todo tipo de forraje. Pero, en la práctica se usan generalmente sólo para cultivos con bajo contenido de carbohidratos hidrosolubles (CHS) y/o alta capacidad tampón (McDonald et al., 1991). En Holanda, los inhibidores más difundidos son diversas sales (Hogenkamp, 1999). Una ventaja del uso de estas sales es la mayor facilidad y seguridad en su manipulación comparadas con los correspondientes ácidos. Los aditivos que inhiben la fermentación en el ensilaje pueden reducir la cantidad de esporas de clostridios. Empleados en ensilaje de forraje marchito de gramíneas, se ha constatado una disminución de esporas de cinco a 20 veces. Resultados similares pueden lograrse también al agregar melaza, como un estimulante de la fermentación. Los aditivos más efectivos para inhibir el desarrollo de clostridios parecen ser aquellos relacionados con el ácido fórmico, el hexametileno y los nitritos (Hengeveld, 1983; Corporaal et al., 1989; van Schooten et al., 1989; Jonsson et al., 1990; Lattemae y Lingvall, 1996).

## **Aditivos que inhiben el proceso de deterioro aeróbico**

Es obvio que para impedir el deterioro aeróbico será preciso inhibir la actividad y desarrollo de los organismos responsables de este deterioro, y muy especialmente de aquellos que dan comienzo a este proceso (p. ej. levaduras y bacterias que generan una fermentación acética). Algunos aditivos útiles para este propósito incluyen varios ácidos grasos volátiles, como el propiónico y el acético, y otros de tipo biológico, provenientes de microorganismos como lactobacilos y bacilos que son capaces de producir bacteriocinas (Woolford, 1975a; McDonald et al., 1991; Phillip y Fellner, 1992; Moran et al., 1993; Weinberg y Muck, 1996). Los ácidos sórbico y benzoico también muestran una fuerte actividad antibiótica (Woolford, 1975b; McDonald et al., 1991). Recientemente se ha descubierto que *Lactobacillus buchneri* es un inhibidor muy eficaz del proceso de deterioro aeróbico.

Esto parece explicarse principalmente por la capacidad de *L. buchneri* para degradar, bajo condiciones anaeróbicas, el ácido láctico en ácido acético y 1,2-propanodiol, lo cual causa a su vez una disminución muy significativa del número de levaduras presentes (Driehuis et al., 1997, 1999; Oude Elferink et al., 1999). Este resultado concuerda con el hecho que los ácidos grasos volátiles, como propiónico y acético, son mejores inhibidores de levaduras que el ácido láctico, y que mezclas de ácidos láctico y propiónico o acético muestran efectos sinérgicos en su poder inhibidor (Moon, 1983). Los resultados de Moon (1983) también explican porque en muchos casos, los inoculantes biológicos que promueven la fermentación láctica homofermentativa no mejoran la estabilidad aeróbica, y pueden incluso disminuirla (Weinberg y Muck, 1996; Oude Elferink et al., 1997).

La inoculación de bacterias que producen propionatos no parece ser apropiada para mejorar la estabilidad aeróbica del ensilaje. Esto se debe al hecho que este tipo de bacterias sólo puede proliferar y producir propionato siempre que el nivel del pH en el ensilaje permanezca relativamente alto (Weinberg y Muck, 1996).

## **Aditivos usados como nutrientes o como absorbentes**

Ciertos cultivos muestran deficiencias en algunos componentes nutritivos esenciales para una buena dieta para rumiantes. Al suplir los elementos deficitarios con un aditivo en el momento de ensilar se mejora el valor nutritivo del forraje. Los aditivos empleados con este propósito incluyen el amoníaco y la urea que permiten aumentar el contenido en proteína, bruta y verdadera, del ensilaje, y la cal y el MgSO<sub>4</sub> que aumentan el contenido de calcio y magnesio.

Si bien estos últimos aditivos no tienen efecto benéfico alguno en la fermentación, la urea y el amoníaco pueden mejorar la estabilidad aeróbica del ensilaje (Glewen y Young, 1982; McDonald et al., 1991).

Los absorbentes son empleados para forrajes con bajo contenido en materia seca para evitar pérdidas de nutrientes provocadas por un escurrimiento excesivo del ensilaje. La pulpa seca de remolacha azucarera y la pulpa de cítricos han dado buenos resultados. El uso de paja también es útil pero tiene el efecto negativo de bajar el tenor nutritivo del ensilaje (McDonald et al., 1991).

### **Combinaciones de aditivos**

La mayoría de los aditivos comerciales contienen más de un ingrediente activo con lo cual se logra incrementar la eficacia y abarcar un rango más amplio de funciones. Algunas combinaciones muy usadas incluyen inoculantes que estimulan la fermentación láctica homofermentativa junto con enzimas que permiten liberar ciertos azúcares, o combinaciones que permiten la fermentación y deterioro de sustancias inhibitoras como el ácido fórmico, sulfitos y ácido propiónico (Rider, 1997, Anón., 1999).

Actualmente se trabaja en la obtención de nuevos aditivos que disminuyen el efecto negativo de la fermentación láctica homofermentativa sobre la estabilidad aeróbica.

Ya se han obtenido resultados promisorios que combinan productos homofermentativos y heterofermentativos facultativos del grupo BAC con reactivos como el amoníaco y el benzoato de sodio (Kalzendorf, 1992; Bader, 1997), o combinando BAC heterofermentativos facultativos con *L. buchneri* heterofermentativo obligatorio.

### **Fermentación de ensilajes tropicales**

El ensilado de cultivos forrajeros o de subproductos industriales podría aportar una importante contribución para optimizar el funcionamiento de los sistemas de producción animal en zonas tropicales y subtropicales, pero su empleo es todavía muy escaso (Wilkins et al., 1999). Si bien esto se debe en parte a los bajos precios de los productos ganaderos, al poco uso de la mecanización y al alto costo de los materiales para el sellado del silo, también se debe a la falta de experiencia práctica en la técnica del ensilaje. Se necesitan además más investigaciones para dilucidar ciertos temas específicos del ensilaje en zona tropical. Uno de estos temas se refiere al hecho que las gramíneas y las leguminosas tropicales tienen una alta concentración relativa de componentes de la pared celular y un menor contenido de carbohidratos disponibles para la fermentación, comparados con cultivos forrajeros de zonas templadas (Catchpoole y Henzell, 1971; Jarrige et al., 1982).

Además, la temperatura del ambiente durante el período de almacenaje en la zona tropical es mayor que aquella de climas templados, lo cual proporciona una gran ventaja a los bacilos sobre el grupo BAC (Gibson et al., 1958). Por otro lado debe considerarse que algunos materiales empleados para sellar los silos se rompen al no soportar la fuerte radiación solar del trópico, lo que puede contribuir a dañar la estabilidad aeróbica del ensilaje. A pesar de todas las dificultades, es altamente probable que las técnicas de ensilaje empleadas en zonas templadas puedan servir para adaptar y desarrollar variantes apropiadas para las condiciones tropicales.

**Fuentes:** S.J.W.H. Oude Elferink\* y F. Driehuis J.C. Gottschal y S.F. Spoelstra, Institute for Animal Science and Health (ID-DLO) Dept. Microbiology, Groningen State University, Haren, Holanda.

## 3.6 Calidad en la Leche

### Leche Cruda de Buena Calidad para Pasteurización

<b>Temperatura</b>	4 a 7 °C En las dos primeras horas posteriores al ordeño. La combinación de temperaturas debido a la mezcla de leches después del primer ordeño, no debe exceder de 10°C.
<b>Bacterias</b>	Entre 50,000 y 100,000 por mililitro en productores individuales, antes que su leche sea mezclada con la otros productores, menor a 300,000 por mililitro en la mezcla de leches de diversos productores antes de la pasteurización.
<b>Antibióticos</b>	En productores individuales y en leche de diversos productores, no más de 15 milímetros con <i>Bacillus stearothermophilus</i> .
<b>Conteo Células Somáticas</b>	En productores individuales, no más de 1,000,000 por mililitro.

Fuente: "Florida Milk & Milk Products Law" - "Rules and Regulations," Chapter 502

### Composición Normal en la Leche

<b>Agua</b>	<b>84-90%</b>
<b>Grasa</b>	<b>2-6%</b>
<b>Proteína</b>	<b>3-4%</b>
<b>Lactosa</b>	<b>4-5%</b>
<b>Cenizas</b>	<b>&lt; 1%</b>

### Efecto de las Células Somáticas en la Composición de la Leche

<b>Factor</b>	<b>Normal</b>	<b>Alto Conteo de Células Somáticas</b>	<b>% Normal</b>
<b>Sólidos Totales</b>	13.1	12.0	92
<b>Lactosa</b>	4.7	4.0	85
<b>Grasa</b>	4.2	3.7	88
<b>Cloro</b>	0.091	0.147	161
<b>Proteína Total</b>	3.6	3.6	100
<b>Caseínas</b>	2.8	2.3	82
<b>Proteínas en Suero</b>	0.8	1.3	162

*John C. Bruhn, Extension Food Technologist, U.C.-Davis.*

## Efecto de las Células Somáticas en el Rendimiento de Queso

Células Somáticas/MI.	Queso Cheddar Kg. por cada 45.4 Kg. de Leche
240,000	4425
496,000	4397
640,000	4281

J. C. Bruhn, Extension Food Technologist, U.C. Davis.

### Mastitis

Los patógenos que transmiten la mastitis son: *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus agalactae*. Se esparcen fácilmente desde ubres infectadas hacia ubres sanas, particularmente durante el ordeño, debido a falta de sanidad. Así como patógenos ambientales como Streptococci (*Escherichia coli*, *Klebsiella* y coliformes).

La Mastitis ocurre en dos formas: clínica y sub-clínica. La mastitis sub-clínica provoca mayores pérdidas, porque el contagio no es notable. Las pérdidas por mastitis clínica ocurren debido a la leche que se pierde por anomalías y residuos de antibióticos. En la mastitis sub-clínica, las pérdidas ocurren debido a la reducción en la producción de leche como resultado del tejido dañado en las ubres.

Células Somáticas	Pérdidas en Leche
100.000	3%
200.000	6%
300.000	7%
400.000	8%
500.000	9%
600.000	10%
700.000	11%
1.000.000	12%

DeLaval

### Aspectos fundamentales para mejorar la calidad en la leche

#### Conocimiento:

- Conocer acerca de la calidad de la leche que se produce y entrega.
- Datos mensuales sobre la cantidad de células somáticas en la leche.
- Promedio de células somáticas obtenido en al menos 12 meses.
- Incidencia de Mastitis y resultado de los tratamientos.

#### Evaluación de Riesgos:

- Equipo de ordeño.
- Proceso de ordeño.
- Medio ambiente.

- d. Plan de acción.
- e. Monitoreo de mastitis y de la calidad en la leche.

**a. Equipo de Ordeño:**

- Mantenimiento conforme a recomendaciones de los fabricantes.
- Evaluar regularmente el funcionamiento de componentes críticos.
- Inspección rutinaria y reemplazo de accesorios de hule.
- Cambiar partes de hule en pezoneras, al menos cada 800 ordeños.
- Cambiar líneas de aire o leche cuando existan fugas o rupturas.

**b. Proceso de ordeña:**

- Ubre y pezones limpios y secos antes de ordeñar.
- El producto para desinfección de pezones debe ser efectivo, y su aplicación adecuada.
- Aplicación de sellador de pezones, inmediatamente después del ordeño.
- Eliminar el vacío, antes de retirar la unidad ordeño.
- Ofrecer a las vacas forraje fresco después del ordeño para que permanezcan en pie, a fin de permitir la contracción de los pezones que evita el ingreso de bacterias.

**c. Medio Ambiente:**

- Cambio de camas y limpieza de corrales mientras las vacas están siendo ordeñadas.
- Echaderos y corrales amplios para evitar enfermedades en las ubres.
- Buen manejo de las vacas durante la etapa de secado.
- Conocer estado de salud y corporal de hembras que ingresan al hato.
- Filtrar animales con mastitis u otras enfermedades.

**d. Plan de Acción:**

- Identificar puntos críticos y corregir debilidades en el sistema de producción mediante la colaboración de profesionales.

**e. Monitoreo de Mastitis y Calidad en la Leche:**

- Reevaluar los procesos de producción regularmente, monitorear indicando problemas posibles, y efectuar los ajustes necesarios. Se requiere desempeño óptimo, planeación y evaluación constante.

**Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos (HACCP)**

Mediante el HACCP se trata de prevenir y solucionar desde su origen y a lo largo de los procesos de producción, las causas de los problemas en la producción de leche utilizando una re-ingeniería del sistema.

El concepto HACCP se desarrolló en la década de 1960 ante la necesidad de la Agencia Espacial Norteamericana (NASA) de controlar los alimentos que iban a ser consumidos por los astronautas. En 1991 la FDA inicia un sistema de control voluntario de alimentos basado en HACCP para productos pesqueros. Este sistema se basó en la ausencia de contaminación durante los procesos de producción y elaboración, en lugar de controlar únicamente el producto final.

### **El HACCP consta de las siguientes etapas:**

- a. Identificación de riesgos potenciales.
- b. Determinación de puntos críticos de control.
- c. Establecimiento de límites críticos.
- d. Instalación de sistemas de monitoreo.
- e. Generación de acciones correctivas cuando los límites son sobrepasados.
- f. Elaboración de registros.
- g. Verificación periódica del sistema para asegurar su funcionamiento normal.

### **El protocolo se basa en diez puntos críticos:**

- a. Buenas prácticas de manejo en los animales (alojamiento, alimentación, reproducción, vacunación, control de parásitos y control de mastitis).
- b. Excelente relación veterinario-cliente-paciente.
- c. Utilizar solamente drogas aprobadas, prescritas por veterinario.
- d. Medicamentos utilizados de acuerdo con las regulaciones vigentes.
- e. Almacenar los medicamentos de forma correcta.
- f. Administrar medicamentos correctamente e identificar a los animales tratados.
- g. Mantener registros adecuados de animales tratados.
- h. Usar pruebas sobre medicamentos en leche.
- i. Capacitar al personal a cargo de la administración de medicamentos a los animales.
- j. Reunirse con el veterinario, al menos una vez al año para evaluar este protocolo.

### **Manejo preventivo:**

Implica no solamente la aplicación de vacunas que el programa sanitario requiere, sino el aporte adecuado de alimentos, minerales y micro-elementos necesarios para el desarrollo y rendimiento normales en los animales.

### **Control de Calidad**

#### **Muestreo de la leche:**

El muestreo debe realizarse higiénicamente de manera homogénea correcta porque los resultados representan todo un lote completo de leche. Evitar la agitación demasiado vigorosa, porque las burbujas generadas y dispersadas cambian las propiedades físicas en la leche y dificultan su análisis. El dicromato de potasio (tabletas o solución 1 ml./100ml de leche; 10% en solución acuosa) ayuda a preservar las muestras de leche para su análisis.

#### **Pruebas:**

Organolépticas:

- a. Observar las superficies de la leche y de las tapas en envases que contienen la leche.
- b. Descartar leche que contenga colores y olores anormales.
- c. Descartar leche que contenga partículas de suciedad.

Lactómetro:

- a. Utilizar lactómetro cuando la leche tiene poca densidad-viscosidad (muy delgada) y se sospecha de adulteración con agua. Esta prueba se basa en el hecho de que son distintos los pesos específicos entre leche entera, leche descremada y el agua.

Alcohol:

- a. Esta prueba se utiliza cuando se sospecha que la leche está agria (ácida).
- b. Esta prueba se basa en el hecho de que las proteínas en la leche ácida, como por ejemplo, debido a la formación de ácido láctico por bacterias, son susceptibles a la precipitación por alcohol. Si la mezcla de cantidades iguales (p. ej. 2.0 ml.) de leche y 68% de alcohol en tubo de ensayo, resulta en la coagulación de las proteínas, indica que la leche está ácida y no es apta para pasteurización, porque las proteínas en leche ácidas pierden estabilidad frente a las temperaturas utilizadas en la pasteurización. Por esta razón se recomienda aplicar la prueba de alcohol a cada lote de leche destinada a la pasteurización.

Calor:

- a. Esta prueba consiste en la aplicación de calor durante 5 minutos a la leche en tubo de ensayo. En caso de no presentarse coagulación en la leche, indica que la leche soportará la temperatura de pasteurización.

## 3.7 Etanol

### Etanol de Maíz

#### 1. Molienda de Granos:

Los granos de maíz son molidos finamente para obtener harina.

#### 2. Masa de Maíz y Calentamiento:

Suministro de líquido a la harina de maíz para obtener una masa (puré).

Incremento en la temperatura del proceso para transformar el almidón en una solución líquida y eliminar las bacterias presentes en la masa.

### Etanol Celulósico

#### 1. Residuos Vegetales:

La mayor parte de la materia en los vegetales consiste en tres polímeros principales: a) Celulosa (35% a 50%). b) Hemicelulosa (20% a 35%). c) Lignina (10% a 25%). Estos polímeros se encuentran contruidos e interconectados mediante ensambles complejos dentro de las paredes celulares en los vegetales.

La celulosa y la hemicelulosa, son carbohidratos que pueden ser transformados en azúcares fermentables. Las partes de celulosa y hemicelulosa en la biomasa son procesadas separadamente, debido a que poseen estructuras y contenidos de azúcar distintos.

### **3. Hidrólisis Enzimática:**

Suministro de enzimas para degradar (romper) las cadenas largas de carbohidratos, transformando el almidón en cadenas cortas de glucosa (azúcar simple de 6 carbonos) y, eventualmente, en moléculas individuales de glucosa.

### **4. Fermentación de Levaduras:**

La masa hidrolizada, es transferida a un tanque de fermentación donde se añaden microorganismos (levaduras) para convertir la glucosa en etanol y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Grandes cantidades de CO<sub>2</sub> que se generan durante el proceso de fermentación, se recuperan y comprimen para venta a otras industrias (p. ej. bebidas carbonatadas, hielo seco, etc.).

### **5. Destilación:**

El producto de la fermentación (similar a la cerveza) contiene entre 10% y 12% de etanol (alcohol), así como residuos de la masa y levaduras. Este producto es bombeado a través de varias columnas en la cámara de destilación para eliminar del etanol los residuos sólidos y el agua.

La pureza en el etanol, después de la destilación, es alrededor de 96%.

Los residuos sólidos que se encuentran en la parte inferior del tanque, son bombeados al exterior y procesados como sub-productos ricos en proteínas para alimentación del ganado.

### **6. Deshidratación:**

a. Las pequeñas cantidades de agua remanente en el etanol, son eliminadas mediante filtros para retener moléculas. Estos filtros contienen una serie de pequeños granillos que absorben el agua. Las moléculas de etanol tienen mayor tamaño que les impide atravesar los filtros. De esta forma se obtiene etanol con grado de alcohol 200 Proof.

La celulosa consiste en cadenas largas de moléculas de glucosa (azúcares simples de 6 carbonos) construidas en una sólida estructura tridimensional cristalina.

La hemicelulosa es un polímero ramificado, compuesto primordialmente de moléculas de xylosa (azúcares simples de 5 carbonos) y otros azúcares. La lignina, no puede convertirse en etanol, porque no es un carbohidrato, sino un polímero rígido aromático.

### **2. Proceso Mecánico:**

Se tritura la biomasa (residuos vegetales), no sin antes eliminar sustancias indeseables.

### **3. Pre-Tratamiento en la Biomasa:**

Se aplica calor, presión o ácidos para liberar la celulosa, hemicelulosa y lignina de la biomasa. De este modo, la celulosa se hace más accesible a la acción de las enzimas (hidrólisis) y, la hemicelulosa, es hidrolizada a mezcla soluble de azúcares que contienen 5 y 6 carbonos.

Una pequeña porción de celulosa puede ser convertida en glucosa. Los ácidos, cuando se utilizan en este proceso, son neutralizados con la adición de cal. Generalmente un sólo tipo de proceso (calor, presión, ácido) no es factible, debido a que la biomasa proviene de distintas fuentes (pastos, pajas, olotes, madera, papel). Hidrólisis = reacción química del agua con otra sustancia.

### **4. Separación:**

El jarabe de azúcares de hemicelulosa es separado de las fibras sólidas que contienen lignina y celulosa cristalina.

### **5. Fermentación Azúcares Hemicelulosa:**

Mediante una serie de reacciones bioquímicas, las bacterias convierten en etanol la xylosa y otros azúcares de hemicelulosa.



Antes del embarque, el etanol es mezclado con gasolina (~5%) para desnaturalizar el etanol. De este modo se evita la ingesta del etanol como bebida alcohólica.

**Comentario:**

Alimentos como el maíz, no deben utilizarse en la producción de etanol para proporcionar energía a las máquinas.

El maíz es alimento que proporciona energía al ser humano.

**6. Producción de Enzimas:**

Algunas de las partes sólidas de la biomasa son utilizadas para producir enzimas celulasa que fragmentan la celulosa cristalina. Estas enzimas son obtenidas a partir de cultivos de microorganismos. La compra de enzimas eliminaría esta etapa del proceso.

**7. Hidrólisis de la Celulosa:**

Los residuos fibrosos contenidos en la celulosa y lignina, son transferidos a un tanque de fermentación donde enzimas celulasa son suministradas. Una mezcla de diversas celulasas operan conjuntamente para degradar la celulosa cristalina y obtener cadenas de celulosa sin cristalización y, finalmente, fragmentar cada cadena de celulosa en moléculas individuales de glucosa.

**8. Fermentación de Azúcares de Celulosa (Glucosa):**

Levaduras u otros microorganismos consumen glucosa (azúcares de celulosa) y generan etanol, conjuntamente con dióxido de carbono como resultado de la fermentación en la glucosa.

**9. Destilación:**

El etanol diluido que fue producido durante la fermentación de los azúcares de hemicelulosa y celulosa es destilado para eliminar el agua y concentrar el etanol. Los residuos sólidos que contienen lignina y células de microorganismos pueden ser utilizados como combustible para generar electricidad y calor necesarios en el proceso, o ser convertidos en sub-productos para alimentación animal o fertilización agrícola.

**10. Deshidratación:**

Los remanentes de agua son removidos del etanol destilado.

## Obtención de Etanol Celulósico por Gasificación

En el proceso de gasificación, el carbón de la biomasa es la materia prima que se convierte a gas mediante combustión parcial para obtener monóxido de carbono, hidrógeno y dióxido de carbono que se utilizan en la producción de etanol mediante procesos de fermentación o catalización termo-química (p. ej. Proceso Fischer-Tropsch). Los catalizadores están basados en elementos como el hierro y cobalto. Los gases (monóxido de carbono, hidrógeno y dióxido de carbono) son sometidos a procesos de fermentación mediante microorganismos como *Clostridium ljungdahlii* que asimilan los gases (monóxido de carbono, hidrógeno, dióxido de carbono) y, como resultado de la asimilación se produce etanol y agua. El etanol es separado del agua mediante destilación.

## Obstáculos en la Producción de Etanol Celulósico

- Menor promedio de azúcares por cantidad de biomasa.
- La naturaleza perseverante en la celulosa dificulta la obtención de azúcares. Es decir, se requieren mejores métodos en el pre-tratamiento y solubilización de hemicelulosa y celulosa que se encuentran protegidas dentro de estructuras rígidas en las paredes celulares de las plantas, conjuntamente con la lignina.
- Pre-tratamientos intensivos en la biomasa para obtención de etanol, generan sub-productos químicos que inhiben la hidrólisis enzimática y disminuyen la productividad de los microorganismos en la fermentación.
- La forma cristalina de celulosa, dificulta que las soluciones enzimáticas acuosas conviertan la celulosa en glucosa.
- La mezcla de azúcares con 5 y 6 carbonos generada por la hidrólisis en la hemicelulosa. Existen microorganismos que pueden fermentar azúcares de 5 ó 6 carbonos, pero estos microorganismos muestran menores promedios de producción en la fermentación de azúcares y escasa tolerancia al etanol como producto final. La producción de etanol con mezcla de azúcares de 5 y 6 carbonos es menor a la obtenida mediante almidón de maíz en la fermentación de azúcares.

## 3.8 Energía Eólica

*El viento es recurso de energía renovable, valiosa y abundante, útil a nivel local en granjas y ranchos cuya superficie sea mayor a una hectárea, así como en comunidades rurales.*

### Introducción

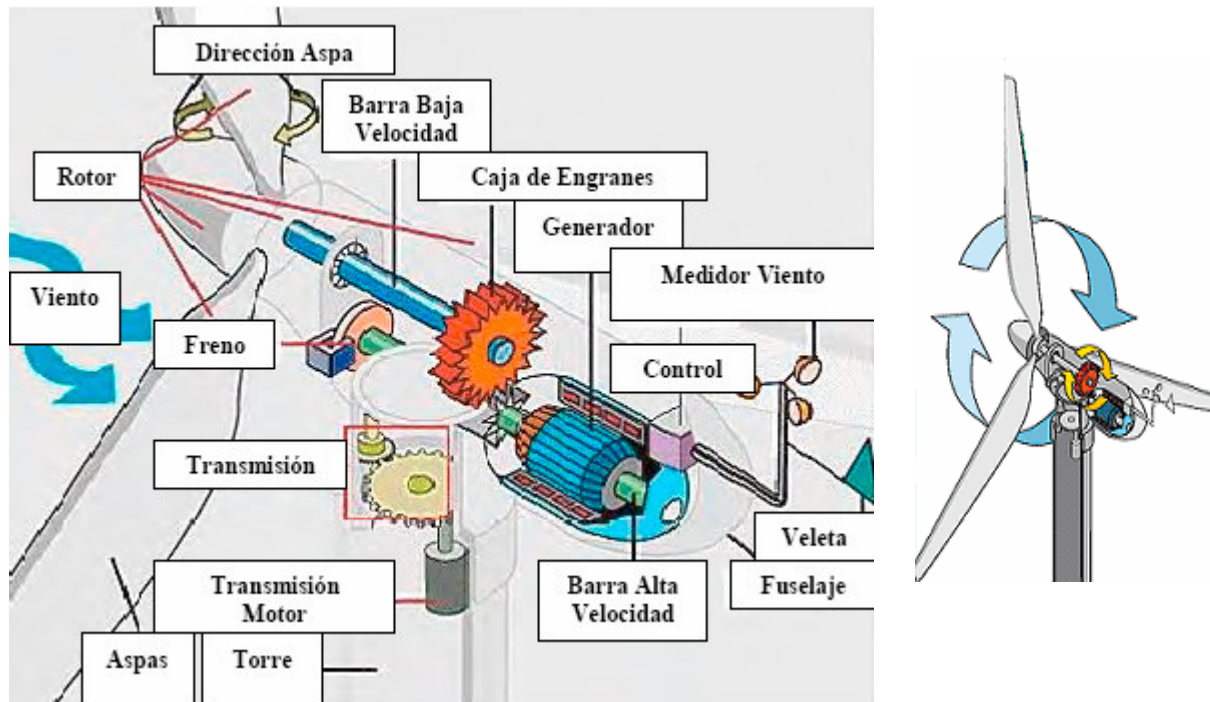
Los modernos sistemas de energía eólica son eficientes y la tecnología sigue su avance en este sentido. Además de contribuir en la producción de energía limpia a nivel local y nacional, la energía eólica (viento) ofrece generalmente más electricidad por unidad de inversión, comparada con sistemas convencionales para generación de electricidad. El viento es buen recurso para generar electricidad frente al alto costo económico y ambiental de la energía producida proveniente de combustibles fósiles que contaminan y aumentan los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera dañando la vida en el planeta.

El viento es cada día más utilizado para cubrir necesidades de electricidad limpia en regiones donde la población conoce la importancia y conveniencia de esta tecnología para generar electricidad.

## Viento y Energía

Los vientos se generan debido al calentamiento solar desigual sobre la superficie terrestre. El movimiento del viento hace girar las aspas instaladas en las turbinas de viento. El movimiento circular de las aspas convierte la energía cinética del viento en energía mecánica que hace funcionar un generador que produce electricidad. Las turbinas de viento son módulos versátiles, con aspas aerodinámicamente diseñadas, fabricadas en material ligero como la fibra de vidrio. Estas aspas captan la energía del viento para producir electricidad por rotación.

**Figura 1: Turbina de Viento Básica**



### Descripción de la Figura 1

- El Viento hace girar las Aspas en la turbina de viento.
- El movimiento giratorio de las Aspas hace que el Rotor gire.
- El Rotor hace girar la Barra de Baja Velocidad.
- El Rotor y la Barra de Baja Velocidad transmiten el movimiento giratorio al Generador que produce electricidad.
- La Caja de Engranes transforma la baja velocidad giratoria en alta velocidad giratoria que es transmitida al Generador a través de la Barra de Alta Velocidad.

- f.** La Barra de Alta Velocidad hace funcionar el generador que produce electricidad.
- g.** El Freno de Disco puede operar de forma mecánica, eléctrica ó hidráulica para detener el rotor en caso de emergencias (p.ej. huracanes).
- h.** El Control enciende el equipo cuando la velocidad del viento es mayor a cuatro metros por segundo, y apaga el equipo cuando los vientos son mayores a 80 kilómetros por hora. Las turbinas de viento no deben operar con vientos mayores a 100 kilómetros por hora porque se sobrecalientan los generadores.
- i.** La Velea hace que las aspas se mantengan de frente en dirección al viento.
- j.** La Torre consiste en un tubo donde se instalan las aspas, generador y equipo en general. Las Torres deben tener una altura no menor a nueve metros.
- k.** El Fuselaje protege los dispositivos dentro de la turbina de viento.
- l.** El Medidor de Viento (Anemómetro) indica la velocidad del viento.

### **Cantidad de Energía**

La cantidad de energía eléctrica que una turbina de viento puede producir, es proporcional al diámetro de rotación de sus aspas, y a la altura de la torre donde se instala la turbina con sus aspas, lo cual define la cantidad de viento interceptado. Las aspas son fabricadas en material ligero como fibra de vidrio. Las torres sobre las cuales se instalan las turbinas son generalmente de acero, ubicadas a buena altura para captar mayor cantidad de viento, ya que la velocidad de los vientos aumenta con la altitud.

A mayor altura en las torres se evitan turbulencias de viento que se generan a menor altura debido a obstáculos como construcciones, árboles y colinas. Generalmente, para generar electricidad a nivel local, las torres donde se instalan las turbinas tienen altura no menor a nueve metros, tomando medida desde el suelo hasta el extremo inferior del aspa perpendicular al suelo, y evitando cualquier obstáculo en un radio no menor a cien metros lineales desde la torre.

### **Torres**

Se utilizan principalmente dos tipos de torres para instalar las turbinas de viento:

- a.** Torre de Tirantes.
- b.** Torre Fija.

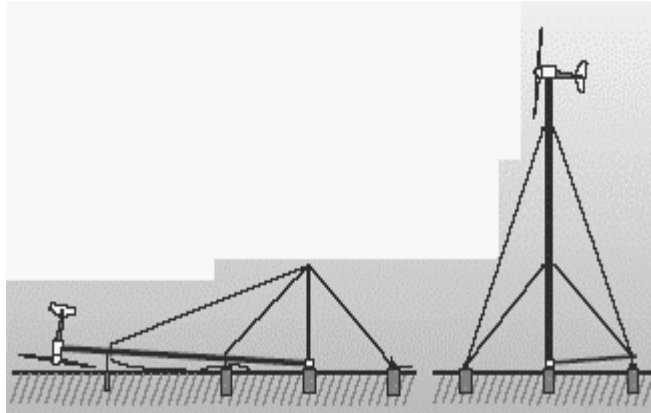
#### **Torre de Tirantes**

La Torre de Tirantes consiste en un tubo sobre el cual se instala la turbina.

El tubo es soportado por tirantes de acero que limitan el movimiento y sostienen el tubo y la turbina. Estas torres se instalan con relativa facilidad. Es posible inclinarlas hasta el suelo para efectuar mantenimiento o reparación en turbinas medianas y pequeñas, y para evitar accidentes durante huracanes o tornados. La distancia (radio) entre el tubo y los cables que fijan la torre al suelo, debe ser de 50% a 75% de la altura de la torre.

Por ejemplo, cada uno de los cables en una torre de diez metros de altura deben quedar anclados a una distancia entre 5.0 m. y 7.5 m. desde el tubo donde se instala la turbina. Las torres de tubo de aluminio tienden a cuartearse, por lo que es mejor evitarlas.

**Figura 2: Torre de Tirantes**



No deben instalarse turbinas de viento en los techos, porque transmiten vibraciones que podrían debilitar la estructura en las construcciones y, las turbulencias de vientos que se generan en los techos acortan la vida útil de las turbinas. Dependiendo de la aplicación de las turbinas, pueden requerirse dispositivos eléctricos o electrónicos como regulador, invertidor de corriente, cables, controlador, baterías de almacenamiento de electricidad, etc.

**La Torre Fija**

La Torre Fija consiste en una estructura metálica rígida fijada al suelo. Es una construcción más costosa. En este tipo de torre se hace necesario subir hasta la punta de la misma torre para dar mantenimiento a la turbina o para bajarla a fin de repararla o durante huracanes.

**Densidad del Aire**

La densidad del aire cambia de acuerdo con la temperatura y la elevación. La clasificación de turbinas se realiza generalmente en base a una temperatura estándar del aire a 15°C y una altitud de cero msnm (nivel del mar). A mayor altitud se considera lo siguiente:

Densidad del Aire y Altitud		Altura de la Torre e Incremento en la Velocidad del Viento	
Elevación Metros	Densidad Del Aire %	Altura de la Torre	Incremento en la Velocidad del Viento (Aprox.)
0	100	9 Metros	Estándar Regional
300	97	18 Metros	41%
600	94	27 Metros	75%
900	91	36 Metros	100%
1200	88	45 Metros	124%
1500	85		
1800	82		
2100	79		
2400	76		
2700	73		
3000	71		

## Baterías para Almacenamiento de Electricidad

En sistemas autónomos de energía eólica que producen electricidad mediante el viento, generalmente se utilizan baterías para almacenamiento de la electricidad producida. Las baterías que se usan para este fin, son similares a las que se instalan para el movimiento en los carritos en campos de golf. Este tipo de baterías pueden cargarse y descargarse de electricidad centenares de veces. No es recomendable utilizar baterías para uso automotriz porque su vida es corta en este tipo de operación.

## Aire y Viento

El viento consiste fundamentalmente en un movimiento de moléculas de aire, de lugar a otro, propiciado por la diferencia entre presiones atmosféricas. De tal manera, buscando equilibrio entre espacios con mayor y menor cantidad de moléculas, el aire se encuentra siempre en movimiento, ya sea en mayor o menor intensidad.

- Una mayor cantidad de moléculas de aire, significa presión atmosférica alta.
- Una menor cantidad de moléculas de aire, significa presión atmosférica baja.

De esta forma, el movimiento del aire buscando equilibrio entre presiones atmosféricas produce viento. Por ejemplo, en el interior de una lata de conservas, la presión atmosférica es baja, debido al vacío provocado durante el envasado del producto. En el medio ambiente exterior, la presión atmosférica es más alta que en el interior de la lata cerrada. Al abrir la lata de conservas, se escucha un leve sonido ocasionado por el aire que busca equilibrio entre presiones. De este modo se produce el viento que penetra en la lata por razón de la diferencia entre la baja presión en el interior de la lata y la alta presión en el medio ambiente exterior.

La dirección y velocidad del viento representa el balance entre tres fuerzas básicas:

1. Presión Gradiente.
2. Fuerza Coriolis.
3. Fricción Superficial.

Durante el día, la luz solar calienta los suelos más rápidamente que el agua en los océanos. De este modo se forma baja presión atmosférica sobre los suelos y alta presión atmosférica sobre el agua en los océanos. Esta diferencia de presiones durante el día provoca que el aire fluya de los océanos hacia los continentes en forma de viento. Por el contrario, durante la tarde y noche, los suelos se enfrían más rápidamente que el agua en los océanos provocando alta presión atmosférica sobre los suelos y baja presión atmosférica sobre el agua en los océanos. Esta diferencia entre presiones atmosféricas durante la tarde y noche provoca que el aire fluya en forma de viento o brisa desde los continentes hacia los océanos.

Durante el día, el aire sobre las montañas es calentado más rápidamente por el sol que el aire en los valles. Es decir, el aire sobre las montañas tiene mayor temperatura que en los valles. El aire caliente crea movimiento al elevarse por razón de su mayor temperatura. Este movimiento del aire genera vientos en los valles. Por el contrario, durante la tarde y noche el aire en las montañas se enfría más rápidamente que en los valles, y baja en forma de viento denso desde las montañas hacia los valles. La velocidad del viento puede conocerse mediante *anemómetros* que son aparatos diseñados para este fin. También pueden conocerse las velocidades del viento solicitando información en aeropuertos o centros meteorológicos cercanos. Es conveniente conocer la dirección prevaleciente del viento antes de instalar las turbinas de viento.

Las turbinas de viento operan, ya sea conectadas a la instalación eléctrica para ahorrar en la cuenta de electricidad, ó almacenando la electricidad en baterías. Las turbinas de viento funcionan bien con vientos anuales promedio desde 4.0 metros por segundo.

### Sistemas Híbridos

Estos sistemas, además de turbinas para capturar la energía del viento utilizan la luz del sol. Es decir, se instalan paneles de energía solar fotovoltaica en la parte inferior de las torres donde se encuentran las turbinas de viento. De este modo se aprovechan los vientos de otoño e invierno que son más fuertes, y la luz solar que en primavera y verano es más intensa. De esta forma es posible tener energía limpia durante gran parte del año.

Estos sistemas de energía eólica y solar, bien diseñados, calculados de acuerdo a condiciones específicas de funcionamiento, y proporcionando buen mantenimiento al equipo, proveen electricidad limpia. En el caso de turbinas de viento que operan de forma autónoma como único recurso de electricidad, la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica (baterías) debe ser suficiente considerando la eventual ausencia de viento y sol. El tipo de turbina de viento y altura de la torre, dependerán de la aplicación. Cuando sea necesario, es posible incorporar a estos sistemas híbridos, generadores de electricidad que operan con motores de combustión interna, los cuales mediante dispositivos electrónicos inician su operación cuando la energía en las baterías disminuye debido a la ausencia de viento y sol.

### Producción Predecible de Electricidad Eólica

Una turbina de viento cuyas Aspas (3) tengan un Diámetro de 2.5 Metros produciría aproximadamente las siguientes cantidades de energía eléctrica en KiloWatts Hora (KWH) a 24 Volts de corriente continua (24VCC) de acuerdo con la altura de la torre donde se ubican las aspas, así como la velocidad anual promedio del viento en Metros por Segundo (M/S):

Velocidad del Viento Promedio M/S			4.0	4.8	5.4	5.8	6.2	6.7	8.4
<b>Altura Torre 9 Metros</b>	KWH 24VCC	Electricidad Diaria KWH (aprox.)	2.6	4.3	5.8	6.8	7.8	9.1	12.7
		Electricidad Anual KWH (aprox.)	950	1560	2100	2480	2840	3320	4630
<b>Altura Torre 20 Metros</b>	KWH 24VCC	Electricidad Diaria KWH (aprox.)	4.1	6.4	8.2	9.3	10.4	11.7	14.7
		Electricidad Anual KWH (aprox.)	1490	2330	2990	3390	3800	4270	5360
<b>Altura Torre 32 Metros</b>	KWH 24VCC	Electricidad Diaria KWH (aprox.)	5.2	7.8	9.7	10.9	12.0	13.1	15.4
		Electricidad Anual KWH (aprox.)	1900	2840	3540	3970	4380	4780	5620

## Costo de Energía Eólica

La utilización de la energía cinética del viento, sigue siendo una forma económica para generar electricidad comparada con métodos convencionales de energía a partir del petróleo (combustibles fósiles contaminantes). La electricidad obtenida mediante el viento es económica, debido principalmente a que un leve incremento en la velocidad del viento resulta en un gran aumento en la generación de electricidad. Es decir, la energía eólica que puede captarse es igual a la velocidad del viento elevada exponencialmente al cubo.

El mejoramiento en los diseños, y la utilización de dispositivos electrónicos hacen que las turbinas de viento sean cada día más eficientes, lo cual a su vez disminuye el costo de la electricidad eólica. Entre más alta sea la torre donde se instala la turbina de viento, y mayor sea el diámetro que abarcan las aspas, más productiva y poderosa será la turbina de viento. Resulta fundamental aprovechar las condiciones geográficas en regiones donde se instalarán las turbinas de viento para disminuir los costos de energía y cumplir con la normatividad ecológica. La energía eólica brinda beneficios económicos y ecológicos evidentes, además disminuye la dependencia en combustibles fósiles escasos y costosos que contaminan el medio ambiente.

## Clasificación

La mayor parte de los fabricantes clasifican las turbinas de viento a partir de la energía que pueden producir a una determinada velocidad del viento.

En la siguiente fórmula se indican factores relacionados al desempeño de una turbina de viento:

$$P = kC_p \frac{1}{2} \rho A V^3$$

P = Energía Kilowatts.

$C_p$  = Coeficiente de energía, (0.25 a 0.45 y máx. teórico 0.59).

$\rho$  = Densidad del Aire (libras por pie cúbico lb/ft<sup>3</sup>).

A = Área de las aspas, (pies cuadrados ft<sup>2</sup>).

V = Velocidad del viento (millas por hora).

k = Constante 0.000133 para convertir kilowatts a caballos de fuerza (HP).

Nótese que V en la fórmula tiene exponente 3, lo cual significa que un mínimo incremento en la velocidad del viento aumenta considerablemente (exponencialmente) la producción de energía eléctrica.

## Cálculo Preliminar del Desempeño de Turbinas de Viento

La siguiente fórmula es útil para calcular preliminarmente el desempeño de una turbina de viento:

$$EA = 0.01328 D^2 V^3$$

EA = Energía anual suministrada (kilowatts hora por año KWH/año).

D = Diámetro de las aspas (pies).

V = Velocidad promedio anual del viento (millas por hora).



## Comentarios

- Las turbinas de viento modernas operando a distancia entre 100 y 300 metros, no hacen más ruido que un refrigerador en casa, y son mucho más silenciosas que algunos aparatos electrodomésticos.
- Las turbinas de viento no deben instalarse demasiado cerca de lugares habitacionales para evitar turbulencias de viento que podrían afectar el desempeño de las turbinas y posibles riesgos e interferencia en radios o televisores.
- Se recomienda instalar luz de señalización en estructuras cuya altura sea mayor a 60 metros. La mayoría de las torres para turbinas de viento de uso local no llegan a esta altura.
- La sombra que generan las aspas de las turbinas, se presenta al amanecer y al atardecer, debido al menor ángulo del sol sobre la superficie del suelo.
- Generalmente, las turbinas de viento modernas y bien diseñadas que han recibido mantenimiento preventivo y correctivo adecuado, generan electricidad durante la mayor parte del año. Es decir, entre 65% y 75% del tiempo. En este sentido cabe mencionar que ningún sistema para generación de energía eléctrica opera al 100%.
- Con sólo una pequeña fracción del potencial del viento es posible satisfacer necesidades de electricidad.

**La eficiencia en energía,** resulta de calcular la cantidad de energía que se requiere para generar electricidad.

Por ejemplo:

- En plantas nucleares, la electricidad que se genera es 16 veces mayor a la energía que se consume en el proceso para obtener la electricidad.
- En plantas de energía eléctrica que utilizan carbón, la electricidad que se genera es 11 veces mayor a la que se consume en el proceso para obtener la electricidad.
- Investigaciones recientes llevadas a cabo en la Universidad de Wisconsin-Madison, indican que productores agropecuarios en el medio oeste de Estados Unidos utilizando turbinas de viento, han obtenido hasta 39 veces más electricidad con respecto a la inversión.

## Referencias

American Wind Energy Association.  
Bergey Wind Power.  
University of Wisconsin-Madison.

## 3.9 Biomasa

Estabilizar las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera a niveles que no tenemos desde los años 1930 en el siglo pasado, significaría que el alrededor del 40% de la energía eléctrica producida en el mundo se obtuviera a partir de biomasa. Al no utilizar tres kilogramos de biomasa (residuos de materia seca vegetal), estaríamos desaprovechando el equivalente a un litro de gasolina aproximadamente.

¿Qué es Biomasa?

Biomasa es el nombre dado a la materia orgánica de origen reciente, proveniente de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa se origina de materiales vegetales y animales; residuos agrícolas y forestales, y de desperdicios orgánicos, industriales o municipales.

Biomasa, es la abreviatura de masa biológica. Es un término genérico que hace referencia a la cantidad de materia viva producida por plantas, animales, hongos o bacterias, en un área determinada. Suele utilizarse para hacer referencia al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de estos recursos biológicos.

Hay otra característica que diferencia a la biomasa de otros recursos energéticos, es que es un recurso potencialmente renovable. El carbón, el gas, el petróleo y otros combustibles fósiles, no se consideran biomasa, aunque deriven de material vivo. El tiempo necesario para la formación de estos combustibles (millones de años) hacen que no puedan ser considerados como renovables.

*¿Biomasa Vegetal?*

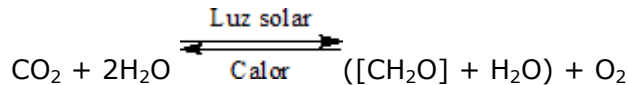
La fuente original de la energía presente en la biomasa es el sol. Los cloroplastos (pequeñas "fabricas" presentes en las plantas) usan la energía solar (en forma de energía luminosa, o fotones), el CO<sub>2</sub> presente en el aire, y el agua del suelo para fabricar carbohidratos (azúcar, celulosa, etc.). La energía original proveniente del sol, se almacena ahora en todos estos componentes. Alguna de esta energía almacenada se traspasará a los animales en la cadena alimenticia. A su vez, los residuos de plantas, excrementos animales, etc., pueden ser vistos como almacenes de energía solar.

*¿Valor Energético de la Biomasa?*

El valor energético de la biomasa vegetal proviene originalmente de la energía solar a través del proceso conocido como fotosíntesis. Se denomina *bio-energía* a la energía que se almacena en vegetales y animales que se alimentan de vegetales u otros animales. Esta misma energía se encuentra también en los desechos .

Durante procesos de conversión como la combustión, la biomasa libera su energía, generalmente en forma de calor, donde el carbón se oxida nuevamente a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para restituir el carbón que fue absorbido durante el crecimiento de la planta.

Fundamentalmente, el uso de la biomasa para energía es el opuesto a la fotosíntesis.



La biomasa capta energía solar y la almacena en vegetales como energía química. Carbohidratos, entre los que se encuentra la celulosa, constituyen los productos químicos primarios en el proceso de bio-conversión de la energía solar. Al formarse los carbohidratos, cada átomo gramo de carbono (14gr) absorbe 112 Kcal. (kilocalorías) de energía solar y, es justamente esta energía la que se rescata para su utilización.

En estado natural, la biomasa se descompone finalmente a sus moléculas elementales acompañada por liberación de calor (energía). En este sentido, la intervención humana en la conversión de biomasa en energía útil, imita en cierto modo los procesos naturales, pero en una tasa mucho más rápida. De tal manera, la energía obtenida de la biomasa es una forma de energía renovable. Al utilizar esta energía se recicla el carbono sin aporte dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al medio ambiente como sucede con los combustibles fósiles (ej: petróleo).

A diferencia de otras fuentes renovables de energía, la biomasa almacena energía solar con eficiencia. Además, es la única fuente renovable de carbón, y puede ser procesada convenientemente en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. La biomasa puede utilizarse, ya sea directamente (ej: combustión de madera para calefacción o cocinar) o indirectamente convirtiéndola en un combustible líquido o gaseoso (ej: etanol celulósico o biogás de estiércol y desperdicios orgánicos).

La energía neta disponible en la biomasa por combustión es de alrededor de 7MJ/Kg. para madera verde; 18MJ/Kg. para materia vegetal seca (10-15% humedad); 55MJ/Kg. para metano; y 23 a 30MJ/Kg. para el carbón. La eficiencia en el proceso de conversión determina cuánta energía real puede ser utilizada en forma práctica (MJ=Mega Joules).

#### *¿Tipos de Biomasa?*

*Biomasa natural.* Se produce de forma espontánea en la naturaleza, sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques.

*Biomasa residual seca.* Procede de recursos generados en las actividades agrícolas, forestales. También se produce este tipo de biomasa en procesos de la industria agroalimentaria y de la industria de transformación de la madera. Dentro de este tipo de biomasa, se puede diferenciar la de origen forestal y la de origen agrícola.

*Biomasa residual húmeda.* Procede de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos.

*Cultivos energéticos tanto forestales como agrícolas.* Son aquellos cultivos realizados tanto en terrenos agrícolas como forestales y que están dedicados a la producción de biomasa con fines no alimentarios.

#### *¿Aplicaciones de la Biomasa?*

##### *Bio-combustibles*

La producción de bio-combustibles tales como el etanol y el biodiesel tiene potencial para sustituir cantidades significativas de combustibles fósiles en varias aplicaciones de transporte.

El uso extensivo de bio-combustibles en Brasil ha demostrado que son técnicamente factibles en gran escala, siempre y cuando su producción sea sustentable desde el punto de vista ecológico, y se realicen estudios previos para no afectar la producción de alimentos ni dañar cultivos valiosos.

#### *Producción de Energía Eléctrica*

Electricidad puede ser generada a partir de biomasa como forma de energía renovable. La producción de electricidad a partir de fuentes renovables de biomasa no contribuye al calentamiento global, porque el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado por la biomasa cuando es quemada, es igual al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) absorbido por el material de la biomasa durante su crecimiento.

#### *Calor y Vapor*

La combustión de biomasa o de biogás puede utilizarse para generar calor y vapor. El calor puede ser el producto principal, en usos como calefacción, subproducto de la producción eléctrica en centrales combinadas de calor y energía. El vapor generado por la biomasa puede utilizarse para accionar turbinas de vapor en la producción de energía eléctrica, o como calor en procesos industriales, y para mantener un flujo de agua caliente.

#### *Gas Combustible*

Los biogases producidos de la digestión o pirolisis anaerobia de la biomasa, pueden utilizarse en: motores modificados de combustión interna; turbinas para producción de electricidad; calor para necesidades comerciales y domésticas. La biomasa es fuente renovable de energía que no contribuye al calentamiento global, y su uso reduce los niveles atmosféricos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los combustibles de biomasa tienen niveles insignificantes de azufre, y no contribuyen a incrementar las emisiones de dióxido de azufre que causan la lluvia ácida.

La combustión de biomasa produce generalmente menos ceniza que la combustión del carbón. Esta ceniza puede utilizarse en suelos agrícolas donde se requiera fósforo y potasio. El uso de residuos agrícolas y desechos municipales para producir energía, es método eficaz para reducir significativamente el problema de la disposición de basura, particularmente en áreas municipales.

#### *¿Cómo se transforma la biomasa en energía?*

Hay varios métodos para transformar la biomasa en energía, los más utilizados son los métodos termoquímicos y los biológicos.

#### *Métodos Termoquímicos.*

Estos métodos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están muy desarrollados para la biomasa seca. Hay tres tipos de procesos que dependen de la cantidad de oxígeno presente en la transformación:

*Combustión.* Se somete a la biomasa a altas temperaturas con exceso de oxígeno. Es el método tradicional para la obtención de calor en entornos domésticos, para la producción de calor industrial o para la generación de energía eléctrica.

*Pirólisis.* Se somete a la biomasa altas temperaturas (alrededor de 500°C) sin presencia de oxígeno. Se utiliza para producir carbón vegetal y también para obtener combustibles líquidos semejantes a los hidrocarburos.

*Gasificación.* Se somete a la biomasa a muy altas temperaturas en presencia de cantidades limitadas de oxígeno, las necesarias para conseguir así una combustión completa. Según se utilice aire u oxígeno puro, se obtienen dos productos distintos, en el primer caso se obtiene gasógeno o gas pobre, este gas puede utilizarse para obtener electricidad y vapor, en el segundo caso, se opera en un gasificador con oxígeno y vapor de agua y lo que se obtiene es gas de síntesis. La importancia del gas de síntesis radica en que puede ser transformado en combustible líquido.

#### *¿Métodos Biológicos?*

Se basan en la utilización de diversos tipos de microorganismos que degradan las moléculas a compuestos más simples de alta densidad energética. Son métodos adecuados para biomasa de alto contenido en humedad, los más conocidos son la fermentación alcohólica para producir etanol y la digestión anaerobia, para producir metano.

La digestión anaerobia de la biomasa por bacterias, se puede utilizar en explotaciones de ganadería intensiva, con la instalación de digestores o fermentadores, en donde la celulosa procedente de los excrementos animales se degrada en un gas que contiene cerca del 60% de metano.

#### *¿Aplicaciones Energéticas?*

*Energía térmica.* Agua o aire caliente, vapor. Es la aplicación más extendida de la biomasa natural y residual. Los sistemas de combustión directa se pueden utilizar directamente para cocinar alimentos, para calefacción o secado. Además, es posible aprovechar el vapor que se desprende para producir electricidad o para procesos industriales.

*Energía eléctrica.* Se obtiene, sobre todo, a partir de la transformación de biomasa procedente de cultivos energéticos, de la biomasa forestal primaria y de los residuos de las industrias. En determinados procesos, el biogás resultante de la fermentación de la biomasa también se puede utilizar para la producción de electricidad. La tecnología a utilizar para conseguir energía eléctrica depende del tipo y cantidad de biomasa.

De tal forma tenemos:

*Ciclo de vapor:* está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina.

*Turbina de gas:* utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un ciclo combinado.

*Motor alternativo:* utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido ó biogás procedente de una digestión anaerobia.

*Energía mecánica.* Son los bio-combustibles, pueden sustituir total o parcialmente a los combustibles fósiles, permitiendo alimentar motores de gasolina con bio-alcoholes y motores diesel con bio-aceites.

En muchos países, este tipo de combustibles son ya una realidad, por ejemplo, en Brasil ya son millones los vehículos propulsados con alcohol casi puro obtenido de la caña de azúcar.

La forma de transformar la biomasa en energía depende, fundamentalmente, del tipo de biomasa que se esté tratando y del uso que se quiera dar a esta energía. Los sistemas comerciales para utilizar biomasa residual seca se pueden clasificar en función de que estén basados en la combustión del recurso (hay gran número de calderas para biomasa en el mercado) o en su gasificación. Los sistemas comerciales para aprovechar la biomasa residual húmeda están basados en la pirolisis. Para ambos tipos de recursos, existen varias tecnologías que posibilitan la obtención de bio-carburantes.

#### *¿Desventajas en el Uso de Biomasa?*

En estado natural, la biomasa tiene baja densidad relativa de energía. Su transporte puede aumentar los costos y reducir la producción energética neta debido al mal manejo de la biomasa durante el transporte. La biomasa tiene densidad a granel baja. Es decir, grandes volúmenes son necesarios en comparación con los combustibles fósiles. Es necesario que el proceso de conversión de la biomasa a energía se realice cerca de donde se produce la biomasa.

Puede haber conflicto por el uso tierra y agua para producción de biomasa y otras aplicaciones, tales como producción de alimentos y de fibras. Sin embargo, hay suficiente tierra disponible.

Competencia de las nuevas plantas de gas natural, altamente eficientes. Sin embargo, la economía de la producción energética de biomasa está mejorando, y la preocupación cada vez mayor por las emisiones de gas de invernadero está haciendo a la energía de biomasa más atractiva.

La producción y procesos pueden implicar consumo de energía significativo, tales como combustible para los vehículos y fertilizantes agrícolas, dando por resultado un balance energético reducido para el uso de la biomasa. En la producción de biomasa hay que reducir el consumo de combustibles fósiles, y maximizar la conversión y recuperación de energía. Restricciones políticas e institucionales al uso de biomasa, políticas energéticas, impuestos y subsidios que fomentan el uso de combustibles fósiles. Los costos de la energía no reflejan a menudo las ventajas ambientales de la biomasa o de otros recursos energéticos renovables.

#### *¿Cultivos Energéticos?*

- *Agrícolas* -Miscanthus, Jatropha, Higuera, Yuca, Palma de Aceite, etc.
- *Forestales*- Residuos procedentes de aprovechamiento forestal y otras silvícola.

#### *¿Biogás?*

- a) Residuos de la actividad ganadera.
- b) Estiércoles.
- c) Lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- d) Bio-combustibles líquidos y sólidos.

#### *¿Cuánta Energía Proporciona la Biomasa?*

*1 Kilogramo de Biomasa:* proporciona alrededor de 3.500 kilocalorías.

*1 Litro de Gasolina:* proporciona alrededor 10.000 kilocalorías.

Es decir, se necesitarían aproximadamente 3 Kg. de biomasa para obtener la misma cantidad de energía que nos proporciona un litro de gasolina:

Cuando desperdiciamos 3 Kg. de biomasa estamos desaprovechando el equivalente a un litro de gasolina.

*¿Qué es la Cogeneración?*

La cogeneración consiste generalmente en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Se basa en el aprovechamiento de calores residuales en los sistemas de producción de electricidad. Particularmente donde el consumo térmico y eléctrico son elevados.

*¿Cómo se Mide la Energía de la Biomasa?*

Para evaluar la calidad energética de distintas fuentes de energía se establecen unidades basadas en el poder calorífico de cada una de ellas. Las más utilizadas son:

*KCAL/KG* (Kilo-Calorías por Kilogramo), aplicada a un combustible nos indica el número de kilocalorías que obtendríamos en la combustión de 1 Kg. del combustible.

*TEC* (Tonelada Equivalente de Carbón) representa la energía liberada por la combustión de 1 tonelada de carbón (hulla).

*TEP:* (Tonelada Equivalente de Petróleo): 1 TEP = 1,428 TEC.

Si se trata de biomasa residual seca, las medidas hacen referencia a su poder calorífico, pero si se trata de biomasa residual húmeda o de bio-carburantes, lo que se mide es el poder calorífico del recurso una vez tratado.

*¿Unidades y Equivalencias Energéticas en la Biomasa?*

*El Joule:* (J) es la unidad del Sistema Internacional para energía y trabajo. Se define como el trabajo realizado por la fuerza de 1 newton en un desplazamiento de 1 metro y toma su nombre en honor al físico James Prescott Joule.

Es también es igual a 1 vatio por segundo, por lo que eléctricamente es el trabajo realizado por una diferencia de potencial de 1 voltio y con una intensidad de 1 amperio durante un segundo.

*La Caloría:* es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua de 14,5 a 15,5 grados centígrados.

*El Kilovatio-Hora:* abreviado kWh, es una unidad de energía equivale a la energía desarrollada por una potencia de un kilovatio (kW) durante una hora, equivalente a 3,6 millones de Joules.

*Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP):* es unidad de energía que equivale a la energía que hay en una tonelada petróleo y, como puede variar según la composición del petróleo, se ha tomado un valor convencional de: 41.840.000.000 Joules = 11.622 kWh.

*Termia (TH):* es unidad de energía, equivalente a 1 millón de calorías. Se usa en el suministro de gas natural para calcular facturas. Cuando el gas suministrado tiene un poder calorífico variable, el cobro se hace sobre termias en lugar de metros cúbicos.

*British Thermal Unit (BTU):* es la cantidad de calor requerido para aumentar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit.

### *¿Medio Ambiente y Bio-Energía?*

La utilización de la biomasa como fuente de energía debe estar basada en la sustentabilidad. Es decir, consumir únicamente lo que se produce. El petróleo no lo producimos, sino que ya está en el subsuelo y tomó millones de años para producirse.

### *¿La Biomasa y Calentamiento Global por Gases de Efecto Invernadero?*

La utilización de biomasa para producción de bio-energía juega un doble papel positivo:

- 1) La combustión de biomasa produce la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que la misma biomasa consumió. Esto no altera el equilibrio ecológico, y se utiliza como sustitutivo de combustibles que liberan CO<sub>2</sub>.
- 2) Potenciar la bio-energía ayuda en la reforestación del planeta; aumenta la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbida.

Para estabilizar las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera a niveles que no conocemos desde los años 1930 en el siglo pasado, necesitaríamos que el alrededor del 40% de la energía eléctrica producida en el mundo se obtuviera a partir de biomasa.

### *¿Cuánto Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) Absorbe la Biomasa en los Árboles?*

La absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico ocurre únicamente durante el desarrollo de los árboles, y se detiene cuando los árboles llegan a su madurez total. Los árboles absorben CO<sub>2</sub> junto con elementos en suelos y aire para convertirlos en madera que contiene carbono y forma parte de troncos y ramas.

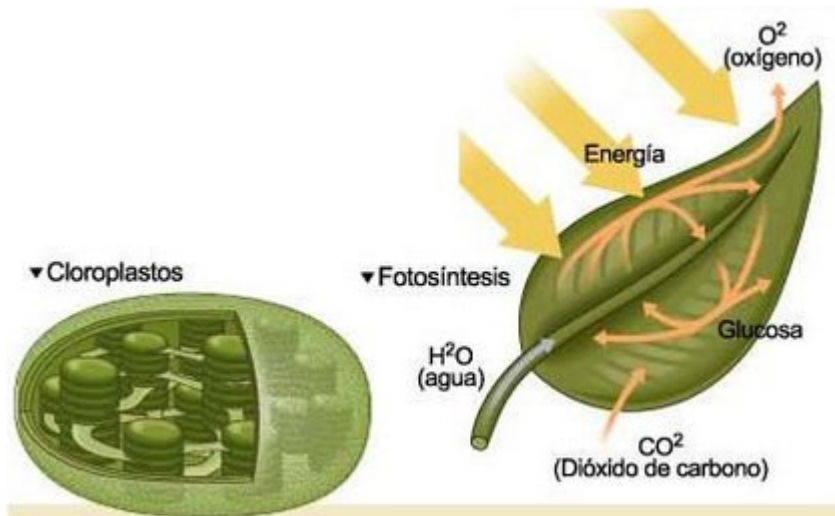
La cantidad de CO<sub>2</sub> que el árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera) multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono. Entre 42% y 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono.

### *¿Inconvenientes Frente a Combustibles Fósiles?*

- a.** Mayor cantidad de bio-combustible que de combustible fósil para obtener la misma cantidad de energía.
- b.** Mayor espacio para almacenamiento de biomasa.
- c.** Costos de transporte.
- d.** Faltan sistemas de comercialización y cuotas que obliguen a que un determinado porcentaje de la energía provenga de energía renovable.
- e.** Faltan asociaciones de productores y fomento a la inversión con apoyo a productores.



## 4.0 Fotosíntesis



### Contenido

#### 1. Conceptos

- a. Fotosíntesis
- b. Estomas
- c. Ejemplos de Estomas
- d. Transpiración
- e. Uso Eficiente del Agua
- f. Foto-Transpiración
- g. Enzima RuBisCo
- h. Ciclo de Calvin
- i. Tres Fases en el Ciclo de Calvin
- j. Fotosíntesis C4 y CAM

#### 2. Fases en la Fotosíntesis

- a. Fase Clara (Luminosa)
- b. Fase Luminosa Acíclica
- c. Fase Luminosa Cíclica
- d. Fase Oscura (Ciclo de Calvin Benson)

#### 3. Foto-Sistemas

- a. Foto-Sistema I
- b. Foto-Sistema II
- c. Foto-Sistemas I y II
- d. Foto-Fosforilación

#### 4. Vía de 4 Carbonos

- a. Protección de las Plantas Contra el Sol
- b. Fotosíntesis C3, C4 y CAM
- c. Mecanismos de Control
- d. Contexto Ecológico

##### 1. Conceptos

###### a. Fotosíntesis:

*Fotosíntesis*, es la unión entre dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) que da como resultado azúcar ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ) mediante la utilización de energía solar en los organismos de las plantas. La azúcar contiene la energía solar almacenada, útil como materia prima en la formación de otros compuestos.

*Respiración* es la función opuesta a la fotosíntesis, porque la energía almacenada en la azúcar se libera en presencia de oxígeno y, en esta reacción, se desprenden el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{O}$  que originalmente estaban unidos por la energía solar para formar el azúcar.

La *energía solar* en la fotosíntesis, se convierte en energía química y, el carbono se fija en compuestos orgánicos. La vida sobre la Tierra depende de la luz solar. La energía en la luz solar es capturada y aprovechada por los vegetales (organismos fotosintéticos) para formar carbohidratos y oxígeno libre a partir del dióxido de carbono y el agua, en una serie de reacciones bioquímicas complejas.

###### b. Estomas:

Estomas son poros presentes en hojas y tallos. A través de estos poros, las plantas absorben  $\text{CO}_2$  y liberan  $\text{O}_2$  durante el proceso de fotosíntesis. Las plantas controlan la apertura de los poros (frecuencia y tamaño de la apertura), mediante células que se expanden y contraen para abrir o cerrar el espacio entre ellas.

###### c. Ejemplos de Estomas:

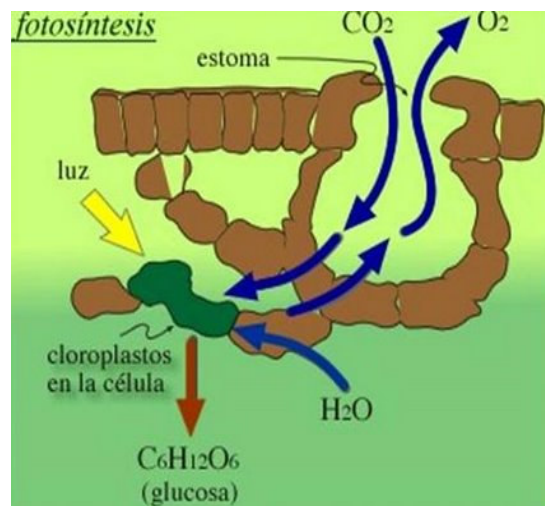
*Alfalfa*: Se abren durante el día y se cierran en la noche.

*Papa*: Abiertos casi continuamente, excepto algunas horas durante el crepúsculo vespertino. Se cierran durante el día, únicamente en casos de marchitez.

*Cebada*: Se encuentran semi-abiertos durante el día.

*Equisetum*: Abiertos día y noche, incluso en condiciones de desequilibrio hídrico.

*Cactáceas*: Cerrados durante el día y abiertos en la noche para evitar transpiración.



#### **d. Transpiración:**

El agua se evapora cuando los poros (estomas) en las plantas se encuentran abiertos. Esta acción de apertura permite el ingreso y traslado de agua y nutrientes en mayor cantidad hacia las partes altas de las plantas, pero propicia que la planta pierda agua y se deshidrate cuando los poros se encuentran abiertos.

#### **e. Uso eficiente del agua:**

Es la medida de la eficiencia en la planta para absorber el CO<sub>2</sub> que se requiere para realizar la fotosíntesis. La eficiencia radica en absorber CO<sub>2</sub> sin perder cantidad significativa de agua a través de los poros (estomas) que se encuentran abiertos para absorber CO<sub>2</sub>.

#### **f. Foto-Respiración:**

En condiciones de alta luminosidad e intenso calor solar, la enzima *RUBISCO* absorbe dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico para que la fotosíntesis se realice. Sin embargo, esta enzima puede absorber oxígeno (O<sub>2</sub>) en lugar de CO<sub>2</sub>. De esta forma ocurriría respiración (foto-respiración) en lugar de fotosíntesis y, debido a la foto-respiración, la producción de azúcares en la fotosíntesis sería deficiente y lenta.

De tal manera, el oxígeno, es un inhibidor de la fotosíntesis y, puede estar presente en alta concentración en las plantas. La elevada concentración de oxígeno en los cloroplastos (sitios donde se encuentra la clorofila en las plantas), puede inducir la foto-respiración que disminuye la eficiencia en la fotosíntesis.

#### **g. Enzima RuBisCo**

RUBISCO, es la forma abreviada con la que se designa a la enzima ribulosa-1,5-difosfato carboxilasa oxigenasa. Esta enzima tiene un doble comportamiento porque cataliza dos procesos opuestos:

*La fijación del CO<sub>2</sub> a una forma orgánica que justifica su clasificación como carboxilasa.*

*La foto-respiración, en la que actúa como oxigenasa del mismo sustrato. La RUBISCO es la proteína más abundante en la biosfera.*

La enzima RUBISCO tiene gran facilidad para combinarse con el CO<sub>2</sub> y activar la formación de azúcar y, de combinarse con el Oxígeno para proporcionar glicolato ---> luego glicina que termina en ---> serina + CO<sub>2</sub> en los cloroplastos. Este proceso se llama foto-respiración y utiliza *ATP* y *NADPH* pero libera CO<sub>2</sub> en lugar de fijarlo. Esta es la desventaja de la enzima RUBISCO, porque el CO<sub>2</sub> es fundamental en la fotosíntesis.

*ATP* (Adenosina Trifosfato) es la molécula que transfiere energía desde las reacciones químicas que la almacenan hacia las que las reacciones químicas que las consumen. De esta forma, en la fase clara, la luz solar incide sobre la clorofila propiciando que un electrón se traslade a un nivel de energía superior.

*NADPH* ó *NADP* (Nicotiamida-Adenina Dinucleótido Fosfato), es una co-enzima utilizada durante la noche (fase oscura) en la fijación del CO<sub>2</sub> para la realización de la fotosíntesis. Esta co-enzima recibe hidrógeno para convertir el CO<sub>2</sub> en carbón orgánico.

La enzima RUBISCO cataliza el primer paso que es el más significativo del *Ciclo de Calvin* (procesos bioquímicos en estromas de cloroplastos) en la fotosíntesis que, consiste en la fijación del dióxido de carbono a una forma orgánica. En la reacción se unen: a) Una molécula de CO<sub>2</sub> a la cadena hidrocarbonada de la ribulosa-1,5-difosfato. B) Una pentosa (monosacáridos -glúcidos simples- formados por una cadena de cinco átomos de carbono) activada energéticamente por la *Fosforilación* de los dos carbonos situados en los extremos de la cadena. A través de un estado de transición de seis carbonos, se forman dos moléculas de 3-fosfoglicerato.

*Foto-fosforilación* es el proceso por el cual la energía en un electrón excitado por la luz solar, se convierte en enlace pirofosfato de una molécula ADP en presencia de clorofila P680.

*El Ciclo de Calvin* y la fijación del CO<sub>2</sub> por la RUBISCO son propios de todos los organismos autótrofos (capaces de sintetizar todos sus componentes orgánicos a partir de sustancias inorgánicas simples).

Es decir, no se presentan únicamente en organismos foto-sintetizadores típicos —como cianobacterias, algas eucarióticas y plantas que realizan la fotosíntesis oxigénica, sino también en arqueas y bacterias dotadas de metabolismos foto-sintetizadores o quimio-sintetizadores diversos. La RUBISCO es responsable de la producción primaria desde donde se genera la circulación de energía en la biosfera. La reacción de fijación del carbono es en sí misma ineficiente, y lo es más por la competencia con la función de oxigenasa de la enzima RUBISCO.

La RUBISCO cataliza también la fijación de O<sub>2</sub> sobre la ribulosa-1,5-difosfato en el proceso llamado foto-respiración que termina liberando CO<sub>2</sub> y derrochando energía.

La concentración de oxígeno (O<sub>2</sub>) en la atmósfera es 6000 veces mayor que la de CO<sub>2</sub>, lo cual favorece la foto-respiración. La enzima RUBISCO, debido a su ineficiencia como catalizadora en la fijación de CO<sub>2</sub>, se convierte en factor limitante de la fotosíntesis. Se investiga la para modificar genéticamente la enzima RUBISCO, a fin de favorecer la productividad agrícola.

### ***h. Ciclo de Calvin***

El Ciclo de Calvin (también conocido como ciclo de Calvin-Benson o fase de fijación del CO<sub>2</sub> de la fotosíntesis) consiste en una serie de procesos bioquímicos que se realizan en el estroma de los cloroplastos en organismos fotosintéticos (vegetales). Fue descubierto por Melvin Calvin y Andy Benson de la Universidad de California Berkeley mediante el empleo de isótopos radiactivos de carbono. Durante la fase luminosa o fotoquímica de la fotosíntesis, la energía lumínica se almacena en moléculas orgánicas sencillas, pero inestables, que aportarán energía para el proceso (ATP) y reducción nicotin-amida dinucleótido fosfato (NADPH+H<sup>+</sup>) que es la capacidad de transmitir electrones a otra molécula.

En general, los compuestos bioquímicos más reducidos, es decir, los que cuentan con mayor cantidad de electrones, almacenan más energía que los compuestos oxidados (con menos electrones) y, son capaces de generar más trabajo (aportar más energía).

En el ciclo de Calvin se presenta la integración y conversión de moléculas inorgánicas de dióxido de carbono en moléculas orgánicas sencillas, a partir de las cuales se forman los demás compuestos bioquímicos que forman parte de los seres vivos. En este sentido, la asimilación del carbono es la parte fundamental. De tal manera, la primera enzima que interviene en el ciclo y fija el CO<sub>2</sub> atmosférico uniéndolo a una molécula orgánica (ribulosa-1-5-bisfosfato) se denomina RUBISCO (Ribulosa difosfato carboxilasa oxigenasa).

Sencillamente podríamos decir que:

- El Ciclo de Calvin es el conjunto de reacciones enzimáticas que tienen lugar en las plantas y que, en líneas generales, transforman el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en sacarosa (azúcar) y almidón (sustancia de reserva).
- El ciclo de fijación del carbono o ciclo de Calvin, en reconocimiento a su descubridor, el bioquímico estadounidense Melvin Calvin, tiene lugar en el estroma de los cloroplastos, ubicados en las hojas verdes de las plantas.
- El mecanismo de síntesis de los azúcares es catalizado por la enzima ribulosa 1,5-difosfato carboxilasa, que es la proteína más abundante en el cloroplasto.
- La enzima ribulosa 1,5-difosfato carboxilasa (en la primera etapa), utiliza el  $\text{CO}_2$  para desencadenar la reacción de producción de 3-fosfoglicerato a partir de ribulosa 1,5-difosfato.
- Este compuesto (3-fosfoglicerato), mediante una serie de reacciones, se transforma en gliceraldehído 3-fosfato (azúcar). Una parte de este azúcar es utilizada para regenerar más ribulosa 1,5-difosfato; otra parte se convertirá en aminoácidos, grasas y almidón. Pero la parte más importante de gliceraldehído 3-fosfato es transportada desde el cloroplasto hasta el citoplasma de las células donde se integra, como producto intermedio, en el ciclo de la glucosa, proceso durante el cual se transformará en fructosa 6-fosfato y glucosa 6-fosfato. Estos azúcares se unirán más tarde para dar lugar al producto final, un disacárido llamado sacarosa 6-fosfato. De esta manera la planta va almacenando sacarosa en las células de las hojas hasta que, en función de los requerimientos de hidratos de carbono es exportada al resto de la planta a través de los haces vasculares. Algunas plantas en ambientes secos y calurosos han desarrollado una ruta alternativa para compensar la carencia de  $\text{CO}_2$  en el mesófilo (parte media de la hoja compuesta de tejido parenquimático).

#### **i. Tres Fases en el Ciclo de Calvin:**

1. **Fase de fijación del  $\text{CO}_2$ :** la RubisCO cataliza la reacción entre la pentosa ribulosa bisfosfato (azúcar de 5C, RuBP) y el  $\text{CO}_2$  para crear 1 molécula de 6 carbonos que por ser inestable se separa en 2 moléculas que contienen 3 átomos de carbono (PGA - Fosfoglicerato). La importancia de la RuBisCo queda indicada por el hecho de ser la proteína más abundante en la naturaleza.
2. **Fase de reducción:** primero ocurre un proceso de activación en el cual una molécula de ATP (transportadora de energía) proveniente de la fase fotoquímica, es usada para la fosforilización del PGA, transformándolo en difosfoglicerato. Esa transferencia de un enlace fosfato permite que una molécula de  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  reduzca el PGA, mediante la acción de la enzima gliceraldehído -3-fosfato-deshidrogenasa, para formar gliceraldehído-3-fosfato (PGAL). Esta última molécula es una triosa-fosfato, es decir un azúcar de tipo aldosa con 3 carbonos (3C), molécula estable con mayor energía libre (capaz de realizar mayor trabajo) que las anteriores. Parte de PGAL se transforma en su isómero dihidroxiacetona fosfato (cetosa de 3C). Estas dos triosas-fosfato serán la base a partir de la cual se forman el resto de azúcares como la fructosa y glucosa, oligosacáridos como la sacarosa o azúcar de caña, y polisacáridos como la celulosa o el almidón. También, a partir de estos azúcares se forman, directa o indirectamente las cadenas de carbono que componen el resto de moléculas que constituyen los seres vivos (lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros).

3. **Fase de regeneración:** el ciclo continúa a lo largo de una serie de reacciones hasta formar ribulosa-fosfato que, mediante el consumo de otra molécula de ATP regenera la ribulosa bisfosfato (RuBP) original, dejándola disponible para que el ciclo se repita nuevamente.

Por tanto, en cada repetición del ciclo se incorpora una molécula de carbono fijado ( $\text{CO}_2$ ) a otra molécula preexistente de 5 átomos de carbono (ribulosa bisfosfato). El resultado final es la regeneración de la molécula de 5 átomos de carbono y la incorporación de un nuevo carbono en forma orgánica  $\text{C}(\text{H}_2\text{O})$ . Es importante indicar que, el producto fundamental en el ciclo de Calvin es el gliceraldehido-3-fosfato (3 átomos de carbono), molécula base para la síntesis del resto de los carbohidratos. Tras 3 vueltas del ciclo, una nueva molécula de PGAL sale del ciclo y puede ser utilizada para la formación de otras moléculas.

#### **j. Fotosíntesis C4 y CAM**

Durante años se pensó que el ciclo de Calvin era independiente de la luz. Hoy se conoce perfectamente que, tanto la actividad de la RUBISCO como de otras enzimas clave en el ciclo, es regulada por la luz, desactivándose en condiciones de oscuridad y reactivándose en condiciones de iluminación y agua en la planta. La luz, siempre cuando no sea luz verde, es absorbida por los pigmentos en los tilacoides de los cloroplastos. La energía de la luz excita los electrones que viajan hacia las moléculas de agua y las separan para crear cuatro moléculas de hidrógeno con carga positiva y una molécula de oxígeno por cada dos moléculas de agua separadas. El oxígeno es un producto de la fotosíntesis y emerge a través de los estomas.

Cuando la enzima Rubisco reacciona con  $\text{O}_2$  en vez de  $\text{CO}_2$ . La reacción provoca una disminución del porcentaje de carbono fijado y está asociada al fenómeno denominado fotorespiración. Estos procesos son más graves a temperaturas relativamente altas, disminuyendo la tasa de fotosíntesis que es la medida de la capacidad en la planta para asimilar  $\text{CO}_2$ . Por esta razón, las plantas adaptadas a climas cálidos han desarrollado una estrategia para optimizar la capacidad de asimilación de dióxido de carbono (plantas C-4 y plantas CAM). Las plantas C4 (cuatro carbonos) usan inicialmente la enzima PEP carboxilasa (fosfoenolpiruvato carboxilasa) que convierte el fosfoenolpiruvato (compuesto de 3 Carbonos, 3C) en oxalacetato (compuesto de 4 Carbonos, 4C) a partir del bicarbonato que se forma por reacción del  $\text{CO}_2$  con el agua y, facilitado por la presencia de la enzima anhidrasa carbónica que cataliza esta reacción. La PEP carboxilasa tiene una afinidad mayor con el bicarbonato que la enzima RubisCO con el  $\text{CO}_2$ . El nombre de la fotosíntesis tipo C4 proviene precisamente de que el primer compuesto orgánico formado (oxalacetato) tiene 4 átomos de carbono (4C).

**PEP:** Fosfoenolpiruvato (**phosphoenolpyruvate**). Intermediario de la glucólisis, y punto de partida de la gluconeogénesis.

A partir de oxalacetato se produce malato que es un compuesto más reducido, es decir, con más electrones. Esto conlleva una pérdida del poder reductor acumulado en la fotosíntesis. El malato formado desprende el carbono fijado en las inmediaciones de la RubisCO, aumentando la concentración de dióxido de carbono respecto al oxígeno en el entorno de esta enzima RubisCO.

A partir de aquí el proceso es similar al de las plantas C3 (3 carbonos), en las que el primer producto de la asimilación de  $\text{CO}_2$  es el PGA de 3 átomos de carbono. De esta forma se consigue evitar la actividad oxigenasa de la Rubisco. La formación de malato y su

descomposición ocurre en células diferentes, cada una de ellas provistas de cloroplastos especializados en llevar a cabo cada una de las dos funciones (C3 y C4).

Otro tipo de adaptación es el de las plantas con fotosíntesis CAM (de las siglas en inglés "Crassulacean acid metabolism", metabolismo de plantas crasuláceas) frecuente en plantas xerófitas (adaptadas a ambientes áridos) que les permite mantener cerrados los estomas evitando la pérdida de agua.

**Los Organismos Autótrofos** son capaces de sintetizar todos sus componentes orgánicos a partir de sustancias inorgánicas simples como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>..., utilizando como fuente de energía la luz (fotosíntesis) o la que libera la oxidación de sustancias inorgánicas (quimiosíntesis).

## 2. Fases en la Fotosíntesis

- En la *Fase Clara* de la fotosíntesis, la transferencia de electrones se realiza en los **Tilacoides** de los Cloroplastos.
- En la *Fase Oscura* de la fotosíntesis, la transferencia de electrones se realiza en los **Estromas** de los Cloroplastos.

**Tilacoides** (del griego *thylakos* = pequeña bolsa). Membranas internas en los cloroplastos que conforman compartimentos en los que tienen lugar las reacciones lumínicas de la fotosíntesis. Un conjunto de tilacoides forma la grana. El área entre las granas se denomina estroma.

**Estroma:** Matriz proteica entre las granas de los cloroplastos. Sitio de las reacciones oscuras de la fotosíntesis.

### a. Fase Clara (Luminosa) -Reacciones propiciadas por la luz solar:

La fase luminosa, fase clara, fase fotoquímica o reacción de Hill, es la etapa primaria en la fotosíntesis que convierte la energía solar en energía química. La luz solar es absorbida por clorofilas y proteínas que se agrupan en unidades llamadas foto-sistemas, ubicados en los tilacoides (membranas internas de los cloroplastos). Se denomina fase luminosa o clara, ya que al utilizar la energía lumínica, sólo puede llevarse a cabo en condiciones de alta luminosidad, ya sea natural o artificial.

**El Fotosistema I** (PSI) y el **fotosistema II** (PSII) se encargan de captar la luz solar y de emplear su energía para impulsar el transporte de electrones a través de una cadena de receptores. Los fotosistemas atrapan fotones de la luz para elevar los electrones a niveles más altos de energía fundamental. Esta energía se traslada por resonancia entre diferentes moléculas de clorofila, hasta el punto en el cual, en el centro del fotosistema II, se produce la fotólisis que transforma el agua en Un Oxígeno, Dos Protones (H<sup>+</sup>) y Dos Electrones. El oxígeno se une con el sobrante de oxígeno en otra molécula de agua, para crear oxígeno atmosférico (O<sub>2</sub>). Los protones son transportados al interior del tilacoide en los cloroplastos para contribuir a crear un gradiente electroquímico que será utilizado por la ATPasa. Los electrones reponen la carencia electrónica en la clorofila original.

Existen dos compuestos de proteínas que no están unidos a clorofilas en las membranas de los tilacoides:

### 1. Compuesto del citocromo b6/f

## 2. Compuesto de la ATP-sintetasa o ATPasa.

El citocromo b6/f es un intermediario en el transporte de electrones entre el fotosistema II y el fotosistema I, capaz de crear un gradiente de energía química que será empleado por el complejo ATP sintasa para generar ATP en un proceso llamado fotofosforilación. La función del fotosistema I está asociada a la descomposición (fotólisis) de las moléculas de agua (H<sub>2</sub>O) en 2 protones (H<sup>+</sup>) y O<sub>2</sub>.

Los dos electrones que proceden de los átomos de hidrógeno de la molécula de agua son captados por el llamado centro de reacción del fotosistema II (P680), elevados a un nivel energético superior por la energía que proporciona la luz, captada por el fotosistema II y una serie de proteínas asociadas a clorofilas y otros pigmentos fotosintéticos (carotenoides) llamadas complejos antena.

Desde el nivel energético más alto el electrón puede ir "descendiendo" (como el agua almacenada en una presa) hacia estados energéticos más bajos a través de una cadena transportadora de electrones en la que participan una molécula denominada plastoquinona, el complejo del citocromo b6/f y una proteína denominada plastocianina.

Durante este camino parte de la energía del electrón es destinada (por mediación del citocromo b6/F) a crear un gradiente de energía a través de las membranas de los tilacoides que será empleado para la síntesis de ATP por la ATP sintetasa. El proceso nuevo, tiene analogía con la producción de electricidad durante el paso del agua almacenada en una presa a través de las turbinas. La plastocianina transporta los electrones hasta el fotosistema I, que también posee un centro de reacción (P700) y un complejo antena asociado para la captación de luz. Los electrones que llegan a PSI son de nuevo impulsados por la energía de la luz a un nivel energético superior y también transportados a través de una nueva cadena de aceptores hasta llegar a una molécula final aceptora, el NADP<sup>+</sup>. Esta molécula, que capta finalmente los electrones será empleada, junto al ATP producido, en la fase posterior de la fotosíntesis ciclo de Calvin para convertir el dióxido de carbono atmosférico (o disuelto en el agua en medios acuáticos) en materia orgánica.

La planta aprovecha la luz solar para producir:

- Moléculas **ATP** (transferencia de energía).
- Co-enzimas **NADPH** (portadoras de energía) que se utilizan en la fase oscura.

**ATP** (Adenosina Trifosfato) es la molécula que transfiere energía desde las reacciones químicas que la almacenan hacia las que las reacciones químicas que las consumen. De esta forma, en la fase clara, la luz solar incide sobre la clorofila propiciando que un electrón se traslade a un nivel de energía superior.

**NADPH ó NADP** (Nicotiamida-Adenina Dinucleótido Fosfato), es una co-enzima utilizada durante la noche (fase oscura) en la fijación del CO<sub>2</sub> para la realización de la fotosíntesis. Esta co-enzima recibe hidrógeno para convertir el CO<sub>2</sub> en carbón orgánico. La NADP más Hidrógeno (H) = NADPH.

**ATP y NADPH** conjuntamente, se encargan de convertir el CO<sub>2</sub> y el agua en compuestos orgánicos reducidos (p. ej. Glucosa) liberando oxígeno. De este modo, mediante una serie de reacciones bioquímicas la energía solar se convierte en ATP y NADPH a través de un proceso de transporte de electrones en el cual el agua libera oxígeno como producto secundario de la reacción.



## **b. Fase Luminosa Acíclica**

El proceso se inicia con la llegada de fotones de luz al fotosistema II, lo que provoca la excitación del pigmento diana que recordemos era la clorofila P680. Dicha excitación tiene lugar con la captación de los electrones procedentes de la fotólisis del agua y el que la molécula de clorofila ceda o capte electrones está en función de su potencial redox.

**Redox:** Reacciones de Reducción-Oxigenación.

Para explicarlo de forma simple, diremos que cuanto más negativo sea el potencial de la molécula de clorofila mayor será su capacidad donadora, mientras que cuanto más positivo, mayor será su capacidad aceptora. Traducido al proceso que estábamos viendo antes, la clorofila P680 pasa de un potencial redox positivo a uno negativo, lo que la convierte en una molécula excitada capaz de ceder los electrones que ha recibido del agua. Cuando un pigmento está excitado, se le coloca un asterisco, de modo que ahora estamos ante una clorofila P680.

La clorofila P680 cederá los electrones a la feofitina que es el aceptor primario y después los pasa a una molécula llamada plastoquinona que gracias al ciclo de oxidación-reducción que sufre dicha molécula se irán incorporando protones al interior del tilacoide que como veremos más adelante serán de suma importancia para la síntesis de ATP.

Una vez los protones han atravesado la membrana, la plastoquinona los cede al complejo del citocromo b<sub>6</sub>f que servirá de paso de los electrones hacia la plastocianina que es el donador primario de electrones del fotosistema I.

Hasta aquí vemos como cada vez el potencial redox se va haciendo más positivo, puesto que venimos de una excitación inicial que lo volvió muy negativo y no se ha producido otra hasta el momento. Con la llegada al fotosistema I, tenemos una nueva excitación que hará el potencial redox todavía más negativo que en el primer caso. Ahora, la molécula de clorofila implicada es diferente, se trata de la clorofila P700 que como dijimos en el caso anterior pasará a un estado excitado llamado clorofila P700.

Los electrones captados por la clorofila P700\* serán cedidos al aceptor A0 y éste a su vez los cederá a una molécula llamada ferredoxina que por medio de una reacción enzimática (reductasa) sintetizará NADPH + H<sup>+</sup> (molécula energética).

Durante la fase luminosa acíclica tiene lugar la síntesis tanto de ATP como de NADPH+H<sup>+</sup>. Ahora bien, la cantidad de ATP sintetizada es escasa e insuficiente para la fase biosintética, dado que se necesitan 3 ATP por cada 2 NADPH y hemos acabado la fase con una relación de 1.33 ATP por cada molécula de agua.

## **c. Fase Luminosa Cíclica**

La fase luminosa cíclica es importante para sintetizar el ATP suficiente para que tenga lugar la fase biosintética dado que como vimos en la fase anterior la cantidad era escasa.

Aquí sólo interviene el fotosistema I y por tanto:

1. No hay fotólisis del agua
2. No se forma NADPH + H<sup>+</sup>
3. No se desprende O<sub>2</sub>

El proceso es similar al acíclico, pero sin la participación del fotosistema II. Los fotones de luz inciden sobre la clorofila P700 y pasa al estado excitado de clorofila P700\* liberando los electrones capturados a la ferredoxina y ésta, en lugar de utilizarlos para sintetizar NADPH + H<sup>+</sup>, los cede a la plastoquinona que como vimos servía para aumentar la concentración de protones en el interior del tilacoide. Los electrones de la plastoquinona son cedidos nuevamente al fotosistema I para que vuelva a repetirse el ciclo porque recordemos que no tenemos electrones de la fotólisis del agua.

La realización repetida de este ciclo aumenta mucho la concentración de protones que como ya sabéis del inicio de nuestro artículo, son utilizados por las ATP-sintetasas para sintetizar ATP y así se soluciona el déficit energético que teníamos para iniciar la fase biosintética.

#### **d. Fase Oscura- Ciclo de Calvin Benson:**

La transferencia de electrones se realiza en los Estromas de los Cloroplastos.

En la fase oscura, se utiliza la energía química obtenida en la fase clara (luminosa) para reducir CO<sub>2</sub>, Nitratos y Sulfatos y asimilar los bioelementos C, H, y S, con el fin de sintetizar glúcidos, aminoácidos y otras sustancias.

Las plantas obtienen el CO<sub>2</sub> del aire a través de los **estomas** en sus hojas. El proceso de reducción del carbono es cíclico y se conoce como **Ciclo de Calvin**, en honor de su descubridor M. Calvin.

La fase oscura en la fotosíntesis es el proceso independiente de la luz solar donde los productos de la fase clara, conjuntamente con el CO<sub>2</sub> atmosférico, son utilizados durante la noche para formar los enlaces de los carbohidratos.

Es decir, las reacciones de la fase oscura acontecen en la noche por razón de la presencia y almacenamiento de los transportadores de energía provenientes de la fase clara en la fotosíntesis y la absorción de CO<sub>2</sub> durante la noche. La fase clara ocurre en la grana, y la oscura en el estroma de los cloroplastos.

Evidencias recientes sugieren que la enzima más importante de la fase oscura (PEP fosfoenol pirúvico -Carboxilasa) es estimulada indirectamente por la luz solar del día, de ser así, el termino "fase oscura" no sería preciso. La captura del CO<sub>2</sub> en la fase oscura, comienza en la reacción del CO<sub>2</sub> con el ácido fosfoenol pirúvico (PEP), catalizada por la enzima PEP-carboxilasa.

### **3. Foto-Sistemas**

Los foto-sistemas son conjuntos de moléculas de clorofila y pigmentos que se encuentran en los tilacoides, ubicados al interior de los cloroplastos.

En el centro del foto-sistema se encuentra la clorofila que absorbe luz solar para activarse. La energía contenida en la clorofila activada se utiliza para hacer funcionar los procesos químicos en los que se basa gran parte de la vida.

#### **Existen dos tipos de foto-sistemas:**

- *Foto-sistema I:* utiliza un tipo de clorofila denominado P700. Absorbe la longitud de onda de 700nm (nm = nanómetros – nanómetro = millonésima parte de un metro).

- *Foto-sistema II*: utiliza un tipo de clorofila denominado P680. Capta la energía luminosa de longitud de onda igual o menor a 680nm (foto-sistema II).

La longitud de onda describe cuán larga es la onda. La distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos es lo que llamamos longitud de onda. Las ondas de agua en el océano, las ondas de aire, y las ondas de radiación electromagnética tienen longitud de onda.

La longitud de ondas de sonido que los seres humanos pueden escuchar, oscilan entre menos de 2 cm. y 17 m. Las ondas de radiación electromagnética que forman la luz visible tienen longitudes de onda entre 400 y 700 nanómetros (luz morada) y 700 nanómetros (luz roja).

En el sistema internacional, la unidad de medida de la longitud de onda es el metro, al igual que cualquier otra distancia. Dado los órdenes de magnitud de este parámetro, por comodidad se suele recurrir a submúltiplos como el milímetro (mm), el micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) y el nanómetro (nm).

Ambos tipos de clorofila (P700 y P680) forman parte en la fotosíntesis debido a su relación con las proteínas en la membrana tilacoide de los cloroplastos.

#### **a. Foto-Sistema I**

En el foto-sistema I, la luz solar actúa sobre la molécula de clorofila P700 y produce un electrón con mayor potencial de energía. Este electrón es aceptado por un receptor primario distinto al asociado en el foto-sistema II. Este electrón en el foto-sistema I, pasa nuevamente por una serie de reacciones REDOX para combinarse finalmente con  $\text{NADP}^+$  e hidrógeno ( $\text{H}^+$  a  $\text{NADPH}$ ). Se requiere un portador de hidrógeno (H) en la fase oscura para formar  $\text{NADPH}$ .

La cadena transportadora de electrones está constituida por un complejo proteico en el cual se encuentran los citocromos, concretamente el complejo citocromo b6f. Su función exclusiva es el transporte de electrones y se encuentra ubicado también en la membrana como sucedía con los foto-sistemas. Por si alguien todavía no se ha dado cuenta de cuál es el origen de los electrones, no tiene más que mirar la reacción de la hidrólisis del agua para percatarse que es ella la donante de éstos.

El citocromo es una proteína de color oscuro que desempeña una función vital en el transporte de energía química en todas las células vivas.

Las células animales obtienen energía de los alimentos (que captaron energía solar) mediante un proceso llamado respiración; las plantas obtienen energía directamente de la luz solar mediante la fotosíntesis. Los citocromos intervienen en los dos procesos (respiración y fotosíntesis). Tienen un anillo nitrogenado llamado porfirina que encierra un átomo metálico (p. ej. hierro ó cobre). El átomo metálico da al citocromo color oscuro. Hay tres grandes tipos de citocromos llamados a, b y c.

**Citocromo a**, contiene cobre.

**Citocromos b y c**, contienen hierro.

Los citocromos están incorporados en la membrana celular de las bacterias y en las membranas internas de las mitocondrias (orgánulos presentes en las células animales y vegetales) y de los cloroplastos (sólo en células vegetales).

Durante la respiración y la fotosíntesis, las moléculas de citocromo aceptan y liberan alternativamente un electrón que transfieren a otro citocromo en una cadena de reacciones químicas llamada transferencia de electrones que libera energía. Esta energía se almacena en forma de adenosín trifosfato (ATP). Cuando la célula necesita energía, la toma de sus reservas de ATP.

Las reacciones de Reducción-Oxidación (REDOX) son de transferencia de electrones. Esta transferencia se produce entre un conjunto de especies químicas, una forma reducida y una oxidada respectivamente. Para que exista una reacción REDOX, en el sistema debe haber una especie que ceda electrones y otra especie que los acepte.

El reductor es la especie química que tiende a ceder electrones de su estructura química al medio, quedando con una carga positiva mayor a la que tenía.

El oxidante es la especie que tiende a captar esos electrones, quedando con carga positiva menor a la que tenía.

Cuando una especie química reductora cede electrones al medio se convierte en una especie oxidada y, la relación que guarda con su precursor queda establecida mediante lo que se llama un par REDOX. Análogamente, se dice que cuando una especie capta electrones del medio se convierte en una especie reducida, y forma un par REDOX con su precursor reducido.

## **b. Foto-Sistema II**

El foto-sistema II (FSII), está asociado a moléculas de clorofila P680 que absorben a 680 nm. El electrón en el foto-sistema II reemplaza al electrón excitado en la molécula de clorofila P700 del foto-sistema I. De este modo se presenta un flujo continuo, pero *No Cíclico* de electrones desde el agua hacia NADPH, el cual es utilizado para la fijación del carbono. El flujo *Cíclico* de electrones se presenta en algunos eucariotas y bacterias fotosintéticas sin producir NADPH, solo ATP. Esto también ocurre cuando la célula requiere ATP adicional, o cuando no hay NADPH<sup>+</sup> para reducirlo a NADPH.

En el foto-sistema II, el traslado de iones H hacia el interior de los tilacoides, desde el estroma del cloroplasto, y la conversión de ADP + P en ATP es realizado mediante un gradiente de electrones establecido en la membrana tilacoidea. El primer producto estable del ciclo es el ácido 3- fosfoglicérico (PGA), molécula de tres carbonos (C3).

Globalmente 6 moléculas de la enzima RuBP (ribulosa bifosfato) se combinan con 6 moléculas de anhídrido carbónico para obtener 12 moléculas de 3-fosfoglicérico. La enzima RUBISCO es posiblemente la proteína más abundante en el mundo, localizada en la superficie de las membranas tilacoideas.

La energía del ATP y NADPH que fue generada en ambos foto-sistemas, se utiliza para adherir fosfatos (fosforilar) al 3-PGA y reducirlo a fosfogliceraldehído o PGAL de tres carbonos también. Del total de 12 moléculas transformadas, dos moléculas de 3-PGAL salen del ciclo para convertirse en glucosa. Las moléculas restantes de PGAL son convertidas por medio del ATP en 6 moléculas de RuBP (5 carbonos), que recomienzan el ciclo. Recuerde la complejidad de los seres vivos, al igual que en el ciclo de Krebs cada reacción es catalizada por una enzima específica.

### **c. Foto-Sistemas I y II**

#### *Procariotas:*

Gran número de Procariotas poseen únicamente foto-sistema II que fue descubierto posteriormente al foto-sistema I. Son Procariotas (del griego *πρό*, pro = antes de y *κάρυον*, karion = núcleo) las células sin núcleo celular diferenciado. Es decir, cuyo ADN no se encuentra confinado dentro de un compartimento limitado por membranas, sino libremente en el citoplasma.

#### *Eucariotas:*

Son células que tienen un núcleo. Las Eucariotas utilizan ambos foto-sistemas (I y II).

Las formas de vida más conocidas y complejas, son eucariotas, forman el dominio Eukarya. Casi sin excepción los organismos basados en células procariotas son unicelulares. El término procariota hace referencia a los organismos del dominio Prokaryota, cuyo concepto coincide con el reino Monera de las clasificaciones de Copeland o Whittaker que, aunque obsoletas, son aún muy populares. Se reparten entre los dominios Bacteria y Archaea. Algunas de las diferencias entre células procariotas y eucariotas son:

- ADN principal desnudo(sin un denso acompañamiento de proteínas) y lo más a menudo en forma de una sola hebra circular; división celular por fisión binaria sin un mecanismo complejo de reparto comparable a la mitosis de los eucariotas.
- Carencia de orgánulos membranosos en el citoplasma, que forma un solo compartimento.
- Existencia, salvo en algunos parásitos endocelulares, de un segundo compartimento acuoso rodeando el citoplasma, el periplasma, limitado internamente por la membrana plasmática y externamente por una segunda membrana o una pared densa.
- El citoplasma no contiene objetos reconocibles, salvo granos de reserva, de composición variada, y agregados moleculares, visibles sólo con las mayores ampliaciones del microscopio electrónico, como ribosomas o carboxisomas.
- Suelen portar pared celular, cuya composición no tiene nada que ver con la de los grupos eucarióticos que la tienen.
- Se alimentan universalmente por absorción, son osmótrofos, sin tener en general la capacidad de ingerir o internalizar partículas u otras células (endocitosis).

#### **d. Foto-Fosforilación:**

Foto-fosforilación es el proceso por el cual la energía del electrón excitado por la luz solar, se convierte en enlace pirofosfato de una molécula ADP en presencia de clorofila P680. La transferencia de energía es similar al transporte químico-osmótico de electrones que se presenta en la mitocondria (cloroplasto). La energía de la luz solar elimina un electrón de una molécula de clorofila P680 que es parte del foto-sistema II. Este electrón se transfiere a una molécula receptora primaria y, posteriormente, se traslada al foto-sistema I a través de una cadena transportadora de electrones.

#### 4. Vía de 4 Carbonos

Algunas plantas han desarrollado un ciclo previo para evitar la foto-respiración, donde la fijación del CO<sub>2</sub> comienza en el fosfoenolpiruvato (PEP), molécula de tres carbonos (3C), que se convierte en oxalacético de cuatro carbonos (C4). El oxalacético es convertido en ácido málico (C4). Esto ocurre en las células del parénquima clorofiliano del mesófilo.

Posteriormente, el ácido málico pasa a las células de la vaina fascicular donde se desdobra nuevamente en PEP y anhídrido carbónico que ingresa en el ciclo de Calvin (etapa oscura), mientras que el PEP vuelve a las células del mesófilo. La glucosa formada puede ser transportada rápidamente al resto de la planta.

La captura del anhídrido carbónico por el PEP es mediada por la enzima PEP carboxilasa, que tiene mayor afinidad por el anhídrido carbónico que la RuBP carboxilasa. Cuando los niveles de anhídrido carbónico bajan, la RuBP carboxilasa usa oxígeno en vez de anhídrido carbónico, y el resultado es ácido glicólico. Este producto se metaboliza en los peroxisomas (en presencia de luz y oxígeno) y este proceso se conoce como fotorrespiración. No produce ATP ni NADPH, es a todas vistas un desmantelamiento del ciclo de Calvin lo cual reduce la eficiencia de la captura de anhídrido carbónico.

Las plantas que usan la vía de 4 carbonos, a menudo crecen muy juntas, y deben ajustarse a la disminución de anhídrido carbónico que este hecho implica. Lo hacen aumentando la concentración de anhídrido carbónico en ciertas células para prevenir la fotorrespiración. Las plantas que usan la vía de los cuatro carbonos (por ejemplo caña de azúcar y maíz) evolucionaron en los trópicos y están adaptadas a mayores temperaturas. Note que el oxalacetato y el málico tienen funciones en otros procesos, por lo tanto están presentes en todas las plantas, permitiendo a los científicos hipotizar que la vía de los cuatro carbonos evolucionó independientemente muchas veces, en un mecanismo denominado evolución convergente.

##### a. Protección de las Plantas contra el sol

El proceso fotosintético presenta mayor eficiencia con niveles promedio de luz solar. Es decir, a pleno sol, con muy alta luminosidad, particularmente al mediodía, las plantas absorben mucho más energía de la que pueden usar. En estas circunstancias, cuando las plantas no encuentran forma para dispersar de forma segura la energía excedente, entonces el clorofila pasa a un estado de sobreexcitación, desde el cual su energía puede transferirse al oxígeno dando como resultado "oxígeno singulet", un potente oxidante que puede causar daño a la planta, incluso su muerte.

Entre los mecanismos antioxidantes para protección de las plantas se encuentran:

- Los carotenoides que son capaces de detoxificar a la planta del "oxígeno singulet" capturando su energía y disipándola en forma de calor.
- La atenuación no fotoquímica de la energía solar, proceso en el cual interviene una proteína que se encuentra asociada al fotosistema II conocida por las siglas PsbS.

##### b. Fotosíntesis C3, C4 y CAM

*Fotosíntesis C3:*

C3 es la fotosíntesis típica realizada por la mayoría de las plantas. Es la fotosíntesis que enseñan en escuelas. Alrededor del 85% de las plantas superiores son del tipo C3.

Estudios indican que las plantas C3 son las más primitivas, porque no tienen cualidades especiales para resistir sequías. Las plantas de papa son C3. Esto explica la necesidad de agua y ambiente húmedo para que estas plantas expresen un máximo potencial.

Los estomas en las plantas de papa se encuentran abiertos generalmente, excepto durante algunas horas durante el crepúsculo vespertino. En caso de marchitez los estomas se cierran durante el día para evitar la pérdida de agua. Los estomas abiertos continuamente, revelan en parte, los descensos en la producción cuando el cultivo es sometido a estrés hídrico, ya que estas plantas no tienen posibilidad para activar mecanismos de cierre de estomas que permita reducir la pérdida de agua. Este tipo de estomas, se encuentran también en los ajos, cebollas, puerros, repollos y curcubitáceas. Adicionalmente, las plantas C3 son menos eficientes en cuanto a la fijación de CO<sub>2</sub>, lo cual repercute en la producción de materia seca.

#### *Fotosíntesis C4:*

La fotosíntesis C4 es una adaptación en las plantas que habitan en climas cálidos y áridos. La foto-respiración en plantas C4 es mínima, comparada con la de plantas C3. Las plantas C4 fijan inicialmente el CO<sub>2</sub> en las células mesófilas formando compuestos de 4 carbonos. Posteriormente liberan el CO<sub>2</sub> en las células de la vaina del haz vascular. De tal manera, se presenta requerimiento adicional de ATP por cada unidad de dióxido de carbono utilizado por esta ruta.

Un método simple para identificar plantas C4 consiste en examinar la estructura celular en las hojas. Las plantas C4 han desarrollado la anatomía "Krantz" de células envainadas del clorenquima en lugar de capas normales en palizada que presentan las plantas con fotosíntesis C3. Esto es para reducir la transpiración y mejorar el aislamiento de las células internas húmedas, fuera de la atmósfera caliente.

En las plantas con fotosíntesis C4, el CO<sub>2</sub> atrapado durante la noche provoca una reacción de carboxilasa en la planta. De este modo, el CO<sub>2</sub> es convertido en ácidos orgánicos (málico y oxaloacético con cuatro carbonos que no figuran en el ciclo Calvin). Durante el día, cuando los estomas están cerrados, el CO<sub>2</sub> es transferido a la ruta normal C3 para ser utilizado en otras partes de la planta.

La captura del CO<sub>2</sub> en las plantas C4, comienza en la reacción del CO<sub>2</sub> con el ácido fosfoenol pirúvico (PEP), catalizada por la enzima PEP-carboxilasa, con la formación de ácido oxalacético (OAA). El OAA se convierte a ácidos málico o aspártico (C4), que luego son transportados desde las células del mesófilo, hacia las células de la vaina amilífera. En las células de la vaina, el ácido málico (C4) es descarboxilado, produciéndose CO<sub>2</sub> y ácido pirúvico (C3). Luego el CO<sub>2</sub> entra al Ciclo de Calvin y el ácido pirúvico se convierte en PEP que retorna a las células del mesófilo. Los azúcares formados durante este proceso, se transportan por las nervaduras en los conductos del floema a toda la planta.

#### *Fotosíntesis CAM:*

Las plantas CAM deben su nombre a la abreviatura de Crassulacean acid metabolism, que significa *Metabolismo ácido de las crasuláceas*. Éstas se caracterizan por presentar carboxilaciones separadas en el tiempo, es decir absorben el CO<sub>2</sub> durante la noche y realizan fotosíntesis durante el día. Las plantas C<sub>4</sub> tienen modificado el mesófilo de las hojas y la incorporación del CO<sub>2</sub> en moléculas intermedias de cuatro carbonos (de ahí viene su nombre) como el malato y el aspartato, a fin de evitar la fotorespiración a bajas tensiones de CO<sub>2</sub> (menos de 50 ppm) y reducen la pérdida de vapor de agua por vía estomática (Achá & Fontúrbel 2000).

En las plantas CAM, esta adaptación fisiológica–morfológica va más allá que la de las plantas  $C_4$  puesto que se evita la evapotranspiración de gran manera manteniendo los estomas cerrados durante el día. Las plantas CAM más típicas son las crasuláceas, agaváceas, bromeliáceas y las cactáceas muchas orquídeas también se ajustan a este metabolismo fotosintético. La fotosíntesis CAM usualmente se presenta en plantas adaptadas a condiciones de temperatura y sequedad extremas, como por ejemplo un desierto.

Las plantas CAM fijan el  $CO_2$  en forma de malato solamente, durante la noche cuando la temperatura desciende y por lo tanto la pérdida de agua por evapotranspiración es mínima. El malato se almacena en tejido parenquimático de almacenamiento, con grandes vacuolas. Es por esta constitución anatómica que una gran parte de las plantas CAM son suculentas y tienen una gran cantidad de parénquima hídrico, a fin de almacenar agua y malato (Smith & Wood 1998).

La acumulación de malato durante la noche provoca una acidulación en los tejidos parenquimáticos de reserva, ésta la causa que provoca que las plantas CAM aparezcan agrias por la mañana y dulces por la tarde y al final del día, cuando todo el ácido fijado ha sido convertido en carbohidratos.

El aceptor del  $CO_2$  para su posterior fijación en malato es el fosfoenolpiruvato (PEP), al igual que en la vía  $C_4$ . El PEP sufre una carboxilación por la enzima PEP–carboxilasa, la cual lo convierte en oxaloacetato. Este oxaloacetato va a reaccionar con el  $CO_2$ , y mediante el empleo de una molécula de NADPH se convierte en malato (Azcón–Bieto & Talón 1993).

Usualmente las plantas CAM son facultativas, pudiendo manifestar el metabolismo CAM en ciertas condiciones y cambiar a fotosíntesis  $C_3$  en otras. Algunas plantas en días cortos y noches frías cambian de fotosíntesis  $C_3$  a fotosíntesis CAM. Muchas plantas del polo norte, cambian de  $C_3$  a CAM en condiciones de estrés salino, de igual manera muchas bromeliáceas, que pueden intercambiar entre estos mecanismos, de acuerdo a la disponibilidad de agua. Esto contrasta con las plantas  $C_4$  que son casi siempre  $C_4$  obligadas, puesto que las modificaciones morfo–anatómicas del mesófilo de la hoja impiden que se pueda cambiar la vía metabólica a  $C_3$  o CAM (Achá & Fontúrbel 2000).

La vía CAM emplea las mismas enzimas de descarboxilación de malato que la vía  $C_4$ , pero a diferencia de los mecanismos  $C_3$  y  $C_4$ , donde las reacciones están separadas en el espacio, en las plantas CAM todas las enzimas se encuentran en la misma célula pero las reacciones están separadas en el tiempo. La descarboxilación del malato en el día puede ocurrir a través de cualquiera de las enzimas descarboxilantes presentes en las plantas  $C_4$  dependiendo de cada especie. Según Azcón–Bieto y Talón (1993), estas enzimas son la PEP–CK, la NAD–ME y la NADP–ME. Estas enzimas representan un carácter distintivo entre las plantas  $C_4$ , pero no en las plantas CAM.

La vía CAM produce un gasto adicional de ATP en comparación a la fotosíntesis  $C_3$ , puesto que se debe emplear energía en la producción de PEP y la conversión de los sustratos y el  $CO_2$  a malato. Durante la descarboxilación es importante que la PEP carboxilasa esté regulada para evitar un ciclo fútil, en el cual el  $CO_2$  liberado por la descarboxilación sea nuevamente fijado para formar malato. En ciclo fútil implica un coste energético que no produce productos útiles para la planta. En las plantas  $C_4$  este ciclo se previene situando los pasos de descarboxilación en una parte distinta a donde se encuentra la PEP carboxilasa. En las plantas CAM el ciclo fútil se evita mediante la regulación de la PEP carboxilasa, durante el día la PEP carboxilasa es inhibida por malato, de forma que no está activa, no obstante en la noche la PEP carboxilasa es fosforilada en un residuo específico de serina, y en esta condición es insensible al malato. Durante la noche la PEP carboxilasa está activa incluso en presencia de malato.



En la regulación de la PEP carboxilasa intervienen los estomas de las plantas CAM, los cuales actúan de forma diferente que en las  $C_3$  y  $C_4$ , en las plantas CAM se abren durante la noche para permitir la fijación de  $CO_2$  en malato, y posteriormente se cierran durante el día evitando la evapotranspiración, de igual manera que ocurre en las plantas  $C_4$ .

La naturaleza opcional facultativa de las plantas CAM puede conducir a crear un gradiente metabólico que va desde la estricta fotosíntesis  $C_3$  a un intermedio fotosintético de  $C_3$  y CAM, a la fotosíntesis CAM plena y hacia lo que se conoce como CAM "inútil" ("idling"). En la fotosíntesis "inútil" los estomas se mantienen cerrados durante el día y la noche. Este modelo no permite una ganancia neta de carbono (pues no existe incorporación de  $CO_2$ ), pero permite que la pérdida del mismo y agua sea extremadamente baja. Este proceso explica el porqué algunas plantas de fotosíntesis tipo CAM pueden sobrevivir durante meses sin sistema radicular. Sin embargo, a menudo las plantas CAM pueden realizar fijación directa de  $CO_2$  además de CAM, en función al ciclo que describen Azcón-Bieto & Talón.

El PEP que es carboxilado en las plantas CAM para la formación de malato, proviene de la hidrólisis de carbohidratos de reserva –principalmente el almidón. La degradación del almidón a PEP se da por la vía glucolítica, la cual genera poder reductor en forma de NADH. El poder reductor puede ser recuperado compensando en la reconversión de PEP en almidón. La energía consumida en el CAM es requerida durante el día, necesitando ser muy poca durante la noche.

### ***c. Mecanismos de Control***

El mecanismo de control más importante del metabolismo fotosintético CAM está dado a nivel de la degradación de polisacáridos. Esta regulación sigue un patrón metabólico de control de degradación en base a la carga energética celular. Cuando en las células el nivel de ATP es alto, se inhiben las enzimas hidrolíticas encargadas de la degradación de polisacáridos para la producción de PEP, y la producción de este compuesto se reduce a un nivel basal.

El control específico de los productos en la luz y en la oscuridad es el que condiciona la acumulación de malato en la noche sin reaccionar por la noche, y su conversión a azúcares durante el día (Smith & Wood 1998). Este control lo da en gran medida la influencia de la luz, la cual determina la actividad o inactividad de las enzimas involucradas en los diferentes procesos. Por ello, la enzima PEP-carboxilasa está activa en la oscuridad e inactiva en el día.

Estas enzimas secundariamente presentan un control por retroalimentación ("feed-back") en el cual una elevada concentración de sustratos inhibe alostéricamente a las enzimas. Sin embargo, el control ejercido por la luz es predominante sobre la retroalimentación.

### ***d. Contexto Ecológico***

El contexto ecológico de los diferentes tipos de fotosíntesis lleva a comprender que es muy posible que sean una respuesta a condiciones del medio.

La fotosíntesis CAM es propia de plantas adaptadas a temperaturas extremas y ambientes secos, tales como un desierto o los polos terrestres. En estos medios el día suele ser sumamente caluroso y la noche muy fría, y al ser pobre el abastecimiento de agua las plantas que tengan que absorber  $CO_2$  durante el día perderían grandes cantidades de agua por evapotranspiración.

Esta adaptación morfo–anatómica y fisiológica se desarrolla de manera conjunta con otras adaptaciones para la economía hídrica, tales como aumento de parénquima hídrico, hojas reducidas a espinas o numerosos tricomas que cubren la epidermis de la planta a manera de una cabellera, para evitar la exposición directa de los rayos solares y así reducir el calentamiento de los tejidos.

Dada la flexibilidad metabólica (para cambiar entre C<sub>3</sub> y CAM) y la gran diversidad de este grupo de plantas, no sólo se las encuentran en ambientes agrestes como un desierto o los polos, sino que están ampliamente distribuidas por los diferentes biomas terrestres.

**Arqueobacterias** (del griego *arkhaios* = antiguo; *bakterion* = bastón): grupo de procariotas de unos 3.500 millones de años de antigüedad, presentan una serie de características diferenciales que hicieron que Carl Woese, profesor de la Universidad de Illinois, Urbana, U.S.A., proponga su separación del reino Moneras y la creación de uno nuevo: Archea, propuesta que hoy es cada vez mas aceptada.

**Autotrofos** (del griego *autos* = propio; *trophe* = nutrición): término utilizado para nombrar a organismos que sintetizan sus propios nutrientes a partir de materia inorgánica.

**ATP** (adenosín trifosfato): Principal producto químico utilizado por los sistemas vivos para almacenar energía, consiste en una base (adenina) unida a un azúcar (ribosa) y a tres fosfatos.

**Beta caroteno:** Carotenoide vegetal precursor de la vitamina A.

**Catalizador** (del griego *katalysis* = disolución): Sustancia que disminuye la energía de activación de una reacción química, acelerando la velocidad de la reacción.

**Carotenoides** (del latín *carota* = zanahoria): tipo de pigmentos que comprende a los carotenos ( de color amarillo, anaranjado o rojo) y a las xantofilas (de color amarillo). Químicamente terpeno compuesto por ocho unidades de isopreno.

**Células oclusivas:** Células epidérmicas especializadas que flanquean los estomas y cuyo cierre y apertura regula el intercambio de gas y la pérdida de agua

**Ciclo de Calvin** (o de Calvin-Benson o de Fijación del Carbono) Serie de reacciones bioquímicas mediadas por enzimas, mediante las cuales el anhídrido carbónico es reducido e incorporado en moléculas orgánicas que eventualmente algunas de ellas forman azúcares. En los eucariotas, esto ocurre en el estroma del cloroplasto.

**Clorofila** (del griego *khloros* = verde claro, verde amarillento; *phylos* = hoja): Pigmento verde que interviene en la captación de la energía lumínica durante la fotosíntesis.

**Cloroplasto:** (del griego *khloros* = verde claro, verde amarillento; *plastos* = formado): Organela de la célula de algas y plantas que posee el pigmento clorofila y, es el sitio de la fotosíntesis.

**Energía de activación:** La menor cantidad de energía requerida para que ocurra una determinada reacción química. Varía de reacción en reacción.

**Enzima**(del griego *en* = en; *zyme* = levadura): Molécula de proteína que actúa como catalizador en las reacciones bioquímicas.

**Epidérmis** ( del griego *epi* = encima; *derma* = piel): En plantas, la capa mas externa de células, a menudo cubierta por un cutícula cerosa. Provee protección a la planta.

**Estoma** (del griego *stoma* = boca): Aberturas en la epidermis de las hojas y tallos rodeados de células oclusivas, intervienen en el intercambio gaseoso.

**Eucariotas** (del griego *eu* = bueno, verdadero; *karyon* = núcleo, nuez): organismos caracterizados por poseer células con un núcleo verdadero rodeado por membrana. El registro arqueológico muestra su presencia en rocas de aproximadamente 1.200 a 1500 millones de años de antigüedad.

**Evolución** (del latín *e-* = fuera; *volvere* = girar): Cambio de los organismos por adaptación, variación, sobrerreproducción y reproducción/sobrevivencia diferencial, procesos a los que Charles Darwin y Alfred Wallace se refirieron como selección natural.

**Peroxisomas**: Son vesículas en las cuales se degradan las purinas y otros compuestos. En las plantas son el asiento de una serie de reacciones conocidas como fotorrespiración. En los peroxisomas se produce agua oxigenada, compuesto muy tóxico para la célula que es degradado rápidamente por una enzima.

**Quimiósmosis**: El proceso por el cual se forma el ATP en la membrana interna de la mitocondria. El sistema transportador de electrones transfiere protones del compartimiento interno al externo; a medida que los protones fluyen nuevamente hacia el compartimiento interno la energía del movimiento es usado para agregar fosfato al ADP para formar ATP. Tema ampliado

**Mesófilo**: parénquima fotosintético localizado entre las dos epidermis de la lámina de la hoja.

**Procariotas** (del latín *pro* = antes, del griego *karyon* = núcleo, nuez): Tipo de célula que carece de núcleo rodeado por membrana, posee un solo cromosoma circular y ribosomas que sedimentan a 70 S (los de los eucariotas lo hacen a 80S). Carecen de organelas rodeadas por membranas. Se consideran las primeras formas de vida sobre la Tierra, existen evidencias que indican que ya existían hace unos 3500 millones de años

#### **Transporte de electrones:**

1) Reacciones de oxidación/reducción en las cuales los electrones son pasados de una proteína/enzima ligada a membrana a otra hasta que finalmente son cedidos al aceptor final, generalmente oxígeno. Durante este proceso se forma ATP.

2) Reacciones acopladas durante las cuales se genera ATP a partir de la energía cedida por los electrones, que se mueven de un estado altamente reducido a otro de menor reducción.

**Vaina fascicular**: conjunto de células que rodean a los haces vasculares (conjunto de xilema y floema) de la lámina de la hoja.

**Referencias Fotosíntesis**: ACHÁ, D. & F. FONTÚRBEL & D. MONDACA. *Introducción a la Botánica. Manual Universitario*. Editorial Laboratorio de Biología "San Calixto", *Las plantas C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> y CAM*. Revista Estudiantil de Biología. AZCÓN-BIETO J. & M. TALÓN. *Bioquímica y fisiología vegetal* McGraw Hill, México. SMITH C. & E. WOOD, *Biosíntesis*. Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, EUA.

## 4.1 Restauración de Ecosistemas

### Restauración de suelos y ecosistemas en regiones donde se extrajeron Materias primas para producción de cemento

1. Extracción de Materiales
2. Restauración de Regiones
3. Especies de Árboles en la Restauración
  - A. Casuarina cunninghamiana.
  - B. Casuarina equisetifolia L.
  - C. Familia Casuarinaceae.
4. Zeolitas
5. Micorrizas
6. Trichoderma
7. Humus de Lombriz
8. Guano de Murciélagos

#### 1. Extracción de Materiales

---



Las materias primas (roca caliza, yeso, arena y arcilla) para producción de cemento, se obtienen de yacimientos a cielo abierto.

Las excavaciones e suelos se realizan generalmente a una profundidad entre 30 y 50 metros por encima de los niveles donde se encuentra agua subterránea.

## 2. Restauración de Regiones

---

La rehabilitación en estas zonas incluye el mejoramiento de los suelos para estar en posibilidad de sembrar árboles y otras plantas, formar estanques y lagos para el cultivo de peces.

De este modo se mejora aspecto del paisaje, las condiciones ambientales de biodiversidad, se crean microclimas convenientes para la vida silvestre y, en ocasiones incluso para producción agropecuaria.



el  
y

## 3. Especies de Árboles en la Restauración

---



### A. *Casuarina cunninghamiana*

Las Casuarinas se encuentran entre las especies de árboles comúnmente utilizados en la rehabilitación de suelos y ecosistemas en zonas excavadas para obtener materias primas utilizadas en la elaboración de cemento.

Las *Casuarina cunninghamiana*, son árboles que sobreviven en condiciones climáticas difíciles en suelos de escasa fertilidad. Con la ayuda de microorganismos simbióticos (*actinomycete Frankia*), estos árboles pueden fijar nitrógeno atmosférico de la atmósfera a los suelos para propiciar la fertilidad, y aprovechan bien los nutrientes en suelos rocosos. Las semillas de este árbol son muy pequeñas, el viento las dispersa fácilmente y de este modo se fomenta la expansión de esta especie de árbol. En campo se utiliza en ocasiones una mezcla de arena y sílice como sustrato en la siembra, conjuntamente con *inoculante de casuarina* para obtener los microorganismos que fijan nitrógeno al suelo.

Renuevan constantemente su follaje que tiene forma de agujas. El follaje que mudan queda apilado bajo los árboles y se decompone formando nutrientes aprovechables en los suelos. El proceso de descomposición es lento, debido al alto contenido de tanino en el follaje.



Sin embargo, los insectos comúnmente llamados "cien-pies" (*Scolopendra heros*) y "mil pies" (*Narceus americanus*) se alimentan gustosamente del follaje que han caído al suelo. El excremento de estos insectos se transforma en humus que mejora la calidad de los suelos.



Estos insectos juegan un papel fundamental porque en un período de 15 años pueden generar una capa de hasta 15 cm. de humus en los suelos que es fundamental para el desarrollo de otras especies vegetales.

En 6 meses, esta especie de casuarina puede alcanzar un altura de varios metros y proveer sombra suficiente para reducir la evaporación y cristalización de sales en suelos rocosos. Aún en etapa de desarrollo, los árboles en bosques atraen diversidad de animales invertebrados y a sus predadores incluyendo aves, pájaros, lagartijas, arácnidos y murciélagos que mediante su excremento dispersan semillas diversas de los vegetales que comen.

En estado de madurez, la Casuarina cunninghamiana, alcanza una altura entre 20 y 30 metros, y un diámetro en su tronco entre 0.50 y 1.5 metros. Los árboles jóvenes se desarrollan generalmente en forma piramidal con ramas ascendentes. La copa del árbol resulta más redondeada a mayor madurez del árbol.

La polinización se realiza mediante el viento. Las flores masculinas se forman en las puntas de los retoños. Las flores femeninas redondas se forman en las ramas y, cuando son fertilizadas forman conos de 6 a 10 mm. de diámetro que se abren en otoño y expulsan las semillas maduras (Boland et al. 1984, Turnbull et al. 1986).

Casuarina cunninghamiana tiene origen en Australia donde se desarrolla en suelos muy arenosos, bien drenados, a lo largo de arroyos y ríos, extendiéndose hacia valles adyacentes y rara vez en las colinas. En Australia se presenta en altitudes desde 20 hasta 1000 msnm. El PH en los suelos es generalmente ácido o neutro. El árbol puede presentar clorosis en suelos demasiado calcáreos (Turnbull et al. 1986). Requiere entre 500 y 1200 mm. de lluvia anuales, Una vez establecido, el árbol soporta períodos de sequías, pero su desarrollo se reduce al no encontrarse agua en el subsuelo. Soporta temperaturas anuales de -7°C a 32°C. Su madera posee una densidad de 800 a 900 kg./m<sup>3</sup>, se cota fácilmente, puede ser quemada verde o seca, genera poca ceniza. La madera con gravedad específica de 0.72 y 73% de biomasa total genera alrededor de 4500 calorías por gramo, es buen combustible (Rockwood et al. 1980). Puede ser propagada mediante semillas o estacas de madera joven tratadas con hormonas para romper el letargo y mejorar el desarrollo. En ocasiones es preferible producir las plántulas en invernadero. Las plántulas se siembran a distancia entre 1.5 y 3.0 metros. Es conveniente proteger las plantas jóvenes de animales como conejos, liebres, ganado, grillos y roedores. Es susceptible a la pudrición de raíz por *Phytophthora* y *Clitocybe*.

### ***B. Casuarina equisetifolia L.***

Especie exótica nativa del sureste de Asia, las islas del Pacífico y Australia, de 9 a 35 metros de altura. Hojas: perennifolia. Floración: abril a junio. Frutos maduros: de septiembre a diciembre. Distribución en México: Michoacán, Puebla, Oaxaca, Veracruz, Yucatán y Distrito Federal, entre otros.

Altitud: 0 a 1500 msnm.

Suelos: Ferrasol, Andosol; Alfisol, Ultisol, Entisol Inceptisoles. Profundidad: someros, < 50 cm. moderada a profunda. Textura: arcillosa, ligeramente arenosa y franca; de arenosa a franca desde bien drenados hasta estacionalmente inundables. Color: rojos. PH: ácido, neutro y alcalino; de neutro a alcalino. Materia orgánica: pobres. Sales: moderado. Fertilidad: baja.

Temperatura: 7 a 32 °C.

Precipitación: 250 a 2700 mm.

Propagación: semilla y estructuras vegetativas (estacas).

Las semillas pueden almacenarse con contenidos de humedad de 6 a 7% y temperaturas  $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ; tales condiciones permiten mantener la viabilidad por varios años. Generalmente estas semillas ortodoxas presentan periodo de letargo. Las semillas de esta especie no presentan latencia. Se recomienda para uniformizar la germinación remojar las semillas en agua tibia durante 24 hrs. antes de la siembra. Porcentajes de germinación: 11 a 70%. Tiempo de germinación: 4 a 15 días.

Sustrato: 55:35:10 - turba, vermiculita y perlita o agrolita.

El ácido indolbutírico (ABA) es eficaz para producción de raíces. En China los esquejes se sumergen durante 24 hrs. en solución de 10 -100 ppm de ácido indolacético o naftalenacético.

El éxito de la plantación dependerá de que las raíces se infecten con organismos simbióticos. Por ello es recomendable inocular bacterias y hongos endomicorrízicos, (*Francia* y *Glomus*).

La enfermedad de la marchitez causada por la bacteria *Pseudomonas solanacearum* ataca las raíces de los árboles a todas edades. La semilla debe ser protegida contra el ataque de hormigas y de insectos del género *Bachutripes*. Es común la pudrición de raíz causada por *Rhizoctonia spp.* y *Fusarium sp.*, además del ataque al follaje por *Pestalotia sp.*

En suelos previamente ocupados por *Quercus spp.*, la podredumbre fungosa causada por *Clitocybe tabescens* es una causa importante de mortandad. En Puerto Rico el gorgojo *Coelosterna scabrata* causa la muerte de los árboles pues barrena el interior de las raíces. Otros gusanos barrenadores de la corteza y madera son *Arbela tetraonis* y *Phassus malabaricus*.



## **C. Familia Casuarinaceae**

Familia de árboles y arbustos monoicos, alguna vez dioicos, de gran talla y aspecto similar al de las coníferas. Sus hojas se reducen a pequeñas escamas que se disponen en verticilos que rodean a los nudos muy próximos de los tallos. Flores pequeñas, unisexuales. Las masculinas dispuestas en espigas terminales en la parte alta de la planta.

Poseen 1-2 tépalos y 1 estambre. Las femeninas, agrupadas en cabezuelas en las partes bajas de la planta, carecen de perianto. Estas cabezuelas densas y esféricas u ovoides dan lugar a una infrutescencia que recuerda a una pequeña piña de un pino con escamas más o menos agudas.

Las semillas están ligeramente aladas. Comprende cuatro géneros y unas 90 especies originarias de Australia, islas del Pacífico y Sureste de Asia. Algunas producen maderas duras que se emplean en la fabricación de muebles. Se utilizan en suelos pobres y secos para restaurar ecosistemas y como árboles ornamentales.

### **Lugares de Origen:**

Casuarina Cunninghamiana: Australia.

Casuarina equisetifolia: Australia, Malasia y Polinesia

### **Etimología:**

El género Casuarina alude al Casuar, ave corredora australiana cuyo plumaje recuerda al follaje de ciertos árboles del género.

### **Origen de los Nombres:**

- *Casuarina Cunninghamiana* dedicada a Allan Cunningham, botánico inglés del siglo XIX que trabajó en Australia.
- *Casuarina Equisetifolia* alude a hojas parecidas a las del equiseto.

### **Descripción:**

- Son las especies de mayor altura en su género (30 a 35 m.).
- Copa piramidal, sobre todo en los primeros años.
- Tronco recto y corteza áspera fisurada.
- Ramas erectas tendientes a forma de de péndulo.
- De lejos tienen el aspecto de pino (inexpertos en Botánica las confunden con pinos).
- Lo que a simple vista son las hojas aciculares son realmente ramillas delgadas que asumen el papel de hojas en cuanto a fotosíntesis se refiere.
- Las verdaderas hojas son escamas pequeñas dispuestas en los nudos de las ramillas (se requiere lupa para observarlas). En la *Casuarina Cunninghamiana* el número de escamas es de 8-10 en cada nudo o verticilo y, en la *Casuarina equisetifolia* L. es de 6-7-8.
- Flores unisexuales. Las masculinas dispuestas en espigas terminales. Las femeninas en espigas cónicas en axilas de escamas foliares.
- Frutos globosos con alrededor de 1 cm de diámetro, bractéolas prominentes, aglomeradas.
- Semillas aladas, de 3 a 5 mm. en *C. Cunninghamiana* y hasta 7 mm. en *C. equisetifolia*.
- Se multiplican por semillas fácilmente. Poniendo los frutos a secar, se desprenden las semillas que con buen almacenaje pueden ser viables por un periodo de 1-2 años.
- La germinación, sin tratamientos previos, suele ser alta.



- Las casuarinas tienen pocas exigencias, siendo quizás *C. Cunninghamiana* la más exigente en cuanto a temperatura y calidad del suelo.
- Soportan la proximidad del mar y los suelos pobres y salinos.
- Ejemplares aislados desarrollan todo su porte. En alineaciones hay que disponer de espacio suficiente.

### **Especies de los géneros *Allocasuarina*:**

*Allocasuarina L. Johnson*

Arbustos o árboles dioicos o monoicos con ramillas articuladas. Hojas en verticilos de 4-14. Flores masculinas en espigas sobre ramillas diferentes a las ramillas vegetativas. Inflorescencias femeninas en ramas cortas laterales. Infructescencia (conos) con pedúnculos o sésiles. Semillas marrones a negruzcas. Comprende 59 especies endémicas de Australia.

*Allocasuarina torulosa* (Ait.) L. Johnson  
*Allocasuarina verticillata* (Lam.) L. Johnson  
*Allocasuarina littoralis* (Salisb.) L. Johnson

Árboles monoicos o dioicos con ramillas caducas y persistentes diferentes, articuladas. Hojas en verticilos de 5-20. Inflorescencias masculinas en espigas simples. Inflorescencias femeninas en cortas ramas laterales. Conos pedunculados, pubescentes al principio. Semillas marrón amarillentas o grisáceas.

## **4. Zeolitas**

---



La zeolita es un mineral polifacético y multipropósito, cuya presencia se hace imprescindible en algunos procesos agrícolas, pecuarios, sanitarios e industriales. Se presenta naturalmente en rocas de origen volcánico. Son minerales del grupo aluminio-silicatos hidratados compuestos por aluminio, sílice, hidrógeno y oxígeno, organizados en estructura tridimensional tetraédrica altamente estable. La estructura de estos elementos conforman cristales de zeolitas que poseen una red

de micro-poros interconectados entre sí cuyos diámetros varían dependiendo del tipo de mineral de Zeolita.

El nombre zeolita (del griego *zeein*-hervir y *lithos*-piedra) fue dado por el investigador Sueco, Barón de Cronsted, quien en 1756 descubrió variedades cristales bien definidos en cavidades de rocas basálticas. Las Zeolitas son los únicos silicatos de aluminio que hierven al ser calentados en tubo de ensayo con bórax. En Cuba, a partir del año 1970 comenzaron a realizarse investigaciones sobre Zeolita en laboratorio y campo. En 1980, Cuba inicia la comercialización de Zeolita nacional e internacionalmente. Los potenciales de Zeolita en el territorio Cubano se estiman en 1000 millones de toneladas distribuidas en 4 provincias: Villa Clara - Sancti Spíritus - Camagüey y Santiago de Cuba).

*Las Zeolitas Sintéticas* han sido producidas a nivel industrial mediante la modificación de sus cationes, logrando de este modo un producto similar al obtenido en condiciones naturales. Se han tomado las características de las Zeolitas Naturales (*Faujasita*, *Chabacita* y *Mordenita* particularmente) como patrón para la fabricación de Zeolitas sintéticas.

*Las Zeolitas Naturales* se agrupan en cantidades significativas que constituyen yacimientos. Se conocen cerca de 50 minerales de esta familia, entre los cuales tenemos los siguiente:

*Analcima, Chabacita, Stilbita, Heulandita, Heroinita, Gismondita, Faujasita, Laumontita, Mordenita, Clinoptilolita, Gonnardita, Ferrierita, Epistilbita, Filippsita, Natrolita.*

*La Mordenita y la Clinoptilolita*, son los minerales zeolíticos mas conocidos por sus usos y aplicaciones. La Clinoptilolita es una Zeolita natural formada a partir de cenizas volcánicas en lagos o aguas marinas hace millones de años. Es la más estudiada y considerada de mayor utilidad. Se le conoce como absorbente de algunos gases tóxicos como el sulfito de hidrógeno y el dióxido de azufre. Son pocos los países que cuentan con yacimientos de Zeolita en explotación, entre ellos: Japón, Italia, Estados Unidos, México, Rusia, Hungría, Bulgaria, Cuba y Yugoslavia. La composición de las Zeolitas naturales es similar a la de los minerales arcillosos que forman los suelos, porque ambos son aluminio-silicatos. Sin embargo, presentan gran diferencia en su estructura cristalina.

En las arcillas de los suelos, la estructura cristalina es laminar, conformada por láminas de silicio y aluminio (similar a un paquete de naipes o barajas), clasificada como filo-silicatos. La absorción de agua y nutrientes provoca la separación de las capas produciendo aumento de volumen. Por el contrario, las Zeolitas tienen una estructura cristalina porosa tridimensional rígida (similar a un panal de abejas), conformado por una red túneles y canales conectados entre sí, creando de ésta forma una inmensa área superficial para realizar intercambios, absorción de nutrientes y de humedad.

El agua entra y sale libremente de los poros sin producir cambios en la estructura que permanece rígida. Las dimensiones de los poros es bastante uniforme, lo cual permite al cristal actuar como tamiz molecular. Esta porosidad en las Zeolitas, admite almacenamiento de moléculas de agua y de iones como: Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio, así como gran variedad de cationes que poseen tamaño adecuado para penetrar a través del sistema de poros. Una de las propiedades más importantes de las Zeolitas es su habilidad para intercambiar cationes.

Esto se produce cuando ocurre la sustitución de un ión de Aluminio por uno de Silicio en el enrejado cristalino de la zeolita, quedando una carga negativa libre en la estructura de ésta, la cual provoca la entrada a los sitios de intercambio, de un catión para la compensación o neutralización eléctrica en el cristal. Esto hace que se incremente la capacidad de intercambio catiónico de la zeolita. La composición química de las Zeolitas naturales varía en función del tipo de zeolita, así como de las condiciones ambientales donde se formaron. Es factible encontrar zeolitas asociadas a minerales no-zeolíticos. Sin embargo las Zeolitas son reconocidas químicamente por su alto contenido de compuestos aluminio-silicatos. Por sus características estructurales las Zeolitas intercambian y absorben selectivamente cationes. Permiten el paso de algunos iones atrapando otros. De aquí las tres características de las Zeolitas: a) Intercambio iónico reversible. b) Capacidad de absorción. c) Tamiz molecular.

Es notable la baja densidad en las Zeolitas Naturales (muy livianas); su elevada capacidad de intercambio catiónico (Potasio por Sodio; Calcio por Magnesio; entre otros.); su alto poder de absorción; y su gran capacidad de hidratación y deshidratación. Alrededor del 50% del volumen en la Zeolita está constituido espacios porosos que le confieren una capacidad de absorción significativa. La deshidratación o hidratación repetida en la Zeolita, no cambia su estructura. Esto ofrece posibilidades en la agricultura y otras ramas. Las Zeolitas son resistentes a la pulverización, tienen baja resistencia al desgaste por fricción, y no se convierten en terrones. Debido a sus propiedades absorbentes; capacidad de intercambio iónico reversible y alta selectividad para algunos cationes como amonio, metales alcalinos, alcalinos-térreos y iones metálicos como Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, y Cd, las Zeolitas naturales son en ocasiones adecuadas en el tratamiento de aguas residuales.

No todos los minerales de Zeolitas son iguales. Algunos son eficientes en el desarrollo de las plantas, mientras que otros pueden ser medios filtrantes excelentes. Hay que conocer bien las propiedades de las Zeolitas para que la selección sea adecuada en función de la aplicación. Es la estructura cristalina y la composición química en las Zeolitas lo que indica sobre las diferencias primarias a partir de las cuales se producen cambios en la densidad de las partículas, selectividad catiónica y tamaño de los poros. Por ejemplo, la Clinoptilolita, tiene 16 % más poros que la Analcima.

Las variaciones no ocurren únicamente entre diferentes tipos de Zeolitas, sino también en las propiedades físicas y químicas dentro del mismo tipo de mineral. Las variaciones dependen del yacimiento, entre una localidad y otra; las condiciones medioambientales y los procesos de génesis geológica de mineral. Esto provoca cambios significativos en la calidad del mineral, como por ejemplo, una mayor o menor concentración de impurezas durante el proceso de formación. En este sentido, la diferencia que requiere atención, es la composición catiónica intercambiable que poseen las Zeolitas. Los sitios de intercambio de las Zeolitas naturales están ocupados particularmente por cationes de calcio, potasio, sodio y magnesio. La concentración de estos elementos dependerá de las condiciones geológicas ambientales en cada región.

Las zeolitas permiten que a través del procesos químicos, unos cationes puedan ser sustituidos por otros. Esto permite rediseñar la concentración de cationes en el mineral de zeolita de acuerdo con objetivos específicos. Por ejemplo: A) Si queremos eliminar microorganismos patógenos en el proceso de potabilización de aguas, se modifica la Zeolita con un catión que tenga efecto bactericida. B) Si deseamos desarrollar plantas sobre un sustrato puramente de Zeolita, podemos suplir los cationes que posee el mineral por macro y micro-elementos que requiere el cultivo sin necesidad de fertilización química.

#### *Beneficios de la Zeolita en los Suelos:*

Mejora las propiedades físicas (estructura, retención de humedad, aireación, porosidad, densidad, ascensión capilar, etc.) y químicas (PH, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y micro nutrientes).

Aumenta la capacidad de intercambio catiónico; disminuye los contenidos de sodio; propicia estabilidad en la materia orgánica y evita pérdidas de materia orgánica por mineralización; aumenta la retención de nutrientes que permite reducir la aplicación de fertilizantes químicos que se aplican tradicionalmente y la retención de humedad permitiendo reducir las dosis de agua de riego.

Mejora la nivelación del terreno debido al mejoramiento de su estructura; controla la acidez incrementando el PH, debido a su capacidad alcalinizadora; aumenta la resistencia a la compactación del suelo; suministra una superficie ideal para la adherencia de bacterias nitrificantes que propician mayor nitrificación. Por esta misma razón aumenta la población de bacterias que atacan a hongos patógenos; la estructura porosa de las zeolitas ayuda a mantener el suelo aireado y facilita la buena relación entre nutrientes.

#### *Beneficios de las Zeolita en la Producción con Fertilizantes Orgánicos:*

Disminuye los lixiviados que contaminan las fuentes de agua pura; controla olores desagradables y aumenta la calidad del compostaje; disminuye las pérdidas de nutrientes por volatilización que se producen durante el proceso de producción; acelera el proceso de descomposición de residuos orgánicos para conversión en fertilizantes orgánicos; al tener menos pérdidas de nutrientes incrementa la calidad biológica de los fertilizantes orgánicos.

### *La Zeolitas en la Producción con Fertilizantes Químicos y Organominerales:*

Actúan como fertilizantes de liberación lenta. Tienen estructura cargada negativamente que contiene nutrientes como Potasio y el Nitrógeno. Pueden cargarse con estos iones antes de utilizarse como medio de cultivo para después liberar los nutrientes cerca de las raíces donde son necesarios. Incrementan la eficiencia en el uso de los fertilizantes químicos y organominerales.

No solamente actúan como fertilizante de lenta liberación, retardando o reduciendo los lixiviados en la zona de raíces, sino también reduciendo la migración de nutrientes de la zona de las raíces hacia aguas puras profundas.

Aumentan la eficiencia de los fertilizantes por su capacidad para liberar nutrientes lentamente. Mejora las características de los fertilizantes sólidos, debido a su resistencia a la pulverización, su baja capacidad erosiva y resistencia a la formación de terrones, así como por su capacidad para absorber líquidos.

### *Beneficios de las Zeolitas en la Sanidad Vegetal:*

Absorción, retención y neutralización de elementos pesados presentes en pesticidas químicos evitando daños para animales y personas.

### *Beneficios de las Zeolitas en la Mecanización Agrícola:*

La presencia de zeolitas en los suelos facilita las labores de mecanización, debido a que el suelo se encuentra menos compactado. Al estar menos compactado se facilita la tracción y se incrementa la economía en labores agrícolas porque se realizan en menor tiempo y con menor gasto de combustible.

### *Beneficios de las Zeolitas en la Ganadería.*

Absorbe iones de metales pesados filtrando aguas en la actividad ganadera. Permite mejor conversión de la biomasa en biogás, porque al mezclarse con las excretas empleadas para la obtención del biogás disminuye su contenido de agua y absorbe gases sulfhídricos y mercaptanos. La Clinoptilolita actúa como punto de anclaje para micotoxinas y ayudan a controlar las aflatoxinas en forrajes.

### *Beneficios de las Zeolitas en Cultivos Artificiales:*

Como sustrato en cultivos hidropónicos y zeopónicos se consigue reducir la cantidad de fertilizantes, consumo de agua y mejorar la salud de las plantas.

*Fuente: Investigadores; María R. Soroa; Sara L. Cortés y Blanca de la Noval; INCA, San José, La Habana, Cuba. Ing. Omar Pérez. Ing. Gonzalo Bernaza y el Lic. Miguel Acosta, Cuba 2006.*

## 5. Micorrizas

---



El origen de las Micorrizas se remonta al período *Devónico*, a partir del cual hongos y plantas evolucionaron hasta lo que son actualmente. El botánico alemán Albert Bernard Frank, en 1885 creó el término Micorriza (*Mycos*-hongo, *Rhiza*-raíz) para designar la asociación que se presenta entre hifas de algunos hongos del suelo y las raíces de la gran mayoría de las plantas superiores. Algunos autores identifican a las Micorrizas como: "*la asociación simbiótica entre determinadas especies de hongos del suelo y las raicillas de diferentes especies de plantas*". Es decir, dependencia entre hongo y raíz, unión armónica e íntima de ayuda mutua entre hongo y raicillas de una planta.

El hongo coloniza las raicillas desarrollando un filamento micélico (conducto compuesto por muchas hifas) que ayuda a la planta a adquirir nutrientes y agua del suelo. De este modo, el hongo al extenderse en el área radical de la planta propicia que la planta aumente su capacidad para sostenerse en el suelo, mejorando su resistencia y adaptabilidad. A cambio, el hongo recibe de la planta hidratos de carbono (azúcares, almidones, etc), que requiere para su alimentación. Estos hidratos de carbono provienen de la fotosíntesis realizada por la planta. La mayoría de las plantas realizan esta simbiosis con los hongos cuando las condiciones medioambientales son favorables a ambos.

Las Micorrizas se forman de particularmente en suelos de bosques húmedos, ricos en humus y materia orgánica donde se facilita el desarrollo de los hongos. Sin embargo, las Micorrizas no solo se encuentran en los bosques y plantas arbóreas, sino también en las herbáceas perennes e incluso en las anuales como el trigo, en terrenos ricos en humus. Muchísimas especies de hongos viven en simbiosis micorrízica con las plantas superiores. La incidencia de Micorrizas ayuda a que las plantas inferiores micorrizadas se desarrollen y sobrevivan en terrenos con exceso de humedad y demasiado humificados, donde por sí mismas no podrían sobrevivir, como por ejemplo, en especies desprovistas de clorofila como *Neottia*, *Coralrhiza* y *Monotropia*, en las que su alimentación depende totalmente del hongo.

También los musgos y helechos necesitan del hongo para nutrirse. El proceso de Micorrización que se desarrolla naturalmente en los suelos es inofensivo para animales y humanos. Las Micorrizas de mayor importancia son: Endomicorrizas, Ectomicorrizas y Ectoendomicorrizas.

### *Las Endomicorrizas o Micorrizas Endotróficas:*

Gran cantidad de hongos en el terreno invaden las partes jóvenes de las raíces, y penetran incluso en ocasiones hasta las células del parénquima sub-epidérmico. Esta acción no afecta a las células de los tejidos y se establece el intercambio a ese nivel celular. El micelio de los hongos penetra en el tejido cortical de la raíz de la planta y provoca una infección progresiva de las células de la corteza. Un ejemplo de este proceso, se percibe en la *Micorriza Vesículo-Arbuscular*, que forma micelios ramificados, similares a un árbol (arbusculos), en las células de la corteza actuando como órganos nutritivos mediante los cuales se realiza el metabolismo simbiótico entre hongo y planta. Así mismo, se forman vesículas como órganos de reserva. Los micelios fúngicos no sólo penetran en la capa cortical de la raíz, sino que se alojan en el interior de sus células donde una parte son digeridas por la planta huésped que se beneficia de los albuminoides y nitrógeno orgánico.

Se forman Endomicorrizas en las plantas de las familias Ericáceas, Liliáceas y Orquidíaceas. Dentro de este grupo existen tres tipos característicos: Orquideomicorrizas (asociadas a Orquidíaceas); Ericomicorrizas (ligadas a la Familia Ericáceas y con muchas similitudes estructurales con las ectoendomicorrizas; Micorrizas Vesículo-Arbusculares (caracterizadas por formar arbusculos intracelulares) son las más abundantes y de mayor importancia ecológica y económica.

#### *Las Ectomicorrizas o Micorrizas Ectotróficas:*

Las hifas fúngicas permanecen comúnmente en la superficie epidérmica, alrededor de la cual forman una vellosidad que reemplaza a los pelos radicales. Rodean de una densa capa de micelios (Red de Harting) las partes más finas de la raíces hasta envolverlas por completo, y penetran intracelularmente en el parénquima de la corteza sin infectar sus células. Los hongos que las forman son Basidiomicetes y Ascomicetes principalmente. Se forman Ectomicorrizas principalmente sobre especies forestales y leñosas: avellanos, abedules, coníferas, etc. Sus filamentos micélicos, aunque pueden insinuarse a través de los espacios intercelulares de la raíz no penetran en sus células. Si las Ectomicorrizas no están en contacto con una raíz su crecimiento es limitado y pueden morir rápidamente. Colonizan las raíces por un corto período entre 5 y 12 días.

#### *Las Ectoendomicorrizas o Micorrizas Ectoendotróficas:*

Constituyen una estructura intermedia: pequeño grupo de plantas y micelios. Es un grupo menos numeroso, sus funciones son similares al grupo de Ectomicorrizas, aunque también desarrollan funciones similares a algunas Endomicorrizas. Las Ectoendomicorrizas son frecuentísimas en las plantas leñosas; las coníferas, cupulíferas y betuláceas, que son los más importantes elementos de la vegetación forestal de las regiones templadas. Hay otros grupos de Micorrizas, pero que no tienen interés económico, ni ecológico. Algunas plantas acuáticas y pantanosas no forman Micorrizas.

#### *¿Cómo se produce la simbiosis para formar las Micorrizas?.*

*En el Primer Paso*, se produce *identificación* mutua planta-hongo / hongo-planta, en la rizósfera, o en regiones próximas a las raíces o pelos radicales. La identificación es al parecer por sustancias exudadas desde la raíz que provocan el crecimiento del micelio y un biotropismo positivo del mismo hacia la raíz.

*El Segundo Paso* consiste en el acercamiento y *acoplamiento* progresivo y gradual del micelio y la raicilla produciéndose el contacto intercelular al formarse una estructura que ata ambas biomasas.

*En el Tercer Paso* se realiza la *colonización* y se producen cambios morfológicos y estructurales tanto en los tejidos colonizados por el hongo, como en la organización de la pared celular de la raíz. Posteriormente se produce la integración fisiológica de ambos simbioses (hongo-raíz) y, por último, se produce una alteración de las actividades enzimáticas que se coordinan entre los simbioses para integrar sus procesos metabólicos.

Este proceso de asociación para formar *Micorrizas* provoca alteraciones morfológicas y anatómicas en las plantas colonizadas tales como cambios en: la relación tallo raíz; la estructura de los tejidos radicales; el número de cloroplastos; aumento de la lignificación; alteración de los balances hormonales, etc.

Efectos que no sólo son explicables como simple mejora nutritiva de la planta, debido al aumento de eficacia en la absorción de nutrientes por la raíz, gracias a la formación de la Micorriza, sino que responde a cambios metabólicos más profundos y complejos, debidos a la integración fisiológica de los simbioses.

Si bien las asociaciones micorrízicas se consideran en general no específicas, es decir que cualquier hongo simbiote puede colonizar cualquier planta receptiva, existen sin embargo "preferencias" de acuerdo con la afinidad y compatibilidad entre hongo y planta. En contraste, existen también casos en que la *total inespecificidad asociativa*, hace que varias especies forestales estén colonizadas al mismo tiempo por formaciones tan distintas como: Ectomicorrizas y Endomicorrizas.

*¿Cuáles son los beneficios de las Micorrizas para las plantas?*

Se puede afirmar que el principal beneficio de las Micorrizas está relacionado con la *nutrición de las plantas*. El proceso de nutrición por medio de Micorrizas está muy difundido entre los vegetales, y tiene importancia porque permite la vida de las plantas en determinadas condiciones facilitando la toma de alimentos por parte de las plantas superiores en competencia con la infinita y mucho mas adaptable microflora del suelo.

Son muchos los beneficios que brindan las *Micorrizas* a las plantas. Esto las convierte en fieles aliadas de productores, empresarios, investigadores, científicos y población en general. A continuación los mas importantes: Mejor asimilación de nutrientes que se traduce en aumento y mejor calidad biológica de la producción. Mayor tolerancia de las plantas frente a factores de estrés, sequía, desequilibrios en el PH, altos contenidos de sales y exceso de viento. Esto se debe a que facilitan una adecuada evapo-transpiración de la planta y mejor funcionamiento fisiológico en sentido general. Al estar mejor nutridas las plantas se propicia mayor resistencia frente a organismos patógenos mejorando la salud sin aplicación de agro-tóxicos.

Son sumamente importantes para el crecimiento de las plantas. Esto tiene mayor importancia en regiones donde la producción agropecuaria se encuentra por debajo de niveles óptimos. También en cultivos bajo buenas condiciones pueden obtenerse efectos positivos después de una inoculación con Micorriza. El desarrollo óptimo de los cultivos demanda una elevada aplicación de fertilizantes minerales y pesticidas.

El uso de químicos implica no solo un costo alto y requerimientos energéticos elevados, sino que su aporte puede provocar problemas de salinización y contaminación de mantos acuíferos. El empleo de Micorrizas significa un ahorro en insumos y mejor protección del medio ambiente. La inoculación de las plantas con hongos micorrizógenos provoca generalmente un marcado incremento en los procesos de absorción y traslocación de nutrientes como: N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mo, Fe, Mn.

Un aspecto de interés en el empleo de Micorrizas es el relacionado con la nutrición del Fósforo (P). Las Micorrizas desempeñan un importante papel en la absorción del P en los suelos, principalmente en zonas tropicales donde las cantidades de P asimilables a las plantas son frecuentemente bajas. Mayor resistencia de las plantas a las toxinas. En suelos afectados por metales pesados, las plantas micorrizadas poseen mayor resistencia, debido a la capacidad que se logra para inmovilizar los metales pesados en la raíz impidiendo que pasen a la parte aérea de la planta.

### *Efectos benéficos de las Micorrizas en los suelos:*

Los efectos benéficos de las Micorrizas en el suelo están estrechamente relacionados con las plantas. Las Micorrizas realizan funciones en el suelo que incrementan el potencial agro productivo y su sostenimiento. Los principales efectos benéficos son:

Prolongan el sistema radical de las plantas, facilitando la retención de partículas de suelo que evitan los efectos dañinos de la erosión causada por agua. Regeneran suelos degradados, porque facilitan el mejoramiento de su estructura e incrementan las posibilidades de retención de humedad, aireación y descomposición de la materia orgánica.

Movilizan nutrientes que anteriormente no estaban disponibles para las plantas e incrementan la fertilidad de los suelos. En suelos menos fértiles, se necesitarán más estructuras fúngicas para lograr una mayor eficiencia micorrízica. Mejoran la capacidad productiva de los suelos afectados por la desertificación, salinización, erosión hídrica y eólica. Tienen un papel importante en los ecosistemas donde se desarrollan, porque interactúan con diversos microorganismos del suelo estableciendo cooperaciones provechosas frente a patógenos e interactuando con la micro-fauna de la rizósfera (Nemátodos, Afidos, Acaros, entre otros).

Prolongan la vida de los suelos agrícolas productivos y contribuyen a un uso más diverso, económico y ecológico de los suelos. En zonas áridas y semiáridas las Micorrizas pueden ayudar a las plantas simbiotas a captar agua para tolerar el estrés hídrico. Generan sustancias aglomerantes (*Glomalina*) que actúan como aglutinantes, promoviendo una mayor capacidad y estabilidad física, química y biológica de los suelos.

### *¿Qué es la Glomalina y cuáles son sus principales efectos benéficos ?*

La Glomalina es una proteína producida abundantemente por hifas de diferentes especies de hongos en el suelo. Es un compuesto muy estable, insoluble en agua cuya presencia es mayor en suelos que no han sufrido daños a causa de un mal manejo. Aún cuando la producción de Glomalina se presenta naturalmente en varias especies de hongos, se ha comprobado que se genera más Glomalina en Micorrizas que en hongos. Los hongos micorrizógenos producen más de esta proteína que los hongos no micorrizógenos. Así mismo, la Glomalina, es un compuesto esencial en la materia orgánica del suelo, juega un papel fundamental en la retención de la materia orgánica, y es una de las principales causas de la mejoría en las estructuras del suelo.

Aglutina en promedio 27% del carbón total y sólo 8% de los ácidos húmicos. Está presente en los suelos en un porcentaje 2 a 24 veces superior a los ácidos húmicos que anteriormente se consideraban únicos responsables de la capacidad aglomerante de la materia orgánica. Se encuentra presente en prácticamente todos los suelos del mundo. La materia orgánica del suelo, no solamente es importante desde el punto de vista agronómico, sino también por su capacidad para almacenar carbono atmosférico frente a los efectos del Calentamiento Global.

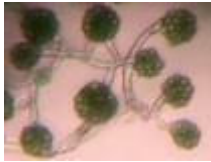
En resumen, los efectos benéficos de la Glomalina son los siguientes: Contribuye a lograr alta estabilidad estructural en los suelos. Mayor resistencia a la degradación física, química y biológica. Aporta materia orgánica extremadamente resistente a la degradación. Retiene carbono en el suelo. Tiene mayor presencia que los ácidos húmicos y fúlvicos en los suelos, por lo tanto su influencia en la materia orgánica de éstos es mayor.



Fuente: Investigadores; María R. Soroa; Sara L. Cortés y Blanca de la Noval; INCA, San José, La Habana, Cuba. Ing. Omar Páez. Ing. Gonzalo Bernaza y el Lic. Miguel Acosta, Cuba 2006.

## 6. Trichoderma

---



El *Trichoderma* es un hongo anaerobio facultativo que se encuentra naturalmente en buen número de suelos agrícolas y otros medios. Pertenece a la subdivisión Deuteromicete que se caracteriza por no presentar estado sexual determinado. De este microorganismo existen más de 30 especies, todas ellas con efectos benéficos para la agricultura y otras ramas. Se encuentra ampliamente distribuido en el mundo dentro de diferentes zonas y hábitats, especialmente en suelos que contienen materia orgánica o desechos vegetales en descomposición y en residuos de cultivos, especialmente en aquellos que son atacados por otros hongos. Su desarrollo se ve favorecido por la presencia de altas densidades de raíces que son colonizadas rápidamente por estos microorganismos. Su capacidad de adaptación a diversas condiciones medioambientales y sustratos confieren a *Trichoderma* la posibilidad de ser utilizado en diferentes suelos, cultivos, climas y procesos tecnológicos.

Tiene ventajas como agente de control biológico, debido a su rápido crecimiento. Produce gran cantidad de enzimas, inducibles con la presencia de hongos fitopatógenos. Se desarrolla en amplia gama de sustratos, lo cual facilita su producción masiva para uso en la agricultura. Su tolerancia a condiciones ambientales extremas donde los hongos son causantes de enfermedades, le permiten ser agente eficiente de control. Pueden sobrevivir en medios con contenidos significativos de pesticidas y otros agroquímicos. Su variabilidad se constituye en reservorio de posibilidades de control biológico bajo diferentes sistemas de producción y cultivos.

Trichoderma, toma nutrientes de los hongos y de materiales orgánicos ayudando a su descomposición. La incorporación de materia orgánica y composta lo favorecen. Requiere de humedad para germinar. Su velocidad de crecimiento es alta. Por esta razón es capaz establecerse en los suelos y controlar enfermedades. Probablemente sea el hongo benéfico, más versátil y polifacético en los suelos. Al parecer, este microorganismo no es patógeno de ninguna planta. Sin embargo, es capaz de parasitar, controlar y destruir otros hongos, nemátodos y fitopatógenos que atacan y destruyen cultivos.

Produce sustancias que estimulan el desarrollo de las plantas. Estas sustancias actúan como aceleradores de los tejidos meristemáticos primarios en las partes jóvenes de las plantas, acelerando su reproducción celular y logrando que las alcancen un desarrollo mas rápido. Coloniza las semillas para siembra, protegiendo a futuras plántulas de patógenos fúngicos en la fase post-emergente.

Es decir, cepas de Trichoderma son capaces de colonizar la superficie de la raíz y de la rizósfera a partir de la semillas tratadas y de plantas adultas protegiéndolas de enfermedades fungosas. El tratamiento de las semillas reduce la presencia de contaminantes externos como *Rhizopus stolonifer* y otras especies de hongos en cucurbitáceas, col, cebolla, rábano, remolacha, zanahoria, habichuela, tomate y pimiento entre otros. Su utilización en cultivos a rotar dentro de áreas altamente infectadas contribuye a reducir la población del patógeno en menor tiempo.

Tiene poder antibiótico que actúa contra algunos microorganismos fitopatógenos. Se comporta como saprofito en la rizosfera, siendo capaz de destruir residuos de plantas infectadas por patógenos. Se considera su acción antagonista capaz de obtener provecho de sus adaptabilidad al medio.

Puede degradar algunos pesticidas. Posee resistencia innata al efecto de algunos agroquímicos. Sin embargo, su nivel de resistencia difiere entre cepas. Algunas líneas han sido seleccionadas o modificadas para ser resistentes a agroquímicos específicos. Solubiliza los fosfatos insolubles en el suelo facilitando su asimilación por los cultivos.

Es compatible con el biofertilizante a base de *Azotobacter chroococcum* (bacteria fijadora de nitrógeno) por lo que se establecen relaciones de colaboración mutua que propicia beneficio en la nutrición de los cultivos. En sustratos zeopónicos permanece por mayor tiempo en la zeolita que en otros sustratos minerales como roca basáltica, gravas, piedra pómez.

*Fuente: Ing. Omar Páez, Ing. Gonzalo Bernaza, Lic. Miguel Acosta (Cuba 2006).*

## 7. Humus de Lombriz

---



El humus de lombriz restaura suelos erosionados y degradados. Mejora su calidad reestableciendo el humus indispensable para la vida vegetal. La lombricultura en algunas regiones resulta indispensable para sostener las unidades de producción agrícola y restaurar ecosistemas.

En Europa, la demanda de humus de lombriz es generalmente mayor que la oferta de lombrices y de humus de lombriz. Los mercados para exportación de humus y lombrices están en África, Arabia y algunos países de Asia.

Las lombrices rojas *Eisenia Foetida* para producción de humus, comenzaron a ser criadas intensivamente en California EUA a partir del año 1950. Esta lombriz es originaria de Europa y Asia. No es un híbrido, sino resultado de la selección natural. Es la más cultivada en el mundo debido a su rusticidad, tolerancia a factores ambientales, potencial reproductivo y capacidad de congregación. Su color es rojo oscuro; respira a través de su piel; mide entre 6 y 8 centímetros de longitud; y entre 3 y 5 milímetros de diámetro; su peso es entre 0.24 y 1.4 gramos; no soporta la luz solar; muere en unos minutos cuando se expone a la radiación directa del sol; vive unos 4 años; y puede llegar a producir 1300 lombrices por año. La lombriz avanza excavando en los suelos. A medida que come deposita su excremento que sirve para aumentar la fertilidad del terreno en rangos proporcionales superiores a los que se logran con fertilizantes químicos.

Es posible criar éstas lombrices en lugares donde las temperaturas no superen los 40 grados centígrados de manera continua. Su máxima capacidad de producción se alcanza en temperaturas que oscilan entre 14 y 27 grados centígrados. Cuando la temperatura es inferior a 7 grados centígrados, las lombrices no se reproducen, pero continúan aportando abono mediante su excremento, aunque en menor cantidad, debido a que comen menos.

Las lombrices adultas pesan entre 0.24 y 1.4 gramos y comen una cantidad de alimento casi igual a su peso y, de esa cantidad, alrededor de un 55% se convierte en abono. Las lombrices se reproducen a partir de desperdicios.

Para separar a las lombrices del abono, habrá que dejarlas uno ó dos días sin alimento, y después poner alimento nuevo a un lado de donde se encuentran. De éste modo, las lombrices irán al nuevo lugar en busca de nuevo alimento. En el alimento anterior quedarán sólo los capullos y las lombrices pequeñas que se trasladarán al nuevo lugar en al menos 30 días.

Las prácticas fundamentales para la cría de lombrices, consisten primeramente en preparar el área donde estarán las lombrices. Esto es, juntar hojas secas de árbol que no sea resinoso y ponerlas durante 24 horas en un recipiente con agua, para que las hojas secas absorban toda la humedad posible. Luego se ponen las hojas húmedas en terreno húmedo que no acumule agua. Se puede agregar estiércol de herbívoros (vaca, caballo, conejo, etc.), y se debe procurar que las hojas de árbol, el estiércol y la tierra conserven la humedad entre 80% y 90% para que en unos cuantos días el preparado se convierta en alimento para lombrices. Cuando se utiliza estiércol frecuentemente, conviene que transcurran entre 45 y 60 días antes de proporcionar el alimento a las lombrices. La hojas secas se degradan rápidamente.

El papel no impreso bien húmedo puede servir también de alimento para las lombrices. Estos dos alimentos, las hojas secas húmedas y degradadas, así como el papel húmedo no requieren de ningún tratamiento previo, ni son rechazados por las lombrices. Otro alimento que podría ser suministrado es el té usado. Todo esto cuidando que se conserve la humedad y evitando inundaciones porque las lombrices huyen de la inundación. El PH en el alimento puede oscilar entre 5 y 9, siendo 7 el ideal. Raramente se observan problemas de PH cuando se usan hojas de árbol mojadas y papel húmedo no impreso.

Cualquier otro alimento que se desee proporcionar, deberá haber superado la etapa de descomposición antes de ser suministrado, porque las lombrices no pueden vivir en medios extremadamente ácidos ó alcalinos, ni demasiado calientes. El mejor método para comprobar si el alimento es adecuado, consiste en poner sobre el alimento unas cuantas lombrices y exponerlas a la luz del sol. Si las lombrices se entierran rápidamente y no salen en unos minutos, el alimento es adecuado para el consumo. Pero si por el contrario, las lombrices no se entierran, sino que huyen rápidamente, o mueren antes de 48 horas en el medio de prueba, entonces el alimento aún no esta listo para ser consumido. Se recomienda hacer esta prueba antes de darle a las lombrices cualquier alimento que sea nuevo.

Bajo circunstancias ideales, la población de lombrices californianas puede llegar a duplicarse mensualmente, y expandirse hasta 32 veces. Las lombrices californianas se reproducen regularmente, en promedio cada 7 días y, depositan una cápsula que puede albergar hasta 9 crías, pero en promedio 2 a 4 crías. Estas nuevas lombrices alcanzan su madurez sexual a los dos meses de edad y se reproducen cada 7 días durante toda su vida que llega ser de hasta 4 años en condiciones de laboratorio.

Una lombriz produce alrededor de 0.3 gramos de humus diariamente. La aplicación de 5 a 10 kilos de humus por metro cuadrado puede ser conveniente en circunstancias que dependen de la fertilidad en los suelos. Un kilo de humus = 2 litros aprox. El humus de lombriz, debidamente almacenado, mantiene sus propiedades generales por alrededor de un año. El envasado del humus debe ser en material que permita la entrada de oxígeno y la salida del CO<sub>2</sub> resultante de la actividad biológica de los microorganismos presentes. Durante el tiempo en que el humus esté almacenado, debe mantenerse su humedad en promedio de 50%, los sacos idealmente bajo cubierta, a la sombra, en lugar ventilado. Es preciso tomar en cuenta que a medida que transcurre el tiempo, el humus de lombriz almacenado va perdiendo progresivamente sus nutrientes, que son consumidos por microorganismos para su subsistencia y reproducción.

La composición del humus de lombriz varía de acuerdo al tipo de alimento para las lombrices, el tiempo de almacenamiento del humus, su estado de conservación, y el manejo de la cría de lombrices, entre otros factores. El humus de lombriz es fertilizante ecológico de color pardo oscuro a negro, esponjoso, suave, ligero (densidad volumétrica entre los 0.5 – 0.7 gr/cm<sup>3</sup>), granular e inodoro.

Su granulometría es muy fina, lo que le confiere la propiedad de actuar rápidamente en el suelo y realizar sus efectos benéficos en breve tiempo. Es soluble en agua, lo que permite preparar abonos líquidos para disolver en agua de riego y ser usados en fertirriego o foliar; como reserva de sustancias orgánicas.

Es rico en sustancias antibióticas y fitohormonas (citoquinonas, auxinas, entre otras), necesarias para suelos y plantas. Posee gran estabilidad estructural, por lo que su efecto residual en el suelo es duradero debido a la presencia de gran cantidad de compuestos orgánicos humificados de alto peso molecular. El alto peso molecular de la fracción orgánica del humus, facilita el intercambio catiónico y la absorción de nutrientes y humedad. Su característica más importante, es la carga microbiológica que contiene por su elevado número de microorganismos y actividad enzimática. Se considera un excelente para regenerar suelos. Cuando se fertiliza con humus, no se altera la microflora del suelo, sino que se propicia la interacción entre humus suelos y el medio edáfico.

*Fuentes: Asociación Argentina de Lombricultores. Soil Fertility, Inc. Ingenieros Gonzalo Bernaza y Omar Páez (Diciembre 2005). Instituto de Pastos y Forrajes "Niña Bonita", MINAG.*

## **8. Guano de Murciélagos**

---



El guano de murciélagos aporta nutrientes a los suelos y flora microbiana abundante en hongos benéficos que contribuyen a solubilizar elementos nutritivos para los cultivos.

Aporta quitina que es un compuesto orgánico que favorece la estabilidad estructural de los suelos. Aumenta la cantidad de materia orgánica y propicia la formación de ácidos húmicos que influyen directamente en la fertilidad de los suelos. Mejora suelos y sustratos, porque activa procesos microbiológicos optimizando la estructura, aireación y capacidad de retención de humedad. Actúa como regulador de la temperatura del suelo y suministra productos de descomposición orgánica que incrementan el crecimiento de las plantas.

Suministra nitrógeno de manera lenta y uniforme, así como otros compuestos que favorecen el contenido proteico en los vegetales.

Posee amplia gama de quelatos que son compuestos naturales órgano-minerales de alto peso molecular que propician la estabilidad estructural y el efecto residual en los suelos o sustratos durante largos períodos. La exposición excesiva y prolongada sin protección al guano, puede provocar histoplasmosis. La composición del guano varía de acuerdo con la dieta de los murciélagos.

Debe evitarse la entrada de personas en las cuevas para extraer guano en la época de partos y lactancia de los murciélagos porque las crías se aterrorizan fácilmente con cualquier ruido o luz y caen sobre el guano donde la comunidad de insectos (micro-artrópodos) que habita allí, se comen a las crías de murciélagos.

### *Murciélagos Hematófagos:*

Naturalmente, los murciélagos hematófagos (vampiros) se han alimentado de la sangre de animales salvajes cuya densidad poblacional ha disminuido, debido a la destrucción de los ecosistemas. Actualmente la población de ganado en algunas regiones es mucho mayor que la de animales salvajes. En este sentido, podríamos decir que la ganadería ha puesto la mesa a los vampiros que, frente a la insuficiencia de animales salvajes utilizan la sangre del ganado para reproducirse rápidamente. Por ejemplo, en 1981 de 5000 murciélagos pertenecientes a 60 especies, sólo Tres se alimentaban de sangre. Hoy de 5000 murciélagos capturados, 300 son vampiros.

Si desapareciera el ganado, los murciélagos hematófagos buscarían fuentes alternativas de alimentación. Recurrirían a buscar sangre en otros animales domésticos y, en casos extremos, en las personas. Los vampiros pueden transmitir la rabia como ocurre con cualquier mamífero. En este sentido, algunos de los sistemas para el control de los vampiros toman en cuenta que tienen vida social cercana, se limpian lamiéndose entre ellos, y se ayudan unos a otros, incluso se alimentan entre ellos mediante regurgitación cuando alguno no ha encontrado alimento durante la noche. En ocasiones se aplica veneno en las alas de algunos vampiros. De este modo, otros vampiros lamen el veneno y mueren. Los murciélagos no son ciegos, tienen ojos y ven, pero son nocturnos, la luz no es su medio natural.

### *Otros Tipos de Murciélagos:*

75 % de los murciélagos se alimenta de insectos que detectan por el sonido que producen. Capturan a los insectos ya sea en vuelo o cuando están caminando. Otros se alimentan de frutos, néctar o polen de flores. Existen también murciélagos carnívoros que se alimentan de peces, ratones, pájaros u otros murciélagos. En el mundo existen aproximadamente mil ciento veinte especies de murciélagos y, en México, ciento cuarenta. Los países que tienen más especies de murciélagos son: México, Colombia, Ecuador, Perú y Brasil.

Los murciélagos, son mundialmente el segundo grupo de mamíferos más diverso a nivel especie, después de los roedores. A escala ecológica son mucho más diversos que los ratones. Casi todos los ratones son iguales, en cambio, la variación morfológica en los murciélagos es mucho mayor. En México los murciélagos más pequeños pesan alrededor de 2.5 gramos y son más pequeños que nuestro dedo pulgar. Los más grandes pesan alrededor de un kilogramo y miden hasta un metro con las alas abiertas.

### *Aportaciones de los Murciélagos:*

Los murciélagos controlan algunas de las plagas que afectan a cultivos agrícolas. La información de espeleólogos indica que en México existen al menos veinte mil cuevas que contienen más de un millón de murciélagos insectívoros que se alimentan por las noches cada uno con alrededor de 10 gramos de insectos. De tal manera, un millón de murciélagos ingiere 10 toneladas de insectos diariamente. Son los principales dispersores de semillas en las selvas húmedas desde México hasta Argentina. Dispersan entre 2 y 5 semillas por metro cuadrado. A diferencia de los pájaros que defecan sobre una rama, los murciélagos lo hacen en vuelo dispersando las semillas de los alimentos que consumen. Investigaciones indican que en lugares donde los murciélagos han sido eliminados la selva tiende a desaparecer. Polinizan infinidad de plantas útiles para el ser humano. Se alimentan del polen y néctar de las flores. Llegan a la flor y quedan cubiertos de polen que desprenden en la siguiente flor. Así logran la polinización. Es decir, la reproducción sexual cruzada entre dos plantas. Adicionalmente, el guano de los murciélagos puede ser útil en la agricultura.

### *Situación Actual de los Murciélagos:*

Actualmente los murciélagos pertenecen al grupo de mamíferos que más rápidamente decrece, debido a la ignorancia de algunas personas y a la desaparición de cuevas por razón de la construcción de complejos turísticos o urbanos. Hay personas que tienen la idea de que todos los murciélagos son vampiros y los matan. La amenaza para los murciélagos comenzó también a partir de las alternativas eco-turísticas, y el incremento de la población urbana en regiones rurales. En México, alrededor de 30 especies de murciélagos se encuentran clasificadas en las listas de la Ley Federal de Equilibrio Ecológico como especies en peligro de extinción. En México tenemos 11 especies endémicas y 23 migratorias (Rodrigo Medellín, Instituto de Ecología UNAM México).

### *El Mito de los Vampiros:*

El mito de los murciélagos hematófagos "vampiros" inicia en Europa durante la Edad Media con la leyenda de Drácula, un guerrero llamado "Vlad El Empalador", tan sanguinario que según la leyenda, aún después de muerto se despertaba por la noche para buscar sangre de mujeres jóvenes.

"Vlad el Empalador", conocido en el mundo como Drácula, nació en Rumania en 1428 y murió en 1476. Fue hijo de Vlad Dracul, caballero de la orden del dragón en 1431 fundada por el rey Segismundo I de Luxemburgo, y nieto de Mircea el Grande, soberano de Valaquia (1368-1418). Fue uno de los príncipes rumanos que por sus diversas hazañas y extraña personalidad llamó la atención. La población le nombró "Tepes" (Empalador), porque en esa época poner en palos a personas era una de las penas capitales a la que Vlad tenía preferencia. En 1459 ordenó empalar a algunos rebeldes destacados y arrojar al fuego a otros, siendo este el macabro y tortuoso inicio de su carrera de crueldades. Favorecido por la suerte, logró atrapar al más peligroso de sus adversarios, Dan Voevod en la primavera de 1460, al que obligó a cavar su propia tumba y asistir a sus funerales antes de hacerlo decapitar.

Cuenta la historia que "Vlad el Empalador", desde pequeño mostró fascinación morbosa por las mazmorras del castillo de su padre. Fue héroe en su tierra, debido a la resistencia feroz que opuso al avance de los Otomanos. Sin embargo, fue extremadamente cruel con sus enemigos, a los que condenaba a la pena capital de empalamiento. Se dice que Vlad juntaba sangre de sus víctimas en un recipiente, y mojaba en la sangre el pan mientras comía. El término Drácula deriva del rumano *dráculea*, que significa "hijo de Drácul". El atuendo de "Vlad el Empalador" era una capa negra que posteriormente fue popularizada en las películas. A su vez, el término rumano *drácul* significa 'dragón'. En la moderna Rumania, el castillo y la región en la que vivió este personaje son hoy importante destino turístico. La leyenda del vampiro en la literatura y el cine fue modelo en el género de terror y del vampirismo. La sádica personalidad de Vlad fue tomada por Bram Stoker para su obra *Drácula*, escrita en 1897.

### **Referencias**

#### *Casuarina cunninghamiana:*

Boland, D.J., M.I.H. Brooker, G.M. Chippendale, N. Hall, B.P.A.I. Hyland, R.D. Johnston, D.A. Klenig, and J.D. Turner. 1984. Forest trees of Australia. 4th ed. Nelson Australia, Melbourne. pp. 9(92-96-99). Bulloch, B.T. 1986. Management and uses of Casuarina species (Sheoaks), in Plant materials handbook for soil conservation. Vol. 2 Introduced plants. C.W.S. Van Kraayenoord and R.L. Hathaway (eds). Nati. Water and Soil Conservation

Authority, Wellington, New Zealand. pp. 32-37. El-Lakany, M.H. 1983. Breeding and improving of muarina: a promising multi-purpose tree for and regions of Egypt. in *Casuarina ecology, management and utilization*. SJ. Midgley, J.W. Turnbull, and R.D. Johnston (eds). CSIRO, Melbourne, Australia. pp. 58-65. El-Lakany, M.H., OA. Badran, A.B. El-Sayed, and S.Y.M. Ahmed. 1982. On the performance of some *Casuarina* species under different soil characteristics in Egypt. *Alex. J. Agric. Res.* 29:382-396. NRC (National Research Council). 1984. *Casuarinas: nitrogen-fixing trees for adverse sites*. National Academy Press, Washington, D.C. 118 page. Reddell, P., PA. Rosbrook, G.D. Bowen, and D. Gwaze. 1988. Growth responses in *Casuarina cunninghamiana* plantings to inoculation with franaia. *Plant and Soil* 108:79-86. Rockwood, D.L., J.B. Huffman, and L.F. Conde. 1980. Potential of *Casuarina* spp. for biomass production in Florida. *Silvicultura* 8(30):376-377. Stewart, H.T.L., P. Hopmans, D.W. Flixm, TJ. Hillman, and J. CoUopy. 1988. Evaluation of irrigated tree crops for land disposal of municipal effluent at Wodonga. Tech. Rep. 7. Albury-Wodonga Development Corp., Albury, Australia. 31 pages. Turnbull, J.W., P.N. Martensz, and N. Hall. 1986. Notes on leswr-known Australian trees and shrubs with potential for fuelwood and agrofores". in *Multipurpose trees and shrubs: lesser known species for fuelwood and agroforestry*. J.W. Turnbull (ed). ACLAR, Canberra, Australia. pp. 81-90. Wilson, K.L. and LA.S. Johnson. 1989. *Casuarinaceae, flora of Australia*. 3:100-175. Miles Merwin, International Tree Crops Institute USA. Dr. Lex Thomson, Australian Tree Seed Centre, Canberra. Winrock International.

*Casuarina equisetifolia* L.

1. Geary, T. 1988. *Casuarina equisetifolia* L. Johnson. Árboles Útiles de la parte Tropical de América del Norte. Grupo de Estudios de Silvicultura. Comisión Forestal de América del Norte. Washington, D.C.
2. Baskin C., y M., Baskin. 1998. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press. San Diego. 666 p.
3. Martínez, M. 1979. *Catálogo de Nombres Científicos y Vulgares de Plantas Mexicanas*. Fondo de Cultura Económica. México. 1247 p.
4. Sánchez, J. 1984. *Técnicas de Producción en Vivero para: Cupressus lindleyi Klotsch, Eucalyptus globulus Labill, Casuarina equisetifolia Forst. y Acacia retinoides Schl.* Tesis Profesional, Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma de Chapingo.
5. Hong, T.D., S. Linington y R.H. Ellis. 1996. *Seed Storage Behaviour: a Compendium. Handbook for Genebanks*. No. 4. IPGRI. Roma.
6. Von Carlowitz, P.G., G.V., Wolf y R.E.M., Kemperman. 1991. *The Multipurpose and Shrub Database. An Information and Decision-Support System. Manual, Versión 1.0*. ICRAF. Nairobi Kenia.
7. Lamprecht, H. 1989. *Silviculture in the Tropics*. Technical Alemania.
8. Arriaga, V., V. Cervantes y A. Vargas-Mena. 1994. *Manual de Reforestación con Especies Nativas: Colecta y Preservación de Semillas, Propagación y Manejo de Plantas*. SEDESOL / INE – Facultad de Ciencias UNAM. México, D.F.
9. Cervantes, V., M. López, N. Salas y G. Hernández. En Prensa. *Técnicas para Propagar Especies Nativas de la Selva Baja Caducifolia y Criterios para Establecer Áreas de Reforestación*. Facultad de Ciencias, UNAM – PRONARE SEMARNAP. SIRE : CONABIO-PRONARE.