

# **Efectos de la Fertilización del Trigo en sus Etapas Fenológicas**

---

Por:

**Carlos R. Orozco Riezgo**



Mexicali, Baja California, octubre del 2012.

## Contenido

1. Descripción de las etapas fenológicas del trigo .....	1
2. Efectos de la fertilización del trigo en sus etapas fenológicas .....	6
3. Etapa fenológica es más susceptible a las deficiencias de fertilizante .....	6
4. Programa de fertilización en base a las etapas fenológicas del trigo .....	7
5. Importancia del muestreo del suelo, para salinidad y fertilidad.....	9
6. Como se diferencia el muestreo de suelo de salinidad y fertilidad. ....	9
7. Cuál es el óptimo de humedad para la aplicación del riego en trigo .....	10
8. Descripción de métodos para obtener la humedad del suelo.....	11
8.1. Métodos directos.....	11
8.2. Métodos indirectos.....	14
9. Que es un sistema de Producción.....	18
10. Factores que intervienen en el rendimiento del cultivo .....	18
11. Clasificación de los fertilizantes .....	20
12. Localización de la deficiencia de nitrógeno.....	21
13. Cómo se infiere que un cultivo está alto en contenido de proteínas .....	21
14. Elementos que participan en la fotosíntesis .....	22
15. Fuentes nutrimentales de las plantas.....	23
16. Qué son los fertilizantes .....	23
17. Factores a considerar en la aplicación de fertilizantes .....	24
18. Que indica la relación C/N .....	24
19. Uso de materia orgánica en suelos con alta infiltración .....	25

<b>20. Clasificación taxonómica de suelos del Departamento de Agricultura (USDA), y orden al que pertenecen los suelos del valle de Mexicali.....</b>	<b>26</b>
<b>21. Bibliografía citada.....</b>	<b>27</b>

## Índice de Cuadros

Cuadro	Página
1. Horas térmicas acumuladas por etapa fenológica, ciclo 2008-2009 .....	2
2. Etapas de desarrollo de la escala Zadok.....	4
3. Requerimientos de nutrientes por etapa vegetativa .....	7
4. Fertilizantes a utilizar como fuentes de nutrientes .....	8
5. Cantidad y tipos de fertilizantes a aplicar en cada etapa vegetativa.....	8
6. Guía para determinar cuánta humedad en mm/m puede agregarse para que el suelo quede a capacidad de campo .....	12
7. Humedad al tacto en un suelo franco .....	13
8. Factores climáticos y condiciones del suelo que intervienen en el rendimiento .....	19
9. Factores bióticos que intervienen en el rendimiento. ....	19
10. Factores de manejo que intervienen en el rendimiento.....	20
11. Relación C/N y la disposición de N .....	35

## Índice de Figuras

Figura	Página
1. Etapas de crecimiento Zadoks.....	5

## 1. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL TRIGO

Existen diversas escalas para describir las etapas fenológicas del trigo, a continuación, se presentará la descripción más usual por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

**Plántula;** Es la etapa inicial del desarrollo y se refiere a la nacencia y emergencia de la planta.

**Amacollamiento;** En esta etapa la planta de trigo empieza a generar macollos (hijuelos) que eventualmente serán productivos en la generación de espigas. Los requerimientos de frío en esta etapa son importantes para completar su óptimo crecimiento, en particular, aquellos macollos que contribuyen al rendimiento potencial.

**Primer nudo;** Se da ya que ha cesado el desarrollo de macollos, y las nuevas hojas adquieren una posición más erecta. Es en esta etapa cuando se diferencia la espiguilla (ubicada por debajo del nivel del suelo) a los 36 y 42 días después de la siembra.

**Encañe;** Es cuando aparece el segundo nudo sobre la superficie del suelo, fácilmente detectable con los dedos de la mano, y el tallo se empieza a alargar

**Hoja bandera:** Esta etapa comienza cuando la última hoja empieza a emerger y a desplegarse. Cuando emerge la hoja bandera también emerge la espiga.

**Floración;** La polinización de las flores de las espigas, se presenta entre cuatro y cinco días después de emergida la espiga.

**Llenado de grano;** Se presenta después de la polinización y dependiendo de las condiciones climáticas puede durar entre 35 y 50 días.

**Madurez fisiológica;** En esta etapa se da el llenado del grano, primero es lechoso, después tiene consistencia masosa, para transitar a grado duro y finalmente cosecharse.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el Centro de Investigación Regional del Noroestes, Campo Experimental Valle del Yaqui, Ciudad Obregón, Sonora (2009), como producto de varios años de investigación generó las horas térmicas acumuladas por etapa fenológica, mismas que se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Horas térmicas acumuladas por etapa fenológica, ciclo 2008-2009 (INIFAP, 2009).

Fecha de Siembra	Plántula		Amacollo		Encañe		Llenado de Grano	
	HC	HF	HC	HF	HC	HF	HC	HF
17-11-08	209	7	144	27	163	168	403	213
01-12-08	142	19	142	116	223	167	339	137
15-12-08	100	44	202	147	186	193	319	91
02-01-09	120	117	159	127	204	78	311	95

HC = Horas Calor; HF = Horas Frío.

Hay otras escalas para describir las etapas fenológicas del trigo como la Feekes y la de Zadoks y Haun. Se comentará a continuación de manera muy general la escala de Feekes.

## ESCALA FEEKERS

### 1.0. Emergencia y formación del macollo principal

Es cuando germina la semilla y emerge del suelo. El número de hojas en el tallo principal puede ser designado con un decimal; por ejemplo 1.3 es un tallo con tres hojas desplegadas.

### 2.0. Comienzo de macollaje

Un macollo es un tallo que se origina en la axila de una hoja o en el nudo del coleóptilo (también conocido como coleoptile). Los macollos comparten la misma masa radical con el tallo principal. Una vez establecidos los macollos primarios, de sus axilas se originan los macollos secundarios; los terciarios se desarrollan luego de las axilas de los secundarios, y así sucesivamente.

### 3.0. Macollos formados

Durante este estadio, se completa el crecimiento de aquellos macollos que contribuyen al rendimiento potencial. Las hojas comienzan a enroscarse en espiral. Algunos trigos con latencia se encuentran en forma rastrera o postrada en este estadio.

### 4.0. Comienzo de crecimiento erecto, alargamiento de vainas

Durante este estadio, la mayoría de los macollos ya se han formado, y comienza a desarrollarse el sistema radical secundario.

### 5.0. Vainas de hojas erectas

En este estadio, la planta adquiere una posición totalmente erecta. Cesa todo el desarrollo de macollos.

### 6.0. Primer nudo visible

En la etapa anterior, los nudos ya estaban todos formados pero apretados y muy juntos; imposibles de distinguir a simple vista. En este estadio, el primer nudo crece y aparece por

arriba de la superficie del suelo. Por arriba de este nudo se encuentra la espiga, que es empujada finalmente hacia arriba. Se comienza a formar el vástago principal. La espiga está completamente diferenciada, y contiene todas las espiguillas y flores potenciales

### **7.0. Segundo nudo visible**

Esta etapa se caracteriza por el crecimiento rápido de la espiga y la aparición del segundo nudo sobre la superficie del suelo.

### **8.0. Hoja bandera visible**

Este estadio de crecimiento comienza cuando la última hoja (hoja bandera) empieza a emerger. Cuando emerge la hoja bandera al menos hay tres nudos visibles sobre la superficie; ocasionalmente se puede observar un cuarto nudo.

### **9.0. Lígula de la hoja bandera visible**

Este estadio la hoja bandera emergió por completo del verticilo. A partir de este estadio, las hojas se refieren a la hoja bandera; por ejemplo, la primera por debajo es -1, la segunda -2, etc. La planta de trigo produce típicamente entre 7 y 9 hojas verdaderas

### **10.0. Estado de bota**

La espiga, totalmente desarrollada, se visualiza fácilmente en la porción hinchada de la vaina foliar por debajo de la hoja bandera.

La escala 10.0 de Feekes se subdivide de la siguiente manera:

10.0: Estado de bota.

10.1: Aristas visibles, espiga emergiendo entre la vaina de la hoja bandera.

10.2: 25% de espigazón completa.

10.3: 50% de espigazón completa.

10.4: 75% de espigazón completa.

10.5: Espigazón completa.

10.5.1: Comienzos de floración.

10.5.2: Floración completa en punta de espiga.

10.5.3: Floración completa en base de espiga.

10.5.4: Maduración acuosa del grano (cuajado).

### **11.0. Maduración**

En cambio, el período de llenado de grano varía de acuerdo al clima. Típicamente es de 30 días en ambientes con estrés severo; y puede exceder los 50 días en ambientes de alto rendimiento y sin estrés. Se subdivide de la siguiente manera:

11.1 Grano lechoso.

11.2 Grano pastoso.

11.3 Grano duro.

11.4 Cosecha.

## ESCALA ZADOK

Cuadro 2. Etapas de desarrollo de la escala Zadok.

Etapa de Desarrollo		Condición
0	Germinación	Siembra.
1	Producción de hojas del tallo principal	La etapa de las plántulas, es la etapa de crecimiento desde la emergencia de trigo hasta que las plantas empiezan a macollarse.
2	Producción de macollos	El macollamiento generalmente comienza cuando la planta tiene entre 3 a 4 hojas. Una planta de trigo produce normalmente entre 7 y 8 hojas en el tallo principal (ciclo de crecimiento corto) antes de que la elongación del tallo se produzca.
3	Producción de nudos TP (encañado)	Producción de nudos en el tallo principal. El número máximo de flores (y por lo tanto el máximo potencial de rendimiento) se establece ahora. Los macollos producidos durante el último alargamiento del tallo a menudo mueren. El número final de macollos productivos depende de las condiciones.
4	Vaina engrosada	En el arranque de cada planta debe tener 2 a 3 macollos productivos en función de las condiciones de crecimiento y la densidad de los cultivos.
5	Espigado	La espiga (también llamada cabeza o mazorca) está saliendo de dentro de la hoja bandera.
6	Antesis	El polen se libera y los granos individuales están siendo fertilizados.
7	Estado lechoso del grano.	Cuando el grano está apretado, una solución lechosa se desprende.
8	Estado pastoso del grano	Cuando se aprieta, el grano todavía se deforma ligeramente, pero no se desprende líquido.
9	Madurez	El grano es duro y firme y listo para la cosecha. El grano es la mejor cosecha en 14% de contenido de humedad. El grano más húmedo (> 14% de humedad) tiene problemas de almacenamiento.

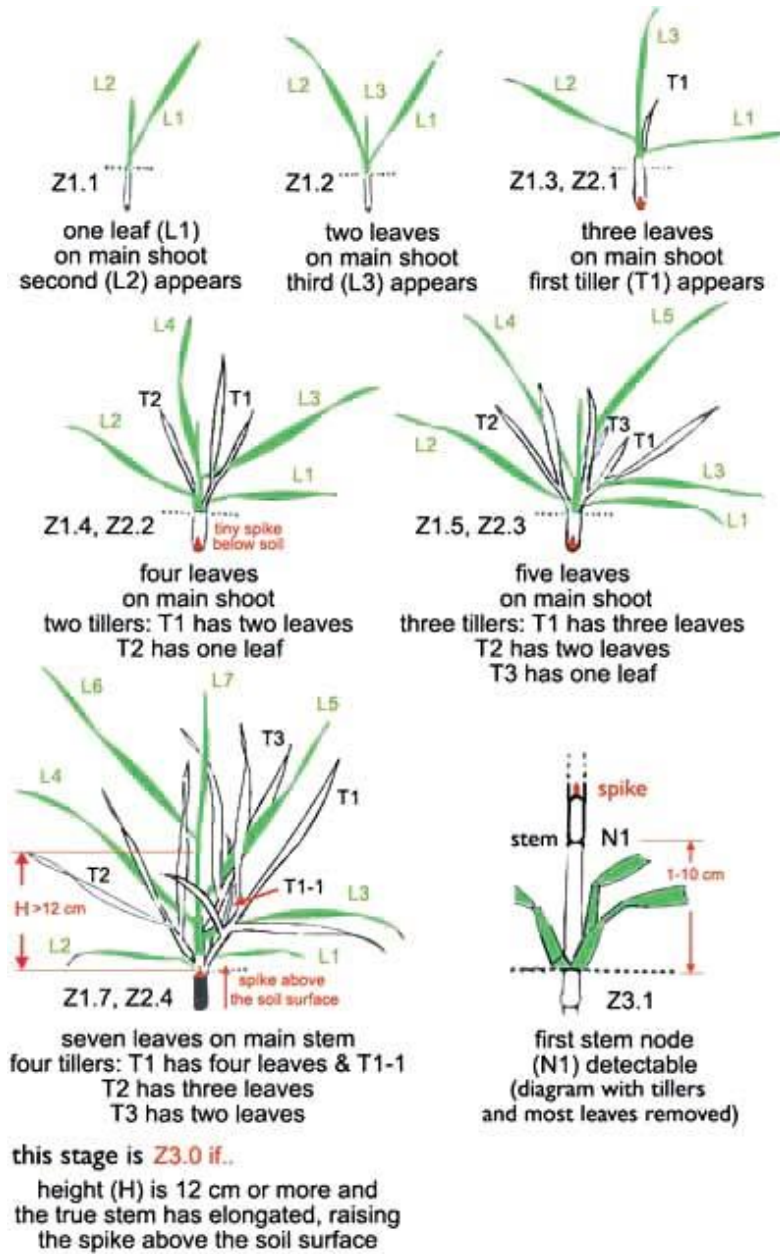


Figura 1. Etapas de crecimiento Zadoks.

## 2. EFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN DEL TRIGO EN SUS ETAPAS FENOLÓGICAS

La asimilación de los fertilizantes por la planta de trigo es diferenciada en sus etapas vegetativas, de ahí que la fertilización se fraccione a fin de evitar aplicar el 100% en la siembra (o pre siembra) y que el cultivo solo asimile una parte del fertilizante y el resto sea perdido por lixiviación o cualquier otro medio.

Usualmente se recomienda fraccionar en tres tercios la fertilización:

Siembra	33%
45 días después	33%
65 a 70 días	33%

Otro esquema es:

Siembra	30% N;	100% P
Amacolle o inicio de encañe	30% N	
Embucho o floración	30% N	
Llenado de grano	10% N	

## 3. ETAPA FENOLÓGICA MÁS SUSCEPTIBLE A LAS DEFICIENCIAS DE FERTILIZANTE

Las etapas más susceptibles son las reproductivas, por lo que se debe cuidar no estresar la planta en las etapas de amacolle y la de floración. Estudios indican que el rendimiento del grano se ve afectado por la fertilización con nitrógeno al amacolle, por lo que una mala fertilización merma el rendimiento de grano.

Por otro lado, en la etapa de llenado de grano debe haber nitrógeno disponible para asegurar un grano de calidad y evitar deficiencias que se manifiestan con la presencia de panza blanca.

## 4. PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN EN BASE A LAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL TRIGO

El cultivo del trigo tiene requerimientos nutricionales muy específicos de acuerdo a su etapa vegetativa, a continuación, se presentan un Programa de Fertilización para este cultivo, asumiendo condiciones hipotéticas del suelo.

### Requerimientos de fertilización

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (2010), para el caso del valle de Mexicali, recomienda aplicar 35 kg de nitrógeno (N) por cada tonelada de grano de trigo esperado, y 10 Kg de fósforo (P) por tonelada de trigo.

Para el caso que se presenta, se está considerando un rendimiento potencial de 8.0 toneladas por hectárea a cosechar de trigo, por lo que el requerimiento de N y P es el siguiente.

- Rendimiento potencial; 8.00 ton/ha de grano
- Fertilización requerida: 35 Kg/ton N = 280 kg/ha N  
10 Kg/ton P = 80 kg/ha P

### Ajuste por nutrientes presentes en el suelo

	N	P	K
Nutrientes requeridos (Kg/ha)	280	80	0
<sup>1</sup> Nutrientes presentes en el suelo (Kg/ha)	12	16	0
<b>Por aplicar</b>	<b>268</b>	<b>64</b>	<b>0</b>

<sup>1</sup>Este dato debe ser resultado de un análisis de fertilidad del suelo.

Una vez definida la cantidad a aplicar por hectárea de cada uno de los nutrientes, se procede a definir sus necesidades, mismas que se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Requerimientos de nutrientes por etapa vegetativa.

Etapa Vegetativa del Cultivo	Por Aplicar (%)	Requerimientos en Unidades/ha		
		N	P	K
Pre-siembra	N 28%; P 100%	75.04	64	0
Amacolle o inicio de encane (1er riego auxilio)	N 28%	75.04	0	0
Embucho o floración (2do riego de auxilio)	N 28%	75.04	0	0
Grano masoso (penúltimo riego)	N 16%	42.88	0	0
<b>Total =</b>		<b>268</b>	<b>64</b>	<b>0</b>

Después de tener claro los requerimientos nutricionales del cultivo (trigo) en cada una de sus etapas vegetativas, se procede a identificar los fertilizantes que más se adecuen a estas necesidades. Para el caso del trigo el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (2010) recomienda aplicar el 100% del fósforo (P) en pre-siembra o a la siembra, y aplicar el nitrógeno fraccionado en el transcurso del ciclo vegetativo.

Se recomienda utilizar en las etapas iniciales del trigo fuentes de alta concentración y de lenta y mediana rapidez de absorción. A partir de la etapa de encañe es conveniente utilizar fuentes de lenta asimilación, y en la última etapa (llenado de grano) aplicar productos de rápida asimilación. Con este criterio es que se definen las fuentes de nutrientes a emplear.

Cuadro 4. Fertilizantes a utilizar como fuentes de nutrientes.

Fertilizantes a utilizar	Nutrientes que aportan			
	N	P	K	Otros
Fosfato Monoamónico (11-52-0)	11	52	0	
Urea	46	0	0	
UAN-32	32	0	0	
Sulfonit	32	0	0	2 S (azufre)

Dada las diferentes concentraciones presentes en los fertilizantes, se necesita definir la cantidad de fertilizante a aplicar en cada etapa vegetativa del cultivo para poder proporcionar los nutrientes requeridos.

Cuadro 5. Cantidad y tipos de fertilizantes a aplicar en cada etapa vegetativa.

Etapas vegetativas del cultivo	Unidades	Fertilizante Kg/ha
P Pre-siembra (11-52-0)	64.00	123.08 Kg de 11-52-0
N Pre-siembra (11-52-0)	13.54	
N Pre-siembra (Urea)	61.50	133.70 Kg de Urea para llegar a 75.04 Unid. De N
N 1er Riego auxilio (UAN-32)	75.04	234.50 Kg de UAN-32
N 2do Riego auxilio (UAN-32)	75.04	234.50 Kg de UAN-32
N 3er Riego auxilio (Sulfonit)	42.88	134.00 Kg de Sulfosit

#### Cantidad de fertilizantes a aplicar en el ciclo

- 123.08 Kg de 11-52-0.
- 133.70 Kg de Urea sólida.
- 469.00 Kg de UAN-32.
- 134.00 Kg de Sulfonit.

## **5. IMPORTANCIA DEL MUESTREO DEL SUELO, PARA SALINIDAD Y FERTILIDAD**

El muestreo de suelos para su análisis es una herramienta importante para la agricultura y poder lograr altos rendimientos, ya sea controlando los niveles de salinidad presentes y/o aplicando los nutrientes que requieren los cultivos.

Los objetivos generales son similares, sin embargo, hay una distinción importante entre ambos muestres.

### **Análisis de salinidad**

Lo que se busca es contar con información respecto de la cantidad de sales y su tipo presentes en el suelo, para llevar a cabo acciones para su control, y proporcionar al cultivo condiciones para su desarrollo.

### **Análisis de fertilidad**

La importancia estriba en conocer la cantidad de nutrientes que contiene el suelo, y así elaborar un programa de fertilización acorde al cultivo.

## **6. COMO SE DIFERENCIA EL MUESTREO DE SUELO DE SALINIDAD Y FERTILIDAD**

### **Análisis de fertilidad de suelos**

Estos análisis de suelos están dirigidos a tener un conocimiento sobre la distribución de los nutrientes en la capa del suelo en donde está la mayor parte de las raíces del cultivo, por lo que usualmente es a una profundidad de 0 a 30 cm.

Es común el uso de muestras compuestas, por lo que se pueden tomar de 10 a 20 sub-muestras y formar una muestra compuesta que sea representativa de una zona homogénea del predio o con características similares. La intensidad del muestreo dependerá del nivel de precisión que se requiera.

Existen varios procedimientos para realizar el muestreo, siendo el más práctico el muestreo en zig zag, el cual inicia por un lado del terreno.

Usualmente se analizan los siguientes parámetros: CE, pH, N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Fe, Cu, entre otros.

### **Análisis de salinidad de suelos**

La finalidad es conocer el contenido y distribución espacial de la salinidad (cualitativa y cuantitativa) presente en el perfil del suelo.

Los muestres se llevar a cabo en profundidades que van de 0-30, 30-60, 60-90 y de 90-120. Para fines agrícolas se puede tomar la decisión de muestrear hasta una profundidad de dos metros, y tomar muestras del perfil solo en donde se tenga un cambio de estrato del suelo.

A diferencia del muestreo para fertilidad no se recomienda hacer muestras compuesta ya que el resultado nos daría un dato promedio y no el dato puntual del sitio de muestreo. Los puntos de muestreo se geo posicionan para poder identificarlos posteriormente en un plano del sitio.

Para salinidad los parámetros que usualmente se analizan: CE, pH, SDT, RAS, PSI, Aniones ( $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ , Cl y  $\text{SO}_4$ ) y Cationes (Ca, Mg, Na, K), entre otros.

## **7. CUÁL ES EL ÓPTIMO DE HUMEDAD PARA LA APLICACIÓN DEL RIEGO EN TRIGO**

La humedad óptima para aplicar el riego en el trigo es cuando se ha consumido el 60% de la humedad aprovechable en el suelo.

Cuando el cultivo se encuentre después del encañe, espigamiento y llenado de grano es importante no estresar al cultivo, por lo que se requiere mantener la humedad aprovechable del suelo arriba del 40%.

## 8. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA OBTENER LA HUMEDAD DEL SUELO

Existen dos métodos para determinar la humedad del suelo:

- A. Métodos directos:** Son métodos de campo y/o laboratorio con muestreo y/o secado. Su exactitud depende de la experiencia y habilidad por parte de quien los realiza, y son:
1. Método al tacto
  2. Método gravimétrico
- B. Métodos indirectos.** Son métodos basados en dispositivos utilizados en campo que se han ido perfeccionando e innovando tratando con ello de ser más precisos y de fácil operación, estos son:
1. Tensiómetro.
  2. Bloques de yeso.
  3. Aspersor de neutrones.
  4. Medidor rápido de humedad "Speedy".
  5. Medidor Watermark.
  6. Medidor Aquater.
  7. Termómetro infrarrojo.

### 8.1. Métodos Directos

#### 1. Método al tacto.

Este método es uno de los más antiguos y el más sencillo. La precisión depende en gran medida de la destreza y experiencia de quien lo realiza. Consiste en inspeccionar muestras de suelo en forma ocular y al tacto, utilizando una barrena para determinar la humedad a diferentes profundidades.

Este método es similar al de la determinación de la textura al tacto, sin embargo, en este nos interesa conocer el contenido de humedad en el instante de muestreo. Se toma la muestra a la profundidad deseada se amasa entre los dedos, se comprime y se intenta hacer bolas o cordones, según el estado que guarde será el contenido de humedad aprovechable que le falte al suelo. Una guía de lo anterior es la de Israelsen *et al.* (1981), citado por Cisneros (2003), que se presenta a continuación:

Cuadro 6. Guía para determinar cuánta humedad en mm/m puede agregarse para que el suelo quede a capacidad de campo (Israelsen *et al.* 1981, citado por Cisneros, 2003).

<b>Tacto y aspecto del suelo y deficiencia de humedad en mm de agua por metro de suelo</b>				
<b>Humedad Disponible Remanente</b>	<b>Areno Franco (textura gruesa)</b>	<b>Franco Arenoso (textura moderada gruesa)</b>	<b>Franco y Franco Limoso (textura media)</b>	<b>Franco Arcilloso o Franco Arcillo Limoso (textura fina a muy fina)</b>
0 (punto de marchitez permanente) a 25%	Seco, suelto, granulado, fluye a través de los dedos. 67 - 83	Seco, suelto, fluye a través de los dedos. 100 - 125	Polvoriento seco; a veces se encuentra en pequeñas costras que pueden desintegrarse fácilmente. 125 - 167	Duro, muy seco, agrietado; a veces partes sueltas en la superficie. 158 - 208
25 a 50%	Seco en apariencia; no forma una bolita al presionarlo. 42 - 67	Seco en apariencia; no forma una bolita. 67-100	Algo suelto; pero se mantiene junto al amasarlo. 83 - 125	Algo moldeable; forma una bolita al amasarlo. 100 - 158
50 a 75%	Seco en apariencia; no forma bolita al amasarlo. 17 - 42	Tiende a formar una bola al presionarlo, pero raras veces se mantiene junto. 33 - 67	Se forma una bola relativamente plástica que resulta pegajosa cuando se presiona con los dedos. 42 - 83	Se forma una bola o pequeños cilindros cuando se amasa entre el pulgar y el índice. 50 - 100
75 a 100%	Tiende a aglomerarse ligeramente; a veces bajo presión forma una bolita que disgrega fácilmente. 0 - 17	Forma bolitas que se disgregan con facilidad; no es pegajoso. 0 - 33	Forma una bolita, es moldeable y pegajoso; tiene un alto contenido de arcilla. 0 - 42	Se forman cilindros fácilmente al amasarlo con los dedos; tiene un tacto pegajoso. 0 - 50
100% (capacidad de campo)	Cuando se comprime no sale agua del suelo, pero se deja huella húmeda en la mano. 0	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano. 0	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano. 0	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano. 0

Nota: La bolita se forma al amasar firmemente una cantidad de suelo.

Cuadro 7. Humedad al tacto en un suelo franco.

		
25-50% agua disponible, levemente húmedo, forma bola débil, una capa suave de granos de arena suelta y agregados quedan en la mano.	50-75% agua disponible, húmedo, forma bola débil, una capa suave de granos de arena suelta y agregados quedan en la mano. Color oscuro, mancha moderada de agua en los dedos.	75-100% agua disponible, mojado, forma bola débil, quedan granos de arena suelta y agregados en los dedos. Color oscuro, manchas gruesas de agua en los dedos.

## 2. Método gravimétrico

Este método se estableció como un patrón constante para utilizarlo como punto de comparación respecto de los demás. De hecho, se utiliza frecuentemente para calibrar otros métodos indirectos.

El procedimiento consiste en obtener una muestra de suelo, pesarla y luego secarla en estufa a una temperatura de 105° a 110°C durante 24 horas o hasta obtener un peso constante. Luego se aplica la fórmula:



$$P_s = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \times 100$$

Donde:

$P_s$  = porcentaje de humedad de un suelo (%).

$P_{ss}$  = peso de suelo seco (gr).

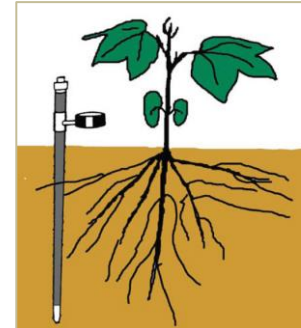
$P_{sh}$  = peso de suelo húmedo (gr).

La dificultad para usar el método gravimétrico es, por una parte, el tiempo que tarda en obtenerse resultados después de haber muestreado y por otra el gran número de muestras que tendrían que obtenerse en extensiones grandes.

## 8.2. Métodos Indirectos

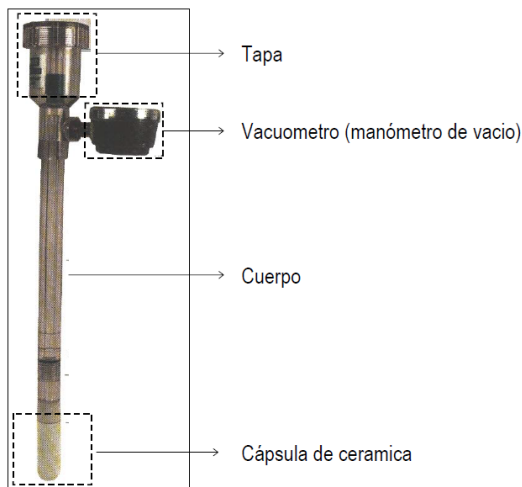
### 1. Tensiómetro.

Este método indirecto es uno de los más precisos para determinar la humedad en el suelo. El tensiómetro mide la tensión de un suelo en función de la humedad presente. El instrumento consiste de una cápsula porosa de cerámica conectada a un tubo que contiene un sensor de vacío o un manómetro.



Para operar el tensiómetro se llena de agua, se extrae el aire, se cierra y se instala en el suelo lo más cerca posible de la zona de raíces. Para asegurar un estado de equilibrio, las lecturas deben tomarse 24 horas después de su instalación. A medida que el suelo se seca, el agua dentro del tensiómetro es succionada a través de la capsula porosa por la matriz del suelo, creándose un vacío parcial que es detectado por el manómetro. Este vacío es aproximadamente igual al potencial mátrico (succión) del suelo al contenido de humedad que esté presente en ese momento en el suelo. Cuando un suelo este regado, el agua se mueve desde el suelo húmedo hacia el interior del tensiómetro, esto reduce el vacío y el manómetro detecta la nueva tensión o el relativo contenido de humedad.

Los tensiómetros generalmente trabajan en un rango de valores entre 0 a 100 centibares (cb). Una lectura de 0 indica que el suelo está saturado, mientras que la máxima lectura útil está a



75 cb. Una guía práctica en la programación del riego es aplicar el riego cuando el contenido de humedad del suelo es el 75% de la humedad de capacidad de campo. Si esta guía es aplicada a un cultivo en un suelo arenoso, el riego se aplicaría cuando el tensiómetro marque 25 o menos centibares. En contraste, este mismo cultivo en un suelo arcilloso podría ser regado cuando la lectura en el tensiómetro marque alrededor de 80 cb, sin embargo, 80 cb está fuera de rango de operación de los tensiómetros, por esta razón no se recomienda su uso en suelos arcillosos (Hargreav y

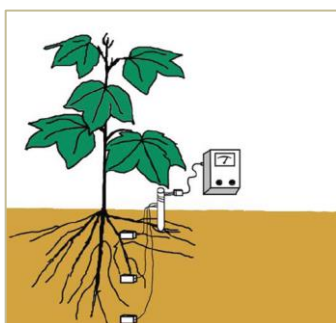
Samani, 1991, citados por Cisneros, 2003).

Los tensiómetros son más comúnmente usados para la programación de riego en cultivos de raíces poco profundas creciendo en suelos arenosos o francos. Por otra parte, en cultivos de

raíces profundas (como algodón) creciendo en suelos arcillosos los tensiómetros no son útiles, ya que no pueden medir la máxima tensión tolerada por la planta.

## 2. Bloques de yeso.

Este método está basado en que la resistencia eléctrica de un suelo depende de la cantidad de humedad que haya entrado en él. Los bloques de yeso son sensores de resistencia eléctrica usados para determinar el contenido de humedad a una profundidad deseada en el suelo. El dispositivo consiste en dos electrodos colocados en dos pequeños bloques de yeso que son enterrados en el suelo. Ambos electrodos van conectados al aparato donde es medida la resistencia eléctrica en ohms.



Los bloques de yeso requieren de ser calibrados para que una determinada resistencia represente un cierto contenido de humedad para ese suelo. Al calibrarlos se ha encontrado que la resistencia eléctrica varía de acuerdo a una función de tipo exponencial con la humedad, donde la capacidad de campo corresponde a una resistencia aproximada de 600 ohms (marca Bouyoucos).

Este instrumento requiere considerablemente más tiempo para llegar al equilibrio con el suelo. En las cercanías de la capacidad de campo la variación de la resistencia respecto a la humedad es muy pequeña, aumentando súbitamente al acercarse el PMP, de donde se deduce que, para valores altos de humedad aprovechable, la exactitud del método es baja, siendo muy alta para valores cercanos al PMP. Si se tuviere un cultivo sensible, cuando el bloque de yeso muestra algún cambio en el contenido de humedad, podría ser muy tarde para regar.

Cuando la humedad del suelo es agotada rápidamente, como en los suelos arenosos, o en los cultivos con raíces poco profundas, el uso de este instrumento puede traer serios problemas. Por esta razón se recomienda ser usado en suelos medios o pesados con cultivos de raíces profundas o tolerantes a la sequía. Respecto a esto los tensiómetros son más apropiados para suelos arenosos a medios con cultivos sensibles a la sequía o con raíces poco profundas.

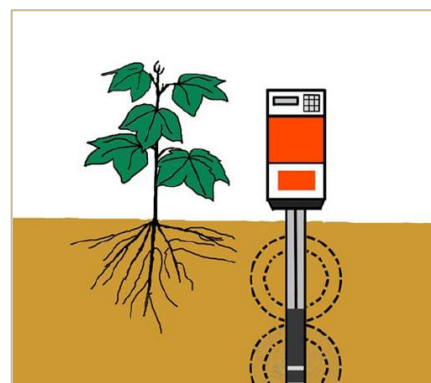
## 3. Aspersor de neutrones (neutrómetro).

El aspersor de neutrones o neutrómetro es un método usado más frecuentemente en trabajos de investigación para medir directamente en el campo la Et del cultivo. El aspersor o dispersor de neutrones está equipado con una fuente de poder, detector y fuente de neutrones que emite neutrones en el suelo, algunos de estos neutrones chocan con los hidrógenos del agua y son deflectados, y finalmente, estos últimos son registrados por un sensor digital. Existe una

relación directa entre los neutrones deflectados y la humedad del suelo, sin embargo, el neutrómetro necesita ser calibrado para cada tipo de suelo.

Hay dos maneras de calibrar el neutrómetro, con el método gravimétrico o e en laboratorio con ayuda de un barril lleno de suelo a una determinada humedad, este último es más complicado por el manejo del barril. Con cualquiera de las dos calibraciones es importante encontrar una curva de calibración.

La manera de medir el contenido de humedad es la de introducir la fuente de neutrones a un tubo de acceso (introducido previamente en el suelo) que puede ser de aluminio, acero o PVC, el cual se instala dentro de la zona radicular. Para una mayor facilidad de lecturas se utilizan varios tubos distribuidos en todo el terreno, en las zonas más representativas, los tubos pueden dejarse instalados en el terreno durante el ciclo de cultivo y realizar la determinación cuando se requiera.



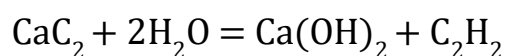
El neutrómetro mide la humedad en un volumen aproximadamente igual al de un balón de 30 cm de diámetro, mientras que un tensiómetro la mide en un punto. Cerca de la superficie (menos de 30 cm) del suelo, las lecturas no son correctas ya que los neutrones se pierden en la atmósfera.

### 3. Medidor rápido de humedad "Speedy".

Este método está basado en un proceso químico en el que se utiliza como reactivo el carburo de calcio ( $\text{CaC}_2$ ).

El método consiste en hacer reaccionar una muestra de suelo con el carburo de calcio dentro de un dispositivo que e tiene un manómetro situado en un extremo. La reacción produce un volumen de gas acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), que será mayor o menor en función del contenido de humedad. Este gas que se produce genera una presión que se registra en el manómetro. El dispositivo debe ser previamente calibrado para que se lea en porcentaje de humedad referida al peso de la muestra en húmedo o seco. Este aparato también mide la humedad de diferentes materiales como son: semillas, zacates, heno, algodón, lana, etc.

La reacción que se genera en cualquier caso es:



Este método fue utilizado muy comúnmente en los Distritos de Riego del país, principalmente en la zona noroeste. En la actualidad se ha sustituido por otros con mayor facilidad de uso.

#### **4. Medidor Watermark**

El medidor Watermark se basa en el mismo principio que el de los bloques de yeso, sin embargo, el medidor es una versión mejorada de este último, donde el elemento sensor no se disuelve en el suelo, por lo tanto, es más durable. Tanto los bloques de yeso como el medidor Watermark pueden ser usados únicamente como indicadores de la humedad del suelo.

#### **5. Medidor Aquater**

El medido Aquater es un instrumento sensible a la humedad que mide el contenido relativo de la humedad en el suelo basado en la propiedad dieléctrica del mismo. El instrumento es insertado a la profundidad deseada y su punta propaga una onda electromagnética en el suelo la cual indica el contenido de humedad. La ventaja del Aquater es su portabilidad y fácil operación, lo cual permite realizar múltiples lecturas en un tiempo relativamente corto. Se recomienda que el aparato sea calibrado con la misma agua de riego antes de ser usado.

Las lecturas en el medidor están numeradas de 1 a 100. Para calibrarlo la punta se sumerge en agua y el tornillo de calibración es ajustado a 100. Este instrumento da lecturas en puntos determinados de círculos de aproximadamente 0.25 pulgadas de diámetro y dependiendo del nivel de salinidad y temperatura del suelo, sus lecturas pueden estar sujetas a errores. Este aparato se recomienda como un indicador de la humedad del suelo, no siendo apropiado para calcular la cantidad de agua requerida en cada riego. Una vez que el momento del riego es determinado, la cantidad de agua es calculada utilizando la Et del cultivo multiplicada por el intervalo de riego.

El Aquater también puede ser utilizado para evaluar la uniformidad del riego haciendo medidas en diferentes puntos del campo. Debe tenerse cuidado en suelos rocosos o muy secos, ya que la punta es sensible y puede quebrarse

#### **6. Termómetro infrarrojo.**

El termómetro infrarrojo se basa en el principio que utilizaban los antiguos agricultores, que era el de, entre otras observaciones, la de tocar las hojas y en función de su temperatura decidían regar o no. Un cultivo de bajo tensión se identifica por tener la hoja caliente.

El termómetro mide la diferencia en temperatura entre el aire y el follaje del cultivo. Si esta diferencia es menor la evapotranspiración también va ser menor. Un cultivo muerto tendrá la

temperatura de su follaje igual que la del aire. Esta diferencia en temperatura es usada para calcular un término llamado índice de tensión por agua del cultivo (CWSI) por sus siglas en inglés (Crop Water Stress Index). Este índice puede calibrarse con la cantidad extraída del suelo o con la humedad que queda disponible en la zona de raíces. Esta calibración es única para cada tipo de suelo y cultivo.

No es muy usado por su complicada naturaleza a la falta de índices críticos de tensión o curvas de calibración y debido a su alto costo.

## 9. QUE ES UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Los sistemas de producción son el conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas.

Estos sistemas, complejos y dinámicos, están fuertemente influenciados por el medio rural externo, incluyendo mercado, infraestructura y programas.

Se definen también como “un ecosistema que cambia, maneja y administra el hombre con el fin de producir bienes que le son útiles. Para modificar estos ecosistemas el hombre utiliza los factores de producción.

## 10. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO

En relación al rendimiento del cultivo del trigo el factor principal es el potencial genético de la variedad a sembrar, adicionalmente hay tres factores importantes que determinan el rendimiento.

1. Factores climáticos y condiciones del suelo.
2. Factores de manejo.
3. Factores bióticos.

Cada uno de los factores mencionados, depende de una o más condiciones, mismas que se relacionan a continuación.

Cuadro 8. Factores climáticos y condiciones del suelo que intervienen en el rendimiento.

<b>Factores climáticos y condiciones del suelo</b>	
<b>Efectos del suelo</b>	Suelos ácidos y alcalinos
	Suelos salinos
<b>Efectos de luz del sol</b>	Efectos de luz del sol
<b>Efectos de la temperatura</b>	Altas temperaturas
	Bajas temperaturas (Heladas)

Cuadro 9. Factores bióticos que intervienen en el rendimiento.

<b>Factores bióticos</b>	
<b>Insectos</b>	Insectos de la superficie
	Plagas del suelo
	Insectos del grano almacenado
<b>Enfermedades</b>	Enfermedades en general
	Enfermedades foliares
	Enfermedades de la raíz
	Enfermedades de almacenamiento
<b>Otras plagas</b>	Aves y roedores

Cuadro 10. Factores de manejo que intervienen en el rendimiento.

Factores de manejo	
<b>Cubierta del cultivo</b>	Control de macollos y espigas
	Hojas verdes después del espigado
<b>Establecimiento del cultivo</b>	Establecimiento pobre del cultivo
	Profundidad y método de siembra
	Momento de siembra
	Densidad de siembra
	Viabilidad de semilla
<b>Nutrición de los cultivos</b>	Nutrición mineral
<b>Residuos de cultivo</b>	Manejo de residuos
<b>Acame de cultivos</b>	Acame
<b>Labranza</b>	Preparación del suelo
	Sistema de labranza
<b>Agua</b>	Estrés hídrico
	Aniego
<b>Maleza</b>	Maleza

## 11. CLASIFICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES

Según su origen los fertilizantes se clasifican en:

1. Minerales o químicos. Son productos inorgánicos obtenidos mediante procesos químicos. También se incluyen en este grupo algunos productos orgánicos obtenidos por síntesis. Se les designa comúnmente con el nombre genérico de abonos.
2. Orgánicos. Son aquellos que se derivan de productos animales o vegetales.

Según que contengan uno o varios elementos principales, los fertilizantes se clasifican en:

- a) Simples. Contienen solamente uno de los tres elementos primarios. Se llaman nitrogenados, fosfatados o potásicos, según que contengan, respectivamente, nitrógeno, fósforo o potasio.
- b) Compuestos. Contiene dos o tres elementos primarios. Pueden ser binarios o ternarios, según que contengan dos o tres elementos.

Los fertilizantes aportan elementos esenciales para el desarrollo vegetal, y se clasifican en:

- A. Macroelementos; se requieren en grandes cantidades,
  - Principales: N, P, K.
  - Secundarios: Ca y Mg.
- B. Microelementos: son de bajo requerimiento y se aportan en pequeñas cantidades.
  - B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn y Cl.

## 12. LOCALIZACIÓN DE LA DEFICIENCIA DE NITRÓGENO

Las deficiencias de nitrógeno se observan inicialmente como amarillamiento y clorosis de hojas inferiores (tejidos viejos). El crecimiento y elongación celular y la síntesis de proteínas son disminuidas.

En situaciones de deficiencia más aguda se observa marchitamiento de las hojas inferiores y clorosis general en toda la planta.

En trigo hay menor número de macollos, plantas más bajas y menor rendimiento.



## 13. CÓMO SE INFIERE QUE UN CULTIVO ESTÁ ALTO EN CONTENIDO DE PROTEÍNAS

Dado que la mayor parte del nitrógeno presente en el tejido vegetal de la planta se presenta como proteína enzimática en los cloroplastos y formando parte de las proteínas en las semillas; y que la principal función del nitrógeno es estimular el crecimiento de la planta, especialmente

en la etapa inicial de crecimiento vegetativo, generando un alto índice de área foliar y prolongando el período útil de las hojas a través del tiempo; cuando un cultivo está alto en contenido de proteínas, éste presenta un buen desarrollo, con buen color, y particularmente se manifiesta en las hojas superiores ya que se mantienen verdes.

## 14. ELEMENTOS QUE PARTICIPAN EN LA FOTOSÍNTESIS

Los elementos que intervienen en la fotosíntesis son:

- Luz o energía solar: que luego es transformada en energía química.
- CO<sub>2</sub>: es lo que toma la planta para producir su alimento.
- O<sub>2</sub>: lo libera a la atmosfera.
- H<sub>2</sub>O: lo libera a la atmosfera.

Las plantas para crecer necesitan de nutrientes en proporciones variables para completar su ciclo de vida y para su nutrición. En las plantas se han encontrado unos 50 elementos, pero sólo 16 han sido determinados como esenciales.

Cada tipo de nutriente ejerce una función en la planta, los que tienen alguna relación con la fotosíntesis son los siguientes:

- El potasio (K) da resistencia a las enfermedades, a las heladas y a la falta de agua. Participa en la fotosíntesis, en la producción de carbohidratos (azúcar, almidón), en el desarrollo de tubérculos y raíces, en la síntesis y activación de proteínas.
- El cloro (Cl) es activador de la producción de oxígeno en la fotosíntesis.
- El fierro participa en la fotosíntesis.
- El manganeso (Mn), cuando es deficiente, produce clorosis, porque está relacionado con los procesos de fotosíntesis.
- El molibdeno (Mo) está asociado al metabolismo del nitrógeno y la fotosíntesis.
- El zinc (Zn) participa en reacciones enzimáticas.

## 15. FUENTES NUTRIMENTALES DE LAS PLANTAS

Las plantas, por ser organismos vivos, requieren de una adecuada, oportuna y balanceada nutrición que se logra mediante los elementos esenciales para el crecimiento de las mismas, los cuales están divididos en dos grandes grupos:

- A. Minerales.
- B. No minerales

### A. MINERALES

Los nutrientes minerales son aquellos que se han originado en el suelo y han sido divididos en tres grupos:

- a) Nutrientes mayores (nitrógeno, fósforo y potasio).
- b) Secundarios (calcio, magnesio y azufre)
- c) Menores (boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc). Esta división obedece a las cantidades necesarias por parte de las plantas más no a la importancia de los mismos.

Los elementos nutricionales mayores generalmente son los que primero expresan sus deficiencias en el suelo por sus altos niveles de extracción por parte de las plantas, mientras que los secundarios y menores son requeridos en menores cantidades y sus deficiencias no son tan evidentes, pero si muy importantes de considerar.

Las plantas consiguen un óptimo crecimiento, desarrollo y producción cuando van acumulando productos de la fotosíntesis (carbohidratos, grasas y proteínas) los cuales son generados a partir del agua, nutrientes del suelo, oxígeno del aire y energía solar

### B. NO MINERALES

Son el carbono, hidrógeno y oxígeno que se encuentran en la atmósfera, y el agua y son fundamentales en la fotosíntesis.

## 16. QUÉ SON LOS FERTILIZANTES

Los fertilizantes son todas aquellas sustancias que contienen una cantidad apreciable de uno o varios elementos en forma asimilable.

En un sentido más estricto se llaman fertilizantes aquellos productos orgánicos o inorgánicos que contienen uno o varios de los elementos nutritivos primarios: nitrógeno, fósforo y potasio, pudiendo contener, además, otros elementos secundarios o microelementos.

## 17. FACTORES A CONSIDERAR EN LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES

Los factores que se deben considerar para la aplicación de uno o más fertilizantes, primordialmente son los siguientes:

1. Tipo de cultivo.
2. Fertilidad del suelo.
3. Salinidad del suelo.
4. Textura del suelo (para evitar lixiviación).
5. Fuente y calidad del agua de riego.
6. Rendimiento esperado.
7. Cantidad de residuos.
8. Eficiencia de la fuente del fertilizante.

## 18. QUE INDICA LA RELACIÓN C/N

La relación Carbono-Nitrógeno (C/N) se refiere a la proporción presente de estos elementos, así una relación 5:1 nos indica que se tienen cinco partes de Carbono y una de Nitrógeno.

Los materiales con baja relación C/N suministran N a las plantas cuando son agregados al suelo. Debido a que los organismos del suelo descomponen los materiales, estos utilizan algo del carbono como una fuente de energía, respirándolo en forma de CO<sub>2</sub>. Utilizan C adicional para crecer y reproducirse (producción de biomasa), incorporando también algo del N en sus cuerpos. Los organismos del suelo no necesitan de todo el N, y el resto se libera como amonio, el cual está disponible para las plantas.

Cuando los materiales con una alta relación C/N son agregados al suelo, los organismos empiezan a descomponer estos materiales, usando algo de C como una fuente de energía, e incorporando algo en sus cuerpos como nueva biomasa. En este caso, el material orgánico no contiene suficiente N para satisfacer las necesidades de crecimiento de los organismos del suelo, y los organismos buscan N disponible del suelo, reduciendo los suministros de N

disponible para las plantas en un corto plazo. Esto es conocido como inmovilización del nitrógeno.

Al ser la relación C/N un indicador de la mineralización del N, cuando la relación sube a 25, la mineralización es muy lenta; cuando la relación tiende a 10, es óptima (Cuadro 11).

Cuadro 11. Relación C/N y la disposición de N.

Relación C/N	Condición del Nitrógeno
≤ 10	Excesiva liberación de Nitrógeno
10-12	Normal, adecuado balance de inmovilización/mineralización
12-16	Moderada liberación de Nitrógeno
> 17	Escasa liberación de Nitrógeno

Se define mineralización como la degradación completa de un compuesto a sus constituyentes minerales, en donde el carbono orgánico es oxidado hasta CO<sub>2</sub>. Dado que la descomposición de un sustrato orgánico por medio del proceso de respiración aeróbica tiene como productos principales a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, la evolución de CO<sub>2</sub> puede utilizarse como un indicador bastante preciso de la actividad respiratoria de comunidades en agua y suelo. Dicho objetivo se cumple en la medida que el ensayo de mineralización es realizado bajo condiciones aeróbicas.

Se puede comentar, además, en relación a algunos cultivos del valle de Mexicali, B.C. que los residuos de alfalfa (*Medicago sativa*) son de calidad lábil (relación C/N 13), los de paja de trigo (*Triticum aestivum* L.) de calidad estabilizada (relación C/N de 77), y la mezcla de ambos de calidad intermedia (relación C/N de 24) (Avilés, *et al.* 2009).

## 19. USO DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS CON ALTA INFILTRACIÓN

En predios con suelos con una alta infiltración, lo recomendable es la adición de materia orgánica y modificar las frecuencias de riego, habrá que hacer riegos ligeros con intervalos más cortos. Esto dependerá del tipo de suelo y su conductividad hidráulica.

## 20. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA (USDA), Y ORDEN AL QUE PERTENECEN LOS SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Servicio de Conservación de Recursos Naturales Claves (NRCS) desde el año de 1965 ha publicado diversas ediciones de las Claves para la Taxonomía de Suelos. Estas claves consideran los siguientes 12 órdenes:

- |               |                  |
|---------------|------------------|
| 1. Gelisols.  | 7. Aridisols.    |
| 2. Histosols. | 8. Ultisols.     |
| 3. Spodosols. | 9. Mollisols.    |
| 4. Andisols.  | 10. Alfisols.    |
| 5. Spodosols. | 11. Inceptisols. |
| 6. Vertisols. | 12. Entisols.    |

De los órdenes anteriores, los suelos del valle de Mexicali corresponden a los siguientes tres órdenes (USDA-NRCS, 2010):

1. Regosoles (35%), suelos generalmente resultado del depósito reciente de las rocas y arena acarreadas por el agua son de textura franco.
2. Vertisoles 15%, suelos sumamente arcillosos, por lo general profundos y de difícil trabajo para la agricultura, con alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), considerando que las arcillas que predominan en el Valle de Mexicali, son montmorillonita, el suelo es fértil (muchos consideran no fértil), con prácticas tecnológicas adecuadas e insumos como incorporación de materia orgánica (M.O.), mejoradores de suelo, se pueden mantener cultivos con alta productividad.
3. Xerosoles (50%) son de color café claro, pobres en materia orgánica, con sobreposición de capas hacia abajo, en las que se pueden presentar texturas migajón arcillosa, migaron limosa y arcillas con precipitaciones de carbonato de calcio, características propias de las zonas áridas y semiáridas cuando hay presencia de capas arcillosas, siendo también frecuente encontrar óxidos de hierro y cristales de yeso como producto de la deficiente capacidad de drenaje interno.

Es importante comentar que los suelos del valle de Mexicali son de origen mineralógico indeterminado, aluvial y reciente, formados por acumulaciones sucesivas de materiales en suspensión y arrastrados por las grandes avenidas del Río Colorado. En el valle se localizan dos grandes áreas de suelos muy arcillosos, una situada en el extremo noroeste del valle y la otra en la parte sureste del mismo.

## 21. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Avilés, M.S.M., Galvis, S.A., Faz, C.A., Soto, O.R., López, L.A., Escoboza, G.L.F., Cárdenas, S.V.A., Román, C.A., Escoboza, G.M.I., Araiza, D., y Hernández, Z.C., 2009. Relación del Carbono soluble con la mineralización del Nitrógeno en Alfisoles. *CienciAgro*. Vol. 1. Nr. 4 (2009) 105-109. Revista científica internacional del Instituto Boliviano de Economía y Política Agraria (IBEPA) - [www.ibepa.org](http://www.ibepa.org) - Casilla 1557 La Paz - Bolivia

Cisneros, A.R. 2003. Apuntes de la materia de riego y drenaje. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. Centro de Investigación y Estudios de Posgrado y Área de Agrogeodésica.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), 2010. Claves para la Taxonomía de Suelos Undécima Edición.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2010. Guía Técnica para el área de influencia del Campo Agrícola Experimental valle de Mexicali.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2009. Centro de Investigación Regional del Noroestes, Campo Experimental Valle del Yaqui, Ciudad Obregón, Sonora. Folleto Técnico No. 63. ISBN 978-607-425-159-3.