

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“LABRANZA DE SUELOS Y NIVELES DE FERTILIZACIÓN
NITROGENADA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE TRIGO,
PAMPA DEL ARCO – AYACUCHO, PERÚ”**

Presentada por

FEDERICO QUICAÑO SUAREZ

**TESIS PARA OPTAR EL DE GRADO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“LABRANZA DE SUELOS Y NIVELES DE FERTILIZACIÓN
NITROGENADA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE TRIGO,
PAMPA DEL ARCO – AYACUCHO, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:
FEDERICO QUICAÑO SUAREZ**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Dr. Abel Mejia Marcacuzco
PRESIDENTE**

**Mg. Adm. Armenio Galindez Oré
PATROCINADOR**

**Mg.Sc. Gonzalo Fano Miranda
MIEMBRO**

**Ph.D. Absalón Vásquez Villanueva
MIEMBRO**

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, por darme la fortaleza, paciencia y ser la luz me enseñó que el SABER queda muy imperfecto, y nuestras profecías también son algo muy limitado, son válidas la fe, la esperanza y el amor, pero la mayor de las tres el amor.

Al ser sublime e incomparable de este mundo mi padre que desde el cielo me protege. Eustaquio Quicaño Tanta, por ser el artífice de mi existencia, por formarme en los valores fundamentales del ser humano y verter su gran amor de padre.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi fortaleza y guiarme este camino de la verdad porque la ciencia es la luz de Dios.

A todos los docentes que integraron y dieron vida a la Maestría de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina y que moldearon mi perfil profesional.

A mi patrocinador Ing. MBA Armenio Flaubert Galíndez Oré, por guiarme y ser el soporte en la ejecución del presente trabajo de investigación.

A los profesores: Mg.Sc. Gonzalo Fano Miranda, Ph.D. Absalón Vásquez Villanueva y Dr. Abel Mejía Marcacuzco.

A los Compañeros de la especialidad de Ingeniería Agrícola, con ellos tuvimos gratas experiencias durante mi estadía en la prestigiosa Universidad Nacional Agraria “La Molina”.

A los colegas del Programa de investigación en agua y energía del Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

A mis familiares por su paciencia y ánimo para culminar con mis metas académicas trazadas Lizbeth Gladys Quicaño Rojas, Fedrich Henry Quicaño Rojas y Fiorella Elizabeth Quicaño Rojas; y de modo especial a mi madre Teófila Suarez Bedriñana.

Y a todas las personas que de alguna u otra manera apoyaron en la realización de mi trabajo de investigación.

INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 LABRANZA DE SUELOS Y EQUIPOS DE LABOREO	3
2.1.1 Generalidades	3
2.1.2 Sistemas de labranza de suelos	5
2.1.3 Características físicas del suelo.....	6
2.1.4 Efectos de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo.....	9
2.1.5 Principales tipos de labranza.....	14
2.1.6 Sistema de labranza y productividad de los suelos	23
2.1.7 Agricultura de conservación.	24
2.2 CULTIVO DE TRIGO Y FERTILIZACION NITROGENADA DEL TRIGO .	25
2.2.1 Generalidades	25
2.2.2 Origen y clasificación taxonómica	26
2.2.3 Descripción botánica del trigo	27
2.2.4 Fisiología del trigo	29
2.2.5 La materia orgánica y la disponibilidad de nitrógeno.	31
2.2.6 Fundamentos de la fertilización nitrogenada en los cultivos.	32
2.2.7 Fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo	38
2.3 LABRANZA DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL RENDIMIENTO DEL TRIGO.....	45
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
3.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	50
3.2 ANTECEDENTES DEL CAMPO EXPERIMENTAL	50
3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS:	50
3.4 ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL SUELO.	52
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
3.6 FACTORES EN ESTUDIO	56
3.7 TRATAMIENTOS	56

3.8	INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO	59
3.9	CARACTERÍSTICAS EVALUADAS	60
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	63
4.1	VARIABLES AGRONÓMICOS.....	63
4.1.1	Longitud de tallo.....	63
4.1.2	Número de espigas por m ²	65
4.1.3	Variables de precocidad	67
4.1.4	Peso de 1000 semillas	68
4.1.5	Número de grano por espiga.....	69
4.1.6	Peso hectolítrico	71
4.2	VARIABLES DEL RENDIMIENTO DEL TRIGO.....	73
4.2.1	Labranza de suelos.....	74
4.2.2	Fertilización Nitrogenada.	76
4.2.3	Interacción Labranza de suelos Vs. Fertilización nitrogenada	78
4.3	RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE TRIGO.....	80
V.	CONCLUSIONES.....	85
VI.	RECOMENDACIONES.....	87
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	88
	ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Cuadro N° 2.1:	Requerimientos nutricionales del cultivo de trigo. (Adaptado de INPOFOS) 41
Cuadro N° 3.1:	Descripción de las coordenadas y rango longitudinal del centro experimental pampa del Arco 49
Cuadro N° 3.2:	Temperatura Máxima, Media, Mínima y Balance Hídrico de la Estación Meteorológica de INIA. 2015-2016. Ayacucho 52
Cuadro N° 3.3:	Características físicas y químicas del suelo donde se instaló el experimento. Pampa del Arco – UNSCH, 2750 msnm. Ayacucho. 53
Cuadro N° 3.4:	Tratamientos en el cultivo de trigo. Pampa del Arco 2760 msnm. Ayacucho 55
Cuadro N° 4.1:	Análisis de variancia de la longitud de tallo de trigo con la labranza de suelos y niveles de abonamiento nitrogenado. Pampa del Arco 2750 msnm 62
Cuadro N° 4.2:	Análisis de variancia del número de espigas por m ² en labranza de suelos y niveles de abonamiento nitrogenado. Pampa del Arco 2750 msnm 64
Cuadro N° 4.3:	Variables de precocidad del trigo en número de días después de la siembra. Pampa del arco 2750 msnm 66
Cuadro N° 4.4:	Estadística descriptiva del peso de 1000 semillas del trigo nazareno en los diferentes tratamientos. n =100. Pampa del Arco 2750 msnm 68
Cuadro N° 4.5:	Estadística descriptiva del número de granos por espiga del trigo nazareno en los diferentes tratamientos. n =100. Pampa del Arco 2750 msnm 69
Cuadro N° 4.6:	Análisis de variancia del peso hectolitrico del grano de trigo en la labranza de suelos y niveles de abonamiento nitrogenado. Pampa del Arco 2750 msnm 70
Cuadro N° 4.7:	Análisis de variancia del rendimiento de grano de trigo en la labranza de suelos y niveles de abonamiento nitrogenado. Pampa del Arco 2750 msnm 72
Cuadro N° 4.8:	Rentabilidad de la producción de trigo (kg/ha) en los tratamientos evaluados. Pampa del Arco, 2016 a 2750 msnm 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura N° 2.1:	Evolución del carbono y nitrógeno del suelo en la medida que aumenta la intensidad de uso del suelo (Acevedo, 2003)	04
Figura N° 2.2:	Triangulo de la labranza: Labranza convencional, labranza reducida y labranza cero.(Barber, 2000)	14
Figura N° 2.3:	Arado cincel rastrojero, vibrocultor y cultivador de campo rastrojero.(Barber, 2000)	16
Figura N° 2.4:	Dibujos para ayudar a identificar las fases de la escala Zadoks (FAO, 2003)	30
Figura N° 2.5:	Esquema simplificado del ciclo del N, la principal reserva de nitrógeno está en el suelo en forma de nitrato (NO ₃ -), nitrito (NO ₂ -) y amonio (NH ₄ ⁺). (adaptado de www.windows2universe.org)	33
Figura N° 2.6:	Evolución del peso seco de las espigas (con y sin grano) para un cultivo con buena disponibilidad de agua y nutrientes. (Abbate, 2005)	38
Figura N° 2.7:	Ciclo ontogénico del cultivo de trigo, correlacionado con los componentes que generan el rendimiento. (fig.7) (adaptado de Miralles, 2004)	39
Figura N° 3.1	Diagrama ombrotermico : T° Vs PP y Balance Hídrico	53
Figura N° 3.2	Croquis del campo experimental	57
Figura N° 4.1	Estudio de los efectos principales de los diferentes niveles de nitrógeno y los diferentes tipos de labranza de suelos en la longitud de tallo. Pampa del Arco 2750 msnm	63
Figura N° 4.2:	Tendencia del número de espigas.m ² en los diferentes niveles de nitrógeno en cada tipo de labranza de suelo. Pampa del Arco 2750 msnm.	65
Figura N° 4.3:	Prueba de Tukey de los efectos simples de los niveles de abonamiento nitrogenado en cada labranza del suelo en el peso hectolitrico. Pampa del Arco 2750 msnm.	71
Figura N° 4.4:	Prueba de Tukey de los efectos simples de los niveles de abonamiento nitrogenado de cada labranza de suelo en el rendimiento de grano. Pampa del Arco 2750 msnm.	73
Figura N° 4.5:	Regresión del rendimiento de grano en los niveles de fertilización nitrogenado en cada método de labranza de suelo. Pampa del Arco 2750 msnm.	78

ÍNDICE DE ANEXOS

		Pag.
Anexo 1	Análisis de caracterización y fertilidad de suelo	96
Anexo 2	Costos de producción y rentabilidad del cultivo de trigo para las condiciones de pampa del Arco.	98
Anexo 3	Panel Fotográfico	104

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental de Pampa del Arco de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga durante los meses de enero a mayo del 2016, El experimento se instaló dentro de un diseño experimental de parcela dividida, donde las parcelas se ubicaron en los métodos de labranza mecanizada: a) arado de discos y polirrastra, b) polirrastra y polirrastra y c) solamente polirrastra. En las sub parcelas la fertilización nitrogenada: a) 0 N, b) 40 N, c) 80 N y d) 120 N. La combinación de los niveles de los factores se instaló en tres bloques. Donde se evaluó los parámetros agronómicos importantes para el rendimiento del cultivo de trigo, entre ellos: La longitud de tallos, número de espigas por m², precocidad del cultivo, peso de 1000 semillas, número de grano por espiga y el peso hectolitro; teniendo una alta significación estadística en los factores labranza de suelos y la dosis de fertilización nitrogenada para los parámetros agronómicos en estudio.

Se evaluó la influencia de los métodos de labranza mecanizada y diferentes niveles de fertilización nitrogenada en el rendimiento y rentabilidad del cultivo de trigo bajo condiciones de secano. La buena labranza de suelo y un alto nivel de fertilización nitrogenada ofrece buenas condiciones de desarrollo a la planta y en una mejor calidad del grano; en la preparación del suelo con arado de discos y con una pasada de polirrastra en el tapado de semilla y dosificando 120 kg.ha⁻¹ de Nitrógeno se tuvo el mayor rendimiento de trigo con 3860.3kg.ha⁻¹ y una rentabilidad económica de 187%; mientras en el tratamiento con labranza cero (Sin labranza primaria) y sin aplicar la fertilización nitrogenada el rendimiento de trigo fue 1257.8kg.ha⁻¹ y una rentabilidad de 23%.

Palabras clave: Trigo, labranza de suelos, fertilización nitrogenada, rendimiento.

ABSTRACT

The present research was carried out at the Experimental Center of Pampa del Arco of the Faculty of Agrarian Sciences of the National University of San Cristóbal de Huamanga during the months of January to May of 2016. The experiment was installed within an experimental design of divided plot, where the plots were located in the methods of mechanized tillage: a) disc plow and heavy dredge, b) heavy dredge and another heavy dredge pass and c) only heavy dredge for the seed cover. In the subplots nitrogen fertilization: a) 0 N, b) 40 N, c) 80 N and d) 120 N. The combination of factor levels was installed in three blocks. Where it was evaluated the agronomic parameters important for the yield of the wheat crop, among them: The length of stems, number of spikes per m², precocity of the crop, weight of 1000 seeds, number of grain per ear and the weight hectolitro; with a high statistical significance in the soil tillage factors and the nitrogen fertilization dose for the agronomic parameters under study.

The influence of mechanized tillage methods and different levels of nitrogen fertilization on the yield and yield of the wheat crop under rainfed conditions were evaluated. The good soil tillage and a high level of nitrogen fertilization offer good development conditions to the plant and a better quality of the grain; in the preparation of the disc-plowed soil and with a heavy trawling course in the seed cover and dosing 120 kg.ha⁻¹ of Nitrogen, had the highest wheat yield with 3860.3 kg.ha⁻¹ and an economical yield of 187%; while in the zero-tillage treatment (without primary tillage) and without applying nitrogen fertilization the yield of wheat was 1257.8 kg.ha⁻¹ and a yield of 23%.

Key words: Wheat, soil tillage, nitrogen fertilization, yield.

I. INTRODUCCIÓN

Al igual que todas las prácticas agrícolas realizadas antes, durante y después del ciclo de crecimiento y desarrollo de un cultivo, la preparación de suelos juega un rol primordial en el éxito económico a lograr por el agricultor. Si bien es cierto que labores como la fertilización y riego normalmente provocan una reacción inmediata de las plantas cultivadas, la cual se manifiesta en follajes más exuberantes, frutos más grandes y sabrosos y, en definitiva, mejores rendimientos; la preparación del suelo, constituye la base para que los efectos positivos de las labores mencionadas, y otras también muy importantes, se maximicen, y con ellos, las utilidades del agricultor.

El trabajo manual, las máquinas y equipos para la labranza de suelos son insumos agrícolas esenciales, que sin ellos la producción agropecuaria de los alimentos no sería posible. En algunas circunstancias lo que obstaculiza la producción cultivos, es no disponer de la suficiente mano de obra, animales de tiro o máquinas para obtener el máximo rendimiento de los recursos de que se disponen. Por tanto, la mejora e incorporación de la tecnología mecánica y su gestión eficiente generan alternativas para aumentar la producción y la seguridad alimentaria (Cortez, et al., 2009). Tradicionalmente, el laboreo se ha considerado imprescindible para la implantación y desarrollo de un cultivo. Sin embargo, desde el punto de vista ecológico, la práctica agrícola tradicional se opone a la sucesión natural de los suelos por producir una perturbación reiterada en la estructura del terreno; la agricultura tradicional incluye prácticas como la quema de rastrojos y el laboreo para controlar las malas hierbas; estas técnicas incrementan considerablemente la erosión del suelo y la contaminación de los ríos con sedimentos, fertilizantes y pesticidas. Además, las prácticas en la agricultura convencional incrementan la emisión de CO₂ a la atmósfera y reducen la materia orgánica y la fertilidad del suelo, entre otros efectos negativos para el medio ambiente (Hercilio de Freitas, 2000). El laboreo de conservación es esencial en zonas áridas y semiáridas, donde los contenidos del carbono del suelo son bajos y el agua es el principal factor limitante para el desarrollo de los cultivos de secano. Esta técnica forma parte de lo que actualmente se denomina agricultura de conservación y resulta muy útil para evitar la erosión de los suelos y las pérdidas de agua por evaporación y

escorrentía, al dejar cubierta la superficie del suelo con los restos del cultivo anterior (FAO, 2007). La agricultura de conservación contempla además las cubiertas vegetales, rotación de cultivo e incluso el manejo integrado de nutrientes (Crovetto, 1999).

Durante muchos años la labranza convencional ha sido y es muy utilizada en la producción de cultivos, dejando la superficie del suelo completamente descubierta, con tamaños de partícula de suelo muy pequeños y con pocos o ningún residuo de plantas; tienen efectos negativos como aumento en la erosión, disminución del contenido de materia orgánica y alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como un mayor consumo de combustible y uso de mano de obra. De modo que una forma de mejorar la tecnología de producción en granos básicos, es mediante práctica de la labranza de conservación a través de la labranza mínima y labranza cero interactuando con la fertilización de los suelos. El presente trabajo discute las implicancias de cada uno de los sistemas de labranza en la producción y rentabilidad del trigo; a base de las experiencias e investigaciones desarrolladas anteriormente.

La investigación se ejecutó en el Centro experimental de Pampa del Arco de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, entre los meses de Enero a junio del 2016 donde se evaluaron los sistemas de labranza cero, mínima y convencional utilizando aperos pesados (poli rastra de 18 discos y arado de discos de 4 discos) con el propósito de apreciar algunos parámetros técnicos, agronómicos y económicos que rigen su proceso. Las variables económicas: análisis de costos y beneficios del cultivo de trigo con cada método de labranza; siendo los objetivos específicos los siguientes:

- Determinar los parámetros agronómicos de los métodos de labranza mecanizada y niveles de fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo; bajo las condiciones de Pampa del Arco a 2680 m.s.n.m., Ayacucho-2015 para establecer su función de producción.
- Analizar la influencia de los métodos de labranza de suelos y diferentes niveles de fertilización nitrogenada en el rendimiento del cultivo de trigo en Pampa del Arco a 2680 m.s.n.m., Ayacucho-2016.
- Evaluar los efectos de los métodos de labranza de suelos y diferentes niveles de fertilización nitrogenada en la rentabilidad del cultivo de trigo en Pampa del Arco a 2680 m.s.n.m., Ayacucho-2016.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LABRANZA DE SUELOS Y EQUIPOS DE LABOREO

2.1.1 Generalidades

Según Acevedo (2003), la labranza es una práctica que facilita labores agrícolas, entre las que destacan control de malezas, formación de camas de semillas que lleven a una buena germinación y establecimiento del cultivo, incorporación de fertilizantes y pesticidas al suelo, incorporación de materia orgánica y residuos del cultivo anterior. La labranza consiste comúnmente en la reversión y mullimiento de la capa superficial del suelo (15-30 cm) a través de araduras y gradeo que, cuando se operan con una humedad adecuada del suelo, resultan en una disgregación y mullimiento, mejorando las propiedades mecánicas y fisiológicas, para su posterior intervención (siembra u otro).

Junto con facilitar las labores de siembra, controlar malezas y generar el mullimiento deseado, la labranza tiene algunos efectos no deseados. Expone el suelo a los principales agentes erosivos (agua y viento) y facilita el contacto de los organismos del suelo con una alta presión parcial de oxígeno (ca. 20 kpa). El movimiento de los gases en medios porosos como el suelo es por difusión. Es un proceso lento que, en buenas condiciones de aireación, mantiene a una profundidad de 10-20 cm una presión parcial de oxígeno de ca. 10-15 kpa. La labranza aumenta la presión parcial de oxígeno estimulando la actividad de los microorganismos del suelo, los que oxidan la materia orgánica al utilizarla como fuente de energía. Así, dos grandes procesos destructivos se asocian a la labranza con la reversión del suelo: erosión y oxidación (quema) de su materia orgánica. Estos dos procesos disminuyen la capacidad productiva del suelo. El primero de ellos es comúnmente apreciado ya que hay ruptura y remoción física del suelo perdiéndose parte de la capa superficial y junto con ésta, la materia orgánica, y nutrientes. La productividad disminuye en función a la magnitud de suelo removida por erosión ya que son las capas más superficiales las que tienen la mayor concentración de carbono y de nutrientes. La disminución del carbono (C) orgánico del suelo después de que es intervenido por el hombre ha sido documentada ampliamente. La Figura 1 muestra la evolución de este

proceso desde una situación clímax de bosque a una situación de cultivo intensivo. En un período de 50 años el carbono y nitrógeno del suelo bajan aproximadamente a la mitad.

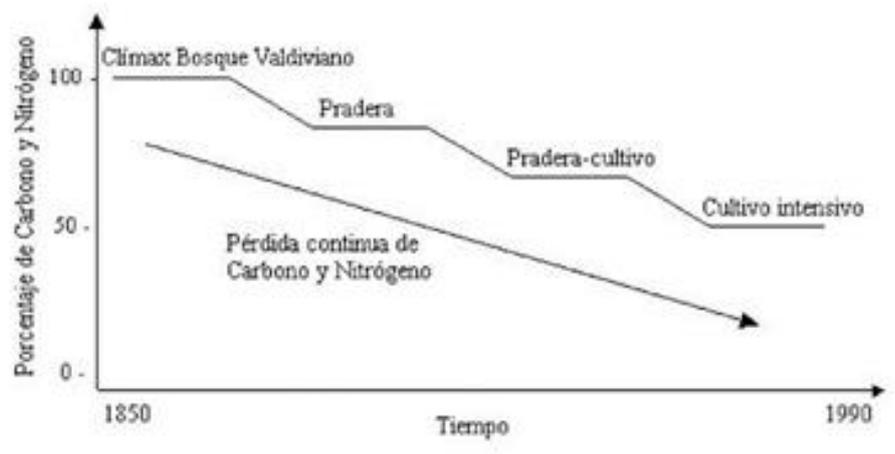


Figura N°2.1: Evolución del carbono y nitrógeno del suelo en la medida que aumenta la intensidad de uso del suelo (Acevedo, 2003)

Así mismo Inostrozay Méndez (2005), precisan que la «preparación de suelos» es la manipulación física que se aplica con la intención de modificar aquellas características que afectan el brote de las semillas y las posteriores etapas de crecimiento del cultivo. Estas características determinan las relaciones planta-suelo-agua-aire, que afectarán el desarrollo de las plantas.

Por lo general, la labranza es definida según el tipo de actividad que se lleva a cabo (Friedrich, 2000):

- Reversión: Este tipo de labranza da vuelta el suelo en la parte en que es laborado. Las capas superficiales son completamente enterradas y las capas más profundas son llevadas a la superficie. El argumento de que la labranza controla las malezas no es válido cuando se hace todos los años ya que la misma cantidad de semillas es llevada a la superficie.
- Mezcla: Esta operación combina todos los materiales en forma homogénea hasta una cierta profundidad, por lo general cerca de 10 cm.
- Rotura: Este tipo de operación abre el suelo de modo de aflojarlo sin mover los terrones, por ejemplo, en operaciones de descompactación del suelo (subsulado).
- Pulverización: Esta operación consiste en romper finamente los terrones de suelo de modo de formar un horizonte muy fino, por ejemplo, la cama de semillas. Se ejecuta en

unos pocos centímetros debajo de la superficie.

La reversión y la mezcla agresiva afectan la cantidad de residuos que quedan sobre la superficie del suelo. Los arados de rejas y de discos dan vuelta completamente el suelo mientras que los arados de cincel rompen y mezclan el suelo y las gradas de puntas, sólo lo mezclan. Las rastras o gradas de discos, pulverizan el suelo de modo de preparar la cama de semillas.

2.1.2 Sistemas de labranza de suelos

Según IDAE (2006), existen gran cantidad de aperos diferentes que permiten el laboreo del suelo con objetivos muy distintos, desde facilitar el drenaje a incorporar los residuos del cultivo anterior, realizar una labor de vertedera, desmenuzar el suelo para preparar el lecho de siembra, etc.

En función del tipo las labores se clasifican en:

- **Labores Primarias**, tienen por objeto trabajar el suelo dejado por el cultivo anterior, incorporando los posibles residuos que hayan quedado en superficie, dejando el suelo mullido en profundidad para facilitar la penetración de las raíces del nuevo cultivo, la acumulación de agua en sus poros y favorecer el drenaje de los excesos de lluvia.
- **Labores Secundarias**, se realizan para preparar un lecho de siembra apropiado para recibir las semillas del nuevo cultivo a instalar. Normalmente consiste en una capa superficial de suelo bien desmenuzado donde la semilla se hidrate con facilidad, cubierta de pequeños agregados que eviten la formación de costra en los suelos propensos y favorezcan la lixiviación.
- **Labores de Siembra**, el uso de máquinas de modelos muy diversos, tienen por objeto dosificar la cantidad de semilla necesaria y posicionarla sobre el lecho de siembra, con la mayor precisión, en la profundidad y en el marco (líneas, golpes, etc.) elegidos.

De un modo resumido los sistemas de labranza más comunes según IDAE (2006) clasifican en:

- **Laboreo tradicional**. Parte de la realización de labores profundas de al menos 15-20 cm. El punto de partida más tradicional es el volteo de la tierra con arados diversos,

aunque en los últimos años esta labor se va sustituyendo por el laboreo vertical. Después se hacen necesarios uno o varios pases de labores secundarias y posteriormente la siembra.

- **Mínimo Laboreo.** El laboreo se realiza únicamente en las capas de suelo superficiales hasta los primeros 10-15 cm. Normalmente es vertical con cincel o cultivador, pero también puede ser con gradas de discos.
- **No laboreo o Siembra Directa.** Se fundamenta en la utilización de sembradoras especiales capaces de sembrar directamente sin hacer laboreo del suelo previo.

El No Laboreo y el Mínimo Laboreo están dando lugar a todo un modelo de manejo de los sistemas agrarios, la Agricultura de Conservación, especialmente adaptada a climas semiáridos, que además de aportar en nuestro caso los ahorros de combustible más significativos, proporciona otros beneficios medioambientales significativos frente a la erosión y la fertilidad del suelo.

2.1.3 Características físicas del suelo.

Para Giasson (2000), cuando se evalúan la aptitud agrícola de una cierta área y la necesidad de introducir prácticas específicas de manejo y conservación de suelos con tecnologías de labranza de suelos, se deben analizar una serie de características físicas del suelo, entre ellos:

- **Topografía.**-La topografía se caracteriza por los ángulos de las pendientes y por la longitud y forma de las mismas. La topografía es un importante factor para determinar la erosión del suelo, las prácticas de control de la erosión y las posibilidades de labranza mecanizada del suelo, y tiene una influencia primaria sobre la aptitud agrícola de la tierra. Además de los problemas de erosión, las áreas con pendientes agudas también presentan un menor potencial de uso agrícola. Esto es debido a la mayor dificultad o a la imposibilidad de la labranza mecánica o al transporte en o del campo, en este tipo de pendientes. La labranza en estos casos puede además ser limitada por la presencia de suelos superficiales.
- **Profundidad.**- La profundidad del suelo puede variar de unos pocos centímetros a varios metros. Las raíces de las plantas usan el suelo a profundidades que van de unos

pocos centímetros a más de un metro; en algunos casos esas raíces llegan a varios metros. La profundidad del suelo es un factor limitante para el desarrollo de las raíces y de disponibilidad de humedad y nutrientes para las plantas, afectando además la infiltración y las opciones de labranza. Cuanto más superficial es un suelo, más limitados son los tipos de uso que puede tener y más limitado será también el desarrollo de los cultivos. Los suelos superficiales tienen menor volumen disponible para la retención de humedad y nutrientes. También pueden impedir o dificultar la labranza; pueden ser susceptibles a la erosión porque la infiltración del agua está restringida por el substrato rocoso.

- **Textura del suelo.-** La fase sólida está compuesta relevantemente de partículas de naturaleza mineral, las que de acuerdo a su diámetro pueden ser clasificadas en fracciones de arena, limo y arcilla, además de grava gruesa, media y fina. La proporción relativa de las fracciones de arena, limo y arcilla que constituyen la masa del suelo es llamada textura del suelo. La textura está íntimamente relacionada con la composición mineral, el área superficial específica y el espacio poroso del suelo. Esto afecta prácticamente a todos los factores que participan en el crecimiento de las plantas. La textura del suelo tiene influencia sobre el movimiento y la disponibilidad de la humedad del suelo, la aireación, la disponibilidad de nutrientes y la resistencia al avance profundo de las raíces. También tiene influencia sobre las propiedades físicas relacionadas con la susceptibilidad del suelo a la degradación.
- **Consistencia.-** Un terrón seco de arcilla es normalmente duro y resistente a la fractura; a medida que se agrega agua y este se humedece, su resistencia a la rotura se reduce; con más agua, en vez de fracturarse, tiende a formar una masa compacta y amorfa que cuando se la comprime se vuelve maleable y plástica; si se agrega más agua, aún tiende a adherirse a las manos. Esta resistencia del suelo a la rotura, su plasticidad y su tendencia a adherirse a otros objetos son aspectos de la consistencia del suelo que dependen de su textura, del contenido de materia orgánica, de la mineralogía del suelo y del contenido de humedad. La determinación de la consistencia del suelo ayuda a identificar el contenido óptimo de humedad para la labranza. Bajo condiciones ideales, el suelo debería sufrir compactación, no debe ser plástico y debe ser fácil de preparar ya que no debe ser muy resistente.

- **Estructura y porosidad.-** La estructura y la porosidad del suelo ejercen influencia sobre el abastecimiento de agua y de aire a las raíces, sobre la disponibilidad de los nutrientes, sobre la penetración y desarrollo de las raíces y sobre el desarrollo de la microfauna del suelo. Una estructura de buena calidad significa una buena calidad de espacio de poros, con buena continuidad y estabilidad de los poros y una buena distribución de su medida, incluyendo tanto macroporos como microporos. La humedad es retenida en los microporos; el agua se mueve en los macroporos y estos tienden a ser ocupados por el aire que constituye la atmósfera del suelo. El espacio de poros del suelo es una propiedad dinámica y cambia con la labranza. Los límites entre los cuales su valor puede variar son muy amplios y dependen de la compactación, la forma de las partículas, la estructura y la textura del suelo. La porosidad total está también estrechamente ligada a la estructura del suelo y esta aumenta a medida que el suelo forma agregados. Cualquier práctica que altere la estructura del suelo, afectará también la porosidad del mismo.
- **Densidad del suelo.-** La densidad del suelo es la relación de la masa de las partículas de suelo seco con el volumen combinado de las partículas y los poros. Se expresa en g/cm^3 o TM/m^3 . La densidad de los suelos está relacionada con otras características de los suelos. Por ejemplo, los suelos arenosos de baja porosidad tienen una mayor densidad ($1,2$ a $1,8 \text{ g/cm}^3$) que los suelos arcillosos ($1,0$ a $1,6 \text{ g/cm}^3$) los cuales tienen un mayor volumen de espacio de poros. La materia orgánica tiende a reducir la densidad suelo/masa debido a su propia baja densidad y a la estabilización de la estructura del suelo que resulta en mayor porosidad. La compactación causada por el uso inadecuado de equipos agrícolas, por el tráfico frecuente o pesado o por el pobre manejo del suelo pueden aumentar la densidad del suelo de los horizontes superficiales a valores que pueden llegar a 2 g/cm^3 . La densidad de los suelos a menudo es usada como un indicador de la compactación.
- **La materia orgánica y los organismos del suelo.-** La materia orgánica del suelo están compuesta por todos los materiales orgánicos muertos, de origen animal o vegetal, junto con los productos orgánicos producidos en su transformación. Una pequeña fracción de la materia orgánica incluye materiales ligeramente transformados y productos que han sido completamente transformados, de color oscuro y de alto peso molecular, llamados compuestos húmicos. La materia orgánica favorece la formación

de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación de las arcillas con la materia orgánica. Esta asociación incrementa la capacidad de retención de agua ya que puede absorber de tres a cinco veces más de su propio peso, lo cual es especialmente importante en el caso de los suelos arenosos. La materia orgánica incrementa la retención de los nutrientes del suelo disponibles para las plantas debido a su capacidad de intercambio de cationes –la CIC del humus varía entre 1 y 5 meq/g.

2.1.4 Efectos de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo.

Los sistemas de cultivo, que son definidos por el conjunto de los sistemas de labranza y de manejo de los cultivos y de sus residuos, tienen una influencia importante en las propiedades físicas del suelo. En gran medida, el tipo y la magnitud de esta influencia dependen de la labranza del suelo. La labranza del suelo es realizada con el propósito de alterar sus propiedades físicas y posibilitar a las plantas, la de expresar todo su potencial. Las técnicas de labranza del suelo son utilizadas a fin de proporcionar una buena sementera y desarrollo de raíces, controlar malas hierbas, manejar los residuos de los cultivos, reducir la erosión, nivelar la superficie para el plantío, riego, drenaje, trabajos culturales y operaciones de cosecha e incorporar fertilizantes o pesticidas. La labranza incorrecta del suelo, causada por la falta de conocimiento de los objetivos y de las limitaciones de las técnicas de labranza, puede resultar negativa para el mismo. La labranza incorrecta del suelo es una de las causas de la erosión y de la degradación física del suelo. La degradación física del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo. Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie, con el surgimiento de finas costras, como bajo la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación, las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan (Cabeda, 1984).

Según Giasson (2000), la labranza afecta las características físicas del suelo y puede incrementar la porosidad y la aireación, pero también puede afectar negativamente la fauna del suelo debido al disturbio que causan los implementos agrícolas en el mismo. Los sistemas de labranza mínima y de labranza cero contribuyen a salvaguardar la fauna y la estructura de poros creadas por ellos. A causa de que esos sistemas tienden a mantener más estable los regímenes de temperatura y humedad del suelo, también protegen la población microbiana durante los períodos de altas temperaturas o sequías prolongadas. La quema continua de los residuos tiende a reducir la

microflora, sobre todo cerca de la superficie. Dejando los residuos de los cultivos en la superficie del suelo y usando una cobertura vegetativa perenne con un sistema radical denso, se favorecerá un mejor desarrollo de la fauna del suelo y de la biomasa microbiana

Causas de la degradación física del suelo

Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo son (Cabeda, 1984):

- Cobertura inadecuada de la superficie del suelo, que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de lluvias; como consecuencia ocurre el colapso estructural de estos agregados, formándose costras con espesor medio de un milímetro que reducen drásticamente la infiltración de agua.
- Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada: la labranza en exceso y superficial lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión). La reducción de la rugosidad provocada por la labranza induce a una elevación de la velocidad del escurrimiento y a la disminución de la tasa de infiltración, aumentando los efectos erosivos por la mayor energía cinética del agua en la superficie del suelo. A su vez, la utilización de equipos inadecuados y pesados y el pasaje de maquinaria sobre el suelo cuando este presenta consistencia plástica lleva al surgimiento de capas compactadas sub-superficiales, normalmente situadas entre 10 y 30 cm de profundidad y con un espesor de 10 a 15 cm. Esas capas ofrecen fuerte resistencia a la penetración de las raíces de las plantas y restringen la capacidad de infiltración de agua y la aireación.
- Pérdida de la materia orgánica del suelo: el manejo inadecuado lleva a una reducción del contenido de materia orgánica del suelo, teniendo como consecuencia alteraciones en su densidad, en la capacidad de retención de agua y en la estabilidad de los agregados, que contribuyen a la pérdida de su calidad y de la estabilidad de su estructura.

Etapas del proceso de degradación física del suelo

La degradación de los suelos agrícolas ocurre en tres etapas (Mielniczuk y Schneider, 1984):

Etapa 1 Las características originales del suelo son destruidas gradualmente; la degradación es poco perceptible debido a la poca intensidad de los procesos y al mantenimiento de la productividad por el uso de correctivos y fertilizantes.

Etapa 2 Ocurren pérdidas acentuadas de la materia orgánica del suelo, con fuerte daño de la estructura (colapso estructural). Hay, además de encostramiento superficial, compactación subsuperficial, que impide la infiltración del agua y la penetración de raíces. De esta forma, la erosión se acentúa y los cultivos responden menos eficientemente a la aplicación de correctivos y fertilizantes.

Etapa 3 El suelo está intensamente dañado, con gran colapso del espacio poroso. La erosión es acelerada y hay dificultad de operación de la maquinaria agrícola. La productividad cae a niveles mínimos.

El tiempo para llegar a esa tercera etapa de degradación depende de la intensidad de uso de prácticas inadecuadas de labranza y manejo, de la pendiente de las tierras, de la textura del suelo y de la resistencia del suelo a la erosión hídrica (Mielniczuk y Schneider, 1984).

Principales características físicas afectadas por la labranza

La pérdida de la calidad física de un suelo puede ser evaluada por la alteración de algunas de las más importantes características físicas del suelo, tales como la densidad, la porosidad, la distribución del tamaño de poros, la estructura y la tasa de infiltración de agua en el suelo.

Densidad y porosidad del suelo

Los suelos poseen naturalmente diferentes densidades debido a variaciones de la textura, de la porosidad y del contenido de materia orgánica. Brady (1974) cita que suelos arenosos poseen una densidad del suelo de 1,20 a 1,80 g/cm³ y una porosidad de 35 a 50%, mientras que suelos arcillosos poseen una densidad de 1,00 a 1,60 g/cm³ y una porosidad de 40 a 60%. Sin embargo la densidad y la porosidad del suelo son características que pueden variar en función del tipo y de la intensidad de labranza, siendo por eso buenos indicadores de lo adecuado de los sistemas de labranza del suelo, indicando la mayor o menor compactación que estos promueven. Los valores adecuados de la densidad del suelo fueron definidos por Archer y Smith (1972), como aquellos que proporcionan la máxima disponibilidad de agua y por lo menos 10% de espacio de aire en un suelo sometido a una succión de 50 mb. Según

esos autores, las densidades del suelo oscilan alrededor de $1,75 \text{ g/cm}^3$ para suelos de textura arena franca, $1,50 \text{ g/cm}^3$ para suelos franco arenosos, $1,40 \text{ g/cm}^3$ para suelos franco limosos y $1,20 \text{ g/cm}^3$ para franco arcillosos.

Las modificaciones de las propiedades físicas del suelo a causa de los sistemas de labranza pueden dar origen a una elevación de la densidad del suelo, una mayor resistencia a la penetración de las raíces y a una disminución en la porosidad, caracterizándose por una capa compactada abajo de la capa arada. Esa capa compactada afecta el movimiento del agua y el desarrollo del sistema radicular por el impedimento mecánico, por la deficiencia de aireación, por la menor disponibilidad de agua y por alteraciones en el flujo de calor. La capa compactada tiene origen en la base de la capa arable. La profundidad en la que esa se encuentra tiene mayor o menor efecto sobre el desarrollo del cultivo; capas compactadas a diferentes profundidades tienen efecto negativo diferenciado sobre el rendimiento de los cultivos: el efecto es más negativo a 10 cm que a 20 o 30 cm de profundidad. (Lowry *et al.*, 1970).

Como consecuencia de la elevación de la densidad, hay una elevación de la resistencia a la penetración de las raíces mucho más significativa que el aumento de la densidad.

Voorhees *et al.* (1978), trabajando en un suelo franco arcillo-limoso, observó, bajo el mismo peso de vehículos, que la densidad del suelo aumentó 20%, mientras que la resistencia a la penetración aumentó más de 400%. Los valores de resistencia a la penetración de las raíces que limitan el desarrollo de las plantas varían de un cultivo a otro. La importancia de las alteraciones producidas por los sistemas de cultivo sobre la densidad del suelo, porosidad y resistencia a penetración es destacada en el trabajo de Cintra (1980), que observó que el suelo en un monte, comparado con el mismo suelo bajo sistemas de labranza convencional, tiene mayor porosidad y menor densidad y resistencia a la penetración de raíces. França da Silva (1980) encontró una disminución en la porosidad y aumento en la densidad del suelo y en la resistencia a la penetración, en el siguiente orden: suelo bajo bosque, área cultivada con tracción animal, área bajo plantío directo, área desbrozada con tractor con tapadora y área bajo cultivo convencional a la textura grosera y/o al alto tenor de materia orgánica de estos suelos. Por eso, se observa que estos índices son útiles para la evaluación del efecto de los diferentes sistemas de cultivo e identifican las condiciones físicas actuales de un suelo.

Estructura del suelo

La estructura del suelo está dada por la ordenación de las partículas primarias (arena, limo y arcilla) en la forma de agregados en ciertos modelos estructurales, que incluyen necesariamente el espacio poroso. Aunque no sea considerada un factor de crecimiento para las plantas, la estructura del suelo ejerce influencia en el aporte de agua y de aire a las raíces, en la disponibilidad de nutrimentos, en la penetración y desarrollo de las raíces y en el desarrollo de la macrofauna del suelo. Desde el punto de vista del manejo del suelo, una buena calidad de la estructura significa una buena calidad del espacio poroso, o sea, buena porosidad y buena distribución del tamaño de poros. Así, la infiltración del agua, juntamente con la distribución de raíces en el perfil son los mejores indicadores de la calidad estructural de un suelo. El tamaño y la estabilidad de los agregados pueden ser indicativos de los efectos de los sistemas de labranza y de cultivo sobre la estructura del suelo. Suelos bien agregados proporcionan mayor retención de agua, adecuada aireación, fácil penetración de raíces y buena permeabilidad (Cabeda, 1984).

Giasson (2000), concluye precisando que el contenido de humedad del suelo en el momento de la labranza es un factor que determina la intensidad de desagregación del mismo. El efecto perjudicial del peso de la maquinaria agrícola y la labranza excesiva del suelo, bajo condiciones de humedad desfavorables, tiende a ser acumulativo, intensificándose con la secuencia de labranzas anuales. La desagregación del suelo puede ser reducida por su menor labranza, por la rotación de cultivos y por la protección de la superficie del suelo con residuos de cultivos. Así, las pasturas facilitarán una mejor agregación del suelo, seguida por el plantío directo y por el cultivo convencional.

Tasa de infiltración de agua en el suelo

Giasson (2000), indica que la tasa de infiltración de agua en el suelo determina la rapidez de infiltración del agua en el mismo y, como consecuencia, el volumen de agua que escurre sobre la superficie. Cuando la tasa de infiltración es baja, la disponibilidad de agua en la zona de las raíces puede ser limitante. La tasa de infiltración de agua en el suelo es condicionada por los siguientes factores: estado de la superficie del suelo, tasa de transmisión de agua a través del suelo, capacidad de almacenamiento y características del fluido. La infiltración de agua en el suelo refleja las condiciones de las propiedades físicas. Los sistemas de cultivo y labranza influyen la tasa de infiltración final del agua en el

suelo, tanto por la modificación de la rugosidad y cobertura de la superficie, como por la alteración de la estructura, de la densidad y de la porosidad.

La labranza del suelo puede, inicialmente, mejorar la infiltración y, algunas veces, beneficiar el drenaje. Pero, con el tiempo, la labranza favorece la degradación de la estructura y la reducción de la tasa de infiltración.

2.1.5 Principales tipos de labranza.

Barber, R. (2000), Una manera de visualizar la terminología de las labranzas es imaginar un triángulo (ver Figura 2). En la base se encuentra la labranza convencional que incluye un rango completo de operaciones para la preparación de la tierra. Cuando el triángulo se hace más angosto el número de labranzas disminuye, lo que corresponde a la labranza reducida. En el vértice del triángulo la preparación de la tierra está eliminada completamente como en la labranza cero.

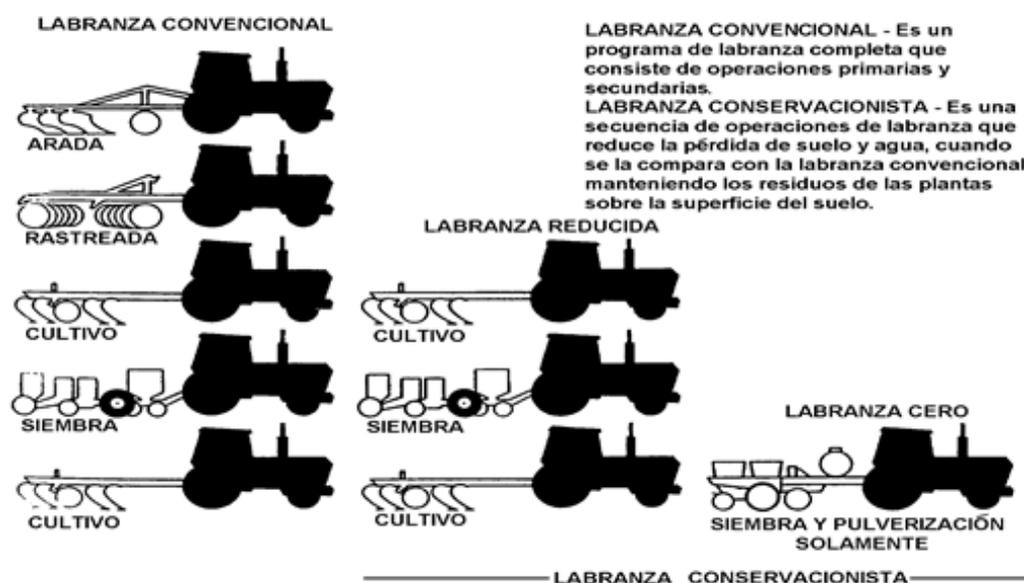


Figura N°2.2:Triangulo de la labranza: Labranza convencional, labranza reducida y labranza cero (Barber, 2000).

Luego hace una clasificación de los principales tipos de labranza del modo siguiente:

A.- Labranza convencional.- El principio de la labranza convencional se basa en la inversión del suelo con el objetivo de controlar las malezas, seguido por varias operaciones para la preparación de la cama de siembra. Se requiere un arado de vertedera o un arado de discos para la labranza primaria. Un arado de vertedera reversible aumenta la eficiencia del

trabajo. Después de la labranza primaria se necesita una rastra de discos y a veces también una rastra de dientes. Se utiliza una sembradora convencional y para el control de malezas se requieren una asperjadora y/o cultivadores de hileras.

Ventajas:

- Controla muy bien las malezas, menor costo de herbicidas.
- Permite el control de enfermedades e insectos al enterrar los rastrojos de los cultivos.
- Facilita la incorporación de fertilizantes, cal, pesticidas y herbicidas pre-siembra.
- Facilita el aflojamiento del perfil, de capas compactadas y costras.
- Apto para la incorporación de pastos en sistemas de rotaciones de cultivos.
- Crea una superficie rugosa que mejora la infiltración de la lluvia con solamente una arada.

Limitaciones:

- Los suelos quedan desnudos, y por lo tanto susceptibles al encostramiento y a la erosión hídrica y eólica.
- Requieren muchos equipos para las diferentes operaciones.
- Para ahorrar tiempo a menudo se utilizan tractores pesados y grandes que aumentan la compactación.
- Mayor consumo de combustible, tarda más para sembrar y es menos flexible cuando la época de siembra está perjudicada por el clima.
- El subsuelo puede eventualmente llegar a la superficie lo cual a su vez, si las características físicas y químicas del subsuelo no fueran favorables, podría provocar problemas de germinación y del crecimiento inicial del cultivo.
- La inversión y las muchas labranzas del suelo resultan en un suelo blando y susceptible a la compactación.

B.- Labranza reducida o labranza mínima.

Los términos labranza reducida se refieren a los sistemas de labranza donde hay menor frecuencia o menor intensidad de labranza en comparación con el sistema convencional. Esta definición es bastante amplia y por lo tanto los sistemas de labranza que varían en los implementos, frecuencia, e intensidad pueden ser considerados como la labranza reducida. Los tipos de implementos y el número de pasadas también varía; la consecuencia es que en

algunos sistemas quedan muy pocos rastros y en otros más de 30%. Por ello, algunos sistemas de labranza reducida son clasificados como labranza conservacionista mientras que otros no. En general, los sistemas de labranza reducida no ocupan el arado vertedera ni el arado de discos; alguno de ellos pueden ser:

- **Con rastra de discos.-** En este sistema se hacen una o dos pasadas de rastra de discos, luego se siembra normalmente con una sembradora convencional. Las ventajas están en el ahorro en combustible y tiempo, y en la formación de condiciones favorables para la germinación. Las limitaciones son que muchas veces queda una baja cobertura de rastros aunque eso depende del ángulo de los discos y el número de pasadas. Cuanto mayor es el ángulo de los discos, mayor será la remoción del suelo y menor la cobertura de rastros; de esta manera los suelos quedan susceptibles al encostramiento. En suelos susceptibles a la compactación, se hacen varias pasadas con la rastra de discos a la misma profundidad (normalmente 10-15 cm) cada año; esto resultará en la formación de un piso de arado. La labranza poco profunda dificulta el control mecánico de las malezas y entonces es necesario confiar más en el uso de herbicidas.
- **Con arado de cincel o cultivador de campo.-** Este sistema consiste en dos pasadas del arado cincel o del cultivador de campo y luego la siembra. Normalmente una pasada con el arado cincel no afloja todo el terreno. Las ventajas son las mismas mencionadas anteriormente, pero además aumentará la infiltración de la lluvia especialmente en suelos susceptibles a la compactación y el endurecimiento. Normalmente con este sistema queda una cobertura de rastros mayor del 30%, por lo que el sistema es considerado conservacionista y da protección al suelo contra la erosión. Las limitaciones son que las condiciones físicas del suelo y las ondulaciones superficiales dificultan la siembra y por lo tanto la germinación. También existe una cierta dificultad para incorporar uniformemente los herbicidas antes de la siembra.
- **Con rotocultor.-** Este sistema tiene las mismas ventajas de los sistemas citados arriba. La mayor limitación es que el rotocultor tiende a pulverizar los suelos y dejar una baja cobertura de rastrojo sobre él, que queda en condiciones susceptibles al encostramiento. Además, se puede provocar la formación de un piso de arado con el paso de tiempo.

C. Labranza vertical

La principal característica de la labranza vertical es que utiliza brazos o flejes equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo, dejando en la superficie una cobertura protectora formada por los residuos del cultivo anterior y por las malezas arrancadas.

Los implementos principales en la labranza vertical son el arado cincel rastrojero, el vibrocultivador y el cultivador de campo rastrojero (Figura 3). Se debe notar que la terminología empleada para los implementos ilustrados sigue la usada por los fabricantes o aquella más comúnmente usada. Las ilustraciones sirven para clarificar las definiciones empleadas.

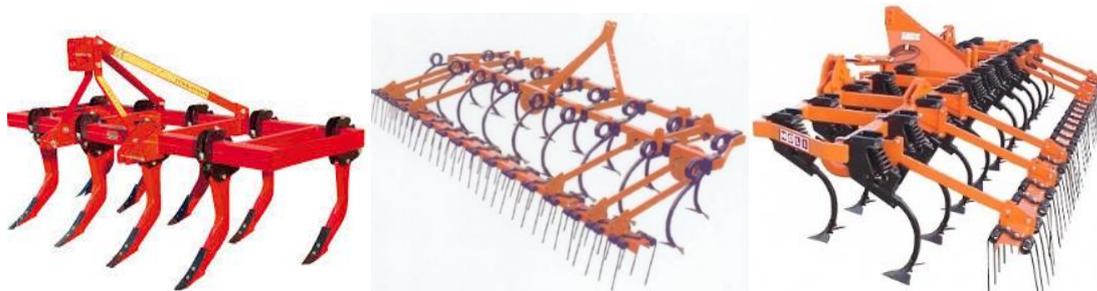


Figura N°2.3:Arado cincel rastrojero, vibrocultor y cultivador de campo rastrojero. (Barber, 2000)

Ventajas

La labranza vertical sostiene mejor la productividad de los suelos debido a la presencia de los rastrojos en la superficie que protegen el suelo contra los procesos de erosión. Esta cobertura de rastrojos también impide la formación de costras superficiales (planchado) que pueden provocar una baja emergencia de los cultivos. Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir no forman una capa dura en el subsuelo (piso de arado) que limita la profundización de las raíces. En cambio los discos de labranza convencional ocasionan capas duras.

Debido a que la labranza vertical no invierte el suelo, hay menos descomposición de la materia orgánica y menos pérdida de humedad, que es muy importante antes de la siembra.

La labranza vertical es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza

convencional, sobretodo debido a que el vibrocultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por consiguiente es posible preparar entre 50 hasta 80% más de superficie por día con labranza vertical, si se la compara con labranza convencional.

Limitaciones

La mayor limitación de la labranza vertical es la dificultad de controlar mecánicamente las malezas estoloníferas y rizomatosas en condiciones húmedas, especialmente las gramíneas, como por ejemplo el pasto Bermuda (*Cynodondactylon*). En la labranza vertical los implementos arrancan las malezas y las dejan en la superficie. Si por algunos días no llueve y la superficie del suelo está húmeda rebrotan fácilmente; por eso, en el caso de una parcela muy enmalezada y con pasto Bermuda es mejor no usar la labranza vertical.

Este problema es mucho más grave en los cultivos de maíz y sorgo donde no existen herbicidas (o son antieconómicos) para el control de post-emergencia de malezas gramíneas. En cambio no es un problema serio en la soya, donde existen buenos herbicidas pre-siembra incorporados y de post-emergencia para controlar las gramíneas. Otra limitación de la labranza vertical es que podría incidir en incrementos de plagas y enfermedades asociadas con los rastrojos que no se entierren completamente.

Conclusiones:

- a. La labranza vertical es más conservacionista, eficaz y económica que la labranzaconvencional.
- b. La labranza vertical es apta para un amplio rango de suelos, pero no es aconsejable su aplicación en suelos muy enmalezados, y que tienen mucho pasto Bermuda (*Cynodondactylon*).
- c. Es importante que la cosechadora está equipada con picadora y distribuidora de paja, y que se haga desbrozamiento de los rastrojos y malezas para mantener una distribución uniformedel suelo. Así se pueden evitar problemas de atascamiento.
- d. Se recomiendan una o dos pasadas del arado cincel rastrojero, a una profundidad quedependa del espaciamiento entre los lazos para la labranza primaria. Se debería hacer laprimera pasada lo antes posible después de la cosecha; el tractor debe avanzar a unavelocidad de 7 a 9 km/h. Alternativamente se puede usar un arado cincel vibrador que avanzamás rápido que el arado cincel, pero no tiene discos cortadores delanteros.

- e. Se recomiendan una o dos pasadas del vibrocultivador de 8 a 10 cm de profundidad para la labranza secundaria, y que el tractor avance a una velocidad de 8 a 12 km/h.
- f. Para emparejar suelos livianos y medianos se aconseja el uso de un peine de dedos largos o una rastra de dientes. No se recomienda el uso de rodillos tipo canasta ni tipo helicoidal para suelos de estas texturas.
- g. Para suelos moderadamente pesados y pesados se recomienda acoplar uno o dos rodillos livianos tipo canasta, o un rodillo desterronador pesado, de modo de disminuir el tamaño de los terrones y emparejar.
- h. El cultivador de campo equipado con puntas tipo pie de ganso, puede sustituir el vibrocultivador. Además puede ser usado para la preparación de tierras en invierno; no debe usarse cuando el suelo esté aun ligeramente húmedo.
- j. Después de preparar las tierras con labranza vertical se puede sembrar con una sembradora convencional equipada con ruedas de presión.

D.- Labranza en bandas

En este sistema se preparan hileras para la siembra de sólo 5 a 20 cm de ancho y 5 a 10 cm de profundidad. El suelo entre las hileras no es disturbado, solamente se controlan las malezas y queda con una cobertura protectora de malezas muertas y rastrojos.

Ventajas

- El aflojamiento del suelo en las bandas da buenas condiciones para la siembra y germinación de la semilla y para el crecimiento inicial de las plantas.
- Se puede usar una sembradora convencional.
- La presencia de una cobertura protectora sobre el suelo entre las bandas facilita la infiltración de la lluvia.
- Hay menos problemas de erosión y encostramiento en el suelo entre las bandas de siembra.
- Hay menor uso de combustible, gasto de equipos y es necesario menos tiempo para preparar el suelo.
- No se requieren tractores de gran potencia.
- Es más fácil colocar fertilizantes en las bandas de suelo removido.
- El sistema es apto para suelos compactados y suelos endurecidos.

Limitaciones

- El suelo en las bandas de siembra puede formar costras que impiden la emergencia del cultivo; es menos apto para suelos susceptibles al encostramiento.
- Es más difícil preparar las bandas para producir buenas condiciones para la siembra con implementos convencionales. Es mejor usar maquinaria especial que muchas veces no está disponible. (Ver el sistema de labranza en bandas en la sección que trata de sistemas combinados de labranza-siembra).

E.- Labranza en camellones

En este sistema los camellones pueden ser anchos o angostos, y los surcos pueden funcionar de dos maneras: atrapar y acumular la lluvia en zonas semiáridas, o drenar el exceso de agua en zonas húmedas. Por lo tanto el sistema debe ser diseñado para necesidades específicas, o sea para conservar humedad, para drenar humedad o para aceptar humedad como en sistemas de riego por gravedad. Los camellones y surcos pueden ser construidos a mano, con tracción animal o con maquinaria. Además, los camellones pueden ser construidos cada año o pueden ser semi-permanentes haciendo solamente operaciones de mantenimiento cada año. En los sistemas construidos cada año queda una baja cobertura de rastrojos sobre la superficie, mientras que en los sistemas semi-permanentes, la cobertura depende del sistema del control de las malezas y el manejo de los rastrojos. También existen camellones anchos con lomos ligeramente combados que tienen un ancho que varía entre siete y diez metros.

Ventajas

- Cuando los camellones están construidos paralelos al contorno conservan la humedad en zonas semi-áridas y sub-húmedas. La lluvia queda atrapada entre los surcos donde se infiltra, en lugar de perderse como escorrentía. Para aumentar la infiltración se pueden construir tapones o barreras en los surcos a distancias de uno a tres metros.
- Cuando los camellones y surcos se construyen con una ligera pendiente drenan el exceso de humedad en suelos con problemas de drenaje y/o en zonas húmedas y muy húmedas. El sistema drena el exceso de humedad por movimiento superficial del agua y lateralmente de los camellones hacia los surcos. Sembrando en los camellones también tiene el efecto de elevar la zona de enraizamiento del cultivo arriba del horizonte impermeable o de la napa freática. Esto resulta en mejor germinación y un crecimiento

más profundo de las raíces. Este sistema es muy apto para los vertisoles y otros suelos arcillosos con problemas de drenaje.

- El suelo en los camellones no sufre compactación.
- El aflojamiento del suelo en los camellones presenta mejores condiciones para la germinación.
- El sistema de camellones y surcos facilita la combinación de diferentes cultivos sembrados en el surco y en los camellones al mismo tiempo.
- La fuerza de las costras que se forman en los camellones angostos es menor en la cumbre debido a la formación de grietas de tensión que favorecen la emergencia.

Limitaciones

- En los sistemas construidos cada año queda poca cobertura protectora sobre el suelo y por lo tanto hay muchos riesgos de encostramiento y erosión hídrica.
- El sistema no es apto para pendientes mayores de 7% debido a los riesgos de la acumulación de exceso de agua en los surcos que podría causar derrumbamientos o desbordes de los camellones.
- Requiere mucha mano de obra para construir los camellones en sistemas manuales y mayor tiempo para sistemas de tracción animal y de mecanización.
- Requiere más tiempo para el mantenimiento de los camellones y surcos.
- En los camellones semi-permanentes se pueden sembrar sólo cultivos con el mismo espaciamiento que en sistemas mecanizados.

E.- Labranza cero

Ventajas

- Reduce los riesgos de erosión y por lo tanto se puede implementar la labranza cero en pendientes mucho mayores que bajo labranza convencional.
- Aumenta la tasa de infiltración de la lluvia, reduce la evaporación y por ello aumenta la retención de humedad en el suelo.
- Aumenta el contenido de materia orgánica en el horizonte superficial, mejorando la estructura del suelo.
- Estimula la actividad biológica; la mayor actividad de la macrofauna resulta en mayor macroporosidad.

- Reduce las temperaturas muy altas y las fluctuaciones de temperatura en la zona de la semilla.
- Reduce el consumo de combustible hasta un 40-50% debido al número limitado de operaciones: sólo una pasada para la preparación y la siembra.
- Reduce el tiempo y la mano de obra hasta un 50-60%. Esto es ventajoso en períodos críticos, especialmente cuando hay pocos días disponibles, por ejemplo para la siembra del cultivo.
- Este sistema es por lo tanto, más flexible que otros sistemas convencionales. A veces, gracias al poco tiempo requerido para sembrar, pueden ser sembrados dos cultivos por año en lugar de uno.
- Reduce el número de maquinaria, el tamaño de los tractores y los costos de reparación y mantenimiento de la maquinaria.
- Frecuentemente, los rendimientos son mayores bajo labranza cero, especialmente en zonas con déficit de humedad.
- Es apta para suelos livianos y medianos, suelos bien drenados, suelos volcánicos, y para áreas sub-húmedas y húmedas.

Limitaciones

- No es apta para suelos degradados o severamente erosionados.
- No es apta para suelos muy susceptibles a la compactación o para suelos endurecidos debido a que no puede aflojar las capas compactadas que perjudican la emergencia, el desarrollo inicial del cultivo y el crecimiento de las raíces.
- No es apta para suelos mal drenados, o arcillosos y masivos debido a las dificultades de crear buenas condiciones para la germinación excepto en suelos naturalmente muy esponjosos.
- No son aptas para suelos recién desmontados que todavía tienen ramas en la capa superficial debido a los riesgos de daños a la sembradora.
- Requiere un buen conocimiento sobre el control de malezas, porque no es posible corregir los errores por medio del control mecánico.
- Puede haber un incremento en la población de las malezas más difíciles de controlar.
- No es apta para suelos infestados con malezas debido a los problemas de control.
- Requiere maquinaria específica y cara.

- Es más difícil incorporar pesticidas contra insectos del suelo y fertilizantes fosforados que tienen que ser colocados bajo tierra.
- Para modificar una sembradora de siembra directa de modo que pueda colocar fertilizantes bajo tierra será necesario introducir unidades adicionales de discos cortadores y discos abresurcos.
- Pueden surgir problemas con enfermedades y plagas por la persistencia de rastrojos sobre el suelo que crean un mejor ambiente para su desarrollo. Sin embargo la presencia de los rastrojos también puede estimular la proliferación de los predadores naturales de las plagas. Es muy importante supervisar periódicamente el campo para controlar la incidencia de las plagas. En el caso del algodón pueden surgir más problemas de plagas porque no es factible enterrar los rastrojos como una práctica fitosanitaria normal.
- No es apta para las rotaciones trigo-maíz ni trigo-sorgo porque no es posible aplicar herbicidas pre-siembra incorporados contra las malezas gramíneas. Esta situación puede cambiar cuando se disponga de herbicidas post-emergentes específicos contra las gramíneas en los cultivos de maíz y sorgo.
- No es apta cuando no se puede tener una buena cobertura de rastrojos sobre el suelo.
- Este sistema requiere operadores más capacitados.

2.1.6 Sistema de labranza y productividad de los suelos

Según Acevedo (2003), el efecto de la labranza en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con la intensificación de la agricultura con prácticas tradicionales de labranza, que incluyen inversión del suelo, tiene como efecto la disminución de la materia orgánica del suelo. La cero labranza, con residuos sobre la superficie del suelo, sube el contenido de materia orgánica de éste afectando positivamente sus propiedades físicas, químicas y biológicas y por lo tanto, su productividad. La labranza tradicional con inversión de la capa superficial del suelo, ayuda al control de malezas y formación de una cama de semillas, sin embargo, expone el suelo a la erosión hídrica y eólica y a la oxidación acelerada (quemada) de su materia orgánica. El balance de carbono del suelo en condiciones de labranza tradicional resulta negativo. La productividad del suelo aumenta o disminuye de acuerdo a su contenido de carbono orgánico. Hay abundante evidencia de carencia de sustentabilidad en los sistemas agrícolas de cultivos anuales en que se realiza labranza con inversión de suelo. El problema se genera por la exposición del suelo a la erosión hídrica y eólica y por la

oxidación de la materia orgánica con la consecuente pérdida de carbono del suelo. Los balances de carbono en suelos en que se realiza labranza tradicional son negativos. La cero labranza, manteniendo los rastrojos sobre el suelo, evita la erosión y ayuda a almacenar carbono en el suelo mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, aumentando su productividad y haciendo que el suelo cumpla un rol de almacenamiento de carbono desde el punto de vista ambiental. Esta práctica agronómica disminuye, además, las emisiones de CO₂ a la atmósfera por menor consumo energético.

Martinez *et al.* (2008), concluye que el carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos. El COS se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el COS aumenta la solubilidad de varios nutrientes. El COS asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo. La cantidad de COS no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo. Existen prácticas de manejo que generan un detrimento del COS en el tiempo, a la vez hay prácticas que favorecen su acumulación.

2.1.7 Agricultura de conservación.

Nichols *et al.* (2015), precisa que la agricultura de conservación es un sistema de manejo de cultivo construido sobre tres principios:

- Reducir la labranza: En los sistemas de agricultura de conservación los productores se esfuerzan por perturbar el suelo lo menos posible para evitar destruir su estructura.
- Mantener la cubierta del suelo mediante la retención de residuos del cultivo o vegetación viva: una cobertura de la tierra durante todo el año protege el suelo de la erosión, promueve la retención del agua en el suelo, mejora las propiedades físicas y químicas, y promueve la actividad biológica.
- Utilizar rotaciones de cultivos: La diversificación de los cultivos plantados sucesivamente ayuda al manejo de plagas y enfermedades, el ciclo de los nutrientes y mitiga el riesgo económico.

Estos principios proporcionan un marco flexible para trabajar dentro de una variedad de ambientes y situaciones socioeconómicas; dependiendo del sistema de producción previo, la adopción de la agricultura de conservación puede involucrar cambios importantes en el manejo. La Agricultura de Conservación se basa en el concepto fundamental del manejo integrado del suelo, del agua y de todos los recursos agrícolas. Su característica principal es que bajo formas específicas y continuadas de cultivo, la regeneración del suelo es más rápida que su degradación de modo que la intensificación de la producción agrícola es económica, ecológica y socialmente sostenible.

Sin embargo, a pesar de numerosas restricciones económicas y agroecológicas para mejorar el manejo de las tierras, los agricultores pueden mejorar la calidad del suelo a través del uso de tecnologías que fomenten tanto la productividad como la conservación los suelos y agua.

2.2 CULTIVO DE TRIGO Y FERTILIZACION NITROGENADA DEL TRIGO

2.2.1 Generalidades

MINAG (2014), precisa que el trigo es uno de los tres cereales más importantes producidos a nivel mundial junto al maíz y el arroz y es el más consumido por el hombre en la civilización occidental desde inicios de la humanidad. Del trigo se extrae el grano que es utilizado en la industria de harina, elaborándose: pan, fideos, galletas y una gran variedad de productos alimenticios; a su vez es utilizado en consumo directo para la preparación de muchos platos.

En el Perú, este cereal fue introducido por los españoles en forma casual alrededor del año 1540, en una remeza de garbanzos. Fueron tres damas españolas las que difundieron e introdujeron los primeros trigos, los cuales se sembraron en los alrededores de Lima y adquirieron gran importancia. El trigo forma parte del consumo básico de la población peruana, pero la producción es deficitaria. El 97% de la superficie cultivada se encuentra ubicada en la sierra y el 3% en la costa. El 90% del área sembrada en el país se realiza en secano.

La producción del cereal se desarrolla mayormente sobre los 2 mil hasta 4 mil metros de altitud, en suelos pedregosos y superficiales, en laderas donde no prosperan otros cultivos. En estas zonas no se dispone de semillas certificadas ni asistencia técnica que garanticen

calidad y productividad. La población campesina de nuestra sierra depende mucho de este grano para su alimentación y su economía.

La producción nacional de trigo creció en los últimos seis años a una tasa promedio anual de 1.8%, en el 2008 se producían 206.9 miles de toneladas, mientras que el 2013 el volumen producido alcanzó las 230 mil toneladas. Sin embargo, el cultivo del trigo en el Perú, no logra cubrir la demanda interna, razón por la que cerca del 90% del cereal que se consume es importado, procedente principalmente de Canadá, Estados Unidos, Rusia, Argentina y Paraguay. Las importaciones peruanas de trigo fueron de 1'805,092 TM en el año 2013 por un valor de US\$ 626 millones, mayor en 6.4% al volumen importado durante el año 2012, (MINAG, 2014).

2.2.2 Origen y clasificación taxonómica

El trigo es originario de la región montañosa y árida del sudeste de Asia, era cultivado en Siria ya 5000 a.c. y fue muy importante en la alimentación del pueblo de Babilonia, ya hace unos 6000 años el trigo era conocido, cultivado y utilizado por los egipcios en la época de los faraones, de ahí su cultivo y consumo se extendió al resto del mundo antiguo. Hoy en día es la gramínea más cultivada. El trigo tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Irak. El trigo tiene la siguiente clasificación taxonómica (Villarreal, 2000)

- Reino : Vegetal
- División : Magnoliophyta
- Subdivisión : Pteropsidae
- Clase : Angiospermae
- Subclase : Monocotyledonea
- Grupo : Glumiflora
- Orden : Graminales
- Familia : Poaceae
- Tribu : Triticeae
- Subtribu : Triticineae
- Género : Triticum
- Especie : aestivum, durum, turgidum, etc.

2.2.3 Descripción botánica del trigo

2.2.3.1. Raíz

El sistema radical consiste de raíces seminales y adventicias, de estructura densa y fasciculada, en forma de cabellera que se desarrolla a partir de la corona. Las raíces seminales (usualmente cinco a seis raíces de una semilla) son las que se originan a partir de primordios encontrados en la semilla, y las raíces adventicias que se originan a partir de los primordios desarrollados después de la germinación pueden ramificar hasta 30 cm y pueden profundizar más de 150 cm, según las características del suelo. Las raíces adventicias surgidas de los nudos de la corona llegan a constituir el sistema de sustento definitivo después de las raíces seminales o primarias (Herbek et al. 2008; Mellado, 2007).

2.2.3.2. Tallo

El tallo es cilíndrico, recto, con nudos macizos y entrenudos huecos, sin embargo difiere en grosor según la cantidad de médula. Debido al crecimiento continuo, el alargamiento del tallo es resultado de la elongación del entrenudo. El crecimiento en longitud es a partir del tejido meristemático de los nudos y no por el ápice como ocurre en la mayoría de las plantas, terminando en una espiga. La altura puede variar entre 40 y 180 cm (Herbek et al. 2008; Mellado, 2007).

El macollamiento se caracteriza por la aparición de brotes laterales (retoños) de las axilas de las hojas verdaderas en la base del tallo principal de la planta. Los macollos secundarios pueden desarrollarse a partir de la base de macollos primarios si las condiciones favorecen el desarrollo del tallo (Herbek et al. 2008).

2.2.3.3. Hojas

Las hojas constan de dos partes: vaina y lámina. Nacen en los nudos de los tallos y su crecimiento se produce en los meristemas ubicados en la base por encima de la unión con la vaina. Están dispuestas de manera alterna, y provistas de una vaina en su parte inferior que envuelve una porción del tallo y que, en su parte superior, termina en una prolongación membranosa como una lengüeta de forma ovalada llamada lígula. En la base de la hoja hay un par de prolongaciones llamadas aurículas o estípulas, que normalmente abrazan al tallo, y que generalmente son de color blanco, aunque en algunos casos son de color rojo debido a pigmentos antociánicos (carotenoides). Las hojas son normalmente de color verde, con

variaciones en la tonalidad según la variedad y estado vegetativo, la ausencia o presencia de vellosidades o la existencia de cera en la cutícula (Mellado, 2007).

2.2.3.4. Inflorescencia

La inflorescencia es una espiga donde cada parte de la misma puede ser identificada por una combinación de espiguillas sésiles, las mismas que van directamente unidas a un raquis sinuoso o eje de la inflorescencia (Carver, 2009). Cada espiguilla contiene flores hermafroditas (cada flor contiene tres estambres y dos estigmas plumosos), las que en número de 3 a 5 están protegidas por brácteas o glumas y cada flor está rodeada por dos glumas, llamadas palea y lema. En el caso de las variedades barbadas el lema se alarga como una arista (Mellado, 2007).

Poco después de que ha emergido totalmente la inflorescencia del trigo, la floración (anthesis) se produce. Sin embargo, la floración y polinización de los cereales pueden ocurrir ya sea antes o después de la emergencia de la espiga, dependiendo de las especies de plantas y variedades. En general, la floración del trigo comienza dentro de tres o cuatro días después de la emergencia de la inflorescencia (Herbket al., 2008).

2.2.3.5. Granos

Los granos son cariósides y su llenado ocurre después de la polinización, donde el embrión (rudimentario, sin desarrollar) y el endospermo (espacio de almidón y almacenamiento de proteínas en la semilla) se empiezan a formar. Los fotosintatos (producto de la fotosíntesis) son transportados al desarrollo del grano desde las hojas, principalmente la hoja bandera. (Herbket al., 2008). Los granos en su mayoría presentan un color ámbar, apariencia vítrea debido a su endospermo córneo y la forma más común es la ovalada, con extremos redondeados. El grano harinero puede tener casi todos los matices que van del rojo al blanco, dependiendo de su textura. Actualmente, en el comercio internacional se habla de granos de trigo “red” o “white”, indicando a la vez si se trata de trigos invernales o primaverales, o si son de textura dura o blanda. (Mellado, 2007).

2.2.4 Fisiología del trigo

2.2.4.1. Germinación

La emergencia dura entre 5 a 10 días según la temperatura y humedad del suelo (Rasmusson, 1985). Después de la germinación, el coleóptilo (una vaina de la hoja que encierra la planta embrionaria) llega a la superficie y la primera hoja emerge. Las hojas crecen enrollado del tubo formado por las bases de las hojas anteriores, desenrollando una vez surgido. Las hojas surgen continuamente en el tallo principal y tallos hasta que surja la hoja final (hoja bandera). La aparición de la hoja bandera es una etapa de crecimiento importante para temporizar la aplicación de determinados reguladores de crecimiento. Las hojas maduras envejecen progresivamente y poco a poco las de toda la planta se secan hasta su plena madurez, cuando el grano está maduro (Box, 2008).

2.2.4.2. Macollamiento

Los macollos o tallos secundarios aparecen de las yemas axilares del primer tallo. De acuerdo a Briggs; Reid y Wiebe citados por Rasmusson (1985) el número de macollos por planta es influenciado por la densidad y la genética del cultivar, así como también de factores ambientales. Por lo general una planta desarrolla entre uno y seis tallos sin embargo dentro de lugares favorables muchas veces se presentan ocho (Box, 2008). Precisa que dependiendo de la densidad de siembra y disponibilidad de agua y nutrientes el macollo presenta especial relevancia ya que el número y vigor de éstos determinará en porcentaje significativo el número de espigas verdaderas que sobrevivirán por metro cuadrado, un componente del rendimiento.

2.2.4.3. Encañado

Guañuña, (2014), El encañado inicia con la aparición del primer nudo, determinándose antes de su presencia sobre la superficie del suelo. En ese momento es posible visualizar la futura espiga, la cual se encuentra justo sobre dicho nudo, presentando un tamaño de aproximadamente 5 mm. De ahí en adelante se produce un rápido crecimiento de los tallos, los cuales, durante la etapa de encañado, van estructurándose con base en la formación de nuevos nudos y entrenudos. Al finalizar la etapa del encañado se presentan las aurículas de la hoja bandera y aparecen las aristas o barbas en la espiga.

2.2.4.4. Espigamiento y floración

El espigamiento se caracteriza por la emergencia de las aristas y por la presencia de espiguillas primordiales (Rasmusson, 1985). Días después del espigamiento, ocurre la aparición del primer estambre y la apertura de las flores comienza en el segundo tercio de la espiga empezando por la espiguilla central, posteriormente las laterales y continua hacia arriba y hacia abajo. La flor se abre por 100 minutos, pero la extrusión de las anteras y su dehiscencia es de solamente 10 minutos. La floración se completa en dos días, Guañuña, (2014).

2.2.4.5. Formación del grano

Después de la polinización, el crecimiento del grano dentro de la flor es muy rápido en longitud, terminando al séptimo día, cuando comienza a aumentar la materia seca del grano. A las dos semanas comienza el estadio de grano pastoso, es coincidente con el máximo contenido de agua del grano y el fin del aumento de materia seca.

La palea empieza a amarillear a partir del centro de su parte dorsal. El llenado del grano depende del suministro de carbohidratos y citoquininas. Al final de esta expansión las células acumulan carbohidratos, proteínas y el llenado del grano en el trigo se completa en 30 días después de la antesis, Guañuña, (2014).

Estados fisiológicos en las que se determinan los componentes del rendimiento del trigo (resultados y discusión)

FAO (2001), relaciona las fases externas de la escala Zadoks(en rojo) y los dos estados internos observables en el ápice, doble arruga y espiguilla terminal. Muestra el momento en que se inician, crecen y mueren los componentes del tallo (recuadros verdes) y cuándo se forman los componentes del rendimiento (barras). Esta figura ayudará a identificar qué componentes están siendo afectados por las prácticas del agricultor en un determinado momento.

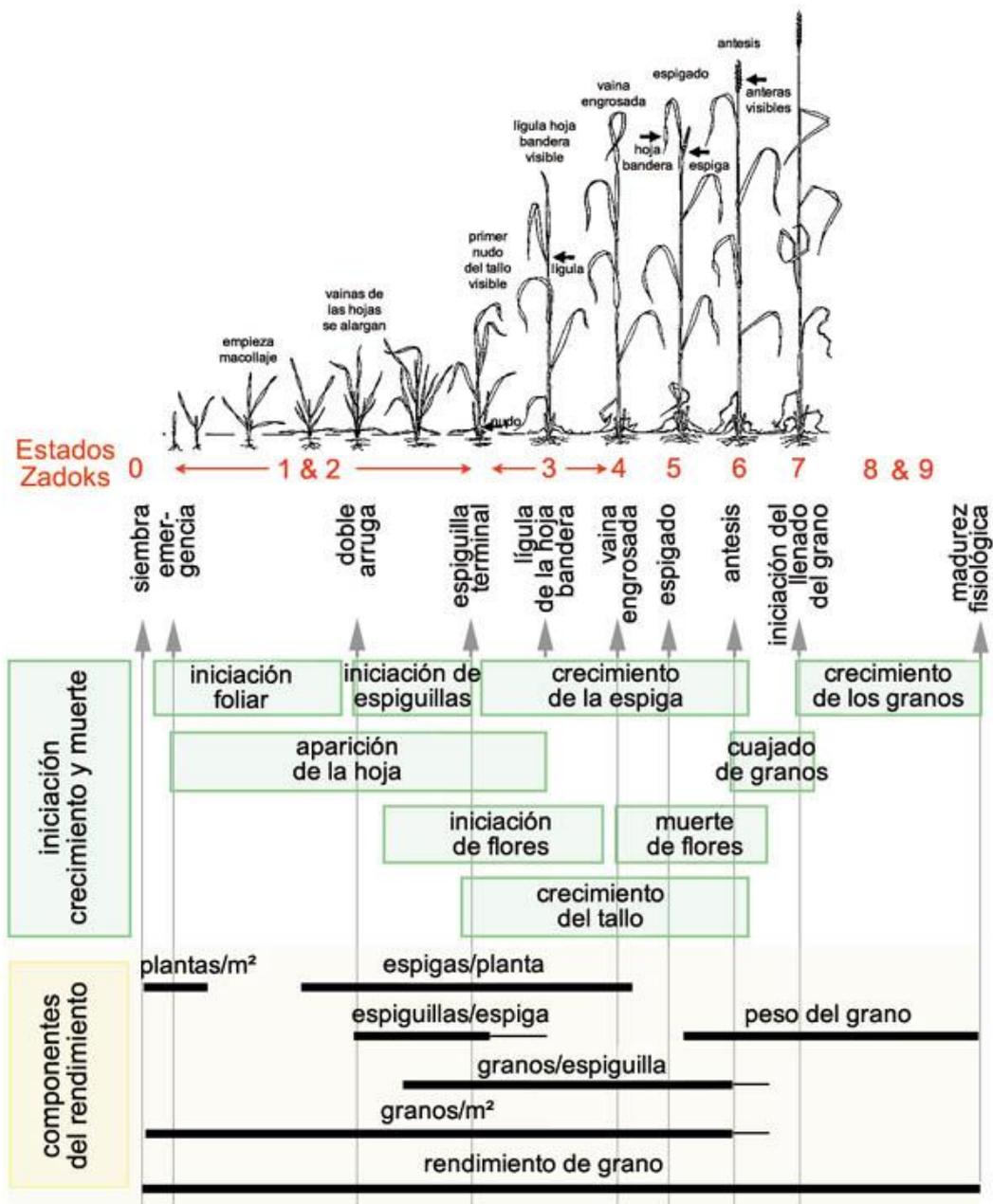


Figura N°2.4: Dibujos para ayudar a identificar las fases de la escala Zadoks (FAO, 2003).

2.2.5 La materia orgánica y la disponibilidad de nitrógeno.

La materia orgánica (MO) está compuesta elementalmente por carbono (C), hidrógeno, oxígeno, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), en cantidades variables (Rosell et al., 2001; Carreira, 2005). Ella le confiere al suelo características muy particulares por el efecto que ejerce sobre sus propiedades químicas y físicas. Constituye una importante fuente de nutrientes para las plantas, proporcionando casi todo el N y una gran parte del P y del S. Puede mencionarse además su poder buffer, su efecto sobre la bioactividad y persistencia de plaguicidas, su alta capacidad de intercambio catiónico, y conforma, además

un enorme depósito geoquímico de carbono (Bohn et al. 1995). Además, participa activamente en la formación de la estructura del suelo (Vázquez et al., 1990; De Nobili & Maggioni, 1993; Weil & Magdoff, 2004), modificando la distribución del espacio poroso y la actividad de los microorganismos, la resistencia a la compactación, susceptibilidad a la erosión eólica o hídrica, así como la dinámica y la retención de agua.

Martinez (2015), Indica que la materia orgánica y la productividad están relacionados, pero son pocos los casos en los cuales se han observado relaciones directas. Esto se debe a que el efecto sobre propiedades benéficas del suelo es generalmente indirecto, existiendo un umbral por debajo del cual la relación con el rendimiento es más importante. Es el atributo del suelo que con más frecuencia se utiliza en los estudios de largo plazo como un indicador importante de su calidad y de su sustentabilidad agronómica. Las diferentes fracciones orgánicas del suelo contribuyen en forma distinta a la productividad de los cultivos. En las últimas décadas han comenzado a desarrollarse estudios de separación física de la materia orgánica, tendientes a aislar la fracción menos transformada y más dinámica se la ha denominado: materia orgánica “joven”, “particulada” (MOP) o “liviana”; formado principalmente por el material orgánico más joven y activo del suelo, compuesto por partículas de mayor tamaño que el humus, en forma libre en la matriz mineral.

En suelos con pasturas naturales de la región semiárida Pampeana, Galantini, J.A. & Landriscini, (2007) determinaron que los contenidos de N, P y S en la fracción más dinámica de la MO fueron de 989, 163 y 110 kg ha⁻¹, respectivamente. Es decir, la MOP representa una fuente de nutrientes muy importante, fácilmente utilizable por el cultivo dentro de los sistemas productivos que incluyen labranzas que favorecen su oxidación. Esta fracción es sensible al sistema productivo utilizado y aporta al cultivo de trigo entre 64 y 134 kg ha⁻¹ de N, mientras que el proveniente de la MO humificada oscila entre 8 y 15 kg ha⁻¹. El N es un elemento indispensable para maximizar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Por su dinámica, susceptibilidad a las pérdidas y altos requerimientos de las plantas, es uno de los nutrientes deficientes en forma generalizada.

2.2.6 Fundamentos de la fertilización nitrogenada en los cultivos.

Ortuzar & Iragorri (2007), Considera que el Nitrógeno es el elemento que más directamente influye en la producción vegetal y en el contenido de proteína de los cultivos de grano. En el caso del trigo existe una demanda de producción de grano de calidad que se

remunera económicamente. Estas circunstancias, de carácter económico y medioambiental, exigían el desarrollo de un sistema de fertilización nitrogenada racional que posibilitara la optimización de la utilización del N en las condiciones edafo-climáticas específicas de Álava; para su entendimiento de la dinámica del N en el suelo precisa los siguientes:

- **Ciclo del Nitrógeno**

El ciclo del nitrógeno es el conjunto de todos los factores físicos (abióticos) y los procesos biológicos que determinan las transformaciones, cambios, conversiones y suministro de este elemento a los seres vivos. Es uno de los importantes ciclos biogeoquímicos en que se basa el equilibrio dinámico de composición de la biosfera. El nitrógeno se encuentra en el aire (en forma gaseosa) en grandes cantidades (78% en volumen) pero sólo pueden acceder a él en este estado un conjunto muy restringido de formas de vida, como las cianobacterias y las azotobacteriáceas. Los organismos autótrofos requieren por lo general que el nitrógeno (N) se halle en forma de ion nitrato (NO_3^-) para poder absorberlo; los heterótrofos necesitan el nitrógeno ya reducido, en forma de radicales amino ($-\text{NH}_2$), y lo toman formando parte de la composición de distintas biomoléculas en sus alimentos. Los autótrofos reducen el nitrógeno oxidado que reciben como nitrato (NO_3^-) a grupos amino, reducidos (asimilación). Para volver a contar con nitrato hace falta que los descomponedores lo extraigan de la biomasa dejándolo en la forma reducida de ion amonio (NH_4^+), proceso que se llama amonificación; y que luego el amonio sea oxidado a nitrato, proceso llamado nitrificación. Gracias a los múltiples procesos que conforman el ciclo del nitrógeno (N), todos los tipos metabólicos de organismos ven satisfecha su necesidad de nitrógeno. (Vision Learningy Darwich1989)

Según Ortuzar & Iragorri (2007), en el suelo, el N está presente en tres formas:

- i. como compuestos orgánicos asociados con el material vegetal, organismos y humus del suelo,
- ii. como N amoniacal ligado a las arcillas minerales, que es difícilmente extraíble y
- iii. como N mineral en disolución en forma mayoritaria de amonio y nitrato.

El 95% del N del suelo está en forma orgánica y, por tanto, no disponible para las plantas. La mineralización del N orgánico ocurre cuando los microorganismos del suelo descomponen los residuos vegetales o la materia orgánica, liberando el N que no utilizan para su crecimiento en forma de amonio (NH_4^+). El proceso contrario, es decir, la

inmovilización del N mineral (tanto en forma de nitrato como de amonio) por los microorganismos ocurre cuando éstos no obtienen el suficiente N para su crecimiento y toman el N inorgánico del suelo. Ambos procesos ocurren simultáneamente y el balance entre ellos, denominado mineralización neta, determina la cantidad de N mineral que el suelo pone a disposición de las plantas. Las principales entradas de N al sistema suelo-planta son la deposición atmosférica, las excretas animales, la fijación biológica del nitrógeno y la fertilización nitrogenada (Fig. 3).

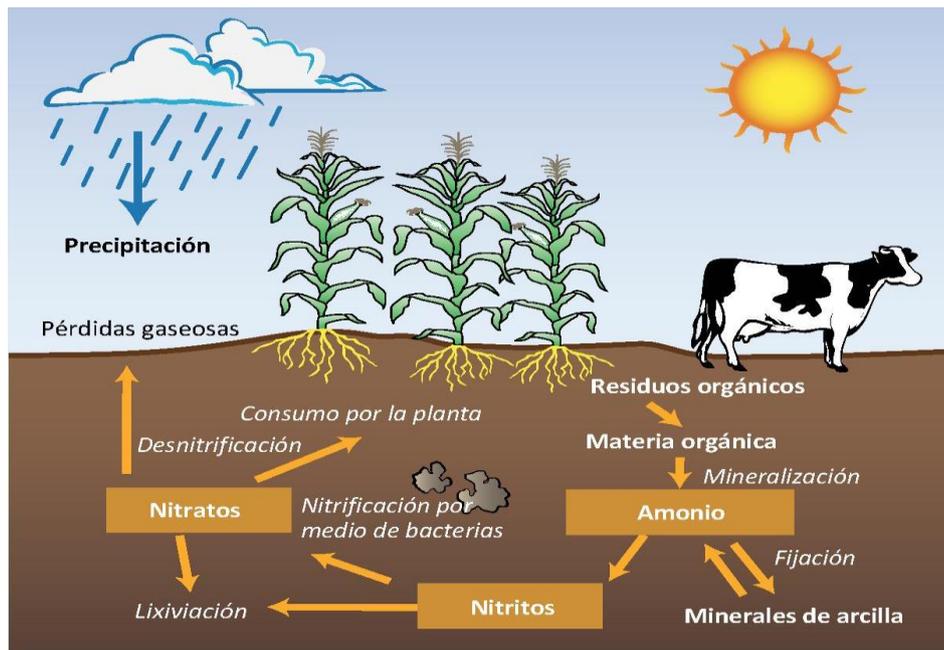


Figura N°2.5: Esquema simplificado del ciclo del N, la principal reserva de nitrógeno está en el suelo en forma de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+). (Adaptado de www.windows2universe.org).

La deposición de la atmósfera y la lluvia puede suponer hasta $45 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La lluvia proporciona una cantidad pequeña, pero significativa, estimada en unos $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Otras deposiciones atmosféricas se calculan entre 6 y $15 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (González & Murua, 2004).

Las excretas animales son un recurso valioso que permite completar el ciclo de nutrientes y que hace que gran parte del nitrógeno, fijado por las leguminosas y cosechado en forma de forraje pueda volver al suelo. El porcentaje de nitrógeno de la atmósfera es de un 78%, sin embargo, el N en la atmósfera se encuentra como N_2 y éste es poco reactivo en la mayoría de condiciones naturales, solo pudiendo pasar a formas aprovechables por las plantas (amonio o nitrato) mediante la fijación de N_2 . Este proceso puede producirse mediante la

combustión de N_2 con oxígeno a altas temperaturas, como ocurre con los rayos o en el proceso de fabricación de fertilizantes, o mediante ciertos microorganismos que tienen la dotación bioquímica que les permite incorporar el N_2 atmosférico a sus estructuras y convertirlo en N disponible para las plantas. En la fijación biológica del N_2 atmosférico operan dos sistemas: 1) la fijación por microorganismos de vida libre, y 2) la fijación por microorganismos que viven en simbiosis con plantas superiores, como el caso de la simbiosis del sistema Rhizobium-Leguminosa.

Las principales salidas de N del suelo son la extracción por parte de la planta y las pérdidas por volatilización de amoníaco, escorrentía, lixiviación de nitrato y en forma gaseosa por nitrificación y/o desnitrificación. Las plantas pueden tomar por las raíces tanto nitrato como amonio. El nitrato es absorbido por las raíces mediante transportadores de alta y baja afinidad y se almacena en vacuolas para posteriormente ser reducido a amonio en la raíz y/o transportado por el xilema a la parte aérea de las plantas. En las hojas puede ser de nuevo almacenado en vacuolas o reducido a amonio.

El ión NH_4^+ es retenido en el suelo por las cargas negativas de las arcillas. Sin embargo, si el pH del suelo aumenta, el equilibrio existente entre el NH_4^+ y el NH_3 disuelto se desplaza hacia la forma de NH_3 . De este modo, se puede dar una pérdida de amoníaco hacia la atmósfera. Las pérdidas por volatilización de amoníaco aumentan con la temperatura, valores de pH superiores a 6-7 y cuando se han realizado adiciones de residuos orgánicos al suelo (Stevenson, 1982). El N en el agua de escorrentía puede estar presente en forma orgánica junto con las partículas del suelo erosionado o en forma inorgánica disuelto en el agua. Las pérdidas por lixiviación y nitrificación y/o desnitrificación se comentan a continuación.

- **Pérdidas por lixiviación y zonas vulnerables**

El anión NO_3^- se liga solo débilmente a las partículas del suelo y por lo tanto sigue el movimiento del agua. Las plantas absorben los nutrientes disueltos en el agua evacuando así mismo el agua a la atmósfera mediante la transpiración por las hojas. Por otro lado, el agua también se puede evaporar desde el suelo. La lixiviación de NO_3^- ocurre por lo tanto con el agua de drenaje cuando el suelo está saturado de agua y la entrada de agua supera la pérdida de la misma por evapotranspiración. Numerosos estudios indican que la aplicación de cantidades mayores de fertilizante nitrogenado que la dosis óptima hace incrementar

notablemente el nitrato lixiviado en las aguas de drenaje ya que se rebasa la capacidad del cultivo de aprovechar el N aplicado (Chaney, 1990; Richards *et al.*, 1996; Kjellerup & Kofoed, 1983). Como consecuencia de una alta lixiviación de nitrato, las aguas se contaminan y eutrofizan (Addiscott *et al.*, 1991).

- **Pérdidas gaseosas: nitrificación y desnitrificación**

Ortuzar & Iragorri, (2007), Indica que los procesos bacteriológicos de nitrificación y desnitrificación son las fuentes principales de N₂O en la mayoría de suelos. La nitrificación es un proceso aeróbico microbiano relativamente constante en los ecosistemas. En él, el amonio se oxida primero a nitrito y posteriormente a nitrato. En este proceso de oxidación de amonio a nitrito se puede producir y liberar N₂O a la atmósfera. Por lo tanto, la disponibilidad de amonio (NH₄⁺) y oxígeno son los factores más importantes que controlan la nitrificación del suelo. La desnitrificación es, por el contrario, un proceso anaeróbico en el que el carbono orgánico se utiliza como fuente de energía y el nitrato como oxidante, reduciéndose a los compuestos gaseosos nitrogenados finales N₂O y N₂. Así, los principales factores que controlan la desnitrificación biológica son la presencia de oxígeno, la disponibilidad de carbono y la de nitrato y otros óxidos de nitrógeno. Desde un punto de vista ambiental se podría pensar que la desnitrificación es un proceso favorable, ya que compite con el proceso de lixiviación por el nitrato del suelo. Sin embargo, la desnitrificación sólo será favorable dependiendo del gas obtenido como producto final. Si el gas producido es N₂ no hay riesgo desde el punto de vista ambiental. Sin embargo, si la reducción de nitrato produce como producto final N₂O, la situación cambia ya que el N₂O contribuye al calentamiento global y también participa de forma indirecta en la reducción de la capa de ozono (González & Murua, 2004).

- ***Fertilización racional***

El nitrógeno es esencial para el desarrollo de las plantas y causa un crecimiento rápido y visible en las mismas. Este elemento es, después del agua, el factor limitante del crecimiento más importante para las plantas y, por tanto, para la producción agrícola. Consecuentemente, el consumo global de fertilizantes ha incrementado notablemente desde 1940. Antes de la Segunda Guerra Mundial la cantidad de fertilizante nitrogenado utilizado en el mundo era de 3 Mt mientras que en 1988 alcanzó 80 Mt y se prevé que en 2008 alcanzará los 90 Mt para satisfacer la demanda global de alimentos. Parte de este

incremento se debe a la rápida y extensa adopción de variedades de trigo de menor estatura con altos rendimientos e índices de cosecha y mayor sensibilidad al aporte de nitrógeno asociada a la “revolución verde”. Por lo tanto, la cantidad de N que circula por los compartimentos del ciclo del N relacionados con la agricultura ha aumentado substancialmente generando varios problemas medioambientales. Los principales son: i.) mayores cantidades de nitrato en el suelo y en aguas superficiales, ii.) eutrofización y pérdida de biodiversidad, iii) acidificación de los suelos y aguas superficiales por deposición de amoníaco y óxidos nítricos y iv) aumento de óxido nitroso (N₂O) en la atmósfera, un gas que contribuye al efecto invernadero y a la degradación de la capa de ozono. Además, estos problemas están asociados a la menor eficiencia de la fertilización nitrogenada. Para minimizar los problemas medioambientales y maximizar la eficiencia de la fertilización y por tanto el beneficio económico de los agricultores se sugiere una fertilización más racional que trate de ajustar la dosis a las necesidades de la planta atendiendo a los momentos de mayor necesidad de ésta y considerando todas las fuentes de nitrógeno disponibles (N mineral del suelo, N en el agua etc.).

Para el trigo, sitúan los momentos de mayor absorción de N en los estadios fenológicos Z25 y de Z30 a Z58 según la escala de Zadoks (Zadokset *al.*, 1974). Es decir, en torno al ahijado y desde inicio de encañado hasta antes de antesis. Addiscott (1991) estima que la necesidad de N del trigo en nacencia, normalmente inferior a 10 kg ha⁻¹, puede ser suplida por la propia mineralización del suelo. En el inicio de ahijado, Z20, la dosis del aporte debe corresponder a la biomasa a obtener en inicio de encañado y no más, de manera que no se favorezca la aparición de hijuelos no productivos y el consumo de lujo.

En la salida de invierno las necesidades de N son elevadas (Guerrero, 1999) por lo que se hace necesario un aporte de nitrógeno. En este periodo se debe calcular el N a aportar teniendo en cuenta que en este estadio se deciden componentes de rendimiento importantes así como que el peligro de lixiviación por abundantes lluvias y, por lo tanto, el derroche de N puede ser sustancial, proponen un tercer aporte nitrogenado en hoja bandera. El aporte en hoja bandera, Z37, enriquece las partes vegetativas del trigo con N que luego se trasladará al grano, aumentando el contenido de proteína en el mismo.

2.2.7 Fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo

Lopez (2015), Indica que el nitrógeno es el principal elemento mineral y el de mayor influencia en el rendimiento de los cereales. Sin embargo, cada uno de los tres elementos principales (nitrógeno, fósforo y potasio) no produce su pleno efecto si no están presentes cantidades suficientes de los otros dos (sin olvidar a los micronutrientes secundarios). La interacción entre el nitrógeno y el potasio es probablemente la más importante. Dosis elevadas de nitrógeno en ausencia de una nutrición potásica suficiente hace a los cereales sensibles a las enfermedades y accidentes, en especial al encamado, y limita los rendimientos, disminuyendo la calidad y el peso específico. Gracias al potasio la productividad del nitrógeno puede aumentar en más de un 50%. La fertilización nitrogenada debe corregir y completar en el tiempo la liberación de nitrógeno a partir de la materia orgánica. Por ello, el establecimiento de la dosis de fertilizante y la fecha de aplicación constituyen un problema importante, y a la vez complejo y aleatorio, que cada año se plantea de forma distinta al agricultor. Para tomar tal decisión deben aunarse un conjunto de conocimientos (necesidades del cultivo, reservas del suelo, clima y residuos del cultivo anterior), de observaciones (estado del medio y del cultivo) y estimaciones aproximadas (meteorología futura y potencial de rendimiento del cultivo). La diferencia entre la absorción de nitrógeno por la cosecha y las disponibilidades del suelo determinan teóricamente el fertilizante a aplicar. Sin embargo, será necesario introducir un índice corrector, referido a la eficacia real de la fertilización. Este índice de eficacia se considera que en condiciones de campo varía del 40 al 80%, aunque cuando existe déficit hídrico o la fertilización se realiza en la siembra, la eficiencia del N puede ser inferior.

- **Bases fisiológicas.**

El rendimiento de un cultivo de trigo es el resultado de la interacción de una serie de factores abióticos (fertilidad física y química del suelo, radiación, temperatura, precipitaciones, etc.), y bióticos (plagas, enfermedades, malezas) con el genotipo y la estructura del cultivo. La interacción entre estos factores no es lineal ni aditiva, sino que hay retroalimentación entre ellos, de modo que la alteración de uno de estos factores modificará el equilibrio, aunque no necesariamente en la forma e intensidad buscada. (Miguez, 2005).

El rendimiento puede considerarse como el producto entre dos componentes: el número de granos por unidad de superficie y el peso por grano (o peso de mil granos / 1000). Siendo el primero el que mejor explicaría la variabilidad de los rendimientos. Como estos componentes se definen en distinto momento (figura.6), la distinción entre ellos permite considerar el efecto del ambiente en cada componente por separado; el 21 número de granos/m² se define al inicio del llenado del grano y el peso por grano al finalizar el período de llenado. (Abbate, 2005)

Esquema mostrando las etapas críticas en la determinación del rendimiento a lo largo del ciclo del cultivo de trigo. Las curvas muestran la evolución del peso seco de las espigas (con y sin grano) para un cultivo con buena disponibilidad de agua y nutrientes. (fig.6) (Abbate, 2005)

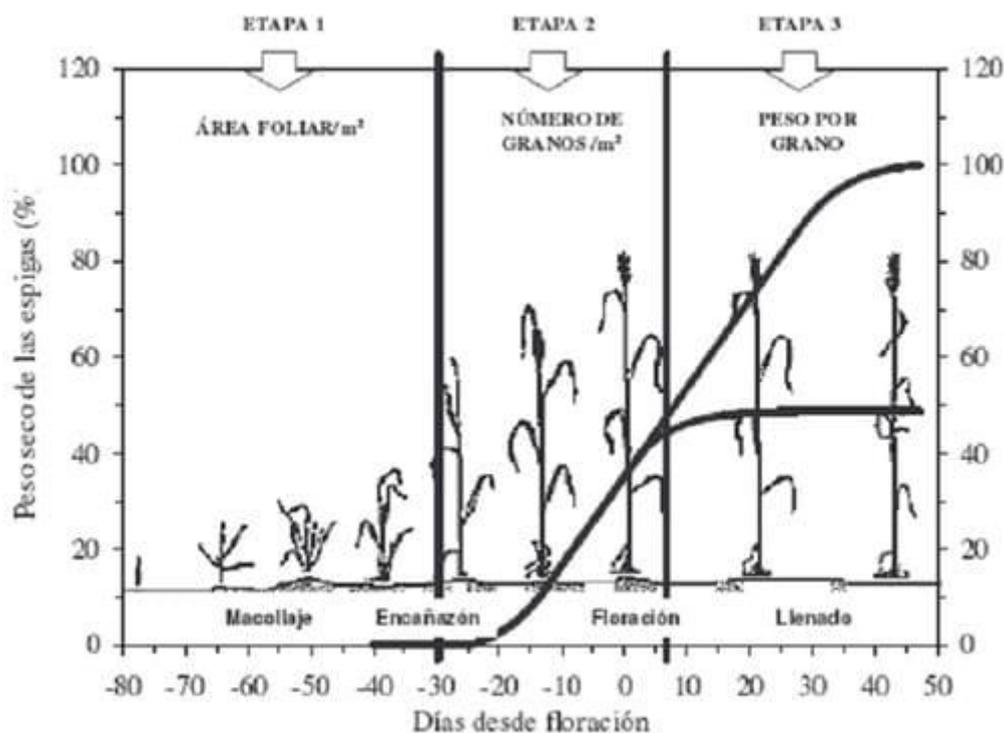


Figura N° 2.6: Evolución del peso seco de las espigas (con y sin grano) para un cultivo con buena disponibilidad de agua y nutrientes. (Abbate, 2005)

La primera etapa comienza con la emergencia, abarca el macollaje y hasta aproximadamente la mitad de la encañazón, siendo el suceso más importante la expansión del área foliar. Si bien el área foliar suele aumentar hasta 10-15 días antes de floración, al final de esta primera etapa es de esperar que el cultivo posea suficiente área foliar como para cubrir totalmente el suelo e interceptar la mayor parte de

radiación solar disponible. La segunda etapa corresponde al período de crecimiento de espigas y finaliza con el inicio del llenado de granos, quedando determinado el número de granos por unidad de superficie. La tercera etapa es la del llenado de los granos, en la que los mismos incrementan su peso. Comienza pocos días después de la floración y dura hasta alcanzar la madurez, quedando determinado así el peso por grano y consecuentemente el rendimiento.

Por otra parte, como explica Abbate (2005), la tasa de crecimiento de las espigas depende directamente de la tasa de crecimiento del cultivo durante esta etapa. A su vez, en condiciones de crecimiento potenciales, la tasa de crecimiento del cultivo es el resultado de la cantidad de radiación que llega al cultivo y del área foliar que el cultivo disponga para interceptarla. Para alcanzar el número de granos potenciales un cultivo deberá generar durante la etapa de expansión de área foliar (primera etapa) suficiente follaje como para interceptar toda (más del 90%) la radiación incidente durante el período de crecimiento de las espigas (segunda etapa). Así es que el cultivo aumentará el número de granos/m² al aumentar la radiación recibida durante el período de crecimiento de las espigas.

Como vemos en la figura 2.7, la definición del número de granos se produce a lo largo de distintas etapas del cultivo y, fundamentalmente en la etapa reproductiva, aunque no todas estas etapas tienen la misma importancia relativa, ya que existe un período crítico para la definición de dicho componente del rinde.

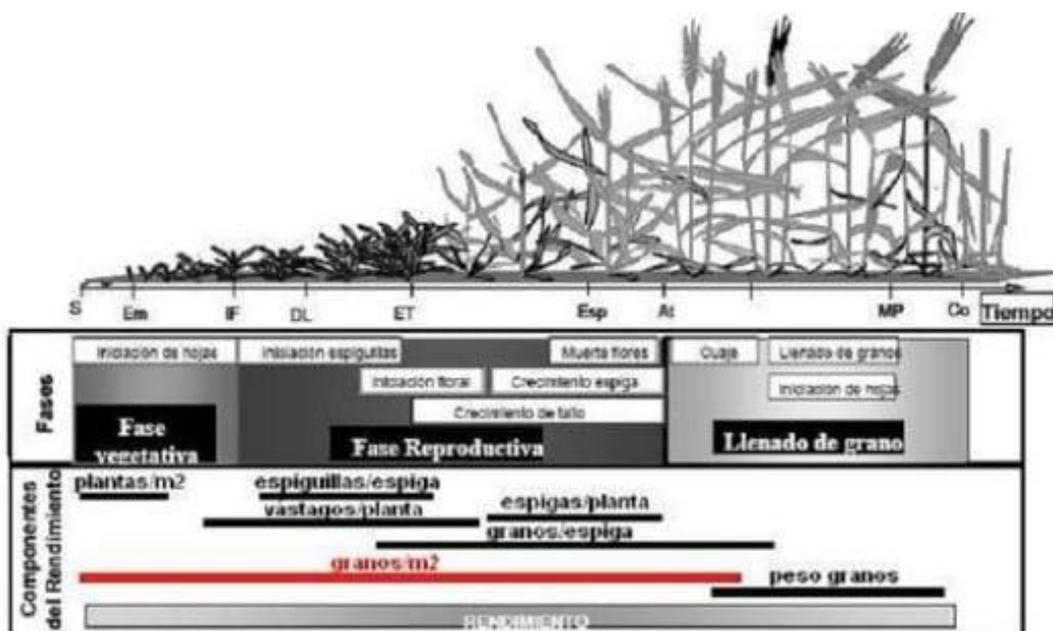


Figura N°2.7:Ciclo ontogénico del cultivo de trigo, correlacionado con los componentes que generan el rendimiento. (fig.7) (adaptado de Miralles, 2004).

Este período tiene un lapso que media desde 20 días antes de floración hasta 10 días post-floración. (Miralles, 2004) Sin embargo, Abbate (2005) señala que se debe tener presente que el período más crítico para la determinación del rendimiento puede variar entre condiciones de manejo, años y localidades. En el período crítico se define el número de macollos que finalmente llegarán a producir espigas, estableciendo el número de espigas/m²; y se define también el número de primordios florales que sobrevivirán dentro de cada una de las espiguillas, dando como resultado el número de flores fértiles a floración, las que luego del cuaje serán establecidas como granos.

Abbate (2005) explica que las limitaciones de nitrógeno tienen poco efecto sobre el llenado de los granos afectando el rendimiento principalmente a través del número de granos/m². La baja disponibilidad de nutrientes reduce la interceptación de la radiación y su eficiencia de uso, afectando la capacidad fotosintética del cultivo. Si esta situación se mantiene durante el período de crecimiento de las espigas, el número de granos/m² se verá afectado debido a la disminución de la tasa de crecimiento del cultivo. Las deficiencias de nitrógeno no sólo reducen el número de granos a través de un menor peso seco de las espigas, sino que además afectan la fertilidad de las espigas. Para que el rendimiento no resulte limitado, el cultivo deberá absorber, hasta el inicio del período de crecimiento de las espigas, suficiente cantidad de nutriente como para lograr el área foliar que le permita interceptar toda la radiación disponible.

Posteriormente, el cultivo deberá absorber suficiente nutriente como para mantener la máxima tasa de crecimiento que permita la radiación disponible. Alta disponibilidad hídrica y de nutrientes desde estados tempranos, pueden favorecer un crecimiento inicial excesivo, el cual no solo no serán ventajosas desde el punto de vista del aprovechamiento de la radiación, sino que pueden predisponer el vuelco del cultivo y el lavado del nitrógeno de los horizontes de suelo explorados por las raíces.

Por otra parte, según el autor, a una disponibilidad de nitrógeno dada, existe una relación inversa entre el porcentaje de nitrógeno (o proteína) del grano y el rendimiento. En ambientes en que el rendimiento se asocia más con el número de granos que con el peso por grano, es de esperar que el contenido proteico del grano se relacione más con las condiciones de crecimiento hasta el inicio del llenado, que con las condiciones durante el llenado de los granos. Sea cual fuere el caso, la relación proteína vs. Rendimiento, podría modificarse manejando el nitrógeno absorbido por el cultivo.

Generalmente, la fertilización nitrogenada, particularmente si es tardía, aumenta más el nitrógeno absorbido por el cultivo que el número de granos/m², mejorando el contenido proteico del grano. No obstante, altos porcentajes proteicos elevan los requerimientos de nitrógeno (kg. de nitrógeno absorbido por kg. de rendimiento). Así, existe una situación de compromiso entre bajos requerimientos (alta eficiencia de uso de nitrógeno) vs. Alta concentración de nitrógeno en el grano. La solución de esta situación de compromiso escapa al ámbito de la fisiología.

En cuanto al uso de fungicidas, Miralles (2004) señala que la reducción del aparato fotosintético debido a enfermedades foliares disminuirá la cantidad de granos que el cultivo puede producir arrastrando inevitablemente a un menor rendimiento ya que la disminución en el número de granos difícilmente pueda ser compensada por el aumento en el peso de los mismos, pero esta remoción de hojas (y de nitrógeno) que involucra la defoliación y las enfermedades foliares no reducen el porcentaje de proteína del grano. (Abbate, 2005)

- **Requerimientos nutricionales del cultivo de trigo.**

La tabla 3 muestra los requerimientos nutricionales del cultivo de trigo, en términos de kgs. de nutriente absorbidos para producir una tonelada de grano, y el índice de cosecha, que es la proporción del total de nutriente absorbido que se destina a grano. A modo de ejemplo, se indican los requerimientos y extracción en grano para un rendimiento de 5000 kg/ha.

Nutriente	Requerimiento	Índice de Cosecha	Rendimiento de 5000 kg/ha Necesidad	Extracción
	kg/ton grano		kg/ha	kg/ha
Nitrógeno	30	0.66	150	99
Fósforo	5	0.75	25	19
Potasio	19	0.17	95	16
Calcio	3	0.14	15	2
Magnesio	3	0.50	15	8
Azufre	4.5	0.25	23	6
Boro	0.025		0.125	
Cobre	0.010	0.75	0.050	0.038
Hierro	0.137		0.685	
Manganeso	0.070	0.36	0.350	0.126
Zinc	0.052	0.44	0.260	0.114

Cuadro N° 2.1: Requerimientos nutricionales del cultivo de trigo. (Adaptado de INPOFOS).

- **Métodos de diagnóstico para evaluar la nutrición nitrogenada.**

García (2004) menciona que entre los principales métodos de diagnóstico para la fertilización nitrogenada de trigo en nuestro país se encuentran:

- 1) Los balances de N simplificados,
- 2) La evaluación de N disponible en pre-siembra,
- 3) Los análisis de planta, y
- 4) Los modelos de simulación agronómica (MSA),

Como el modelo de predicción CERES que una vez calibrado para una zona permite hacer un uso más eficiente del N del suelo y el N aplicado; ya que integra los factores de suelo, clima y manejo que afectan la dinámica del N y el crecimiento y rendimiento del cultivo. (Salvagiotti et al, 2003)

Finalmente, tenemos al balance de N, que es una de las metodologías más aceptadas para cuantificar la dinámica del N en el sistema suelo-planta. Simula procesos de ganancias, pérdidas y transformaciones del elemento en el sistema. De esta forma se puede determinar la cantidad de fertilizante nitrogenado requerido por el cultivo de acuerdo a la siguiente ecuación (Castellarín y Pedrol, 2005):

$$N_{fert} = [N_{cult} - (N_{min} \times E_{min}) - (N_{inic} \times E_{inic})] / E_{fert}$$

Donde:

E_{inic} , E_{min} y E_{fert} son las eficiencias de uso de N_{inic} , N_{min} y N_{fert} respectivamente, que han sido estimadas para N_{inic} entre 0,4 - 0,6; valores mucho menores que la eficiencia de absorción de N_{min} que va desde 0,6 - 0,9, ya que esta fracción del N del suelo es liberada gradualmente durante el ciclo del cultivo.

En cuanto a la eficiencia de uso del N_{fert} esta variará de acuerdo al sistema de producción, la fuente nitrogenada y la tecnología de aplicación considerándose valores entre 0,5 - 0,6. El N_{inic} se determina en pre-siembra, siembra o post-siembra temprana por métodos convencionales de laboratorio. El N_{min} puede estimarse a partir de incubaciones de suelo en laboratorio o a partir del N absorbido por el cultivo en parcelas sin fertilizar. Echeverría et al. (2000) determinaron que la incubación de muestras de suelo por largos períodos en esas condiciones permite determinar la fracción del nitrógeno orgánico susceptible de

ser mineralizado (nitrógeno potencialmente mineralizable, N_0) y la constante de mineralización (k).

Sin embargo, la k se ve afectada por la temperatura y el contenido de agua del suelo. Por ello, para estimar la mineralización a campo, se requiere corregir la k por las condiciones hídricas y térmicas del período a evaluar. Sttudert et. al. (2000) estudiaron el modelo propuesto por Echeverría et.al. (1994) y concluyeron que, si bien es de cierta utilidad para realizar estimaciones de la cantidad de nitrógeno que sería capaz de mineralizar un suelo a partir de su pool mineralizable, presenta dificultades para ser usado independientemente de otras variables que influyen sobre la dinámica del nitrógeno en el suelo, para predecir la cantidad de ese nutriente que está efectivamente disponible para un cultivo de trigo. Y que, lograr una mejor capacidad predictiva del modelo requeriría de la predicción del efecto de corto plazo de la presencia en el sistema de material vegetal en descomposición en función de su calidad, cantidad y forma física. Del mismo modo, Salvagiottiet.al. (2000) determinaron una ampliavariación del N_{min} entre ciclos agrícolas, en el área triguera del sur de Santa Fe, que va desde 11 hasta 157 kgs/ha de N.

Por tanto, esta metodología presenta fuertes limitaciones debido: 1) a la variabilidad de los rendimientos objetivos, 2) a la variabilidad a campo del N_{nic} , 3) a las estimaciones del N_{min} y las eficiencias de uso de cada fracción y 4) a la baja relación entre la cantidad de N en los residuos y el rendimiento de trigo. Como ejemplo meramente informativo, podemos mencionar que Calviño et.al. (2002) determinaron, bajo siembra directa y con antecesor soja, una dosis óptima de $150-X$ (siendo X la cantidad de N en el suelo hasta los 60 cm. a la siembra en kg N/ha), para variedades tradicionales, y de $170-X$ para una variedad de germoplasma de origen francés.

La metodología de diagnóstico de requerimiento de N en base al análisis del contenido de nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje no contempla aspectos relacionados con la calidad comercial y panadera de los granos, a pesar de que el precio del trigo se incrementa o disminuye en función de la concentración de proteínas. En general, para un genotipo determinado, la concentración de proteína se relaciona inversamente con el rendimiento en grano y por lo tanto, la fertilización de base (siembra o macollaje) debería ser mayor si se pretende incrementar los parámetros relacionados con la calidad comercial y panadera del trigo.

En cultivos que no tienen restricciones hídricas, las aplicaciones de dosis crecientes de N en macollaje, permiten lograr aumentos en el rendimiento. Cuando las precipitaciones son escasas, no se determinan incrementos en el rendimiento y los contenidos de proteína aumentan. Cuando las precipitaciones son adecuadas, el incremento en las dosis de nitrógeno de base, no manifiestan mejoras significativas en proteína.

La aplicación de elevadas dosis de N en macollaje parecería no resultar en una adecuada estrategia de fertilización para mejorar los parámetros de calidad. Esto se confirma por la baja eficiencia de recuperación de N en los granos. (Echeverría, 2006) En síntesis, las fertilizaciones nitrogenadas con altas dosis en etapas tempranas del cultivo de trigo permiten lograr elevados rendimientos, pero no son una estrategia eficiente para mejorar el contenido de proteína. En última instancia y considerando la baja eficiencia de utilización de elevadas dosis nitrogenadas de base, el incremento desmedido de las mismas podría derivar en efectos adversos sobre la calidad del ambiente. (Echeverría, 2006)

2.3 LABRANZA DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL RENDIMIENTO DEL TRIGO.

Martínez (2015); concluye que, optimizar la fertilización nitrogenada en regiones con precipitaciones escasas y variables es difícil, ya que demanda conocer la dinámica del nitrógeno (N) en el sistema suelo-planta bajo siembra directa (SD). Por ello, la hipótesis general fue: en estas regiones la eficiencia de uso del N (EUN) varía con la disponibilidad hídrica y la eficiencia de la fertilización, se puede mejorar conociendo el aporte de N de las fracciones orgánicas lábiles. El objetivo general fue evaluar la EUN en diferentes condiciones edafoclimáticas y estimar la cantidad y origen del N proveniente de la descomposición de la materia orgánica. Para ello, se realizaron 18 ensayos de fertilización combinando dosis y momentos, desde 2004 hasta 2012, en dos ambientes climáticos. Asimismo, se evaluó la mineralización aparente de N, en 78 lotes agrícolas con más de 10 años bajo SD durante 2010 y 2011, con el objetivo de hallar indicadores edáficos de la mineralización y del cultivo. Se pudo comprobar la importancia de las fracciones más lábiles del carbono y del N orgánico sobre el N potencialmente mineralizable de incubaciones de largo plazo en laboratorio. El C de la fracción particulada fina (COPf) podría ser un mejor índice de la mineralización de N que el carbono orgánico particulado total (COPt). El N anaeróbico (Nan) fue el índice más relacionado con la mineralización de N, sin embargo, el uso de los índices rápidos junto con los parámetros del suelo mejoró la

predicción de la mineralización aparente. La aplicación de N al macollaje estuvo supeditada a la condición climática del año en particular. Sólo se detectaron mayores rendimientos con la dosis al macollaje -en el ambiente semiárido- en el año donde las precipitaciones superaron ampliamente a la media histórica. Para el ambiente subhúmedo no se encontró ningún efecto diferencial del N aplicado en estados vegetativos del cultivo. El clorofilómetro fue un indicador promisorio del N cosechado, sin embargo, no sería una herramienta certera para predecir el N del grano de trigo. Además, se comprobó que las lecturas de Spad junto con el N disponible predijeron mejor las eficiencias del uso del N y la eficiencia fisiológica. La SD mejoró todas las fracciones orgánicas de N. Si bien el N_{an} no estuvo asociado al N absorbido en madurez fisiológica, presentó diferencias entre sistemas de labranzas, siendo indicador de la fertilidad potencial, no necesariamente asociado con el rendimiento.

Osorio (2011), Estudió la influencia que ejercen los residuos, el efecto de los diferentes tipos de labranza y la fertilización, sobre el contenido de humedad, desarrollo y rendimiento de trigo. Se incluyen resultados de dos ensayos, localizados en la parte noroeste de México, en el Centro Experimental Norman E. Borlaug en un suelo Chromic Haplotorrert (Hyposodic Vertisol (Calcaric, Chromic)), bajo en materia orgánica (<1%), en condiciones semi-áridas. Se comparan prácticas agronómicas que difieren en tipo de labranza (camas permanentes y camas convencionales), manejo de rastrojo (dejar, empacar o quemar), dosis de fertilización de N bajo diferentes regímenes de riego y con rotación maíz-trigo. Se midieron el contenido de humedad en el perfil (0-60 cm) antes y después de cada riego, el desarrollo del cultivo dos veces por semana (NDVI) y el rendimiento de grano. En el primer ensayo (iniciado en 1991), se observa un menor contenido de humedad en el perfil del suelo en camas convencionales residuo incorporado y camas permanentes residuo quemado comparado con camas permanentes reteniendo (parte de) los residuos. Cuando no se retienen residuos la disponibilidad de agua en el suelo disminuye afectando el crecimiento del cultivo de trigo. El NDVI disminuyó y el rendimiento fue afectado cuando se siembra en camas permanentes residuo quemado y camas convencionales residuo incorporado, comparado con las camas permanentes reteniendo residuos. El segundo ensayo (iniciado en 2006) tiene dos ambientes: uno con riego completo el otro con riego reducido. En el ambiente de escasez de agua: riego reducido (un riego de pre-siembra y uno de auxilio) se observa mayor contenido de humedad en el perfil de camas permanentes reteniendo (parte de) los residuos, comparado a camas convencionales

incorporan residuos. Los valores de NDVI son más altos durante la formación de grano sembrado en camas permanentes comparado a camas convencionales. Bajo riego completo, el NDVI es más alto en camas permanentes durante la formación de grano que en camas convencionales. La retención de humedad en el suelo es mayor cuando se siembra en camas permanentes reteniendo residuos que en camas convencionales incorporando residuos. El rendimiento es mayor o igual en camas permanentes reteniendo residuos que en camas convencionales, la diferencia es que en camas permanentes se reducen costos de producción permitiendo mayor rentabilidad.

Camarillo (2008); en el Distrito de Desarrollo Rural 002, Rio Colorado que comprende los Valles de Mexicali, Baja California y San Luis Rio Colorado, Sonora, el trigo ha ocupado una superficie superior a las 80 mil hectáreas en los dos últimos años, el promedio de rendimiento durante el mismo periodo ha sido de 6 toneladas por hectárea y una utilidad de (1,102 pesos por hectárea en el 2002. La utilidad del productor se puede incrementar de un 100 a un 150% con la tecnología de costos mínimos. La adopción de esta forma de producir por parte de los agricultores regionales en los últimos 4 años se ha incrementado de tal forma que mientras que en el ciclo agrícola 1999/00 se tenían 1,086 ha, para 2001/02 la superficie fue de 9,190 hectáreas.

Ledesma et al. (2010), determinó los efectos de cuatro métodos de labranza, dos métodos de siembra, tres dosis de nitrógeno y dos calendarios de riegos sobre el rendimiento de cuatro variedades de trigo. La investigación se estableció en los ciclos otoño-invierno 2004-2005, 2005-2006 y 2006-2007. Se evaluaron cuatro métodos de labranza: barbecho-rastra, cero-labranza, multiarado-rastra y rastra; dos métodos de siembra: melgas y surcos; dos calendarios de riego; cuatro y tres riegos; tres dosis de fertilización nitrogenada: 120, 160 y 240 kg ha⁻¹; y cuatro genotipos: línea V-56, Bárcenas S2002 de tipo harinero, Gema C2004 y Topacio C97 de tipo cristalino. Los análisis de varianza en los cuatro métodos de labranza no detectaron diferencias en rendimiento en los factores principales años y métodos de siembra. El método de labranza barbecho-rastra y los métodos de siembra interaccionó con la dosis de nitrógeno. El número de riegos afectó el rendimiento de grano en tres métodos de labranza: barbecho-rastra, multiarado-rastra y rastra; del mismo modo, el calendario de cuatro riegos produjo mayor rendimiento que el de tres riegos. El rendimiento promedio de las variedades de trigo harinero Bárcenas S2002 y V-56 superó a las variedades cristalinas bajo el método de cero-labranza, pero no en los otros métodos.

En el método de barbecho-rastra, la variedad Gema C2004 mostró mayor rendimiento; en cero-labranza fueron las variedades Bárcenas S2002 y V-56; y para rastra fueron las variedades Gema C2004 y Bárcenas S2002.

Falotico et al.,(1999); concluye que en un suelo con una prolongada historia de agricultura continuada, el cultivo de trigo bajo siembra directa presentó menor acumulación de materia seca y de Nitrógeno, rendimiento y contenido de proteína más bajos que aquél realizado bajo labranza de conservación. El factor determinante de este comportamiento fue el menor suministro de nitrógeno por el suelo puesto de manifiesto por menor contenido de N-NO₃ - en seudotallos, de clorofila en hojas y por la mayor respuesta al agregado de nitrógeno. La aireación en la zona de crecimiento de las raíces pudo haber afectado el crecimiento inicial del cultivo bajo siembra directa, aunque no perjudicó el crecimiento posterior del cultivo.

(Navarrete et al. 2014); Precisa que la germinación de las plantas no mostró respuesta diferencial al sistema de laboreo cuando el cultivo fue trigo. Sin embargo, en la rotación con guisante (E3), el número de plantas nacidas fue significativamente mayor en el sistema de LC (60 plantas m⁻²) que en los sistemas de LM y SD (45 y 42 plantas m⁻², respectivamente), situación que viene registrándose frecuentemente en estos ensayos, en los cultivos de leguminosas . En cuanto al rendimiento del trigo, en la primera campaña (2012), no se encontraron diferencias significativas entre sistemas de laboreo ni en la interacción sistema de laboreo y nivel de fertilización, tanto en el monocultivo (E1) como en la rotación (E3), observándose que en esta última, los rendimientos del trigo (Adagio), fueron entre 2 y 3 veces superiores a los registrados en el monocultivo que indican que el cereal produjo un 50% más cuando estaba en rotación con veza para heno, que en monocultivo. Por el contrario, en 2013, con una pluviometría más favorable, 269 mm frente a los escasos 148 mm recogidos de noviembre a mayo en 2012, los rendimientos del trigo (Avelino) en el E1, sí mostraron respuesta diferencial al laboreo, resultando mayores en la SD que en los sistemas de LM y LC. En cuanto al nivel de fertilización, el rendimiento de los cultivos, tanto en monocultivo como en rotación, siguió la misma tendencia: valores absolutos superiores con la dosis reducida de fertilizante, que con la dosis convencional. Ahora bien, a nivel estadístico, tan solo se pudo diferenciar el trigo Adagio, cuyo rendimiento resultó significativamente mayor (1.407 kg ha⁻¹) con la dosis reducida de fertilizante, que con la dosis convencional (1.241 kg ha⁻¹) cuando se cultivó en

rotación. Cuando se cultivó en monocultivo (E1), dicha tendencia ya se hacía significativa a partir del 6,4%.

Mollericona (2013), De acuerdo a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos llegó a la siguientes conclusión; que La fertilización nitrogenada tuvo una respuesta positiva en el rendimiento de grano, obteniendo rendimientos de 2.19 ton/ha con (11 kg/ha N), 2.22 ton/ha con (21 kg/ha N), 2.26 ton/ha con (32 kg/ha N), 2.33 ton/ha con (43 kg/ha N), 2.32 ton/ha con (53 kg/ha N), 2.39 ton/ha con (64 kg/ha N) y 2.39 ton/ha con (75 kg/ha N) y que el mayor rendimiento de grano se obtuvo con la adición de 64 kg/ha de Nitrógeno, con relación al 0 Kg/ha de nitrógeno. Las diferentes dosis de aplicación de nitrógeno no tuvieron diferencias en el efecto de altura de planta, número de macollos por planta y peso de 1000semillas, peso hectolitrito, y número de granos por espiga en el cultivo de trigo; respecto al fertilizante foliar no se observó ninguna diferencia estadísticamente de las variables evaluadas de altura de planta, número de macollos por planta y peso de 1000 semillas de grano, peso hectolitrito, y número de granos por espiga. Con respecto a los T7 (64 kg/ha N) Y T8 (75 kg/ha N) se obtuvieron los mismos rendimientos y no así con los demás tratamientos y de acuerdo a los resultados económicos por medio de la Tasa de Retorno Marginal, se evidencia que los T7 (64 kg/ha N), T15 (43 kg/haN), no presentaron dominancia.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

La investigación en campose realizó durante la campaña agrícola 2015 - 2016, en el Centro Experimental de Pampa del Arco, propiedad de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; ubicado geográficamente a 13° 08` Latitud Sur y 74° 32` Longitud Oeste, a una altitud de 2760 m.s.n.m, del distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho, Perú; El campo de cultivo es apto para la conducción de cultivos bajo condiciones de secano por carecer de dotación de agua para riego. En la tabla 1 se presenta las coordenadas y rango longitudinal.

Cuadro N°3.1: Descripción de las coordenadas y rango longitudinal del centro experimental pampa del Arco

Localidad	Coordenadas		Rango Altitudinal	
	Latitud	Longitud	m.s.n.m	Región
Ayacucho	13° 08' 39"	74° 32' 00"	2760	Ayacucho

FUENTE: Elaboración propia

3.2 ANTECEDENTES DEL CAMPO EXPERIMENTAL

En la campaña 2013-2014 el campo de cultivo estuvo endescanso y durante la campaña 2014-2015 el campo experimental estuvo sembrado con maíz chala para cosechar como heno. La actividad agrícola solamente se desarrolla bajo régimen de lluvia; o sea se puede obtener solamente una cosecha por campaña agrícola.

3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS:

El clima de Ayacucho es templado a caluroso durante todo el año, en los meses de Mayo a Agosto presenta días con amanecer y anochecer fríos. Las precipitaciones pluviales son estacionales de intensidad regular los meses de octubre a abril con incremento de intensidad en los meses de enero a marzo. Según los datos meteorológicos que

corresponden a la campaña agrícola 2015-2016 que se obtuvieron de la Estación Meteorológica de INIA a 2735 m.s.n.m. (Cuadro N° 2), se observan las Temperaturas mínimas, medios y máximas mensuales de la campaña agrícola en referencia, se observa que el año fue seco por presentar un balance hídrico deficitario en la mayoría de los meses; habiendo superávit hídrico solamente en los meses de diciembre y febrero.

Martin (2009); indica que los principales factores ambientales que modifican de manera importante el desarrollo de los cultivos de trigo, son la temperatura, el Fotoperíodo y la Vernalización. Los cereales responden a estos factores, alterando la duración de algunas etapas particulares del ciclo del cultivo. La Temperatura se expresa a través del Tiempo Térmico (TT) y sus unidades se expresan en Grados-día. Cada cultivo requiere para cumplir sus diferentes etapas ontogénicas, acumular cierta cantidad de Grados-día de Temperatura. Ej.: si un cultivar o híbrido de Trigo necesita un TT de 1.000 °C para llegar a espigazón (con una temperatura base de 0 °C), le llevará 50 días lograrlo si está creciendo a temperaturas constantes de 20 °C.

La fórmula para determinar el TT es:

$$TT \text{ (en Grados-día)} = \Sigma (T_m - T_b)$$

T_m: Temperatura media diaria;

T_b: Temperatura base para la ocurrencia de un evento ontogénico determinado.

La Vernalización, se define como la acumulación de horas de frío dentro de un rango de temperaturas vernalizantes (entre 5 y 10 °C), necesarias para poder progresar normalmente en el desarrollo de la planta. Esto se da sólo en el Trigo (entre los cereales). La respuesta a la vernalización se puede representar bajo un modelo cuantitativo en el cual a partir de una determinada duración del tratamiento vernalizante, se logra la mínima duración de una determinada etapa de desarrollo, debido a que el cultivo se encuentra en la máxima tasa de desarrollo.

Una duración menor del tratamiento de vernalización, incrementará la duración de la etapa de desarrollo. No todos los cultivares o híbridos requieren vernalización y en los que la requieren, no todas las etapas de desarrollo son sensibles a la misma. El Fotoperíodo es un efecto de respuestas complejas que varían con la especie y con el estado fenológico. El estímulo fotoperíodo (duración del día), es percibido por las hojas y transmitido al ápice de

crecimiento, por lo que se cree que las plantas pueden percibir dicho estímulo desde el momento de la emergencia. El Trigo es aparentemente sensible desde la emergencia y el número mínimo de hojas coincide con el número de primordios iniciados a ese momento, (Martin, 2009).

La respuesta fotoperiódica se clasifica en relación a cómo afecta la tasa de desarrollo del cultivo y por lo tanto, la duración de las etapas fenológicas con relación al cambio en el Fotoperíodo. Es posible clasificar a las plantas en Cuantitativas de Días Largos cuando reducen el tiempo entre dos eventos ontogénicos ante aumentos en el Fotoperíodo, y en Cuantitativas de Días Cortos cuando se incrementa la duración de una determinada etapa del desarrollo ante aumentos en el Fotoperíodo. El Trigo es una especie Cuantitativa de Días Largos. En este cultivo se ha demostrado una influencia notoria del Fotoperíodo desde la emergencia hasta la floración, no teniendo influencia durante el período de llenado de grano.

3.4 ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL SUELO.

El suelo en la campaña anterior del experimento estuvo en sembrado de maíz chala. El muestreo del suelo se realizó de acuerdo al método convencional, teniendo en cuenta la capa arable de 20 a 30 cm. tomándose varias muestras al final se mezcla, de esta se obtiene una porción homogénea de 1 kg, el cual fue llevado al laboratorio de Suelos y Análisis Foliar “Nicolás Roulet” del Programa de Investigación de Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.

Cuadro N° 3.2: Temperatura Máxima, Media, Mínima y Balance Hídrico de la Estación Meteorológica de INIA. 2015-2016.
Ayacucho

Distrito : Andrés Avelino Cáceres Altitud : 2735 msnm
 Provincia : Huamanga Latitud : 13ª 10' S
 Dpto. : Ayacucho Long. : 74ª 12' W

AÑO	2015 2016													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL	PROM
T° Máxima (°C)	28.10	26.60	24.57	26.80	24.30	24.80	26.00	22.80	19.20	19.60	21.60	21.80		23.85
T° Mínima (°C)	10.32	11.20	11.03	11.50	11.96	11.30	10.70	9.50	8.60	7.60	9.50	10.60		10.32
T° Media (°C)	19.21	18.90	17.80	19.15	18.13	18.05	18.35	16.15	13.90	13.60	15.55	16.20		17.08
Factor	4.96	4.80	4.96	4.96	4.64	4.95	4.96	4.96	4.80	4.96	4.96	4.80		
ETP(mm)	95.28	90.72	88.29	94.98	84.12	89.35	91.02	80.10	66.72	67.46	77.13	77.76	1,002.9	0.47
Precipitación (mm)	32.60	31.80	105.40	31.80	152.80	33.30	30.70	25.60	12.80	0.00	0.00	12.80	469.60	
ETP Ajust. (mm)	44.61	42.48	41.34	44.47	39.39	41.84	42.62	37.51	31.24	31.58	36.11	36.41		
H del suelo (mm)	-12.01	-10.68	64.06	-12.67	113.41	-8.54	-11.92	-11.91	-18.44	-31.58	-36.11	-23.61		
Déficit (mm)	-12.01	-10.68		-12.67		-8.54	-11.92	-11.91	-18.44	-31.58	-36.11	-23.61		
Exceso (mm)			64.06		113.41									

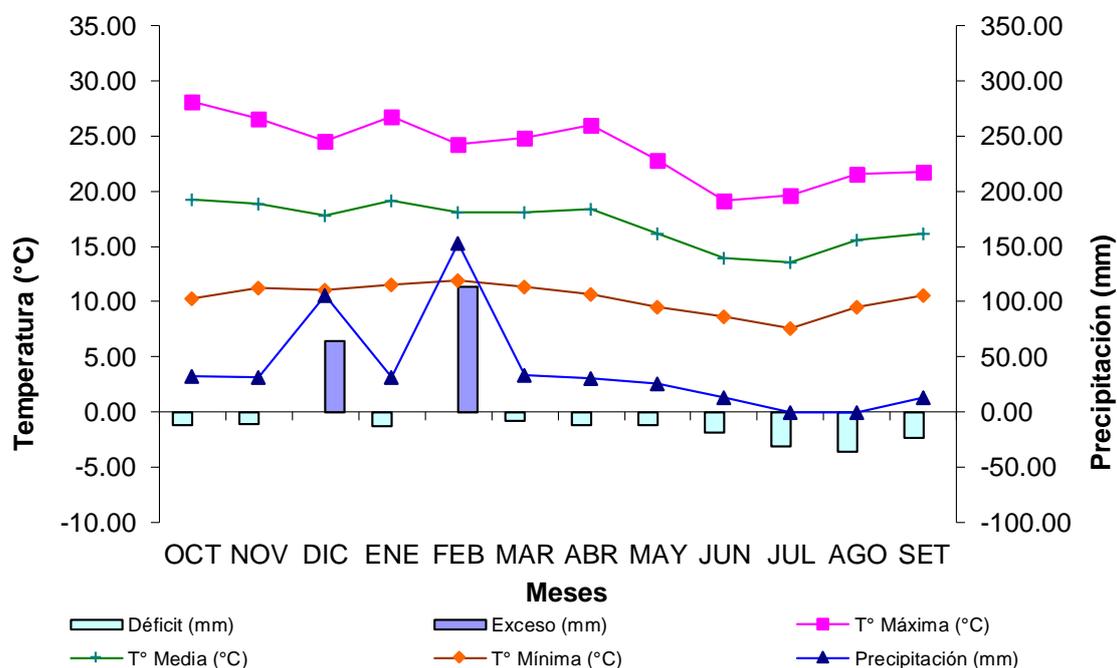


Figura N°3.1: Diagrama ombrotermico: T° Vs PP y Balance Hídrico.

Cuadro N°3.3: Características físicas y químicas del suelo donde se instaló el experimento. Pampa del Arco – UNSCH, 2750 msnm. Ayacucho.

Propiedades Químicas	Unidad	Valor	Método	Interpretación Según Girón Molina
pH	1:2.5	8.41	Potenciometro	Moderadamente alcalino
M.O	(%)	0.73	Walkley Black	Bajo
N-Total	(%)	0.03	Semi micro Kjeldahl	Bajo
P-Disponible	(ppm)	6.2	Bray-kurtz y Olsen	Bajo
K-Disponible	(ppm)	219.7	Turbidimetria	Medio
Arena	(%)	39.6	Hidrometro	
Limo	(%)	22.6		
Arcilla	(%)	37.8		
Clase Textual		Fr-Ar		

En base a los resultados obtenidos se realizó la interpretación respectiva, determinándose que el pH de 8.41, se encuentra en un rango óptimo para el cultivo de trigo; según el INIA y el Proyecto TTA (1992), el pH oscila de 5.5 a 7.5. Aunque tolera bien valores de pH desde 5.0 hasta 8.0, (Jara 1993).

Ibañez (1983), menciona que de acuerdo a la clasificación de suelos por su contenido de materia orgánica pertenece a un suelo mineral; y en función al nivel de materia orgánica en suelos minerales, es pobre. Así mismo el contenido de nitrógeno total es pobre. El contenido de fósforo disponible es medio. El potasio es considerado como alto.

La textura del suelo de acuerdo a sus componentes de arena, limo y arcilla corresponde a la Clase Textural Franco-Arcilloso. La textura medio arcilloso es óptima para el cultivo de trigo, pues un terreno muy arcilloso es perjudicial, debido a que retiene demasiada humedad, así mismo los terrenos demasiados arenosos pueden provocar una escasez hídrica. (Parodi y Romero 1991).

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El experimento se condujo en el Diseño de Bloque Completo Randomizado dentro del diseño parcelas divididas, en parcelas se ubicó los métodos de labranza mecanizadas (3) y en sub parcelas los niveles de fertilización nitrogenada (4). El experimento contó con 3 repeticiones. Con los resultados de las variables evaluadas se realizaron los análisis de variancia (ANVA), la prueba de contraste Tukey y el análisis de regresión correspondiente. Se utilizó el software SAS y la hoja de cálculo Excel.

El Modelo Aditivo Lineal corresponde a la siguiente formula:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \delta_j + \alpha\delta(ij) + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Observación cualquiera en la unidad experimental

μ = Efecto medio parámetro

β_k = Efecto del k-ésimo bloque parámetro

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor α , método de labranza.

δ_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor δ , nivel de fertilización nitrogenado.

$\alpha\delta(ij)$ = Efecto de la interacción. Método de labranza x nivel de fertilización.

ϵ_{ijk} = Error experimental en la observación Y_{ijk}

Alcance de los subíndices:

i = 1, 2, 3 (Niveles del factor método de labranza y siembra)

j = 1, 2, 3, 4 (Niveles del factor nivel de fertilización nitrogenada)

k = 1, 2, 3 (Número de bloques)

3.6 FACTORES EN ESTUDIO

a. Métodos de labranza y siembra (L):

L₁: Siembra – polirrastra (Labranza cero): No hay labranza, se volea manualmente las semillas y luego se tapa las semillas con la polirrastra.

L₂: Poli rastra - siembra – polirrastra (Labranza intermedia): labranza con polirrastra, se volea manualmente las semillas y luego se tapa las semillas con la polirrastra.

L₃: Arado de discos – siembra – Polirrastra (Labranza convencional): Labranza con arado de discos, se volea manualmente las semillas y luego se tapa las semillas con la polirrastra.

b. Niveles de fertilización Nitrogenada (Kg/ha)

N₀ : 0 (Testigo)

N₁ : 40 (NIVEL BAJO)

N₂ : 80 (NIVEL MEDIO)

N₃ : 120 (NIVEL ALTO)

3.7 TRATAMIENTOS

Los tratamientos son el resultado de la combinación de los dos factores en sus respectivos niveles.

Cuadro N° 3.4: Tratamientos en el cultivo de trigo. Pampa del Arco 2760 msnm. Ayacucho

Tratamiento	Combinación	Tipo de labranza	Nivel de fertilización N
T1	L1 N0	Labranza cero	0
T2	L1 N1	Labranza cero	40
T3	L1 N2	Labranza cero	80
T4	L1 N3	Labranza cero	120
T5	L2 N0	Labranza intermedia	0
T6	L2 N1	Labranza intermedia	40
T7	L2 N2	Labranza intermedia	80
T8	L2 N3	Labranza intermedia	120
T9	L3 N0	Labranza convencional	0
T10	L3 N1	Labranza convencional	40
T11	L3 N2	Labranza convencional	80
T12	L3 N3	Labranza convencional	120

Descripción del campo experimental

El campo experimental presentó las siguientes dimensiones:

Bloques

Número de bloques	:	3
Ancho de bloques	:	18.0 m.
Largo de bloques	:	40.0 m.
Área total del bloque	:	720 m ²
Área total de bloques	:	2160 m ²

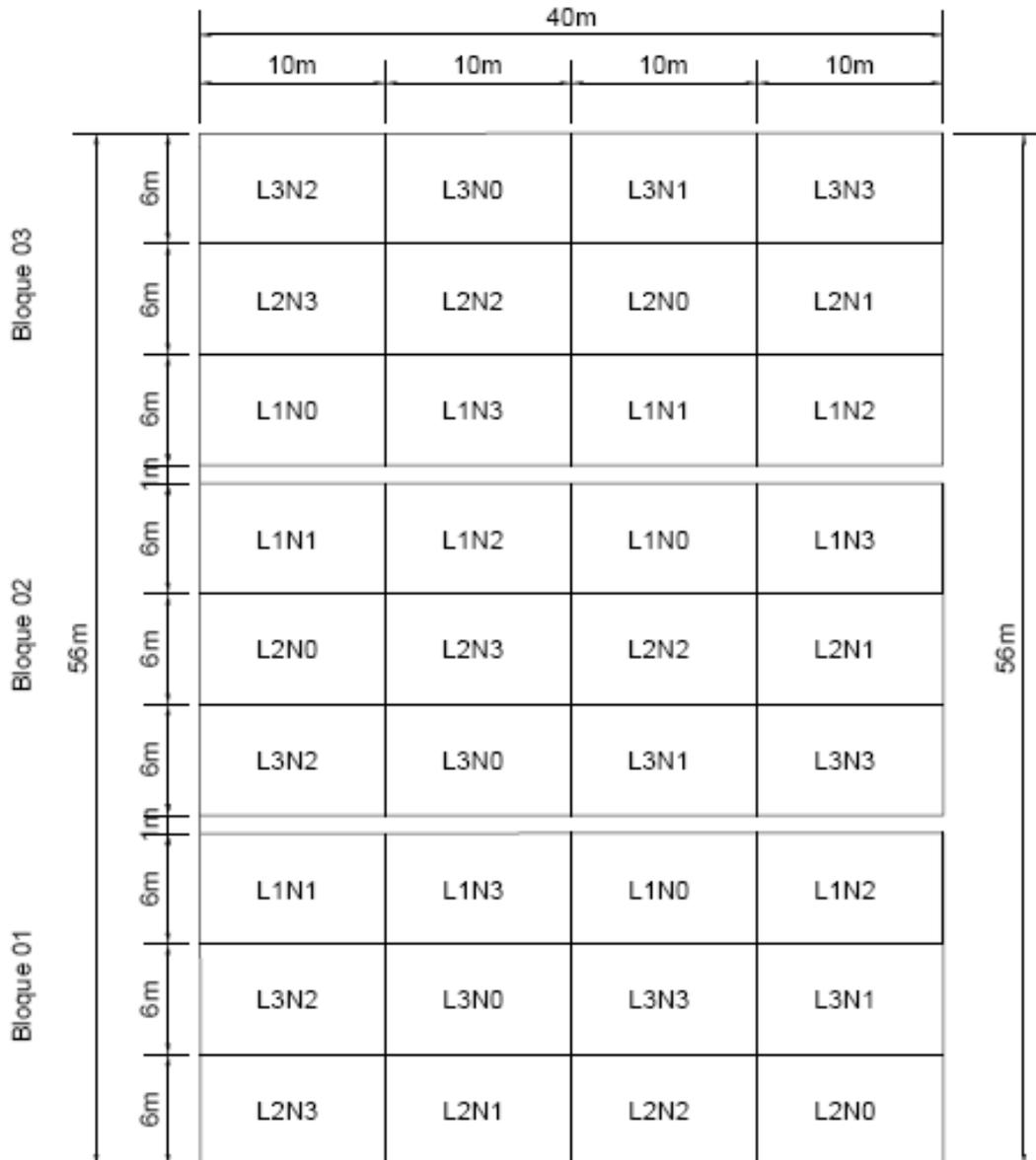
Parcelas

Número de parcelas por bloque	:	12
Longitud de las parcelas	:	10.0 m.
Ancho de las parcelas	:	6.0 m.
Área de las parcelas	:	60 m ²

Calle

Largo de la calle	:	40 m.
Ancho de la calle	:	1.0 m.

Número de calles : 2
 Área total de calles : 80 m²
 Área total del experimento : 2240 m²



Labranza de suelo

L1= Arado de discos
 L2= Palirrastra
 L3= Labranza cero

Niveles de Nitrogeno

N0= Testigo
 N1= 40
 N2= 80
 N3=120

Figura N° 3.2: Croquis del campo experimental.

3.8 INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

a) Preparación del terreno

Se realizó el 20 de enero del 2016 un día antes de la siembra y según el tipo de labranza y el respectivo tratamiento.

b) Demarcación del terreno

La demarcación de las parcelas y bloques en el terreno se realizó utilizando estacas, cordel y una wincha para tomar la longitud entre los puntos.

c) Siembra en las parcelas experimentales

Se realizó al voleo, distribuyendo uniformemente las semillas en la parcela. La cantidad de semilla a utilizar fue de 120 kilos por hectárea. La semilla utilizada fue de calidad certificada de la variedad Nazareno INIA. La siembra se realizó el día 21 de enero del 2016. Las semillas fueron enterradas utilizando la polirrastra con una pasada en sentido perpendicular a la pasada del arado. Las demás parcelas según el tratamiento establecido.

d) Abonamiento del cultivo de trigo

La mezcla de abono consistente en la mitad de la dosis de N, todo el Fósforo y Potasio se aplicó al momento de la siembra. La otra mitad de Nitrógeno se aplicó al momento del macollaje, después de un deshierbo. La aplicación de fosforo y potasio es constante en todas las parcelas con una dosis de 80 y 40 Kg.ha⁻¹.

La forma de aplicación fue al voleo. La mezcla del abono se aplicó en forma uniforme en toda la superficie de la parcela, luego del cual se ejecutó las otras operaciones según los tratamientos. Las fuentes que se utilizaron fue la urea (46% N), fosfato di amónico (46% P₂O₅ y 18% N), Superfosfato de calcio triple (45 % de P₂O₅) el cloruro de potasio (60% K₂O).

e) Deshierbo

El control de malezas de hoja ancha fue utilizando el herbicida 2,4-D (U-46) a dosis de 2 lt.ha⁻¹ y el control de malezas de hoja angosta fue manual aproximadamente a los 15-20 días después de la siembra y en forma escalonada, a los 25 días después de la emergencia

del trigo, se realizó un segundo control manual de malezas, de aquellas malezas que persistieron en el campo.

f) Control fitosanitario

No se realizó ningún control fitosanitario, debido a que no se observaron presencia significativa de insectos y ataque de enfermedades.

g) Cosecha

La cosecha se realizó cuando el cultivo se encontraba en madurez de cosecha (granos frágiles al diente). Previamente se realizó un muestreo de las espigas para ver el desgrane en forma rápida en la trilla las envolturas (lema y palea). La trilla fue con una trilladora estacionaria y el corte del trigo en forma manual.

3.9 CARACTERÍSTICAS EVALUADAS

a) Factor de Precocidad

a.1) Días a la emergencia

Se evaluó el número de días transcurridos desde la siembra hasta que más del 50% de las plántulas hayan emergido del suelo, esta evaluación se realizó en cada parcela experimental.

a.2) Días al pleno macollaje

Se evaluó el número de días transcurridos desde la siembra hasta que más del 50% de las plantas hayan presentado macollos, se evaluó en cada parcela experimental.

a.3) Días a la madurez fisiológica

Se consideró los días transcurridos desde la siembra hasta que más del 50% del fruto al ser presionados con las uñas presentaban resistencia a la penetración, se evaluó cada parcela experimental. La coloración de la planta de verde se torna de un color pajizo

a.4) Días a la madurez de cosecha

Se evaluó el número de días transcurridos desde la siembra hasta que más del 50% de los frutos presentaban las semillas con características típicas de la variedad, tales como:

tamaño, color, forma, dureza, humedad, etcétera. Las cuales se evaluó en cada parcela experimental.

b) Parámetros agronómicos

b.1) Longitud del tallo.

Se midió la longitud de tallo desde el cuello hasta el ápice de la espiga (cm). La evaluación se efectuó en el momento de la madurez fisiológica del cultivo. Luego se obtuvo la altura promedio de cada unidad.

b.2) Peso de 1000 semillas

Se realizó el conteo y luego el pesado de 1000 granos de trigo formados y maduros de cada tratamiento, con la ayuda de una balanza graduada en gramos, para luego determinar el promedio por cada unidad experimental.

b.3). Peso hectolítrico

Utilizando una balanza de Ohaus se procedió a la evaluación del peso hectolítrico de cada uno de los tratamientos, a fin de determinar el llenado, calidad y peso de los granos de trigo.

b.4) Número de Espigas por metro cuadrado

Se determinó el número de tallos con espiga formada por metro cuadrado, en el momento de la madurez de cosecha del cultivo.

b.5) Número de granos por espiga

Se realizó el conteo de granos de 20 espigas representativas de cada uno de los tratamientos estudiados.

c) Rendimiento de trigo

Luego de cosechar, trillar y ventear se determinó el rendimiento de grano limpio de trigo en una balanza de precisión.

Regresión: de las variables de rendimiento como el peso de grano por espiga, longitud de tallo, longitud de espiga y número de granos por espiga.

d) Rentabilidad económica

Para el análisis económico se calculó los Costos Unitarios de Producción, incluyendo todos los gastos que ocasionó el proceso productivo del trigo, por cada tratamiento.

La rentabilidad se determinó tomando en cuenta los siguientes parámetros:

Rendimiento de granos de trigo expresado en Kg.ha⁻¹, precio de venta por kilogramo de granos de trigo en el mercado, venta total por hectárea, costo de producción por hectárea y utilidad por hectárea.

El porcentaje de rentabilidad de los tratamientos se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% R = \frac{BA}{CP} * 100$$

Donde:

%R = Porcentaje de rentabilidad

BA = Beneficio actual

CP = Costo de producción

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan tablas que han sido elaborados a partir de los datos del anexo en los que se presentan los valores promedios de las variables evaluadas y se acompaña del resumen del análisis de varianza, mostrando la significancia estadística, prueba de comparación de medias de Tukey y los Coeficientes de Variabilidad.

4.1 VARIABLES AGRONÓMICOS

4.1.1 Longitud de tallo

Los resultados de la variable número de plantas cosechadas por efecto de los factores en estudio, indican según el análisis de varianza que existen diferencias altamente significativas para la labranza de suelo (L) y fertilización nitrogenada (N) en la longitud de tallo, asimismo muestran también que no existe diferencias estadísticas para bloques, el coeficiente de variabilidad fue de 3.10 %, muestra un valor de buena precisión proporcionándonos buena confianza en los resultados, por tanto nos muestra confiabilidad en los resultados encontrados (Cuadro 1).

Cuadro N°4.1: Análisis de variancia de la longitud de tallo de trigo con la labranza de suelos y niveles de abonamiento nitrogenado. Pampa del Arco 2750 msnm

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Bloque	2	70.32	35.16	11.02	0.023 *
Labranza (L)	2	310.07	155.03	48.54	0.001 **
Error (a)	4	12.78	3.19		
Nitrógeno (N)	3	2096.06	698.69	88.65	<.0001 **
Interacción (L x N)	6	10.47	1.75	0.22	0.965 ns
Error (b)	18	141.87	7.88		
Total	35	2641.57			

C.V. = 3.10 %

La Figura 4.1 muestra la prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de los niveles de Nitrógeno y los tipos de labranza en la longitud de tallo. La longitud de tallo representa a capacidad de formación biomasa, pero con el mejoramiento genético de las plantas de trigo se ha llegado a obtener trigos de porte pequeño, pero de gran longitud de espiga. La

característica de estos trigos de corta longitud de tallos es que soportan fuertes niveles de abonamiento nitrogenado sin sufrir el efecto del tumbado.

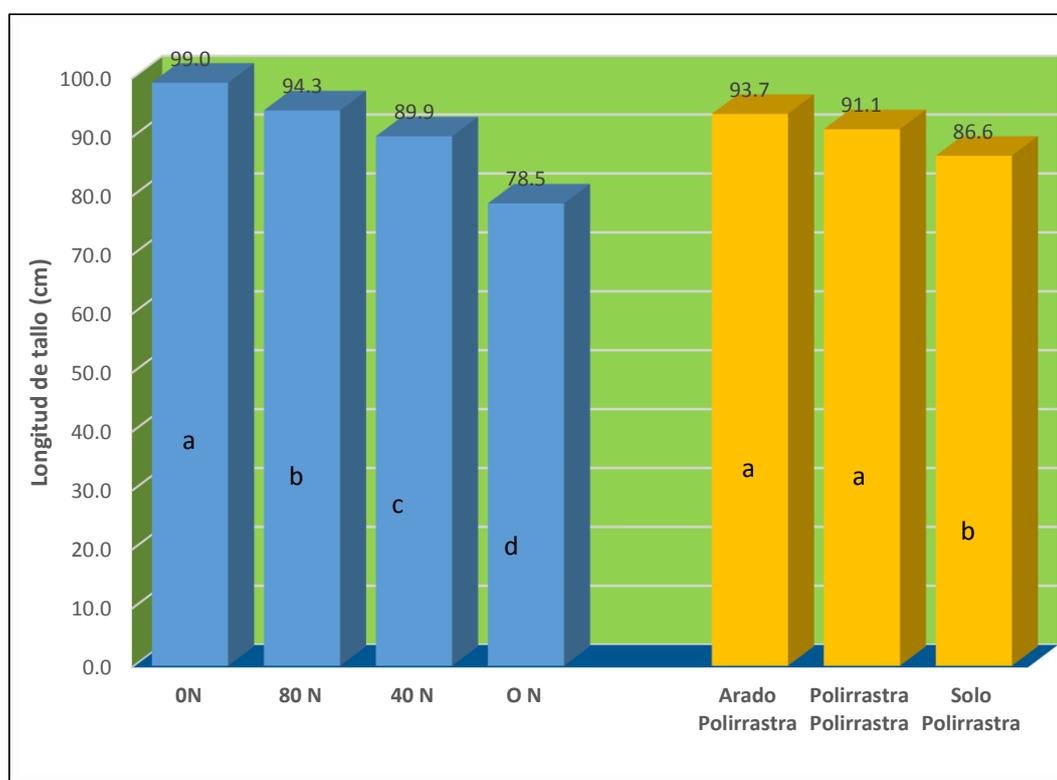


Figura N°4.1: Estudio de los efectos principales de los diferentes niveles de nitrógeno y los diferentes tipos de labranza de suelos en la longitud de tallo. Pampa del Arco 2750 msnm.

En la Figura 4.1 muestra la prueba de Tukey (0.05) de los efectos principales de los niveles de Nitrógeno y los tipos de labranza en la longitud de tallo. La longitud de tallo representa a capacidad de formación biomasa, pero con el mejoramiento genético de las plantas de trigo se ha llegado a obtener trigos de porte pequeño, pero de gran longitud de espiga. La característica de estos trigos de corta longitud de tallos es que soportan fuertes niveles de abonamiento nitrogenado sin sufrir el efecto del tumbado.

INIA, (2007) manifiesta que la variedad de trigo Nazareno es de porte medio mide entre 1.20 a 1.30 cm de longitud de tallo como una variedad moderna esta medida es apropiada para absorber fuertes cantidades de fertilización nitrogenada sin que se produzca la fisiopatía del tumbado. En el experimento llevado a cabo en la localidad de Pampa del Arco se obtuvieron alturas de planta similares a lo indicado por la institución que difundió esta variedad para su siembra comercial.

4.1.2 Número de espigas por m²

Según el Cuadro 4.2, el número de espigas.m⁻² es la variable que está relacionado directamente con el rendimiento de grano de trigo, muestra alta significación estadística en la interacción de la labranza del suelo con los niveles de nitrógeno, este resultado permite el estudio de los efectos simples para un mejor análisis del resultado. El coeficiente de variación indica buena precisión del experimento, la variación encontrada es propia de las diferentes características del suelo, variación en el desarrollo del cultivo y la distribución de la humedad que no es uniforme. Sin embargo, este error es menor que los cuadrados medios de los factores estudiados.

Cuadro N°4.2: Análisis de variancia del número de espigas por m² en labranza de suelos y niveles de abonamiento nitrogenado. Pampa del Arco 2750 msnm

F. Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Bloque	2	42	21	0.60	0.591 ns
Labranza(L)	2	67912	33956	970.17	<.0001 **
Error (a)	4	141	35	0.79	
Nitrógeno (N)	3	137090	45697	1024.61	<.0001 **
Interacción (L x N)	6	9406	1568	35.15	<.0001 **
Error (b)	18	803	45		
Total	35	215395			

C.V. = 5.84 %

En la Figura 4.2 muestra la tendencia lineal de los diferentes tipos de labranza de suelo en los niveles de fertilización nitrogenada en el número de espigas.m⁻². Se observa una mayor respuesta aplicando el nivel de 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, en el otro extremo al utilizar solamente polirrastra la tendencia de la variable en estudio es menor. El resultado indica claramente que para el número de espigas.m⁻² su incremento está relacionado con la labranza del suelo y un nivel alto de uso del nitrógeno. Se observa también que la respuesta es mayor cuando se utiliza la mejor labranza del suelo en los tratamientos sin nivel de nitrógeno.

La tendencia lineal en el número de espigas.m⁻² al utilizar la labranza convencional de arado y polirrastra y los niveles crecientes de la fertilización nitrogenada indica que se puede incrementar el nitrógeno para obtener un mayor valor en la variable en estudio.

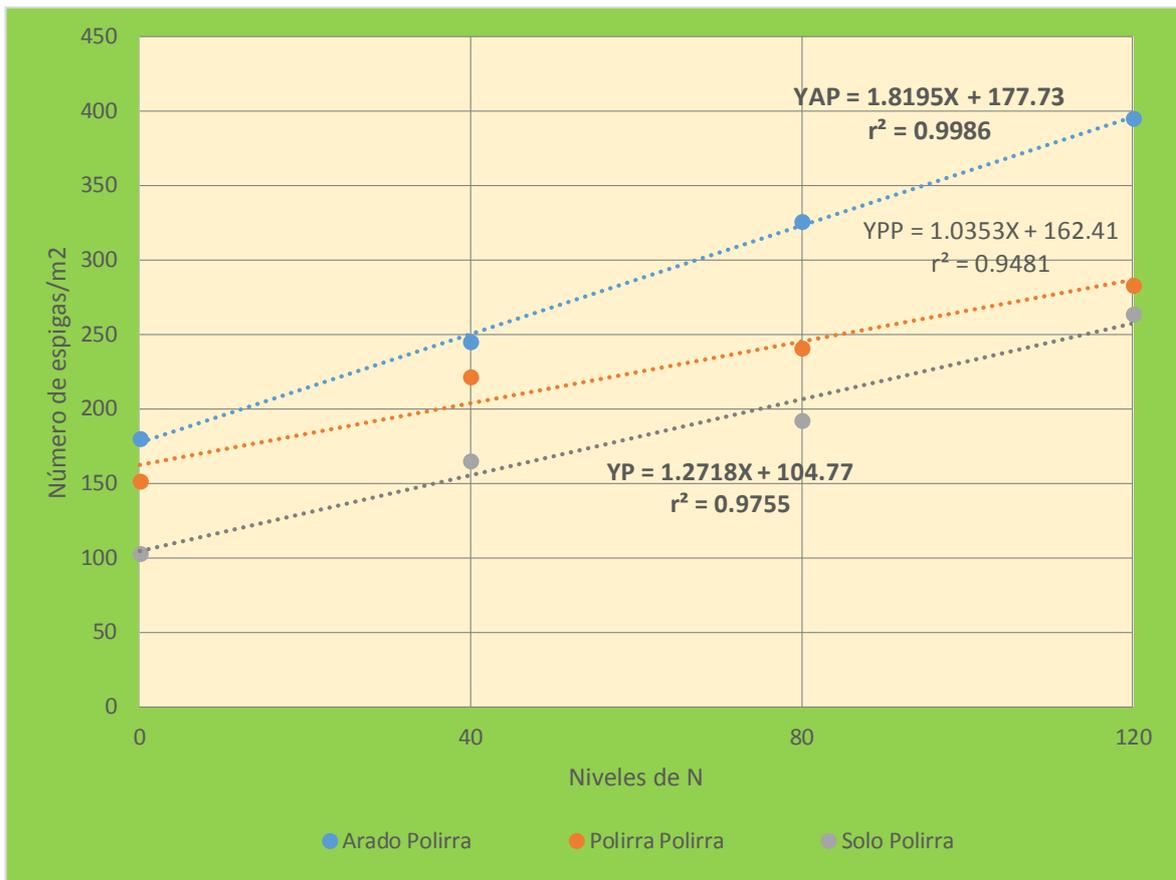


Figura N°4.2: Tendencia del número de espigas.m⁻² en los diferentes niveles de nitrógeno en cada tipo de labranza de suelo. Pampa del Arco 2750 msnm.

La aplicación en diferentes regímenes de fertilización garantiza la disponibilidad del nutriente en etapas importantes del cereal como el encañado y el espigado y, por lo tanto, en su efecto sobre los componentes del rendimiento, básicamente como pueden ser el número de espigas.m⁻² y el peso del grano.

Melaj et. al. (2000); indica que en las zonas semiáridas de la Argentina, el principal problema de la producción de trigo es la falta de agua en momentos críticos del cultivo, lo que reduce el efecto del N como factor principal de producción. Además es de importancia la dotación del N en varios regímenes de fertilización que indirectamente proporciona buen vigor a los tallos con espiga. En la zona de Pampa del arco la labranza juega un papel muy importante en la conservación de la humedad del suelo por la alta evapotranspiración del lugar.

Rodríguez y Di Ciocco (2006) con variedades locales comparado con abonamiento químico y abonamiento biológico (*Azospirillum*) en las pampas argentinas, obtiene respuesta significativa al abonamiento nitrogenado obteniendo un promedio de 410

espigas. m⁻² y de tan solo 250 espigas. m⁻² para el abonamiento biológico. Nuestros resultados obtenidos en Pampa del Arco en el presente experimento se encuentran en un punto intermedio, esto demuestra que la variedad utilizadas muestran mayor potencialidad genética para esta variable; del mismo modo Guevara (2012), reporta en el mismo Centro experimental de Pampa del Arco, con el tratamiento Arado, Polirrastra y un nivel de fertilización de 180-90-60 de NPK un valor en número de espigas.m⁻² de 352 a 403, valores que se aproxima a los obtenidos en el presente experimento

4.1.3 Variables de precocidad

Las variables de precocidad se han evaluado de acuerdo a los eventos fenológicos del trigo ocurridos durante el crecimiento y desarrollo. Las mediciones se han efectuado en número de días después de la siembra (nnds). La medición corresponde a un valor dentro de un rango, esto debido a que un evento fenológico no ocurre en una fecha determinada. Las variables de precocidad se han evaluado de acuerdo a los eventos fenológicos del trigo ocurridos durante el crecimiento y desarrollo. Las mediciones se han efectuado en número de días después de la siembra (nnds). La medición corresponde a un valor dentro de un rango, esto debido a que un evento fenológico no ocurre en una fecha determinada.

Cuadro N°4.3: Variables de precocidad del trigo en número de días después de la siembra. Pampa del arco 2750 msnm.

Tratamiento	Emergencia	Pleno macollaje	Plena Espigación	Madurez fisiológica	Madurez cosecha
A. P. 0 N	8-10	30-36	90 - 98	118 -130	145
A. P. 40 N	8-10	30-36	90 - 98	118 -130	145
A. P. 80 N	8-10	30-36	95-102	120 -132	148
A. P. 120 N	8-10	30-36	95-102	120 -132	148
P. P. 0 N	8-10	30-36	90 - 98	118-130	145
P. P. 40 N	8-10	30-36	90 - 98	118-130	145
P. P. 80 N	8-10	30-36	95 - 102	120-132	148
P. P. 120 N	8-10	30-36	95 - 102	120-132	148
P. 0 N	8-10	30-36	90 - 98	118-130	145
P. 40 N	8-10	30-36	90 - 98	118-130	145
P. 80 N	8-10	30-36	95 -102	120-132	148
P. 120 N	8-10	30-36	95-102	120-132	148
A = Arado de discos			P = Polirrastra		

El Cuadro 4.3 muestra las diferentes etapas fenológicas del cultivo donde las parcelas con mayores niveles de abonamiento nitrogenado tienen mayor periodo reproductivo en comparación a los niveles bajos de 0 a 40 kg. de N.ha⁻¹. Este resultado indica que niveles altos de nitrógeno en la zona semiárida de Pampa del Arco prolongan el ciclo reproductivo de trigo. En la práctica este resultado se da con una diferencia de 7 días valor que no representa una discrepancia grande.

En las variables de precocidad se han evaluado algunos estados fenológicos del cultivo, no se ha contado con el análisis de variancia por cuanto el efecto de los tratamientos no es muy notorio, esto también porque las evaluaciones de un determinado estado no se dan en una fecha fija sino esta característica se da en forma escalonada.

En el Cuadro 4.3, se observa que la emergencia ocurre a los 10 días en casi un 100% en todos los tratamientos evaluados. La duración de la germinación varía con la temperatura. Siendo la temperatura óptima para la germinación para el trigo de 20° a 25°C, a estas condiciones debe unirse la aeración y la humedad del suelo, se estima que la germinación es óptima cuando el estado de saturación del suelo en agua está comprendido entre un 60 y 80% de su capacidad de campo Guerrero, (1987).

Según Guerrero (1987), el macollamiento es un carácter varietal, pero aparte de la variedad el ahijamiento depende de la importancia del abonamiento nitrogenado, de la fecha de siembra y de la temperatura, que condiciona la duración del periodo de ahijamiento. El macollamiento depende en primer lugar de la variedad, sin embargo, cuando se siembra a mayor distancia, se obtiene más macollamiento. Los días cortos durante la germinación también favorecen este proceso Parsons, (1989).

Guevara, (2012), reporta los resultados obtenidos en Pampa del Arco, que la variedad Nazareno alcanza la madurez fisiológica a los 120 días y la cosecha a los 137 días, resultados que coinciden con los obtenidos en el presente trabajo, confirmando de este modo la precocidad de esta variedad.

4.1.4 Peso de 1000 semillas

El Cuadro 3.5 muestra las variables estadísticas de los diferentes tratamientos, se observa un aumento en el promedio del peso de 1000 semillas al incrementar el nivel de nitrógeno. La desviación estándar como una medida de variación tiene un menor valor en los

tratamientos con mayor nivel de nitrógeno mostrando una homogeneidad en los datos obtenidos, de igual modo en el coeficiente de variación. Existe una respuesta a la labranza del terreno con una pasada de arado y tapado de semilla con polirrastra, este procedimiento con el nivel de 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno tiene un valor de 48.75 gr. para el peso de 1000 semillas.

Cuadro N°4.4: Estadística descriptiva del peso de 1000 semillas del trigo nazareno en los diferentes tratamientos. n =100. Pampa del Arco 2750 msnm.

Tratamientos	Promedio	D. Estándar	C. Variación	Obser. max	Obser. Min
A. P. 0 N	41.3	3.6	8.7 %	45.4	35.5
A. P. 40 N	44.1	2.7	6.1 %	47.0	38.0
A. P. 80 N	45.7	2.9	6.3 %	48.2	38.7
A. P. 120 N	48.5	1.2	2.4 %	51.1	47.7
P. P. 0 N	41.1	5.2	12.6%	45.6	28.6
P. P. 40 N	42.6	4.6	10.8%	47.0	34.8
P. P. 80 N	45.1	3.4	7.6 %	47.3	38.7
P. P. 120 N	45.9	3.5	7.6 %	49.5	39.5
P. 0 N	39.2	4.3	10.9 %	42.5	30.8
P. 40 N	40.6	2.9	7.2 %	43.7	34.8
P. 80 N	41.5	2.8	6.6 %	43.3	36.7
P. 120 N	42.8	2.6	5.9 %	46.5	38.9
A = Arado P = Polirrastra					

INIA (2007) menciona en su boletín con la descripción a la variedad Nazareno como un cultivar de peso de 1000 semillas con un valor de 45 gr. En nuestro experimento el peso de 1000 semillas supera ligeramente este valor en el mejor tratamiento de preparación del terreno con la labranza convencional y la adición de 120 kg.ha⁻¹ de Nitrógeno.

4.1.5 Número de grano por espiga

El Cuadro 4.5 muestra las variables estadísticas de los diferentes tratamientos, se observa un aumento en el promedio del número de granos.espiga⁻¹ al incrementar el nivel de nitrógeno. La desviación estándar como una medida de variación tiene un menor valor en los tratamientos con mayor nivel de nitrógeno mostrando una homogeneidad en los datos obtenidos, de igual modo en el coeficiente de variación. Existe una respuesta a la labranza

de suelo del terreno con una pasada de arado y tapado de semilla con polirrastra, este procedimiento con el nivel de 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno tiene un valor promedio de 48.75 gr. para el peso de 1000 semillas.

Cuadro N°4.5: Estadística descriptiva del número de granos por espiga del trigo nazareno en los diferentes tratamientos. n =100. Pampa del Arco 2750 msnm.

Tratamientos	Promedio	D. Estándar	C. Variación	Obser. Max	Obser. Min
A. P. 0 N	34.30	8.50	24.8 %	46.5	19.3
A. P. 40 N	36.40	7.80	21.41 %	50.8	16.4
A. P. 80 N	41.45	8.70	20.90 %	58.6	30.2
A. P. 120 N	48.85	5.90	12.00 %	62.2	40.7
P. P. 0 N	32.80	6.92	21.09 %	43.0	19.0
P. P. 40 N	33.90	6.60	19.47 %	46.0	23.0
P. P. 80 N	35.70	5.77	16.16 %	45.0	23.0
P. P. 120 N	43.45	2.98	6.86 %	48.0	37.0
P. 0 N					
P. 40 N	31.0	5.52	17.79 %	40.0	19.0
P. 80 N	32.5	6.30	19.37 %	46.0	23.0
P. 120 N	33.6	4.35	12.93 %	41.0	23.0
	40.9	2.88	7.05 %	47.0	35.0
A = Arado P = Polirrastra					

INIA, (2007) reporta al cultivar Nazareno un número de granos.espiga⁻¹ de 49. El número de granos.espiga⁻¹ está relacionado directamente con el peso de grano/espiga y ambos constituyen las variables que van a incidir fuertemente en el rendimiento del grano. Los valores obtenidos en el presente experimento coinciden con los valores reportados.

La mecanización, implementos y equipos son insumos agrícolas, tan notables que sin ellos la producción agropecuaria de alimentos no sería posible. En algunas circunstancias lo que obstaculiza la producción de cultivos, es no disponer de la suficiente mano de obra, animales de tiro o máquinas para obtener el máximo rendimiento de los recursos de que se disponen. Por tanto, la mejora e incorporación de la tecnología mecánica y su gestión eficiente genera alternativa para aumentar la producción y la seguridad alimentaria. El uso de procesos de mecanización adecuados en la producción han sido factores decisivos para la modernización y obtención de logros hasta ahora alcanzados (aumento de las áreas de producción exportaciones de la productividad y reducción de costos entre otros factores). Es evidente ante la internacionalización de los mercados de la necesidad de un modelo de

desarrollo económico a mediano plazo, que promueva procesos más intensivos de mecanización e industrialización del sector agropecuario con el fin de hacerlo más competitivo (Cortes et al, 2009). El número de granos.espiga⁻¹ es la variable de mayor importancia en el trigo que depende fuertemente de la preparación del suelo cuyo objetivo principal es la retención del agua en la zona semiárida de Pampa del Arco.

4.1.6 Peso hectolítrico

El Cuadro 4.6 muestra alta significación estadística para el efecto de la interacción, labranza del suelo y abonamiento nitrogenado este resultado permite el análisis de los efectos simples mostrados línea bajo. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión toda vez que se trata de una pequeña variación dentro de cada tratamiento, pero gran variación entre los tratamientos.

Cuadro N°4.6: Análisis de variancia del peso hectolitrico del grano de trigo en la labranza de suelos y niveles de abonamiento nitrogenado. Pampa del Arco 2750 msnm

F. Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Bloque	2	0.1014	0.0507	2.67	0.183 ns
Labranza (L)	2	10.5989	5.2995	278.92	<.0001 **
Error (a)	4	0.0760	0.0190		
Nitrógeno (N)	3	18.8619	6.2873	224.35	<.0001 **
Interacción (L x N)	6	1.5384	0.2564	9.15	<.0001 **
Error (b)	18	0.5044	0.0280		
Total	35	31.6811			

C.V. = 0.21 %

La Figura 4.3 muestra que con el tratamiento Arado y tapado de la semilla con la polirrastra en forma general se obtiene un mejor peso hectolítrico, así mismo con el aumento del abonamiento nitrogenado se incrementa el peso hectolitrico, superando estadísticamente a los demás tratamientos, por la mejor calidad de la semilla. Con una buena labranza del suelo y un nivel alto de abonamiento en la zona semiárida se logra buena calidad de la semilla.

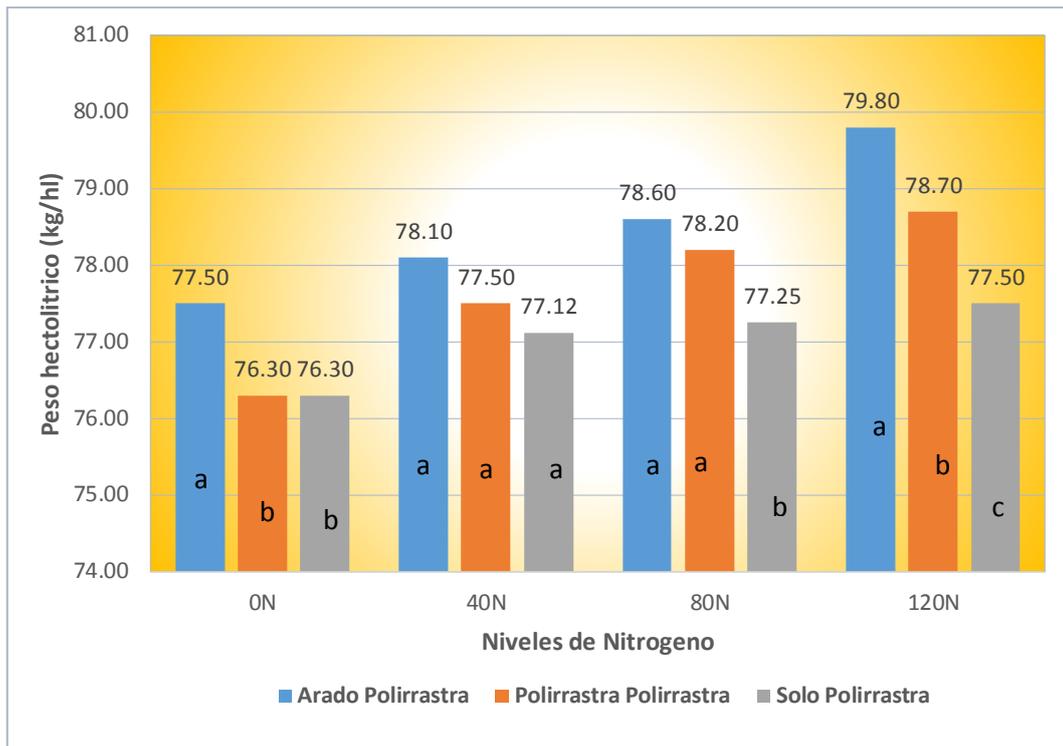


Figura N°4.3: Prueba de Tukey de los efectos simples de los niveles de abonamiento nitrogenado en cada labranza del suelo en el peso hectolitrico. Pampa del Arco 2750 msnm.

El peso hectolítico mide el peso específico del trigo que nos indica buena calidad del trigo, de modo que según los genotipos varían en su peso, en nuestro experimento los valores encontrados están dentro de los valores mencionados de la característica varietal del cultivar nazareno. El abonamiento y la labranza del suelo influyen fuertemente en el mayor peso hectolítico según el cuadro N° 4.6. Según López (2005), los trigos obtenidos están clasificados como trigos pesados de buena calidad y con un buen llenado adecuado del grano. Corresponde al peso, en kilos, de un hectolitro de trigo limpio; es decir, la cantidad equivalente en kilos de un volumen de cien litros. De acuerdo con este parámetro (Mellado, 2003), los trigos se clasifican según la siguiente escala:

»(Trigos fuertes e intermedios: Grado 1 = 79; Grado 2 = 78; Grado 3 = 76 * Trigos suaves: Grado 1 = 78; Grado 2 = 76; Grado 3 = 74

Todos los tratamientos presentados en el gráfico N° 3.3 presentan valores de peso del hectolitro sobre la norma establecida, especialmente las de labranza convencional con fertilización nitrogenada de 120 kg.ha⁻¹ estaría en el grado 1, como la de mejor calidad. Un buen peso del hectolitro es un indicador de manejo adecuado. Problemas sanitarios como pudriciones radiculares o fuertes ataques de enfermedades a nivel de la espiga afectarán esta

característica. Las lluvias cuando el grano está en madurez de cosecha pueden hacer disminuir estos valores. Por lo tanto, la cosecha oportuna es de suma importancia.

4.2 VARIABLES DEL RENDIMIENTO DEL TRIGO

El rendimiento de grano de trigo es la variable de mayor importancia entre todas las variables estudiadas. En el Cuadro 4.7 del análisis de variancia se observa alta significación estadística en la interacción de la labranza de suelo con los niveles de nitrógeno, este resultado permite el estudio de los efectos simples para un mejor análisis de los resultados. El coeficiente de variación indica buena precisión del experimento, la variación encontrada es propia de las diferentes características del suelo.

Cuadro N°4.7: Análisis de variancia del rendimiento de grano de trigo en la labranza de suelos y niveles de abonamiento nitrogenado. Pampa del Arco 2750 msnm

F. Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Bloque	2	147519	73760	4.80	0.086 ns
Preparación(P)	2	6984830	3492415	227.40	<.0001 **
Error (a)	4	61431	15358	0.80	
Nitrógeno (N)	3	11048658	3682886	192.92	<.0001 **
Interacción (P x N)	6	1008445	168074	8.80	<.0001 **
Error (b)	18	343619	19090		
Total	35	19594501			

C.V. = 5.73 %

En la Figura 4.4 se observa el efecto simple de los niveles de fertilización nitrogenada en cada tipo de labranza del suelo en el rendimiento de trigo. Se observa una mayor respuesta en el rendimiento de grano en la labranza del suelo con arado y luego una pasada de la polirrastra para el tapado de la semilla y adicionando un nivel de 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, este tratamiento proporciona un rendimiento de 3860.3 kg.ha⁻¹ de grano de trigo. El resultado indicado explica la gran importancia de la labranza de suelo que permite una mejor retención de la humedad en zona semiárida donde la evapotranspiración es alta.

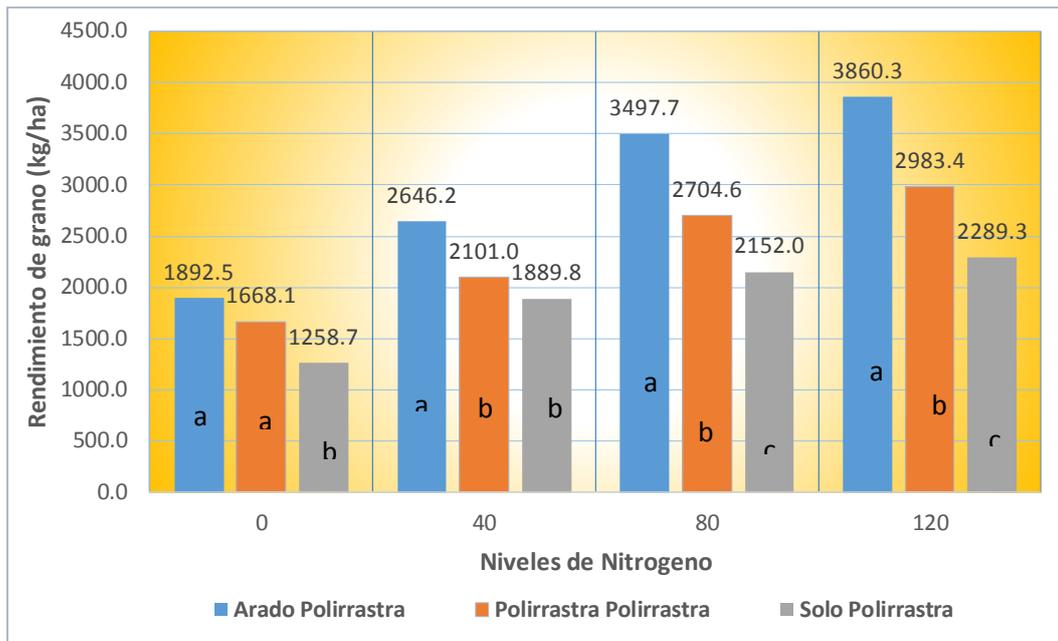


Figura N°4.4: Prueba de Tukey de los efectos simples de los niveles de abonamiento nitrogenado de cada labranza de suelo en el rendimiento de grano. Pampa del Arco 2750 msnm.

Del total del agua que llega al suelo bajo la forma de lluvia intensa, una parte se infiltra y el resto pasa a formar la escorrentía, concentrándose en las depresiones naturales del terreno, escurriendo hasta encontrar áreas de deposiciones natural (planicie, bajadas, red de drenaje). A medida que la escorrentía aumenta, es mayor la capacidad de producir erosión, aumentando la velocidad del agua haciendo que la eficiencia del nitrógeno sea menor. Se debe recordar también que el Nitrógeno entra en contacto con la raíces de la planta por flujo de masas. Lo que indica que el agua es fundamental para que el nutriente sea adecuadamente absorbido y exista eficiente respuesta a la aplicación del N (Boaretto et. al, 2007).

4.2.1 Labranza de suelos

El arado de disco se comporta en el suelo de una manera similar a como lo haría una vertedera cilíndrica, pulverizando la banda de tierra que voltea, y mezclando los terrones con la tierra fina. El fondo del surco es ondulado, lo que en principio puede reducir el pie de arado, aunque labores repetidas a igual profundidad llegan a formar una estrato de gran dureza, superior incluso a la del arado de vertedera; (Grahmann et. al, 2013) menciona el sistema de labranza determina la colocación de los residuos del cultivo. Los residuos del cultivo se incorporan en el suelo mediante labranza convencional, mientras que en un sistema de agricultura de conservación, los residuos del cultivo permanecen en la

superficie del suelo, lo cual influye en los procesos químicos, físicos y biológicos. Por lo general, la incorporación de los residuos vegetales por medio de la labranza en el suelo acelera la mineralización del carbono.

La rastra de discos es el implemento para tractor de mayor uso en la agricultura Peruana. El último censo agrícola (INEI, 1997) indicó que existían 23.368 agricultores que poseían este implemento. Su utilización mejora la nivelación de suelo y la rotura de terrones. Los esfuerzos que provocan los discos en el suelo van dirigidos hacia abajo, por lo que los terrones se rompen con mayor facilidad; pero estos mismos esfuerzos generan una compactación existiendo, como consecuencia, una mayor probabilidad de que se forme pie de arado. El efecto de nivelación se logra mejor con el montaje en cada unidad de dos filas de disco que muevan el suelo en direcciones encontradas.

El establecimiento del trigo sin preparación de suelo, o cero labranza, es una práctica agronómica que exige cambios profundos en el sistema de producción de los agricultores. Pero también es una alternativa sustentable de protección y recuperación de suelos. La cero labranza exige tres requisitos:

- 1) Siembra sobre los restos de los cultivos anteriores.
- 2) No mezclar el suelo, excepto en el surco de siembra.
- 3) Utilizar un adecuado método de control de malezas.

De esta manera la cero labranza se diferencia de otros métodos de cultivo, sobre todo por la poca movilización del suelo, así como la reducción del tráfico de la maquinaria.

La cero labranza constituye una alternativa entre las más eficientes para el control de la erosión hídrica, sobre todo por impedir la desagregación del suelo generada por el impacto directo de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo, y por el mejoramiento de la infiltración del agua en el suelo, con lo cual disminuye el escurrimiento superficial, generador de surcos y cárcavas

La Figura 4.4. muestra una comparación de diferentes parámetros para el establecimiento de una siembra convencional versus cero labranza.

En la segunda columna se muestra la necesidad de un mayor número de labores para el sistema convencional. En cambio, en cero labranza se consigue un ahorro de un 60% en el

número de pasadas sobre el campo, lo que constituye un menor tráfico de maquinaria, disminuyendo de este modo la posibilidad de compactar el suelo.

En cuanto al gasto en maquinaria, ésta es menor para la cero labranza. El ahorro más significativo se produce en el consumo de combustible, el cual es un 75% menor para la cero labranza. Este es un parámetro importante a tener en cuenta, debido a las constantes alzas del combustible.

En cuanto a los costos de operación, éstos son un 57% menor para la cero labranza. Este tipo de análisis es lo que ha motivado a los agricultores argentinos y del sur de Brasil a introducir la cero labranza ya no por razones de conservación de suelo, sino también por la ventaja económica que significa la reducción del consumo de combustible y número de labores necesarias para el establecimiento de los cultivos.

4.2.2 Fertilización Nitrogenada.

Mellado (2003); Precisa que el N es encontrado en compuestos orgánicos como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, y enzimas. También se puede encontrar en forma inorgánica como nitratos (NO_3), o como amonio (NH_4^+), siendo éstas las principales formas de absorción desde el suelo. En condiciones de alto contenido interno de N, los excesos de nitrato son almacenados en las células, constituyendo una forma segura de reserva inorgánica de N. Por su parte, los excesos de amonio no pueden ser almacenados y pueden causar toxicidad dentro de la planta, que se detecta por la presencia de tejidos necrosados (rompimiento de tejidos vasculares y restricción del consumo de agua). Durante los primeros estados de crecimiento del trigo existe una mayor absorción relativa de amonio, incrementándose, posteriormente, la absorción relativa de nitrato.

La concentración de N en la planta de trigo disminuye con la edad, pudiendo variar desde un 3,5 - 4,2% en el estado de plena macolla, hasta un 0,9 - 1,2 % al estado de madurez para cosecha. La concentración de N en el grano de trigo en estado de madurez de cosecha puede fluctuar entre un 1,6 - 1,8%, superando a los otros nutrientes.

La aplicación de N a la forma de nitratos estimula la absorción de cationes como el calcio, magnesio y potasio, mejorando el rendimiento del cultivo y contribuyendo, además, a controlar la acidez del suelo. La aplicación de N a la forma amoniacal estimula la absorción de fósforo y disminuye la absorción de cationes, generando una acidificación del

suelo en forma paulatina. En condiciones de pH adecuado para el cultivo de trigo, se sugiere realizar aplicaciones combinadas de ambas fuentes de N, con lo cual se mejora el balance nutricional dentro de la planta. En condiciones de pH ácido (menor a 5,8) se sugiere la aplicación de fuentes nítricas (nitrato de potasio, nitrato de calcio, o nitrato de magnesio) y en condiciones de pH neutro a básico (mayor a 7,0) la aplicación incorporada de fuentes amoniacales (sulfato de amonio, fosfato diamónico, fosfato monoamónico, o urea) en combinación con fuentes nítricas.

El N está relacionado con el crecimiento vegetativo de la planta. Por lo tanto, crecimientos vigorosos indican excesos en el suministro de N, ya sea desde el suelo, agua, o fertilizantes nitrogenados. Las deficiencias de N se manifiestan en las hojas maduras, presentándose coloraciones verde pálido o amarillas, lo cual indica una pérdida de la clorofila. Cuando la deficiencia de N es severa, se aprecia una amarillez generalizada en toda la planta. Los excesos de nitrógeno se manifiestan en un color verde oscuro en las hojas, lo cual aumenta la susceptibilidad de la planta al ataque de fitopatógenos, lo que a la vez retarda la madurez de la planta.

En la zona semiárida de Pampa del Arco la siembra de trigo, cebada, arveja y quinua es exclusiva bajo régimen de lluvias. El uso de variedades de mejoradas de altos rendimientos hace necesario el uso de la fertilización nitrogenada según etapas del cultivo. La variedad de trigo Nazareno, responde a fuertes niveles de fertilización nitrogenada, además al uso de una labranza convencional que va a proporcionar buena protección vegetal, adecuado lecho para la siembra y la proporción de humedad en este ambiente de alta evapotranspiración.

García (2012), menciona que el nitrógeno (N) es considerado el nutriente más importante para la producción vegetal de los cereales las cantidades requeridas por los cultivos y por la frecuencia con que se observan deficiencias en suelos agrícolas, es así que la agricultura de altos rendimientos depende del uso del abono nitrogenado. Las condiciones económicas del sector agropecuario tanto a nivel mundial como nacional y la necesidad de preservar el ambiente, básicamente los recursos suelo, agua y atmósfera, requieren del uso más eficiente de los nutrientes.

Para maximizar la eficiencia de uso de nitrógeno debemos conocer la dinámica del nutriente en el sistema suelo-planta-atmósfera y como el manejo de suelos y cultivos afecta esta dinámica. La principal fuente de N₂ se halla en la atmósfera como N₂ el cual

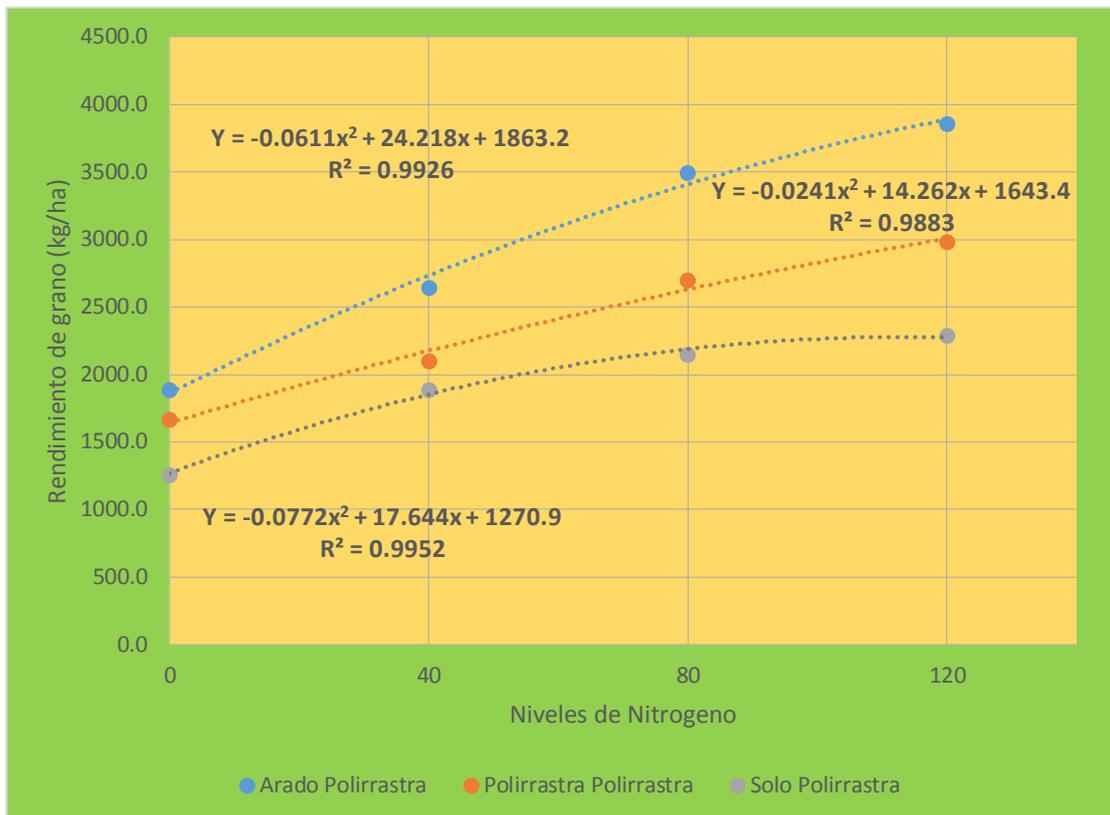
representa aproximadamente 78% de la composición del aire. Las plantas no pueden absorber directamente el N_2 del aire y este debe ser fijado por microorganismos de vida libre o simbiótica. La fijación biológica de N_2 (FBN) resulta en la formación de compuestos orgánicos nitrogenados, los cuales ingresan directamente a la planta en el caso de las asociaciones simbióticas, o deben ser mineralizados para ser absorbidos por los cultivos. La FBN contribuye en cantidades variables al sistema suelo-planta dependiendo del tipo de organismo que la lleva a cabo, la planta asociada, y las condiciones de suelo y clima.

En la zona semiárida de Pampa del Arco (2760 msnm) por la alta temperatura (máxima 25 °C) alcanzada en los meses de enero a abril la mejor eficiencia del aprovechamiento del N_2 incorporado mediante la fertilización es la de una mejor labranza de suelo que se consigue con una labranza convencional.

Según Rufino (1989), la velocidad crítica de escurrimiento de la escorrentía en el cual comienza el arrastre de partículas degradadas es de 5 m.seg⁻¹ en suelos arenosos y de 8 m.seg⁻¹ en suelos arcillosos. En el campo experimental dentro de las unidades experimentales no se ha observado escorrentía alguna, esto debido a la protección del área del experimento, la labranza de suelo en forma convencional, primaria y secundaria que ha mostrado la capacidad de retención del agua, la siembra del cultivo y la distribución casi uniforme de las lluvias. Esta actividad ha reflejado fuertemente en los resultados del rendimiento de grano y en el número de espigas.m⁻² en nuestro experimento en los mejores tratamientos de labranza de suelo y el abonamiento Nitrogenado.

4.2.3 Interacción Labranza de suelos Vs. Fertilización nitrogenada

En la Figura 4.5, la tendencia del rendimiento de grano con el tipo de labranza de suelo y los niveles de abonamiento nitrogenado, muestran diferentes comportamientos. Existe una tendencia cuadrática a los niveles crecientes de nitrógeno, esta respuesta explica la gran importancia de la labranza de suelo, El caso opuesto cuando no se realiza una buena labranza de suelo los niveles creciente de nitrógeno no son aprovechados por el cultivo observándose una tendencia cuadrática, este resultado indica que el rendimiento con la incorporación de 80 y 120 de N_2 .ha⁻¹ tienen una misma respuesta. Este resultado se puede explicar que en zonas semiáridas debido a la intensa evapotranspiración el nitrógeno es fácilmente volatilizado perdiéndose este elemento.



FiguraN°4.5: Regresión del rendimiento de grano en los niveles de fertilización nitrogenado en cada método de labranza de suelo. Pampa del Arco 2750 msnm.

Poehlman (1976), indica el rendimiento es influenciada por todas las condiciones ecológicas que afectan el crecimiento de la planta, así como la herencia; además, la capacidad intrínseca del rendimiento puede quedar expresada por características morfológicas de la planta como el macollaje, tamaño densidad de la espiga, el número de granos por espiguilla o el tamaño del grano. Sin embargo, estos componentes físicos del rendimiento, no pueden actuar aislados como índices del rendimiento unitario sino como expresión de la interacción de 3 variables: El número de espigas por unidad de superficie, el número de granos por espiga y el peso medio por grano. El cultivar Nazareno se ha seleccionado para responder en su rendimiento cuando se le dote de todo el adecuado manejo agronómico al cultivo.

Prats y Clemment (1960) y BIBLIOTECA AGROPECUARIA (1970) informan, que las flores fértiles dependen de la evapotranspiración potencial, el cual influye en el número de granos que se forma a partir de la espiguilla. La evapotranspiración elevada debilita la fotosíntesis de las últimas hojas y de la espiga, el cual disminuye el peso de mil granos y por ende el rendimiento.

Varios experimentos de recuperación de nitrógeno han informado pérdidas del 20 a 50 % de la fertilización nitrogenada en trigo, a pesar de que su dotación se hace en dos periodos (siembra y macolla), estas pérdidas atribuidas a los efectos combinados de desnitrificación, volatilización y lixiviación (Raun y Johnson, 1999). Modificar el momento y la forma de aplicación del N₂ incide en un mejoramiento en la eficiencia de absorción.

Sulca (2009), menciona resultados obtenidos en Chiara donde los rendimientos en el trigo variedad Nazareno, 6075 y 5007 kg./ha⁻¹ con los siguientes niveles de abonamiento nitrogenado de 60-60-60 y 40-50-50 en tres regímenes de abonamiento: a la siembra, pleno macollaje y elongación de tallo. En nuestro trabajo experimental se tienen rendimientos menores, explicado por las condiciones semiárida de alta evapotranspiración.

Campillo y Jobet (2005) reporta que la fertilización nitrogenada es la que más influye sobre el rendimiento de grano. Un aumento de la dosis de fertilización nitrogenada da lugar a un aumento del número de espigas y número de granos por espiga y a un descenso del peso de los 1000 granos. Este problema es de gran importancia debido a que no deberá proporcionarse el nitrógeno en forma creciente sin control.

Del Águila (1981), menciona que las altas temperaturas al igual que las bajas afectan al trigo de acuerdo en el momento que se producen y están asociadas con periodos de falta de agua (sequía) durante las primeras etapas de crecimiento; si existe una adecuada provisión de agua, las temperaturas altas favorecen el desarrollo. Si falta agua o ésta es insuficiente, se reduce el número de macollos viables por planta y es menor el crecimiento. Se ha calculado que para obtener un rendimiento de 3000 kg.ha⁻¹ de grano limpio son necesario 450 milímetros disponibles durante todo el ciclo del trigo. Durante la Campaña donde se condujo el experimento la precipitación se dio en forma regular y superando la cantidad mencionada por el autor.

4.3 RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE TRIGO

Básicamente existen dos ámbitos para incrementar la rentabilidad del cultivo de trigo: acceder a mejores precios y disminuir costos de producción. Desde el punto de vista del productor individual, e incluso bajo cualquier grado de asociatividad empresarial, la posibilidad de incidir en el nivel de precios es limitada; sin embargo, los productores tienen, a su alcance, la posibilidad de incrementar la eficiencia agronómica del cultivo, disminuyendo sus costos de producción y, consecuentemente, mejorar la rentabilidad de sus cultivos. El trigo es un

cultivo que responde muy bien a la tecnología, permitiendo incrementar su eficiencia agronómica y económica (Mellado, 2004). En efecto, en términos de productividad, el análisis económico del rendimiento en grano del trigo al 14 % de humedad de los tratamientos estudiada se presenta en el Cuadro 3.9, los mismos que han sido realizados teniendo en cuenta los costos de producción y los ingresos por ventas correspondientes (Anexo 1 A, 2 A, 3 A). La mayor utilidad se obtuvo con el tratamiento de labranza convencional consistente en: una pasada de arado de cuatro discos y luego una pasada de polirrastra para el tapado de la semilla, en este procedimiento se aplicó 120 kg.ha^{-1} de Nitrógeno, con el que se alcanza una rentabilidad de 189.0%, el resultado significa por cada sol invertido se tiene una rentabilidad de 1.89 nuevos soles; Diversos estudios han señalado que, bajo diferentes tecnologías modernas de manejo, el trigo se ubica en posiciones de privilegio respecto de otros cultivos en indicadores como costo operacional, margen bruto y relación beneficio/costo; según se corrobora con los resultados de rentabilidad del presente estudio.

Esto demuestra que en suelos semiáridos como la de Pampa del Arco es mejor la labranza mencionada debido a que tiene mayor capacidad de retención de humedad. Como una segunda alternativa con una rentabilidad del 174.0% está el tratamiento de labranza con arado de discos y una pasada de polirrastra y la fertilización de 120 kg.ha^{-1} de Nitrógeno. Recién en el tercer lugar se tiene la labranza primaria con polirrastra y también labranza secundaria con polirrastra con fertilización nitrogenada de 120 kg.ha^{-1} ; de donde se deduce que la labranza de suelos es el factor más importante que los niveles de fertilización nitrogenada para las condiciones semiáridas de Pampa del Arco.

En el cuadro Nro. 4.8 se tiene en el tratamiento labranza cero y la fertilización sin nitrógeno (testigo) la rentabilidad del cultivo de trigo es de 23.0%; o sea sin labranza y sin fertilización nitrogenada se obtiene la mínima rentabilidad.

Cuadro 4.8: Rentabilidad de la producción de trigo (kg/ha) en los tratamientos evaluados. Pampa del Arco, 2016 a 2750 msnm

Tratamiento	Rdto. (kg/ha ⁻¹)	Precio (s./kg)	Ingreso ventas (S/.)	Costo de producción (S/.)	Utilidad (S/.)	Rentabilidad (%)
Arado/polirrastra 120N	3860.3	1.8	6948.5	2401.8	4546.7	189%
Arado/polirrastra 80N	3497.7	1.8	6295.9	2295.0	4000.9	174%
Arado/polirrastra 40N	2646.2	1.8	4763.2	2188.2	2575.0	118%
Arado/polirrastra 0N	1892.5	1.8	3406.5	2081.4	1325.1	64%
Polirrastra/polirrastra 120N	2983.4	1.8	5370.1	2247.4	3122.7	139%
Polirrastra/polirrastra 80N	2704.6	1.8	4868.3	2140.6	2727.7	127%
Polirrastra/polirrastra 40N	2101.0	1.8	3781.8	2033.8	1748.0	86%
Polirrastra/polirrastra 0N	1668.1	1.8	3002.6	1927.0	1075.6	56%
Polirrastra 120N	2289.3	1.8	4120.7	2164.8	1955.9	90%
Polirrastra 80N	2152.0	1.8	3873.6	2058.0	1815.6	88%
Polirrastra 40N	1889.8	1.8	3401.6	1951.2	1450.4	74%
Polirrastra 0N	1258.7	1.8	2265.7	1844.0	421.7	23%

Los balances de N se basan en la aplicación del principio de conservación de masa a los sistemas de cultivo. Así, la variación en la cantidad de N almacenado en un sistema será igual a la diferencia entre las entradas y salidas del sistema (Meisinger y Randall, 1991). El N amónico y nítrico en el suelo (N_{min}) es el que utilizan las plantas para su crecimiento y es muy frecuente realizar el balance de N considerando las entradas y salidas respecto al N_{min} (Quemada *et al.*, 2006).

Sin embargo y a pesar de que el análisis de N_{min} en el suelo permite conocer la cantidad de nitrógeno mineral disponible para el cultivo en el momento en el que se realiza el muestreo, este análisis de N_{min} es como una fotografía en un momento concreto. Ese nitrógeno mineral medido puede perderse si es utilizado rápidamente por el cultivo y la lluvia lo arrastra, o también puede aumentar si la materia orgánica del suelo va aportando más en su proceso de mineralización (Irañeta *et al.*, 2002). Es decir, la cantidad de nitrógeno en el suelo disponible para la planta durante el cultivo no depende únicamente del nitrógeno mineral en el momento de la medida sino también de otros factores ambientales (Riget *et al.*, 1981) como por ejemplo la disponibilidad de agua y la temperatura (González-Montaner *et al.*, 1991; Loewy, 1993), que determinarán la dinámica del nitrógeno en el suelo, la lixiviación, mineralización, desnitrificación etc. (Echeverría *et al.*, 1994).

Por lo tanto, el potencial de mineralización de un suelo y la cantidad de N mineral disponible son puntos importantes a tener en cuenta en el manejo de la fertilización. Cuando la mineralización excede a la inmovilización, el suelo se convierte en un proveedor neto de N mineral para las plantas y entonces el fertilizante, en exceso, no es utilizado por la plantas y corre el riesgo de perderse. Por el contrario, si la inmovilización excede a la mineralización, los microorganismos del suelo compiten con las plantas por el N mineral y el fertilizante será inmovilizado pudiendo ser insuficiente para un rendimiento vegetal óptimo.

Teniendo en cuenta el balance de nitrógeno citado anteriormente y haciendo hincapié en cuestiones tales como el N aportado al suelo por el cultivo precedente, la lixiviación y el objetivo de rendimiento, el ITCF (2002) propone el cálculo de la dosis total a aplicar en dos o tres aportes nitrogenados. De ellos, el primero en Z20, inicio de ahijado o salida de invierno, se efectuará si el contenido de N_{min} en el suelo es inferior a 60 kg ha^{-1} . El

segundo aporte, en Z30 inicio de encañado se realizará teniendo en cuenta el rendimiento deseado. El tercer aporte se aplicará fraccionando el segundo y con el fin de aumentar el contenido de proteína en grano.

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó que los parámetros agronómicos: Longitud de tallos, número de espigas por m², precocidad del cultivo, peso de 1000 semillas, número de grano por espiga y el peso hectolitro; tienen un alto nivel de significancia del 5% en los métodos de labranza mecanizada y niveles de fertilización nitrogenada aplicada en el cultivo de trigo, por tanto existen evidencias estadísticas altamente significativas para concluir que los parámetros agronómicos dependen del método de labranza y nivel de fertilización nitrogenada; también se ha demostrado que existe una correlación significativa de los niveles de fertilización con los parámetros agronómicos los mismos que también determinan el rendimiento del grano.
2. Los métodos de labranza de suelos y los niveles de fertilización nitrogenada aplicada en el experimento tienen una influencia en el rendimiento del cultivo de trigo bajo las condiciones de Pampa del Arco a 2680 m.s.n.m. La buena labranza de suelo (Labranza convencional) y un alto nivel de fertilización nitrogenada ofrece buenas condiciones de desarrollo a la planta y en una mejor calidad del grano. Este resultado se obtiene con una labranza convencional consistente en preparación del suelo con arado de discos y con una pasada de polirrastra en el tapado de semilla y adicionando 120 kg.ha⁻¹ de Nitrógeno, obteniéndose un rendimiento de 3860.3kg/ha⁻¹ de grano de trigo; mientras en el tratamiento con labranza cero (Sin labranza primaria) y sin aplicar la fertilización nitrogenada el rendimiento de trigo fue 1257.8kg/ha⁻¹.
3. Los métodos de labranza de suelos y diferentes niveles de fertilización nitrogenada permiten obtener diferentes valores de rentabilidad del cultivo de trigo en Pampa del Arco a 2680 m.s.n.m., Ayacucho-2016; Con el tratamiento de labranza convencional consistente en una pasada de arado de cuatro discos y luego una pasada de polirrastra para el tapado de la semilla y la aplicación de 120 kg.ha⁻¹ de Nitrógeno, se alcanza una rentabilidad de 189.0%. Esto demuestra que en suelos semiáridos como la de Pampa del Arco es mejor la labranza convencional debido a que permite una mayor capacidad de retención de humedad del suelo; En segundo lugar con rentabilidad de 174.0% está el tratamiento de labranza primaria con arado de discos y una pasada de

polirrastra y la adición de 80 kg.ha^{-1} de Nitrógeno y mientras el menos rentable se tiene en la labranza cero y con nivel de fertilización cero cuyo valor fue de 23%; o sea sin labranza y sin fertilización nitrogenada es la rentabilidad precisada.

VI. RECOMENDACIONES

1. La labranza convencional con arado de discos y los altos niveles de fertilización nitrogenada resultaron ser los mejores en rendimiento del cultivo de trigo variedad Nazareno para las condiciones del presente investigación, por lo tanto En la zona semiáridas similares a pampa de Arcodeben recomendarse esta tecnología de producción y ser incluidos en los programas de producción para los agricultores de la sierra
2. Realizar investigaciones similares con otros métodos de labranza y la fertilización de otros elementos mayores como el fósforo y potasio tanto en el cultivo de trigo como en otros cultivos de consumo masivo.
3. Presentar nuevos métodos de enseñanza-aprendizaje y comparar con los utilizados en la investigación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abbate, P.E. 2005. Bases fisiológicas para el manejo del cultivo de trigo, expuesto en la "1ra Jornada de Trigo de la Región Centro", 30 y 31 de marzo de 2005, Córdoba.
- Acevedo, E., Sepulveda, N., Cazanga, R., Arias, J. 1998. Evaluación técnico económica de la cero labranza y manejo de residuos en cultivos tradicionales, en condiciones de secano, para la VIII región de Chile.
- Acevedo, E., Martinez, E. 2003. Sistemas de labranza y productividad de los suelos. In: Sistema de labranza y sustentabilidad agrícola en cultivos anuales. Proceedings del seminario «Sustentabilidad en cultivos anuales.» Santiago, Chile, 3 y 4 de diciembre, 2002
- Addiscot, T.M., Whtmore, A.P., Powlson, D.S. 1991. Farming, fertilizers and the nitrate problem. CAB International, Wallingford, UK.
- Barber, R. 2000. Los principales tipos de labranza. In: Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. FAO. Boletín de Suelos y Aguas N°8. Roma. P. 53-58. Bohn, HL; BL Mceal & GA O'Connor. 1985. Soil chemistry, 2° edición. P. 341. Editorial John Wiley and Sons, Nueva York, Estados Unidos.
- Box, A. 2008. The biology of *Hordeum vulgare* L. (Barley). Australian Government: Department of Health and Ageing. Consultado 21 jun 2014. Disponible en: <http://agencysearch.australia.gov.au/search/search.cgi?collection=agencies&profile=ogtr&query=barley&Submit=Search>.
- Cabeda, M.S.V. 1984. Degradação física e erosão. En: I Simpósio de manejo do solo e plantio direto no sul do Brasil e III Simpósio de conservação de solos do planalto. Passo Fundo, RS, 1983. Anais.
- Carreira, D. 2005. Carbono oxidable: Una forma de medir la materia orgánica del suelo. En: Marban, L *et al.* (eds.). Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios. Pp. 91-102. Asociación Argentina de Ciencia del Suelo.

- Carver, B. 2009. Wheat Science and trade. Oxford, UK. Wiley-Blackwell. p. 560
- Castellarín, J. y Pedrol, H., 2005, Métodos de diagnóstico para decidir la fertilización en el cultivo de trigo, publicado en: Para mejorar la producción de trigo, EEA INTA Oliveros.
- Chaney, K. 1990. Effect of nitrogen fertilizer rate on soil nitrate nitrogen content after harvesting winter wheat. J. Agron. Sci. 114:171-176.
- Cintra, F.L.D. 1980. Caracterização do impedimento mecânico em Latossolos do Rio Grande do Sul. 89p. Facultad de Agronomía, UFRGS, Porto Alegre, 1980.
- Cortez, E., Alvarez, F., Gonzales, H. 2009. La mecanización agrícola: Gestión, Selección y Administración de la máquina para las operaciones de campo. Medellín-Colombia, Revista CES.
- Crovetto, C. 1999. Agricultura de conservación. El grano para el hombre, la paja para el suelo. Colección vida rural. 301pp.
- Darwich, N., 2005. Estrategias de fertilización nitrogenada para la obtención de trigos con calidad de exportación, Informaciones Agronómicas N°27.
- De Nobili, M & A Maggioni. 1993. Influencia de las sustancias orgánicas en las propiedades físicas del suelo. En: Nannipieri, P (ed.). Ciclo de las sustancias orgánicas en el suelo: aspectos agronómicos, químicos, ecológicos e selvícolas. Editorial Pátron, Bologna, Italia.
- Echeverría, H. E., 2006. Estrategias de fertilización para aumentar el rendimiento y la calidad, expuesto en el Congreso "A Todo Trigo y Agrotendencias 2006", 18 y 19 de mayo de 2006, Hotel Sheraton, Mar del Plata.
- Echeverría, H., Bergonzi, R., Ferrari, J., 1994, Un modelo para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Ciencia del Suelo Vol.12 N°1.
- Falotico, J., Studdert, G. y Echeverría, H., 1999, Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional, Ciencia del Suelo Vol.17 N°2
- FAO 2001. Trigo regado. Manejo del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- FAO. 2007. Agricultura de Conservación en los países en vías de desarrollo. Pubic. FAO; Roma.
- França da Silva, I. 1980. Efeitos de sistemas de manejos e tempo de cultivo sobre as propriedades físicas de um Latossolo. 70f. Tese (Mestr. Agron. - Solos) Facultad de Agronomía, UFRGS, Porto Alegre, 1980. (não publicada).

- Friedrich, T. 2000. Conceptos y objetivos de la labranza en una agricultura conservacionista. *In: Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos.* FAO. Boletín de Suelos y Aguas N°8. Roma. P. 53-58.
- García, F., 2004, Avances en el manejo nutricional de los cultivos de trigo, expuesto en el Congreso "A Todo Trigo 2004", 13 y 14 de mayo de 2004, Hotel Sheraton, Mar del Plata.
- Garcia, F., 2012. Efectos del clima, suelo y el manejo sobre la productividad de cultivos en un agroecosistema experimental. Tesis de Maestría en la Universidad de La república, Uruguay.
- Galantini, J.A. & Landriscini, M.R., 2007. Equilibrio y dinámica de las fracciones orgánicas del suelo: Relación con la fertilidad del suelo y la sustentabilidad del sistema. En: Thuar, A *et al* (eds.). De la Biología del Suelo a la Agricultura. Pp. 229-245. Editorial Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- Giasson, E. 2000. Efecto de la labranza sobre las características físicas del suelo. *In: Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos.* FAO. Boletín de Suelos y Aguas N°8. Roma. P. 29-37.
- González Murua, B., González Moro, M.B., y Estavillo, J.M. 2004. Nitrógeno, agricultura y medio ambiente. p. 49-58. *En: Reigosa Roser, M.J., PedrolBonjoch, N. y SanchezMoreiras A. (eds.). La ecofisiología vegetal, una ciencia de síntesis.* Thompson Paraninfo, Madrid.
- Guañuña, G.D. 2014. Estudio de variabilidad fenotípica de accesiones de trigo (*triticumaestivuml.*) y cebada (*hordeumvulgarel.*) de la colección del INIAP. Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador.
- Guevara, P. 2012. Tipos de labranza y niveles de fertilización NPK en el cultivo de trigo (*Triticumaestivum L.*) Pampa del Arco 2760 msnm. Tesis para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo, UNSCH - Ayacucho
- Guerrero, A. 1999. Cultivos Herbáceos extensivos. Mundi Prensa, Madrid.
- HERBEK, J.; LEE, C.; TRIMBLE, R. 2008. A comprehensive guide to wheat managment in Kentucky. Kentucky, US. Kathleen editor. 72 p.
- HERCILIO DE FREITAS, V. 2000. Manejo del suelo en pequeñas fincas. Roma, Italia. Publicación FAO.
- IBAÑEZ, A. y AGUIRRE, Y. (1983) "Manual de Prácticas de Fertilidad de Suelos" Programa Académico de Agronomía. UNSCH, Ayacucho Perú.

- INIA 2007. Trigo el Nazareno 411. Investigación para el desarrollo. Nota de Prensa 058-2007-INIA-PW.
- Jara V. J. 1993. Cultivo de trigo en la sierra del Perú Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) Lima-Perú
- Kjellerup, V., y Kofoed, A. 1983. Nitrogen fertilization in relation to leaching of plant nutrients from soil. Lysimeter experiments with 15N. Tidskr. Planteavl. 87:1-22.
- Ledesma, L., Solís, E., Suaste, M., Rodríguez, M. 2010. Relación de métodos de labranza, siembra, riego y dosis de nitrógeno con el rendimiento de trigo. Rev. Mex. Ciencia Agrícola vol.1 no.1 Texcoco. Pp. 55-63.
- Litle, T., Hills F. 1991. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas, México.
- López, L., 2005. Fertilización nitrogenada de los cereales de invierno: trigo y cebada. In. «Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España», Universidad de Córdoba, España.
- Martín, G. 2009. Cultivo del trigo. Separata de la cátedra de forrajes y cereales – FAZ – UNT. Buenos Aires, Argentina.
- Martínez, J. M., 2015. Eficiencia de uso y balance de nitrógeno en sistemas con trigo del sur Bonaerense: Dinámica en el suelo y nutrición del cultivo. Tesis de doctor en Agronomía. Universidad Nacional del Sur; Bahía Blanca, Argentina.
- Mellado, Z. 2007. El trigo en Chile. Centro Regional de Investigaciones Quilamapu. INIA N° 21: 684.
- Melaj, M.A.; H.E. Echeverría, G.A. Studdert, F.H. Andrade, N.O. Bárbaro y S.C. López, 2000. Acumulación y partición de nitrógeno en el cultivo de trigo en función del sistema de labranza y momento de fertilización nitrogenada. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Mellado, M. 2004. Boletín de trigo 2004: Manejo tecnológico. Boletín INIA-N° 114. Ministerio de Agricultura. Instituto de investigaciones agropecuarias; Centro Regional de investigación Quilamapu; Chillan, Chile.
- Mielniczuk, J. y Schneider, P. 1984. Aspectos sócioeconômicos do manejo de solos no sul do Brasil. En: I Simpósio de manejo do solo e plantiodireto no sul do Brasil e III Simpósio de conservação de solos do planalto. Passo Fundo, RS, 1983. Anais.
- Miguez, F., Fertilización nitrogenada foliar en trigo, resumen disertación Technidea, 28/06/2015, <http://www.technidea.com.ar/Daimon/Jornada-28-06-5/index.htm> (consultado: 22/08/2016).

- Miralles, D.J., Fisiología en la generación del rendimiento, expuesto en el Congreso "A Todo Trigo 2004", 13 y 14 de mayo de 2004, Hotel Sheraton, Mar del Plata.
- Mollericonna, P. 2013. Efecto de la Fertilización Nitrogenada y foliar en el cultivo de trigo (*triticumaestivum* L.) en la localidad de Okinawa dos (Cetabol) Santa Cruz de la Sierra Bolivia. Tesis Universidad Mayor de San Andrés, La Paz – Bolivia.
- Navarrete, L., Sánchez, M. J., Alarcón, R. y Hernanz, V. 2014. Influencia del sistema de laboreo y del nivel de fertilización en el secano cerealista. Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario, Finca El Encín. Alcalá de Henares, Madrid, rev. Vida Rural.
- Nichols, V., Verhulst, N., Cox, R. y Govaerts B. 2015. Agricultura de conservación y manejo de malezas. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)
- Noriega, K.G. (1995). Evaluación del rendimiento y otras características de 25 líneas en trigo harinero en la Costa Central. Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad Agraria La Molina.
- Novelo G. M. 2014. “la labranza de conservación en México y apoyos de fira para su adopción” banco de México – fira. México.
- Ortuzar-Iragorri, M.A. 2007. Desarrollo de un sistema de fertilización nitrogenada racional en trigo blando de invierno bajo condiciones de clima mediterráneo húmedo. Tesis Doctoral. Universidad del país Vasco, España
- Ortuzar-Iragorri, M.A, Alonso, A., Castellón, A., Besga, G., Estavillo, J.M., y Aizpurua, A. 2005. N-Tester use in soft winter wheat: Evaluation of nitrogen status and grain yield prediction. *Agron. J.* 97:380-1389.
- Osorio, V. 2011. Efecto de labranza, manejo de rastrojo y fertilización de nitrógeno sobre el contenido de humedad y desarrollo del cultivo de trigo. URI: <http://hdl.handle.net/10521/355>.
- Rasmusson, D. 1985. Barley. Wisconsin, US. Columbia editor. p. 522.
- Rodriguez, C.A., Y Di Ciocco.2006. Influencia de la Inoculación con *Azospirillumbrasilensis* en trigo cultivado en suelos de la Provincia de la Pampa Argentina. *Ciencia del suelo* 14: 110-120.
- Rosell. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.
- Salvagiotti, F., Castellarín, J., Pedrol, H. y Satorre, E., 2003, El modelo de simulación Ceres como herramienta en el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en trigo, *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N°17.

- Stevenson, F.J. 1982. Origin and distribution of N in the soil. *En*: Stevenson F.J. (ed.). Nitrogen in agricultural soils. American Society of Agronomy, Madison, WI, EEUU.
- Studdert, G., Carabaca, L., y Echeverría, H., 2000, Estimación del nitrógeno mineralizado para un cultivo de trigo en distintas secuencias de cultivos, *Ciencia del Suelo* Vol 18 N°1.
- Tisdale S.L. y Nelson W.L., 1991, Fertilidad de los suelos y fertilizantes, Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana S.A. de C.V
- Vázquez, M.E.; LA Berasategui, L.A.; Chamorro, E.R; Taquín, L.A.&Barberis, L.A. 1990. Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la pradera pampeana. *Ciencia del Suelo* 8: 203-210.
- Villarreal, M., 2000. Efectos de la producción del trigo (*Triticum aestivum* L) en el mundo, México y en las 5 Manantiales. Monografía para optar el título de Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, México.
- VISION LEARNING. 2005. Ciclo del Nitrogeno, http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?c3=&mid=98&ut=&l=s (consultado: 02/03/2017)
- Voorhees, W.B., Senst, C.G., y Nelson, W.W. 1978. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the Northern Corn Belt. *Soil Science Society of América Journal, Madison* 42:344-9.
- Weil, RR & F Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. *En*: Magdoff, F *et al* (eds.). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. Editorial CRC Press, Nueva York, Estados Unidos.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., y Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 4:415-421.

ANEXOS

Anexo 1: Análisis de Caracterización y Fertilidad de Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
 Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 RPM # 966942996
 Ayacucho – Perú
 "Año de la Consolidación del Mar de Grau"

Región : Ayacucho
 Provincia : Huamanga
 Distrito : Ayacucho
 Comunidad : Pampa del Arco
 Proyecto : "Tesis" Cultivo de Trigo
 Solicitante : Ing. Federico Quicaño Suarez

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra Calicata	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H ₂ O) 1:2.5	C. E. (dS/m.) 1:1	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiabiles (Cmol(+)/Kg)						C. I. C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺	
01	39.6	22.6	37.8	Fr-Ar	8.41	0.425	2.0	0.73	0.03	6.2	289.7	14.4	2.28	1.48	-.-	0.0	0.0	19.2

Ayacucho, 12 de Enero del 2016.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
 PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
 RESPONSABLE

 Juan G. Girón Molina
 C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

1. Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 ó en el extracto de la pasta de saturación (es).
3. pH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo; agua relación 1:2.5 ó en suspensión suelo: KCl 1N, relación 1:2.5
4. Calcareo total (CaCO₃): método volumétrico o gaso-volumétrico utilizando un calcimetro.
5. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. %M.O = %C x 1.724.
6. Nitrógeno total: método del semi micro- kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método Bray Kurtz I y método del Olsen modificado, extracción con NaHCO₃ = 0.5M, pH: 8.5
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH₃-COONa)N, pH 4.8
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH₃-COONH₄)N; pH: 7
10. Ca⁺², Mg⁺², cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio (CH₃-COONH₄)N; pH:7.0, cuantificación por complexometría EDTA.
11. AL⁺³ +H⁺: método de Yuan. Extracción con KCl 1N
12. Iones solubles:
 - a) Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺ solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.
 - b) Cl⁻, CO₃⁼, HCO₃⁻, NO₃⁻ solubles: volumetría y colorimetría, SO₄⁼ turbidimetría con Cloruro de Bario.
 - c) Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
 - d) Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

Equivalencias:

1ppm = 1mg/kilogramo

1 milimho/cm (mmho/cm) = 1 deciSemens/metro

1 miliequivalente/ 100g = 1 cmol(+)/kg

Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes

CE (1:1) mmho/cm x 2 = CE (es) mmho/cm

TABLA DE INTERPRETACIÓN

Salinidad	
Clasificación del Suelo	CE (es)
* muy ligeramente salino	< 2
* ligeramente salino	2 – 4
* moderadamente salino	4 – 8
* fuertemente salino	> 8

Reacción o pH	
Clasificación del Suelo	pH
* Fuertemente ácido	< 5.5
* Moderadamente ácido	5.6 – 6.0
* Ligeramente ácido	6.1 – 6.5
* Neutro	7.0
* Ligeramente alcalino	7.1 – 7.8
* Moderadamente alcalino	7.9 – 8.4
* Fuertemente alcalino	>8.4

	Materia Orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible
Clasificación	%	ppm P	ppm K
* bajo	< 2.0	< 12.0	< 100
* medio	2 – 4	12.0 – 18.0	100 - 240
* alto	> 4.0	> 18.0	> 240

Relaciones Catiónicas			
Clasificación	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
* Normal	5 - 8	14 - 16	1.8 - 2.5
* defc. Ca	< 5	< 14	
* defc. K		> 16	> 2.5
* defc. Mg	> 8		< 1.8

Distribución de Cationes %	% Calcáreo Total	
Ca ⁺²	60 – 75	< 1 % Nivel bajo
Mg ⁺²	15 – 20	1 a 5 % Nivel Medio
K ⁺	3 – 7	5 – 15 % Nivel alto
Na ⁺	< 15	> 15 % Nivel muy alto

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS
PLANTA AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE

Juan B. Grón Molina
C.I.P. 77120

Anexo 2: Costos de producción del cultivo de trigo

Cuadro 1 A Costos de producción del cultivo del trigo tratamiento arado y labranza con polirrastra, abonamiento de N = 0

Descripción	Unid	Cant	Valor unit. S/.	Sub total S/.	Total S/.
I GASTOS DEL CULTIVO (C.D)					1763.00
1. Preparación del terreno				320.00	
-Pasada de Arado	H/M	04	80.00	320.00	
2. Siembra				200.00	
- Aplicación de abono y distribución de semillas	Jorn	04	30.00	120.00	
- Tapado de semillas	H/M	01	80.00	80.00	
3. Labores culturales				300.00	
- Deshierbo	Jorn	10	30.00	300.00	
4. Cosecha				360.00	
- Corte y trillado	Jorn	10	30.00	300.00	
- Ensacado y almacenamiento	Jorn	02	30.00	60.00	
5.. GASTOS ESPECIALES				583.00	
1. Semilla	kg	140	2.00	280.00	
2. Fertilizantes (PK)					
- Superfosfato	Kg.	180	1.20	216.00	
- Cloruro de potasio	Kg.	67	1.30	87.00	
II. GASTOS GENERALES (C I)				318.40	318.40
1. Leyes sociales (10%)				176.30	
2. Gastos administrativos (5%)				88.20	
3. Imprevistos (3%)				53.90	
Costo Total De Producción (s/.)					2081.40

Cuadro resumen del costo de producción de los tratamientos:

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	COSTO
T1	Dos Polirrastras y abonamiento (0-80-40 de NPK)	S/ 2081.40
T2	Dos Polirrastras y abonamiento (40-80-40 de NPK)	S/ 2188.20
T3	Dos polirrastras y abonamiento (80-80-40 de NPK)	S/ 2295.00
T4	Dos polirrastras y abonamiento (120-80-40 de NPK)	S/ 2401.80

Cuadro 2 A Costos de producción del cultivo del trigo tratamiento Polirrastra y labranza con polirrastra, abonamiento de (N =0)

Descripción	Unid	Cant	Valor unit. S/.	Sub total S/.	Total S/.
I GASTOS DEL CULTIVO (C.D)					1633.00
1 Preparación del terreno				160.00	
-Pasada Polirrastra	H/M	02	80.00	160.00	
2 Siembra				200.00	
- Aplicación de abono y distribución de semillas	Jorn	04	30.00	120.00	
- Tapado de semillas	H/M	01	80.00	80.00	
3 Labores culturales				330.00	
- 2 ^{do} abonamiento (N)	Jorn	01	30.00	30.00	
- Deshierbo	Jorn	10	30.00	300.00	
4 Cosecha				360.00	
- Corte y trillado	Jorn	10	30.00	300.00	
- Ensacado y almacenamiento	Jorn	02	30.00	60.00	
5.. GASTOS ESPECIALES				583.00	
1 Semilla	kg	140	2.00	280.00	
2 Fertilizantes (PK)					
Superfosfato	Kg.	180	1.20	216.00	
Cloruro de potasio	Kg.	67	1.30	87.00	
II. GASTOS GENERALES (C I)				294.00	294.00
1 Leyes sociales (10%)				163.30	
2 Gastos administrativos (5%)				81.70	
3 Imprevistos (3%)				49.00	
Costo Total De Producción (s/.)					1927.00

Cuadro resumen del costo de producción de los tratamientos:

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	COSTO
T5	Dos Polirrastras y abonamiento (0-80-40 de NPK)	S/ 1927.00
T6	Dos Polirrastras y abonamiento (40-80-40 de NPK)	S/ 2033.80
T7	Dos polirrastras y abonamiento (80-80-40 de NPK)	S/ 2140.60
T8	Dos polirrastras y abonamiento (120-80-40 de NPK)	S/ 2247.40

Cuadro 3 A Costos de producción del cultivo del trigo tratamiento labranza con polirrastra, abonamiento de (N =0)

Descripción	Unid	Cant	Valor unit. S/.	Sub total S/.	Total S/.
I GASTOS DEL CULTIVO (C.D)					1563.00
1 Preparación del terreno					
- No existe					
2 Siembra				200.00	
- Aplicación de abono y distribución de semillas	Jorn	04	30.00	120.00	
- Tapado de semillas	H/M	01	80.00	80.00	
3 Labores culturales				480.00	
- 2 ^{do} abonamiento (N)	Jorn	02	30.00	60.00	
- Deshierbo	Jorn	10	30.00	420.00	
4 Cosecha				300.00	
- Corte y trillado	Jorn	08	30.00	240.00	
- Ensacado y almacenamiento	Jorn	02	30.00	60.00	
5.. Gastos Especiales				583.00	
- Semilla	kg	140	2.00	280.00	
- Fertilizantes (PK)					
- Superfosfato	Kg.	180	1.20	216.00	
- Cloruro de potasio	Kg.	67	1.30	87.00	
II.GASTOS GENERALES (C I)				281.40	281.40
- Leyes sociales (10%)				156.30	
- Gastos administrativos (5%)				78.20	
- Imprevistos (3%)				46.90	
Costo Total De Producción (s/.)					1844.40

Cuadro resumen del costo de producción de los tratamientos:

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	COSTO
T9	Dos Polirrastras y abonamiento (0-80-40 de NPK)	S/ 1844.40
T10	Dos Polirrastras y abonamiento (40-80-40 de NPK)	S/ 1951.20
T11	Dos polirrastras y abonamiento (80-80-40 de NPK)	S/ 2058.00
T12	Dos polirrastras y abonamiento (120-80-40 de NPK)	S/ 2164.80

ANEXO 3: PANEL FOTOGRAFICO



Tractor FIAT 105-90 para la labranza de suelos



Polirrastra utilizado para la labranza secundaria y tapado de semillas



Labranza primaria (Arado de discos)



Crecimiento de la muestra con labranza 2 y empleo de nitrógeno cero



Crecimiento de la muestra con labranza 2 y el empleo de nitrógeno tres



Vista panorámica del crecimiento de trigo en el campo experimental



Evaluación del tratamiento labranza dos con aplicación de nitrógeno uno



Evaluación del tratamiento labranza dos con aplicación de nitrógeno dos



Evaluación del tratamiento labranza dos con aplicación de nitrógeno tres



Campo experimental previa a la cosecha



Campo experimental previa a la cosecha en otra vista.