

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“EFECTO DE TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN EL
RENDIMIENTO DEL MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO DURO (*Zea mays* L.)
BAJO UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEJO EN SUELO ACIDO DE
PUCALLPA”**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

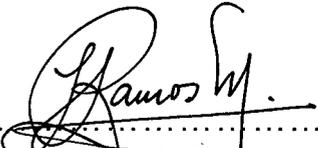
EDUARDO RODOLFO OLAZO SOLIS

PUCALLPA – PERÚ

2014

El jurado de tesis designado por la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, son los siguientes:

Ing. Felipe A. Ramos Macedo


.....
Presidente

Ing. Mg. Celso Calle Serrano


.....
Secretario

Ing. Luis Díaz Sandoval


.....
Miembro

Ing. MSc. Raúl García Cavalié


.....
Asesor

Bach. Eduardo Rodolfo Olazo Solis


.....
Tesisista

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres que me dieron la vida y sobre todo me dieron la formación con fe en Dios para seguir adelante, inculcándome valores y sobre todo me enseñaron a no rendirme a pesar de las adversidades y dificultades que se puedan presentar en la vida.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a las instituciones y personas que han colaborado para la culminación del presente trabajo de investigación:

- A la Universidad Nacional de Ucayali, mi Alma Mater, por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional.
- A la Facultad de Ciencias Agropecuarias que, por intermedio de sus docentes, quienes me brindaron valiosas enseñanzas para lograr mi formación de Ingeniero Agrónomo.
- Al Ing. Msc. Raúl García Cavalie por el asesoramiento, valioso y constante apoyo durante toda la etapa de realización del presente trabajo de investigación.
- Así mismo a todas las personas que han contribuido de una u otra manera en la culminación del presente trabajo de investigación.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. El cultivo del maíz.....	3
2.1.1. Origen.....	3
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	3
2.1.3. Descripción de la planta de maíz.....	4
2.1.4. Factores climáticos y edáficos en el cultivo de maíz	5
2.1.5. Caracterización del híbrido AGRI – 144.....	9
2.1.6. Fertilización.....	10
2.2. La fertirrigación.....	14
2.2.1. Importancia.....	14
2.2.2. Principios.....	14
2.2.3. El suelo y el fertirriego.....	19
2.2.4. El agua de riego y el fertirriego.....	22
2.2.5. Los fertilizantes y el fertirriego.....	24
2.2.6. Ventajas de la fertirrigación.....	27
2.2.7. Desventajas de la fertirrigación.....	28
2.2.8. Fertilizantes utilizados en fertirrigación.....	28
2.2.9. Compatibilidad de productos.....	31
III. MATERIALES Y METODOS.....	33

3.1. Ubicación y duración del experimento.....	33
3.2. Condiciones de clima y suelo.....	33
3.3. Materiales.....	36
3.4. Tratamientos en estudio.....	38
3.5. Variables evaluadas.....	38
3.6. Distribución y dimensiones de las parcelas experimentales.....	41
3.7. Del trabajo experimental.....	42
3.8. Diseño experimental.....	47
IV. RESULTADOS.....	49
4.1. Altura de planta.....	49
4.2. Altura de la inserción de la mazorca.....	50
4.3. Largo de mazorca.....	51
4.4. Diámetro de mazorca.....	52
4.5. Número de hileras por mazorca.....	54
4.6. Número de granos por hilera.....	55
4.7. Peso de 100 granos.....	56
4.8. Rendimiento por hectárea.....	58
V. DISCUSIONES.....	60
5.1. Variables agronómicas	60
5.1.1. Altura De planta, altura de la inserción de la Mazorca.....	60
5.1.2. Largo y diámetro de mazorca.....	60
5.1.3 Número de hileras por mazorca, número de granos por hilera	61
5.2 Variables agronómicas.....	61
5.2.1 Peso de 100 granos, rendimiento por hectárea.....	61
VI. CONCLUSIONES.....	64
VI. RECOMENDACIONES.....	65
VII. BIBLIOGRAFIA.....	66
VIII. ANEXO.....	69
IX. ICONOGRAFIA.....	73

LISTA DE CUADROS

En el texto	Pág.
Cuadro 01. Extracción de nutrientes en maíz.....	12
Cuadro 02. Balance de carga hipotética en función del tipo de fertilización nitrogenada (Burt <i>et al.</i> , 1998).....	15
Cuadro 03. Asimilación, sinergismos (aumento) y antagonismos (disminución) de nutrientes (Burt <i>et al.</i> , 1998).....	16
Cuadro 04. Características hidrodinámicas de los suelos en función de su textura.....	20
Cuadro 05. Relación entre la textura y la capacidad de Intercambio catiónico de los suelos.....	21
Cuadro 06. Guía para la interpretación del agua de riego (Ayres and Westcot, 1985. FAO).....	23
Cuadro 07. Datos de las condiciones climáticas en los meses de junio a noviembre del 2011. Pucallpa, Perú, 2014.....	34
Cuadro 08. Resultados del análisis de suelos de la parcela en el cual se realizó el trabajo de investigación. Pucallpa, Perú, 2014.....	35
Cuadro 09. Resultados del análisis de agua del reservorio principal de agua. Pucallpa, Perú, 2014.....	36
Cuadro 10. Tratamiento y dosis de fertilizantes. Pucallpa, Perú, 2014...	38
Cuadro 11. Aplicación de fertilizantes en la fertirrigación para el tratamiento 01.....	44
Cuadro 12. Aplicación de fertilizantes en la fertirrigación para el tratamiento 02.....	44
Cuadro 13. Aplicación de fertilizantes en la fertirrigación para el tratamiento 03.....	45

Cuadro 14. Aplicación de fertilizantes en la fertirrigación para el tratamiento 04.....	45
Cuadro 15. Análisis de sistema y frecuencia de riego.....	46
Cuadro 16. . Resultados de la altura de planta del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014	47
Cuadro 17. Resultados de la altura de inserción de la mazorca del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	50
Cuadro 18. Resultados del largo de mazorca del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	51
Cuadro 19. Resultados del diámetro de mazorca del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	52
Cuadro 20. Resultados del número de hileras por mazorca del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	54
Cuadro 21. Resultados del número de granos por hileras del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	55
Cuadro 22. Resultados del peso de 100 granos del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	56
Cuadro 23. Resultados del rendimiento por hectárea del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	58
En el Anexo	
Cuadro 1A. ANVA para la altura de planta.....	69
Cuadro 2A. ANVA para la altura de inserción de la mazorca.....	69

Cuadro 3A. ANVA para el largo de mazorca.....	69
Cuadro 4A. ANVA para el ancho de mazorca.....	69
Cuadro 5A. ANVA para el número de hileras por mazorca.....	70
Cuadro 6A. ANVA para el número de granos por hilera.....	70
Cuadro 7A. ANVA para el peso de 100 granos.....	70
Cuadro 8A. ANVA para el rendimiento por hectárea.....	70
Cuadro 09 A. Características principales de los abonos sólidos solubles.....	71

LISTA DE FIGURAS

En el texto	Pág.
Figura 01. Condiciones climáticas de los meses de junio a noviembre del 2011. Pucallpa, Perú, 2014.....	34
Figura 02. Diseño de la parcela de investigación. Pucallpa, Perú, 2014.....	41
Figura 03. Altura de planta del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	50
Figura 04. Altura de inserción de la mazorca del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	51
Figura 05. Largo de mazorca del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	52
Figura 06. Ancho de mazorca del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	53
Figura 07. Número de hileras por mazorca del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	55
Figura 08. Número de granos por hilera del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	56
Figura 09. Peso de 100 granos del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	57
Figura 10. Rendimiento por hectárea del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.....	59
En la Iconografía	
Figura 11. Preparación de campo y sistema de fertirrigación.....	74
Figura 12. Siembra del campo de cultivo.....	74
Figura 13. Campo experimental.....	74
Figura 14. Evaluación de parámetros.....	75

RESUMEN

1. El presente trabajo de investigación se realizó en los campos de cultivo con sistema de riego por goteo, ubicado en el campus Universitario Nacional de Ucayali, ubicada en el km. 6.00 de la Carretera Federico Basadre, interior 1.5 km, margen izquierda, situado a $08^{\circ} 24' 38,9''$ de latitud sur y $74^{\circ} 35' 49,4''$ de longitud oeste a 174 m.s.n.m., con el objetivo de efecto de tres niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo un sistema de riego por goteo en suelo ácido de Pucallpa, para el cual, se tuvo los tratamientos con agua, con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca, Mg, con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 – 15 de Ca, Mg y con 120 – 60 – 50 de N, P, K y 20 - 10 de Ca, Mg, todos estos tratamientos aplicados al campo bajo un sistema de fertirriego por goteo. Se utilizó un diseño de bloques completo al azar, con 4 tratamientos y 3 repeticiones, concluyendo que: para la variable altura de planta, no se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados y para la altura de inserción de mazorca, el tratamiento con agua mostró el mejor promedio de altura; así mismo, para el largo y diámetro de mazorca, el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca, Mg logró los mejores promedios, y para el número de hileras por mazorca y número de granos por hilera, el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca, Mg y el tratamiento con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca, Mg mostraron los mejores promedios y para el peso de 100 granos, el tratamiento con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca, Mg mostró el mejor promedio, y finalmente, para el rendimiento por hectárea, los tratamientos con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 – 15 de Ca, Mg y 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca y mostraron los mejores promedios seguidos de los tratamientos con 120 – 60 – 50 de N, P, K y el tratamiento solo con agua, siendo los rangos de rendimiento entre 6502.2 kg/ha a 7756.1 kg/ha, en comparación al tratamiento con agua, el cual obtuvo un rendimiento de 5062.4 kg/ha.

I. INTRODUCCION

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial junto con el arroz y el trigo, por que constituye la base de la alimentación humana y animal, tiene su mayor demanda en los alimentos balanceados donde sus granos son utilizados como el principal componente en las raciones de los animales, generalmente de las aves. En la selva peruana la región San Martín cuenta con la mayor superficie cultivada y con la mayor productividad, estimado en 101602 toneladas de grano producidas en 48 976 hectáreas en el año 2000, obteniéndose un rendimiento promedio de 2.1 ton/ha (Jara, Hidalgo y Echeverría, 2003). Así mismo, la producción de maíz amarillo duro en el mes de enero fue de 61 mil toneladas en el año 2013, y de 66 mil toneladas en el año 2014 y para el mes de junio fue de 136 mil toneladas en el año 2013 y de 130 mil toneladas en el año 2014 (MINAGRI, 2014).

La región Ucayali, cuenta con aproximadamente 11743.00 hectáreas para la siembra de maíz amarillo duro, de las cuales sólo se aprovecha aproximadamente 9105.00 ha (Ministerio de Agricultura, 2006), cultivándose la variedad Marginal 28-T, por más de 23 años, la misma que viene registrando bajos rendimientos (2,28 t/ha) en los últimos años. Así mismo, los mejores suelos de la Amazonía Peruana con capacidad para desarrollar una agricultura moderna a escala comercial, con ventajas comparativas y atractivas para los inversionistas, se encuentran localizadas en las riberas de los ríos. Para el caso de la región Ucayali se estima que más del 60% del volumen de la producción agropecuaria proviene de las restingas bajas. Los suelos aluviales de mayor aptitud agrícola, son complejos orillares que se forman por la erosión que causan las aguas de los ríos que discurren desde los andes y que depositan nuevo material parental a las orillas durante las crecientes, renovándose anualmente. Esta renovación es mayor en los barrizales y playas, comparada al de las restingas, por el nivel de inundación bajo de estos complejos que son más estables. En los suelos aluviales, por años se practica la agricultura estacional con ciertas ventajas al de otros ecosistemas y con mayores perspectivas de ampliar la frontera agrícola por la cantidad y calidad de nutrientes del suelo, renovación anual de los sedimentos, que garantiza una producción de calidad a costos competitivos (Hidalgo, 2003).

El manejo nutricional es uno de los pilares fundamentales para optimizar el resultado de los sistemas de explotación de maíz.

El crecimiento vegetativo, el potencial de acumular rendimiento y la necesidad de suplementar nutrientes varían con las condiciones climáticas de los diferentes sitios donde se cultiva el maíz. Esto es particularmente cierto en las zonas productoras de maíz de América Tropical, donde las diversas condiciones de clima resultan en diferentes condiciones de crecimiento y, por lo tanto, en diferente potencial de rendimiento (García y Espinosa, 2009).

El riego por goteo tiene como objetivo realizar pequeñas aportaciones de agua, de manera continua y frecuente, en un lugar próximo a la planta, humedeciendo sólo parte del volumen del suelo. En el riego por goteo el agua se distribuye por tuberías de polietileno a baja presión, en las que a intervalos regulares están colocados los emisores, denominados goteros, responsables de regular la salida del agua.

El rendimiento de maíz está determinado principalmente por el número final de granos logrados por unidad de superficie, el cual es función de la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del período de floración. Por lo tanto, para alcanzar altos rendimientos, el cultivo debe lograr un óptimo estado fisiológico en floración: cobertura total del suelo y alta eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa. La adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que los nutrientes son requeridos en mayores cantidades (aproximadamente 5-6 hojas desarrolladas), asegura un buen desarrollo y crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada. Los nutrientes disponibles en el suelo generalmente limitan la producción de maíz, siendo necesario conocer los requerimientos del cultivo y la oferta del suelo para determinar las necesidades de fertilización (García S.f.).

Frente a esta problemática, es necesario la tecnificación del cultivo del maíz con la aplicación del riego que es de suma importancia para elevar la capacidad productiva del cultivo, motivo por el cual el presente trabajo, tuvo como objetivo estudiar el efecto de diferentes niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro bajo un sistema de riego por goteo en un suelo ácido.

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1. El cultivo del maíz

2.1.1. Origen

El origen del maíz (*Zea mays* L) ha sido objeto de numerosos trabajos, en base a lo mismo se a sugerido varios sitios de origen, que van desde Paraguay en Sur América hasta Guatemala y México en Mesoamérica (Silva, 2005). Otras revisiones coinciden en afirmar que el maíz se originó en una parte restringida de México y los tipos más desarrollados emigraron hasta otros sitios de América. Por otro lado, la evidencia más antigua sobre la domesticación del maíz es que proviene de sitios arqueológicos de México, donde pequeñas tusas con edad estimada de 7000 años han sido excavadas. Este estimativo coincide con el dato generalmente aceptado para el origen de la agricultura, tanto en el viejo como en el nuevo mundo entre 8000 y 10000 años.

2.1.2. Clasificación taxonómica

El maíz pertenece a la división Angiospemae, clase Monocotiledónea, orden Graminales, tribu Maydeae, familia Gramineae (Poaceae). Esta tribu incluye tres géneros de origen americano: *Zea*, *Euchlaena* o Teocinte y *Tripsacum*. Tanto el Teocinte como el *Tripsacum* han sido considerados como parientes cercanos del maíz. El teocinte se encuentra en México y Guatemala y se da en dos formas: anual de utilidad como forraje y perenne, menos extendida, restringida a algunas zonas de México. El *Tripsacum*, se encuentra en toda la América Central, extendiéndose por el norte a algunas regiones de los Estados Unidos y por el sur hasta Brasil. En estado natural se dan dos formas diploides y tetraploides, siendo su único aprovechamiento como planta forrajera (Silva, 2005).

2.1.3. Descripción de la planta de maíz

A. Sistema radicular

La raíz primaria que nace de la semilla, es rápidamente suplantada por otras que forman el sistema radicular permanente, pero a veces algunas raíces iniciales pueden permanecer activas durante todo el ciclo de vida. La gran producción de raíces del maíz son adventicias y se forman entre la unión del mesocotilo y coleoptilo y los primeros nudos del tallo (García, 2002).

B. Tallo

Es un tallo vertical, alargado y cilíndrico de 2.50 m de longitud en promedio, termina en una espiga que constituye la inflorescencia masculina. Presenta nudo y entrenudos; siendo más cortos en la base y más largo a medida que se alejan de ella (Jara, Hidalgo y Echeverría, 2003).

C. Hojas

Las hojas nacen de la parte superior de los nudos alternándose en forma gruesa a lo largo del tallo. Son envainadoras y están formadas por vainas que cubren completamente los entrenudos, lanceolada con una nervadura central y varias paralelas (Jara, Hidalgo y Echeverría, 2003). Generalmente son, largas y angostas, envainadoras, formadas por la vaina y el limbo, con nervaduras lineales y paralelas a la nervadura central. En la axilas de las hojas se encuentran las yemas axilares, los que en su mayoría no llegan a desarrollarse o bien logrando solo una, dos o tres yemas localizadas en la parte media del tallo, dando origen a la inflorescencia femenina, conocido como mazorcas, las cuales están formadas por un eje central grueso denominado tusa o marlo en el que están insertados los granos. Las mazorcas están cubiertas por brácteas (De Souza, 2000).

D. Floración

El maíz es una planta monoica, posee dos inflorescencias, la masculina productora del polen denominada panoja situada en el extremo superior del tallo y la inflorescencia femenina productora de óvulos que normalmente se encuentra a la altura de la mitad del tallo, cuyas flores se encuentran asentadas en la tusa y constituyen los órganos más importantes de la planta, donde se van a desarrollar los frutos que constituyen la semilla o grano (Jara, Hidalgo y Echeverría, 2003). Así mismo, se caracteriza por tener la inflorescencia femenina (mazorca) y la masculina (espiga) separadas pero en la misma planta, especie de polinización abierta (alógama), la polinización ocurre con la transferencia del polen, por el viento, desde la espiga a los estigmas (cabellos) de la mazorca. Cerca del 95% de los óvulos son fecundados con polen de otra planta y un 5% con el mismo polen, aunque las plantas son completamente autocompatibles (Poehlman, 1965).

Las flores del maíz tanto femeninas como masculinas están unidas en espiguillas y el par de espiguillas es la unidad de estructura (Rivas, 1989).

E. Granos

Los granos están recubiertos por la cutícula y el pericarpio que forman una envoltura delgada y seca de origen maternal, el color varía entre blanco, amarillo y rojo o variegado. En el interior del pericarpio se encuentran el embrión y el endospermo que almacena las reservas de carbohidratos, proteínas, vitaminas, etc. (Jara, Hidalgo y Echeverría, 2003).

2.1.4. Factores climáticos y edáficos en el cultivo de maíz

A. Temperatura

La planta de maíz a medida que va cumpliendo las diferentes etapas o eventos fisiológicos debe ir acumulando unidades de calor, lo que se conoce como tiempo termal. En el trópico, el rendimiento está limitado por

el poco tiempo para interceptar radiación solar y las temperaturas cálidas aceleran la fenología del cultivo.

En algunas situaciones, la temperatura sube a finales del ciclo, acelerando la fase del llenado de granos y la senescencia de las hojas, limitando severamente el rendimiento. La alta productividad del maíz en climas frescos se explica por el lento desarrollo de sus etapas de crecimiento y la capacidad de interceptar radiación por mayor tiempo (Bolaños y Edmeades, 1993).

Las altas temperaturas tienen un efecto directo sobre la polinización del maíz ya que la viabilidad del polen se reduce en forma importante por encima de temperaturas de 35° C dado que el derrame del polen ocurre en las primeras horas del día, las temperaturas a esa hora difícilmente llegan a un nivel que pueda causar daño; sin embargo, si las altas temperaturas están asociadas a una baja humedad matinal, la viabilidad del polen se puede reducir de tal manera que la formación del grano puede ser afectada (Ripusudan *et al.*, 2001). Así mismo, el maíz crece rápido y tiene buen rendimiento a temperaturas entre 20° y 30° C y con suministro abundante de agua. A temperaturas de 38° C o más es difícil que se pueda mantener una humedad adecuada en el suelo. El maíz es un cultivo sensible al frío y sufre daños a temperaturas entre 0° y 10° C si está expuesto a la luz normal, y a temperaturas entre 10° y 15° C cuando está expuesto a la luz intensa, dependiendo de los cultivares estudiados.

De acuerdo a Herrera (1974), la temperatura y la humedad juegan un papel muy importante en el crecimiento y desarrollo de la planta, el metabolismo normal se interrumpe y por ende el crecimiento y rendimiento es menor, el periodo vegetativo de la planta está relacionado tanto con la temperatura y la humedad del suelo.

B. Tiempo térmico e integral térmica

Es importante señalar la importancia de la fisiología de la planta de maíz que va ligado a los factores ambientales, como la temperatura que

necesita la planta de maíz para terminar una etapa de desarrollo y pasar a una fase siguiente.

Cada fase del desarrollo requiere un mínimo de acumulación de temperatura para llegar a su término y que la planta pueda pasar a la fase siguiente. En efecto, la planta "mide" la temperatura cada día y agrega el promedio de ese día a un total requerido para esa fase. Este total se llama tiempo térmico o suma de calor y las unidades térmicas son grados/días ($^{\circ}\text{Cd}$). Se puede calcular sumando las temperaturas medias de cada día durante la fase en cuestión. La temperatura media es: $(\text{máxima} + \text{mínima})/2$. Por lo tanto, si en un determinado día hubo una máxima de 35°C y una mínima de 15°C , la media será de 25°C $[(35+15)/2]$ y la suma de calor para ese día será de 25°Cd (Web online: <http://www.fao.org>)

C. Humedad

Las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua, pero sí mantener una humedad constante. En la fase de crecimiento vegetativo es cuando el agua se requiere y se recomienda dar un riego unos 10 a 15 días antes de la floración (Brito y Gilabert, 1983).

D. Agua

El agua es el factor que más comúnmente limita la producción de maíz en las zonas tropicales. En el total del ciclo, el maíz requiere 500 a 600 mm de agua. El máximo consumo diario se da en el periodo que va desde la octava a novena hoja, que es cuando comienza a formar la espiga y se define el rendimiento potencial máximo de la planta, hasta fines del llenado de granos, donde requiere unos 300 mm de agua (Ruiz, 2006); el maíz es una planta exigente en agua, pero es muy eficiente en su uso, en promedio, cada 250 litros de agua transpirada fija 1 Kg de materia seca, considerado como una especie con buen coeficiente de transpiración. En general el maíz consume por lo menos 500 a 700mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo, pero esta cantidad puede

variar con relación a la calidad de suelo (Freyre, 1999). El maíz requiere de 25° C en promedio y de 2 millones de litros de agua como mínimo por hectárea para un buen crecimiento (Martínez *et al.*, 1974).

El bajo contenido de agua del ovario parece afectar la viabilidad de cada grano en desarrollo para actuar como un depósito efectivo, aun si el número de granos por mazorca se reduce (Ripusudan, 2001).

Si la falta de agua ocurre en los periodos de siembra a germinación, el crecimiento del cultivo se retrasa (Manrique, 1997).

E. Sequía

Las sequías reducen los rendimientos del maíz en cerca del 15% anualmente en las tierras bajas tropicales y subtropicales, llegando a causar pérdidas estimadas en 16 millones de kg de grano (CIMMYT, 2004).

El mismo autor manifiesta que la sequía durante la etapa de establecimiento del cultivo puede matar las plantas jóvenes y reducir la densidad de población. El principal efecto de la sequía en el periodo vegetativo es reducir el crecimiento de las hojas, de tal modo que el cultivo intercepta menos radiación solar. Alrededor de la floración (desde unas dos semanas antes de ésta), el maíz es muy sensible al estrés hídrico, y el rendimiento de grano puede ser muy seriamente afectado si se produce sequía durante ese periodo. Durante el llenado de granos, el principal efecto es reducir el tamaño de estos (Ripusudan, 2001). Así mismo, menciona que las sequías cercanas a la época de floración tienen un efecto multiplicador sobre el rendimiento, aparentemente porque reducen la formación de reservas. El número de granos por planta puede reducirse a causa de dificultades en la polinización o porque los óvulos fertilizados detienen su crecimiento.

Sevilla (1989), menciona que si la falta de agua ocurre en el periodo de floración, se reduce el número de granos por mazorcas, el número de mazorcas por planta y el tamaño de los granos.

Si la sequía ocurre durante el llenado del grano, la velocidad y la duración del periodo de llenado decrecen; esto ocurre a causa de una reducción en la fotosíntesis y una aceleración de la senescencia foliar.

El estrés del llenado del grano por lo general ocurre cuando las lluvias terminan temprano, en comparación con otros años; las variedades de madurez temprana pueden evitar tal estrés pero a costa de una pérdida de potencial de rendimiento en los años de buenas lluvias (Ripusudan, 2001)

G. Tipos de suelos

El maíz se adapta a distintos tipos de suelos, pero desarrolla mejor en suelos de textura intermedia (francos y francos arcillosos) con buena cantidad de materia orgánica, bien aireada y profunda. La profundidad efectiva media del suelo debe ser de 0.6m a 1.0m. El maíz requiere preferentemente suelos neutros, pudiendo desarrollarse en suelos con 5,5 a 7.5 de pH, tolera medianamente la alcalinidad; es una planta muy sensible a suelos ácidos con toxicidad de aluminio y baja disponibilidad de fósforo (Jara, Hidalgo y Echeverría, 2003).

2.1.5. Características del híbrido AGRI - 144

Características

Potencial de rendimiento: 14000 kg/ha

Altura: 1.90 m

Período vegetativo (precoz): 115 días

Color de grano: anaranjado

Tolerancia a enfermedades y acame

Siembra: primavera/verano

Manejo cultural

- Machacar el terreno, gradear y nivelar con tablón
- Tratar la semilla contra el gusano de suelo
- Sembrar 75000 plantas/ha
- Surco de 0.80 m x 33 cm
- Surco de 0.90 x 30 cm
- Primer abonamiento a los 15 días
- Primer riego después del abonamiento
- Segundo riego liviano los 30 días de sembrado
- Segundo abonamiento (al aporque)
- Tercer riego pesado a lomo negro
- Cuarto riego liviano antes que aparezca la primera flor (El maicero, s.f.)

2.1.6. Fertilización

De acuerdo a Jacob y Uexkull (1996), afirman que la vida no sería concebida sin la existencia del nitrógeno. Todos los procesos vitales están asociados a la existencia de un plasma funcional que presenta el nitrógeno como constituyente característico. Además de ello, se le encuentra presente en un gran número de compuestos de singular importancia fisiológica dentro del metabolismo vegetal, tales como la clorofila, los nucleótidos, los fosfátidos, los alcaloides, así como en múltiples enzimas, hormonas y vitaminas. Las pérdidas de nitrógeno del suelo se dan por volatilización, lixiviación, desnitrificación, erosión y absorción de las plantas.

Manrique (1997), manifiesta que el estudio adecuado sobre la historia del campo y las condiciones del suelo sirven de mucha ayuda para determinar las dosis más apropiadas de los diferentes elementos (N - P₂ O₅ - K₂ O). En lo que respecta al abonamiento en la selva, se observa que en suelos recién desmontados y barrizales, no es necesario abonar, debido a que estos suelos presentan alta fertilidad natural, siendo recomendable la quema de las brozas y tocones; no obstante resumiendo los conceptos anteriores y resultados experimentales sobre la dosis de

fertilizantes ($N - P_2 O_5 - K_2 O$), se ha elaborado fórmulas generales de acuerdo a este tipo de suelo, según su fertilidad natural (fertilidad natural alta y alto contenido en materia orgánica) 100 – 100 - 80 y 120 – 120 - 80 $N - P_2 O_5 - K_2 O$, respectivamente. En suelos sometidos a cultivos regulares e intensivos es recomendable el abonamiento con fórmulas ricas en fósforo: N (140-180), $P_2 O_5$ (100-140) y $K_2 O$ (0-60). En cualquier caso es necesaria la realización de análisis de suelos para aplicar las enmiendas que controlen la acidez.

Con respecto a la forma de aplicación de los fertilizantes, no se ha encontrado diferencias significativas. Por lo tanto en su aplicación solo se cuidará de no colocar el abono demasiado cerca de la semilla o de las plántulas, ya que podría ocasionar quemaduras en las raíces.

Sánchez (1981), afirma que las adiciones de nitrógeno al suelo se originan de la lluvia, polvo, fijación asimbiótica, fijación simbiótica y desechos de animales y humanos. La discusión que se tiene en cuanto al manejo de fertilizantes nitrogenados para obtener rendimientos altos en los trópicos. Las fuentes orgánicas probablemente son incapaces de suministrar suficiente nitrógeno para satisfacer las necesidades de los cultivos, por lo tanto la discusión se limitará a fertilizantes inorgánicos; Las prácticas de manejo del nitrógeno pueden tratarse en términos de dosis, fuentes, épocas de aplicación, colocación y eficiencia en la utilización. De acuerdo a (Manrique, 1997), en trabajos de investigación realizados en fertilización en maíz en el Perú, menciona que los elementos que extrae el maíz se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 01. Extracción de nutrientes en maíz.

Elementos	Rendimiento		
	9.6 t/ha	7 t/ha	1 t/ha
	kg/ ha	Kg/ha	kg/ha
Nitrógeno (N)	256.1	186.7	26.7
Fósforo P ₂ O ₅	47.8	34.9	5.0
Potasio K ₂ O	195.6	142.6	20.4
Calcio	66.7	48.6	6.9
Magnesio	42.8	31.2	4.5

A. Factores que intervienen en los efectos de fertilización

Primavesi (1980), es preciso, en efecto, tener en cuenta numerosos efectos de corrección:

- Las variedades y el tipo a que pertenecen.
- La forma en que aportan los elementos minerales y su asimilación.
- Las épocas de aplicación y el eventual fraccionamiento de las aplicaciones
- Las modalidades de aporte de los abonos y el modo de aplicación, se tiene en cuenta el estado del híbrido y de la naturaleza de los suelos.

Existe una ley muy importante denominado la ley de los rendimientos decrecientes, que consiste en que el aplicar ciertas cantidades de fertilizantes; no necesariamente se incrementará la misma cantidad de rendimiento conforme aumente cantidades sucesivas de fertilizante; sino que las primeras proporciones tienen un efecto mayor que los demás, incluso llega a decrecer el rendimiento a cierta cantidad excesiva (Tiasdale, 1980).

Las variedades altamente productivas del maíz realizan un mejor aprovechamiento de tratamientos de fertilización, que aquellos de baja capacidad de rendimiento. Mientras mejor es el abastecimiento de agua.

de la planta, tanto más elevadas pueden ser las dosis de fertilización a aplicar (Jacob y Uexukull, 1966).

Es claro que en la práctica esto se complica, en los suelos raramente están equilibrados desde el punto de vista del contenido en elementos de fertilización. A pesar de que las correlaciones entre los resultados de los análisis del suelo, del diagnóstico vegetal y de los rendimientos, no son muy convincentes, es siempre deseable añadir estos análisis y observaciones de cultivo a los ensayos de fertilización, que permitan acelerar mucho la interpretación de los resultados y de sus anomalías (Primavesi, 1980). Así mismo, el autor menciona que el nitrógeno, es uno de los nutrientes esenciales que más limitan el rendimiento del maíz porque aumenta el contenido proteico en los cultivos de alimentos y forrajes, mejora la calidad de verduras de hojas, aumenta la producción de las hojas, fomenta el crecimiento rápido, imparte un color intenso a la planta y alimenta a los microorganismos del suelo durante su descomposición de los materiales orgánicos con escaso nitrógeno.

El fósforo, es un elemento que se aprovecha como P_2O_5 . Considerando también como macro nutriente, tiene las siguientes funciones: da vigor para el invierno a los granos sembrados en el otoño y a los cultivos de heno, estimula la lozanía y ayuda a la formación de la semilla, da rápido y vigoroso crecimiento a las plantas, estimula la pronta formación de las raíces y su crecimiento.

El potasio es un fertilizante que es aprovechado por la planta en forma de K_2O , es el tercer macro nutriente primario que tiene las siguientes funciones: es esencial para la formación y desplazamiento de almidones, azúcares y aceites, mejora la calidad de los frutos, coadyuva en la producción de proteínas en las plantas, imparte a las plantas gran vigor y resistencia a las enfermedades, ayuda al desarrollo de tubérculos, incrementa los rendimientos a niveles económicos útiles.

2.2. La Fertirrigación

2.2.1. Importancia

Fertirrigación o fertigación, son los términos para describir el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego. Este método es un componente de los modernos sistemas de riego a presión como; aspersión, microaspersión, pivote central, goteo, exudación, etc. Con esta técnica, se puede controlar fácilmente la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizantes.

En algunos países como USA, Israel, Holanda, Italia y España, la fertirrigación es una técnica generalizada, principalmente con el desarrollo de modernos sistemas de irrigación y por la calidad de los fertilizantes. Además, las áreas agrícolas en otros países desarrollados y en vías de desarrollo, las áreas agrícolas bajo riego a presión son cada día más grandes e involucran cultivos que bajo otras condiciones no hubiera sido posible desarrollar.

En el Perú, con la introducción de nuevas tecnologías de riego (especialmente en los grandes polos de desarrollo del desierto: Ica y La Libertad), la introducción de fertilizantes líquidos y sólidos solubles al mercado, el costo de la mano de obra y la necesidad de aumentar la eficiencia de utilización de los insumos, está haciendo posible un desarrollo cada vez más moderno de los sistemas de producción agrícola especialmente en las zonas áridas y semiáridas, logrando obtener rendimientos excelentes tanto en cantidad como en calidad. (Sánchez, 2000)

2.2.2. Principios

Es importante resaltar que independientemente del sistema de irrigación utilizando en la fertirrigación, los nutrientes son aplicados diluidos en el agua de riego con el fin de infiltrarlo en el suelo, predominando la

absorción radicular y no la foliar. En ese sentido, el conocimiento del comportamiento de los nutrientes en el suelo con relación a su movilidad y la exigencia del cultivo durante su ciclo, son factores importantes a considerar en el manejo de los fertilizantes. (Sánchez, 2000)

A. El equilibrio iónico

El proceso de fertirrigación es complejo por envolver aspectos físicos y principalmente químicos y fisiológicos del sistema suelo – agua – planta. El principio fundamental es el mantenimiento equilibrado de las relaciones iónicas en el sistema y esto significa tener un balance catiónico/aniónico adecuado. (Sánchez, 2000).

Cuadro 02. Balance de carga hipotética en función del tipo de fertilización nitrogenada (Burt *et al.*, 1998)

Fuente de nutrición	Composición	
	Cationes	Aniones
NH ₄	8 NH ₄ ⁺ 4 K ⁺ 1 Ca ²⁺ 1 Mg ²⁺ Suma = 16 (+)	9 H ₂ PO ₄ ⁻ 3 SO ₄ ²⁻ 1 Cl ⁻ 16 (-)
NO ₃ ⁻	8 K ⁺ 2 Ca ²⁺ 2 Mg ²⁺ Suma = 16(+)	8 NO ₃ ⁻ 5 H ₂ PO ₄ ⁼ 1 SO ₄ ⁼ 1 Cl 16 (-)

B. Absorción y transporte iónico

Son tres los mecanismos primarios de absorción de iones por las raíces: Difusión, intercepción radicular y flujo de masas. Difusión indica que los iones son movidos de mayor a menor concentración (K, P); intercepción radicular sugiere que las raíces actuales entran en contacto con los iones (Ca,K.); flujo de masas indica que los iones son movibles de la solución suelo a la raíz de la planta en función de la transpiración. (B, Ca,

Cu, Mg, Mn, Mo, N, S). (Sánchez, 2000)

$$E (\text{suelo}) \Leftrightarrow E (\text{solución}) \Leftrightarrow E (\text{raíz}) \Leftrightarrow E (\text{parte aérea})$$

El proceso de transporte de iones de la solución suelo hacia las raíces de la planta es extremadamente complejo e involucra dos procesos: absorción pasiva y absorción activa. En la absorción pasiva los iones son transportados por el flujo de agua del suelo a la planta debido a un gradiente de potencial hídrico, generado por la transpiración de la planta, en este proceso son absorbidos iones como nitrato (NO_3^-) y potasio (K^+). La concentración en la raíz de unos elementos es mayor que en su alrededor; este movimiento en contra es conocido como absorción activa, en este proceso los iones son absorbidos más fácilmente o más difícilmente en presencia de otros elementos (sinergismos y antagonismos). Así, altas concentraciones de nitrato favorece la absorción de K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} , en tanto que, de NH_4^+ favorece la absorción de H_2PO_4^- y $\text{SO}_4^{=}$ y del propio NO_3 . (Sánchez, 2000)

Cuadro 03. Asimilación, sinergismos (aumento) y antagonismos (disminución) de nutrientes (Burt *et al.*, 1998).

Columna A	Columna B	Columna C
Asimilación de nutrientes	Disminuye la asimilación de	Aumenta la asimilación de
NH_4^+	Mg, Ca, K, Mo	Mn, P, S, Cl
NO_3^-	Fe, Zn	Ca, Mg, K, Mo
P	Cu, Zn	Mo
K	Ca, Mg	Mn (suelos ácidos)
Ca	Ca, K	Mn (suelos básicos)
Mg	Cu, Zn	Mo
Fe	Cu,	
Zn	Zn, Mo	
Cu	Zn, Ca, Mo	
Mn		

C. Los nutrientes en el suelo

a. Nitrógeno

El nitrógeno es el elemento más frecuentemente aplicado vía agua de riego. Esto se debe a su alta movilidad en el suelo, por tanto, también existe un alto potencial de pérdida por lixiviación como nitrato (NO_3^-). Ante esta situación la fertirrigación permite aplicar los fertilizantes nitrogenados en función de la demanda del cultivo.

Del nitrógeno total de la capa superficial del suelo agrícola, más del 85% está en forma orgánica y sujeto a mineralización por procesos microbiológicos para pasar a amonio (NH_4^+) y posteriormente por la nitrificación transformarse a nitritos (NO_2^-) y finalmente a nitratos (NO_3^-). (Sánchez, 2000)

Por otro lado, es de conocimiento general que, aumentado el número de aplicaciones de abonos nitrogenados aumenta la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado y reduce las pérdidas, principalmente por lixiviación, ante esta situación es necesario fraccionar teniendo en cuenta:

- Cuando se usa altas dosis de N ($>200\text{kg/ha}$)
- Cultivo sobre suelos de textura arenosa
- Áreas sujetas a lluvias muy intensas. (Sánchez, 2000)

b. Fósforo

Ningún nutriente tiene tan estudiado su comportamiento como el fósforo. Desde el punto de vista del manejo del fertilizante fosfatado, los principios básicos importantes para su manejo en fertirrigación son:

- El fósforo se encuentra en el suelo en diferentes combinaciones químicas, siendo sus características: baja solubilidad, recuperación por el cultivo muy baja, no se mueve largas distancias de donde es aplicando y por lo tanto no se lixivia.

- La movilidad del fósforo en el suelo es en términos generales baja, por lo que cuando es aplicado en suelo fijadores, se temía que quedarse retenido en los primeros centímetros del suelo, sin alcanzar la zona de mayor densidad radicular. Sin embargo, en fertirrigación se ha demostrado una movilidad del fósforo aplicado por fertirrigación muy superior al previsto y comparable a la que se consigue con la incorporación por laboreo.
- Una alta frecuencia de aplicación de fósforo por fertirrigación puede aumentar sustancialmente el tiempo promedio de la concentración de P en la solución suelo arriba de las consideraciones de solubilidad.
- Los fosfatos pueden precipitar con facilidad, causando alteraciones en la instalación de riego. (Sánchez, 2000)

c. Potasio

La aplicación del potasio junto con el nitrógeno vía agua de riego, es una práctica bastante utilizada en la agricultura moderna, esto debido a que presentan una alta solubilidad, la mayoría de fertilizantes potásicos. (Sánchez, 2000)

El potasio es menos móvil que el nitrato y su distribución en el suelo puede ser más uniforme ya que se distribuye lateralmente y en profundidad simétricamente cuando es aplicado por goteo.

La utilización del sulfato de potasio puede ser limitada debido a las grandes cantidades de calcio en las aguas de riego que provocan precipitaciones de sulfato de calcio. En tanto, el cloruro de potasio no es recomendable su utilización en suelos de alta salinidad, principalmente de cloruros ya que pueden causar toxicidad a los cultivos. (Sánchez, 2000)

Existen dos reglas básicas para fraccionar el fertilizante potasio.

- Potencial pérdidas por lixiviación en función de la textura del suelo (es mayor en suelos arenosos).

- Exigencias del cultivo en relación a la curva de la demanda.
(Sánchez, 2000)

d. Otros nutrientes

La nutrición de Calcio y Magnesio constituye un problema en los programas de fertilización especialmente en fertirriego bajo condiciones de suelos arenosos, debido a su marcada incompatibilidad con gran parte de fertilizantes. El Azufre, en términos generales es suplido por muchos fertilizantes portadores de macro y micronutrientes. Finalmente, las fuentes de micronutrientes, son diluidos en agua formando soluciones o suspensiones siguiendo los mismos principios de, solubilidad, compatibilidad y movilidad. (Sánchez, 2000)

2.2.3. El suelo y el fertirriego

A. La textura

La textura es considerada como la propiedad física primaria de los suelos, debido a que influye directamente en otras propiedades físicas como: estructura, densidad, porosidad y sobre todo capacidad de almacenamiento, disponibilidad y fracción aprovechable de agua para los cultivos. (Sánchez, 2000)

Cuadro 04. Características hidrodinámicas de los suelos en función de su textura.

Grupo de textura	Capacidad de campo		Punto de marchitez permanente		Agua disponible	
	Agua/30 cm de profundidad					
	%	cm	%	cm	%	cm
Arenoso	6.8	3.1	1.7	0.8	5.1	2.3
Franco arenoso	11.3	5.1	3.4	1.1	7.9	3.6
Franco	18.1	8.1	6.8	3.1	11.3	5.1
Franco arcilloso	21.5	9.7	10.2	4.6	11.3	5.1
Arcilloso	22.6	10.2	14.7	6.6	7.9	3.6

En suelos arenoso, es más ventajosa la aplicación del fertilizante nitrogenado que en suelos arcillosos, debido a que se controla la profundidad de humedecimiento. Asimismo, el fósforo en suelos arenosos se remueve a mayor distancia que en suelos arcillosos; en suelos arenosos los riegos deben ser frecuentes y ligeros, mientras que en los suelos arcillosos, los riegos son menos frecuentes y pesados. (Sánchez, 2000)

B. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es una propiedad química que designa los procesos de adsorción y liberación de cationes del complejo de cambio (arcillo – húmico) y está influenciada por: cantidad y tipo de arcilla, cantidad de humus y el pH (o reacción del suelo). (Sánchez, 2000)

Cuadro 05. Relación entre la textura y la capacidad de Intercambio catiónico de los suelos.

Textura	CIC (meq/100g)	Categoría
Arena	< 5	Muy baja
Franco arenoso	5 – 10	Baja
Franco	10 – 15	Media
Franco arcilloso	15 – 25	Alta
Arcilloso	> 25	Muy alta

En suelos con alta capacidad de intercambio catiónico (franco arcillosos, arcillosos o con alto contenido de materia orgánica), los nutrientes y los pesticidas en general pueden perder su efectividad por efecto de este intercambio. (Sánchez, 2000).

En los suelos arenosos, la fertilización tiene efecto directo sobre el desarrollo de los cultivos debido a que no están tan sujetos a procesos de adsorción (fijación). (Sánchez, 2000)

C. El pH de la solución suelo

El pH (o reacción) de la solución suelo influye en la capacidad de las plantas de absorber nutrientes; en general, puede considerarse entre 5.0 y 7.5 como valores extremos. Sin embargo, cada cultivo tiene un rango específico para su mejor desarrollo. La mayoría de las plantas absorben los nutrientes en un alto porcentaje a valores de pH entre 6.0 y 6.8.

El pH del suelo puede originar desórdenes nutritivos, debido a que la concentración de estos iones puede aumentar o disminuir. (Sánchez, 2000)

D. Fertilidad del suelo

El manejo correcto de la fertirrigación comienza con un correcto conocimiento del suelo. Algunos suelos contienen cantidades

sustanciales de macronutrientes y están bien previstos de micronutrientes. Para estimar la capacidad de almacenamiento de nutrientes de un suelo es necesario los siguientes parámetros.

- Profundidad del sistema radicular: La cantidad de nutrientes disponibles en el suelo es estimada hasta la profundidad de suelo en que las raíces son activas
- Suelo ocupado por las raíces (%): Fracción de suelo ocupada por las raíces.

Masa de suelo = área (m²) x prof. de raíz (m) x d.a. (t/m³)

- Capacidad de almacenamiento del suelo QN: La determinación del nivel de nutrientes permiten que las deficiencias sean detectadas por el análisis y corregidas mediante la fertirrigación

QN = Peso suelo (t/ha) x nutrientes disponibles (g/t) (Sánchez, 2000)

2.2.4. El agua de riego y el fertirriego

Independiente de la fuente (superficial o subterránea), la calidad del agua de riego es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo del agua con fines de riego para los cultivos, para cuya determinación generalmente se toman las características químicas.

La calidad del agua depende de sus características físicas y químicas, y también de los problemas potenciales que pueden generar a los cultivos, a los suelos y al sistema de riego, dando lugar al uso condicionado del agua de riego, dependiendo del cultivo y del suelo específico que se trate. (Sánchez, 2000)

A. Características físicas

Se consideran las sustancias que llevan en suspensión como: tierra (arena, limo, arcilla) y materia orgánica. Los materiales sólidos de mayor densidad que el agua se elimina por decantación y los materiales orgánicos con la filtración. (Sánchez, 2000).

Cuadro 06. Guía para la interpretación del agua de riego (Ayres and Westcot, 1985. FAO).

Problema potencial	Unidades	Ninguno	Ligero a moderado	Severo
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua al cultivo) C.E. ar * TSD	DS/m Mg/L	< 0.7 < 450	0.7 – 3.0 450 - 2000	> 3.00 > 2000
Infiltración (afecta la tasa de infiltración del agua en el suelo) SAR = 0 – 3 y C.E. ar = 3 – 6 = 6 – 9 = 12 – 20 = 20 – 40		> 7 > 1.2 > 1.9 > 2.9 > 5.0	0.7 – 0.2 1.2 – 0.3 1.9 – 0.5 2.9 – 1.3 5.0 – 2.9	< 0.2 < 0.3 < 0.5 < 1.3 < 2.9
Toxicidad ión específico (afecta la sensibilidad del cultivo) Sodio (Na+) Cloro (Cl-) Boro (B)	SAR Meq/L Mg/L	< 3 < 4 < 0.7	3 – 9 4 – 10 0.7 – 3.0	> 9 > 10 > 3.0
Efectos miscelaneos (afecta la susceptibilidad del cultivo) Nitrógeno Bicarbonato pH	mg/L meq/L	< 5 < 1.5	5 – 30 1.5 – 8.5	> 30 > 8.5
Rango normal 6.5 – 8.4				

* mmhos/cm = dS/m

B. Características químicas

– El pH del agua de riego

Indica la acidez o alcalinidad del agua de riego el pH mayor que 8.0, es una limitante en el fertirriego, ya que hay peligro que se presenten precipitados de calcio y magnesio o de contribuir a que se incremente el pH del suelo a niveles en que los nutrientes no puedan aprovecharse. (Sánchez, 2000).

– Contenido de Sales

El contenido total de sales trae como peligro la acumulación de sales solubles en el suelo, que puede generar problemas de presión osmótica, es decir producen dificultades de absorción de agua por las plantas.

La dureza del agua es otro factor que esta relacionada con la presencia de iones de calcio y magnesio; es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio expresada en miligramos de carbonato de calcio por litro (mg CaCO_3/l) o partes por millón de carbonato de calcio (ppm CaCO_3).

Finalmente el contenido de iones tóxicos afecta la susceptibilidad de un cultivo. Afectan el área foliar y disminuyen la capacidad fotosintética de la planta. Dentro de los iones más comunes tenemos el Sodio, Cloro y Boro. (Sánchez, 2000).

2.2.5. Los fertilizantes y el fertirriego

A. Contenido de nutrientes del fertilizante

Los fertilizantes contienen uno o más nutrientes según su formulación; la combinación con otros fertilizantes complementarios se hace para lograr las cantidades totales de nutrientes que se desee aplicar.

Un fertilizante es un compuesto químico y como tal es una sal inerte, sin carga; y que al entrar en contacto con el agua del suelo o de la solución, se disocia dejando los nutrientes en forma iónica. (Sánchez, 2000)

B. Grado de solubilidad del fertilizante

La solubilidad de un fertilizante es una de las características principales a tener en cuenta en el fertirriego. Los fertilizantes deben ser muy solubles y selectos en cuanto a su composición respecto a los nutrientes que aportan, para aprovecharla al máximo sin sobrepasar la concentración que puede tolerar el volumen del agua a regar.

La solubilidad de un producto está influenciada por tres factores: temperatura, presión y pH. La temperatura del agua, entonces juega un papel directo e importante en la solubilidad de un fertilizante (a mayor temperatura mayor solubilidad). Algunos fertilizantes al ser aplicados en el agua bajan la temperatura de esta; si se quiere agregar otro fertilizante, la solubilidad de este último se verá afectada; siendo conveniente esperar restablecer la temperatura inicial.

Los fertilizantes sólidos solubles empleados en fertirrigación puedan ser aplicados como un solo nutrientes (ej. Urea), o como un compuesto de varios elementos (ej. fosfato monoamónico, nitrato de potasio, nitrato de calcio). Los fertilizantes líquidos son simples y/o compuestos, pero debido a su solubilidad, la concentración del elemento es menor (especialmente de uno de sus elementos componentes.). (Sánchez, 2000)

C. Compatibilidad de los fertilizantes

Los fertilizantes son sales, que en contacto con el agua se disocian formando iones (aniones y cationes); diferentes iones pueden interactuar en la solución y precipitar (formando compuestos insolubles), con el consiguiente riesgo de no estar disponibles para las raíces o con alto riesgo de taponar emisores, disminuyendo consecuentemente la eficiencia de aplicación de los nutrientes.

Los micronutrientes por otro lado, pueden reaccionar con las sales del agua de riego formando precipitados, por lo tanto, es recomendable aplicarlos en forma quelatada. (Sánchez, 2000)

Cuadro 08. Características de los principales fertilizantes usados en fertirriego (California Fertilizer Association 1980 – Tomado de Burt, *et al* 1998-Modificado).

FERTILIZANTE	GRADO % E	FORMULA QUIMICA	SOLUBIL gr/E	INDICE SALINO	INDICE (A) o (B)
Fertilizantes N					
Nitrato Amónico	33 N	NH_4NO_3	1920	106	60 (A)
Sulfato Amónico	21 N	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	730	69	110 (A)
Amónico Anhidro	82 N	NH_3	45a	—	148 (A)
Nitrato Calcio	15.5N-26CaO	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1220	61	21 (B)
Urea	45 N	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	1033	75	60 (A)
Urea/Acido Sulfúrico*	15 N	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$	afis	—	
Urea Nitrato Amónico	32 N	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$	afis	—	
Fertilizantes P-O					
Fosfocafato Amónico	10 N, 34 P ₂ O ₅	$(\text{NH}_4)_2\text{F}_2\text{P}_2\text{O}_7$	afis	—	
Fosfato Monoamónico	12 N-61P ₂ O ₅	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	626	30	55 (A)
Fosfato Monoamónico	52 P ₂ O ₅ , 34 K ₂ O	KH_2PO_4	230	8	
Acido Fosforico	61 P ₂ O ₅	H_3PO_4	afis	—	
Fertilizantes K₂O					
Nitrato Potasio	13.5 N, 44 K ₂ O	KNO_3	315	74	23 (B)
Cloruro de Potasio	60 K ₂ O	KCl	340	116	N
Sulfato de Potasio	50 K ₂ O	K_2SO_4	110	46	N
Otros Fertilizantes					
Sulfato doble de					
Potasio y Magnesio	22K ₂ O, 18MgO	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$	62	22	
Sulfato de Magnesio	16MgO	MgSO_4	77	44	
Nitrato de Magnesio	11N, 13MgO	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	250	135	
Micronutrientes					
Borax	11% B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	2.10		
Acido Bórico	17.5% B	H_3BO_3	6.35		
Solubor	20% B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	22		
Sulfato de Cobre (acid)	25% Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	22		
Sulfato de Hierro (acid)	25% Fe	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15.65		
Manganeso de Sulfato (acid)	27% Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	105.2		
Molibdato de Ammonio (54% Mo	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	43		
Molibdato de Sodio	39% Mo	Na_2MoO_4	56		
Sulfato de Zinc	36% Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	96.5		
Quelato de Zinc	5% - 14% Zn	DTPA & EDTA	sol		
Quelato de Manganeso	5% - 12% Mn	DTPA & EDTA	sol		
Quelato de Hierro	4% - 16% Fe	DTPA, HCEBTA - EDCBA	sol		
Quelato de Cobre	5% - 14% Cu	DTPA & EDTA	sol		
Liqurosulfato de Zinc	6% Zn	Liqurosulfato	sol		
Liqurosulfato de Manganeso	5% - 14% Mn	Liqurosulfato	sol		
Liqurosulfato de Hierro	6% Fe	Liqurosulfato	sol		
Liqurosulfato de Cobre	6% Cu	Liqurosulfato	sol		

(A) Índice de Acidez

(B) Índice de Alcalinidad

(N) Reacción Neutra

D. Índice de salinidad del fertilizante

El índice de salinidad de un fertilizante es la relación del aumento de la presión osmótica de la solución suelo, producida por un fertilizante, y la producida por la misma cantidad de nitrato de sodio (basado en 100). (Sánchez, 2000)

E. Índice de acidez del fertilizante

El índice de acidez, es el número de partes en peso de calcáreo (CaCO_3) necesario para neutralizar la acidez originada por el uso de 100 unidades de material fertilizante.

Es muy importante el conocimiento de estos índices porque las sales (fertilizantes) ejercen gran influencia sobre el pH o reacción del suelo y por ende, en diversos procesos que afectan el desarrollo de la planta. (Sánchez, 2000)

2.2.6. Ventajas de la fertirrigación

Se tiene las siguientes ventajas

- Contribuye al cuidado del medio ambiente.
- Ahorro de fertilizantes
- Ahorro de mano de obra en la distribución de abonos.
- Mejor asimilación y rapidez de actuación de los fertilizantes.
- Mejor distribución (tanto en superficie como en el perfil del suelo, ocupando los nutrientes todo el bulbo creado por el emisor).
- Control de pérdida de nutrientes con buen manejo.
- Gran flexibilidad en la aplicación, lo que permite la adecuación del abonado a las necesidades del cultivo en cada momento.
- Incremento del rendimiento y mejora de la calidad de la cosecha.

(SIAR, 2005)

2.2.7. Desventajas de la fertirrigación

Se tiene las siguientes desventajas:

- Mayor coste de inversión inicial (instalaciones y equipos).
- Necesidad de una formación básica para el manejo de los equipos y fertilizantes.
- Necesidad de un sistema de riego con buena uniformidad para garantizar la correcta distribución en el suelo.
- Utilización de abonos con propiedades adecuadas (solubilidad, pureza, etc.).
- Posible riesgo de falta de micronutrientes por la pureza de los abonos líquidos.
- Riesgo de obturaciones de goteros por precipitados.

2.2.8. Fertilizantes utilizados en fertirrigación

Para utilizar un fertilizante a través del sistema de riego es necesario conocer la composición de los productos y la solubilidad de cada uno de ellos.

De acuerdo a normas internacionales, el nombre de cada compuesto va seguido de un paréntesis con tres números. El primero indica el contenido de nitrógeno en porcentaje (%), el segundo indica el contenido de fósforo en la forma de P_2O_5 (%) y el tercero el contenido de potasio en la forma de K_2O (%). Por ejemplo el nitrato de calcio posee los siguientes números [15.5-0-0], por lo tanto, este fertilizante no contiene fósforo ni potasio (Figura 12).

A continuación se presentan los principales productos comerciales y sus características:

- Nitrato de calcio $Ca(NO_3)_2$ [15.5- 0-0]. Aunque prácticamente abandonado en los programas de fertilización tradicional debido al alto costo de la unidad de nitrógeno, este producto es utilizado en

fertirrigación por su aporte de calcio cuando este elemento es necesario.

- Nitrato de potasio (Salitre potásico) (KNO_3) [15-0-14]. El salitre potásico posee un 15% de nitrógeno y un 14% de potasa. Este fertilizante no se disuelve completamente, dejando impurezas no solubles en el fondo del recipiente.
- Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) [46-0-0]. La urea se comercializa como fertilizante granulado con un 46% de nitrógeno, es de alta solubilidad y fácil de manejar, lo que la hace un producto muy utilizado en fertirrigación. No saliniza el agua, por lo que resulta apropiado en el caso de aguas y suelos salinos. La urea baja la temperatura del agua en el proceso de mezcla y disolución. Existe en forma perlada y en forma cristalina. Ambas pueden ser utilizadas en fertirrigación. La primera posee un 1% más de Biuret. La segunda es más soluble y contiene menos impurezas, por lo que resulta de mayor costo.
- Ácido fosfórico (H_3P_04) [0-51-0]verde [0-54-0]blanco. El H_3P_04 contiene entre un 51 y 54% de P_2O_5 . Aquel que posee un contenido de 51% es de color verde, debido a las impurezas que le otorgan ese color. El de 54% es de color blanco. La mezcla de agua en ácido fosfórico libera calor, el cual se disipa en corto tiempo. El ácido fosfórico blanco es utilizado preferentemente en la preparación de soluciones nutritivas en sistemas de riego localizado, pero su uso se ve limitado por su disponibilidad y precio.
- Fosfato diamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) [16-48-0]. Con una concentración alta de nitrógeno y P_2O_5 , tiene una reacción ligeramente alcalina, por lo tanto es necesario adicionar ácido nítrico para bajar el pH. La dosis adecuada es de 0.9 litros de ácido por kilo de fosfato diamónico.
- Nitrato de potasio (KNO_3) [13-0- 44]. El nitrato de potasio es de alto costo pero otorga beneficios al agricultor por ser un producto que contiene nitrógeno y potasio en forma simultánea. Esta es la segunda fuente de potasio en importancia después del cloruro de potasio (KCl); es muy utilizada debido a que no contiene iones cloruros.

- Sulfato de potasio (K_2SO_4) [0-0-50]. El K_2SO_4 es una fuente en potasio y azufre. No es un producto popular en fertilización debido a su relativa baja solubilidad en comparación al cloruro de potasio y nitrato de potasio. La solubilidad en agua es de 120 gramos/litro.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) [0-0-0]. El ácido sulfúrico no es un fertilizante, por eso su ley es 0-0-0 (no contiene nitrógeno, fósforo ni potasio). Se encuentra en forma líquida con una densidad de 1.83 kg/l cuando está concentrado. El ácido sulfúrico es un líquido claro y transparente, que no tiene olor. Se utiliza para reducir el pH del agua de riego. Cuando se mezcla con agua libera una apreciable cantidad de calor. El ácido sulfúrico es un compuesto químico extremadamente peligroso y se requiere mucho cuidado en su manipulación, transporte y almacenaje. Los tambores de almacenaje deben ser herméticos para evitar filtraciones o evitar el contacto del líquido en alguna fuente de agua. Se utiliza para bajar el pH y realizar lavados químicos de la red de riego para evitar taponamientos.

La solubilidad es la capacidad de disolución de algún producto en el agua. En fertirrigación se pueden combinar dos o más fertilizantes, sin embargo puede volverse menos soluble la mezcla final. Los productos de baja solubilidad o menos solubles no deben ser utilizados, ya que producirán problemas de taponamientos de los emisores, desuniformidad de los sistemas de riego y, por lo tanto, problemas productivos al no cumplir con los requerimientos de demanda del cultivo.

Algunos fertilizantes se disuelven muy bien, como es el caso de la urea, el nitrato de calcio, el nitrato de sodio. Otros son de mediana solubilidad como el cloruro de potasio, fosfato diamónico y nitrato de amonio. Los menos solubles son el sulfato de calcio, el superfosfato triple, superfosfato normal y sulfato de hierro.

Existen en el mercado líneas de fertilizantes solubles preparados para riego por goteo, que son comercializados por diferentes empresas químicas.

En el Cuadro 11 se presenta una lista de la solubilidad de los principales productos usados en fertirrigación.

La úrea no ocasiona problemas, excepto si el agua contiene la enzima ureasa, que se presenta cuando está cargada de algas. Las algas no son eliminadas por la filtración, por esto, hay que vigilar el agua de pozos con altos contenidos de nitratos. El ion nitrato se desplaza con el agua de riego y acaba localizándose en los bordes del bulbo húmedo, por lo que disminuye su eficiencia. Por ello resulta más satisfactorio su aplicación en pequeñas dosis en cada riego.

El fósforo es el elemento más difícil de aplicar, pues, además de su baja solubilidad, existe el peligro de precipitación al reaccionar con el calcio que pueda contener el agua de riego y que produce el paso del fosfato monocálcico a bicálcico. Similares efectos se producen al mezclar fósforo y magnesio.

Los microelementos (Fe, Zn, Cu, Mn) se aplican en forma de quelatos. (Ferreyra *et al.*, 2005)

2.2.9. Compatibilidad de productos

Cuando se mezclan dos o más tipos de fertilizantes en una misma solución, es posible que se produzca la reacción de los compuestos que los forman.

Si se aplica ácido, este se debe aplicar antes que los fertilizantes. El ácido se aplica sobre el agua, lentamente (nunca hay que aplicar agua sobre el ácido). En seguida se aplican los fertilizantes, partiendo de los menos solubles. Se recomienda realizar la mezcla de fertilizantes en la mitad del volumen de agua a utilizar.

Agitar vigorosamente y luego agregar agua hasta completar el volumen total de agua.

En general, no se debe mezclar fertilizantes con alto contenido de calcio (nitrato cálcico) con ácido fosfórico.

La reacción química de ambos productos puede formar fosfato diecalcio, el cual obstruye los emisores. (Ferreya *et al.*, 2005)

Fertilizante MATERIAS PRIMAS	SOLUBILIDAD				C.E. mmhos/cm	pH
	0°C	20°C	40°C	100°C		
KNO ₃ Nitrato de potasio	133	316	639	2452	1.30	7.0
KCl Cloruro de potasio estándar	282	342	403	562	1.90	6.6
K ₂ SO ₄ Sulfato de potasio soluble	75	111	148	241	1.40	7.0
KH ₂ PO ₄ Fosfato monopotásico	143	227	330		0.75	4.1
NH ₄ NO ₃ Nitrato de amonio	1185	1877	2630		1.60	5.5
(NH ₄) ₂ SO ₄ Sulfato de amonio	704	754	812	1020	1.80	5.5
(NH ₄) ₂ HPO ₄ Fosfato diamónico soluble	575	686	818	1100	0.90	4.1
NH ₄ H ₂ PO ₄ Nitrato de calcio soluble	227	368	567	1740	0.80	4.9
Ca(NO ₃) ₂ ·H ₂ O Fosfato monoamónico soluble	1010	1294	1960		1.20	6.5
CaCl ₂ ·H ₂ O Cloruro de calcio	603	745			1.60	
MgSO ₄ ·7H ₂ O Sulfato de magnesio hept		356	454		0.80	5.6
Mg(NO ₃) ₂ ·H ₂ O Nitrato de magnesio	639	701	818		0.50	6.0
NaCl Cloruro de sodio		359	364	392	2.00	
CO(NH ₂) ₂ Úrea	670	1080	1670	2510	0.015	5.8
H ₃ BO ₃ Ácido bórico	270	500	870			
H ₃ PO ₄ Ácido fosfórico 85%					1.80	2.5

Fuente: Ferreyra *et al.* (2005)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación y duración del estudio

La siguiente tesis se desarrolló en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali. Ubicado en el Km. 6,000 de la carretera Federico Basadre, interior 2 kilómetros.

Geográficamente el área está situado a 08° 23' 39,6" de latitud sur y 74° 34' 39,8" de longitud oeste a 144 m.s.n.m.

El experimento tuvo una duración de cinco meses, iniciándose la fase de campo la segunda semana de julio y se culminó la última semana de noviembre del 2011.

3.2. Condiciones de clima y suelo

3.2.1. Clima

Según el Sistema Holdrige, Ucayali se clasifica como "bosque húmedo tropical" y según la clasificación de los bosques amazónicos pertenece al ecosistema "bosques tropicales semi-siempre verde estacional". (Cochrane, 1982).

Las condiciones climáticas promedio en la zona de Pucallpa son:

- Temperatura máxima anual 36, 5°C
- Temperatura media anual 26, 9°C
- Temperatura mínima anual 17, 4°C
- Precipitación promedio anual 1773 mm

El siguiente cuadro, nos muestra los datos climatológicos que se registraron en los meses en los cuales se desarrolló el trabajo de investigación.

Cuadro 07. Datos de las condiciones climáticas en los meses de junio a noviembre del 2011. Pucallpa, Perú, 2014.

Mes	T° max.	T° min.	T° media	P.p. (mm)	H.R. (%)	Evaporación total (mm)	Evaporación prom. (mm)
Julio	31	21.4	26.2	33.6	82	95.1	3
Agosto	32.2	21.1	26.65	59.1	77.8	104	3.4
Setiembre	32.2	22.2	27.2	150.6	80	193.3	6.4
Octubre	30.8	22.9	26.85	260.5	85.8	89.4	2.8
Noviembre	31.8	23.1	27.45	178.1	84.5	94	3.1

Fuente: Estación Meteorológica Sede Central - Universidad Nacional de Ucayali

Observando el cuadro 07, notamos que, la temperatura media registro rangos de 26,2 °C a 27,45 °C durante los meses del desarrollo del trabajo de investigación, a su vez, también se registró la humedad relativa, con rangos de 77.8 a 85,8 %, evaporación con rangos de 3 a 6.4 mm/día y una precipitación pluvial, con rangos de 33.6 a 260.5 mm, siendo el mes de julio, el mes más seco y caluroso, y el mes de octubre el mes más lluvioso.

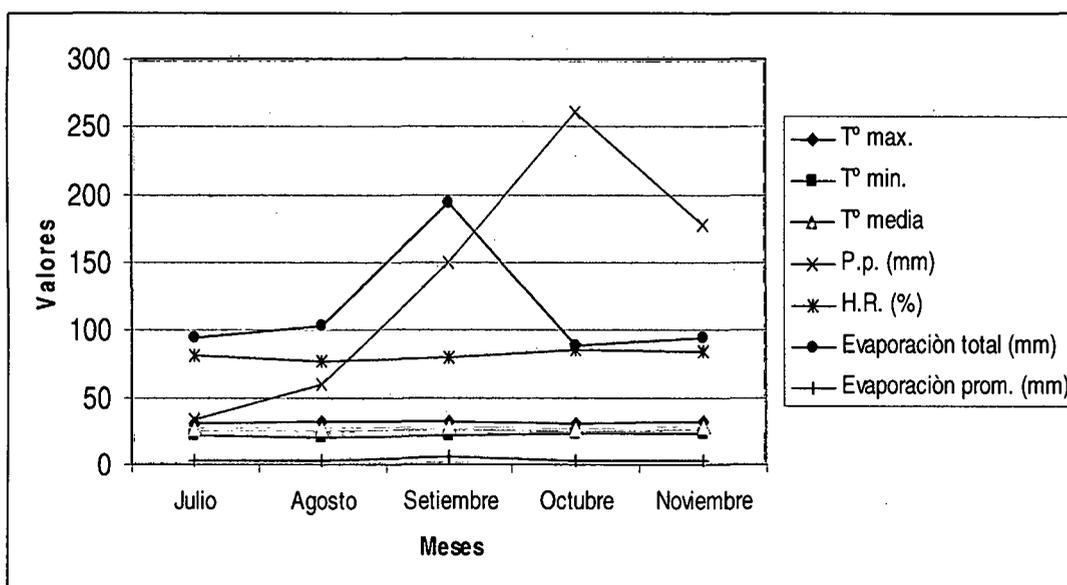


Figura 01. Condiciones climáticas de los meses de junio a noviembre del 2011. Pucallpa, Perú, 2014.

3.2.2. Suelos

El siguiente cuadro se muestra los resultados del análisis de suelo realizado a la parcela en el cual se realizó en trabajo de investigación.

Cuadro 08. Resultados del análisis de suelos de la parcela en el cual se realizó el trabajo de investigación. Pucallpa, Perú, 2014.

Muestra	Análisis mecánico			Clase textural	pH	C.E. (1:1) dS/m	M.O.	P (ppm)
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)					
1	44	44	12	Franco	6	0.49	2.07	28.4

K (ppm)	C.I.C.	Cationes cambiabiles				
		Ca+2	Mg+2	K+	Na+	Al+3
226	6.08	4.26	1.08	0.4	0.33	0

3.2.3. Agua

El siguiente cuadro se muestra los resultados del análisis de agua del reservorio principal en el cual se acumuló el agua para el riego por goteo.

Cuadro 09. Resultados del análisis de agua del reservorio principal de agua. Pucallpa, Perú, 2014.

Parámetros	Valores
pH	6.48
C.E. (dC/m)	0.03
Calcio (meq/L)	0.09
Magnesio (meq/L)	0.04
Potasio (meq/L)	0.06
Sodio (meq/L)	0.05
Suma de cationes	0.23
Nitratos (meq/L)	0.01
Carbonatos (meq/L)	0
Bicarbonatos (meq/L)	0.2
Sulfatos (meq/L)	0.05
Cloruros (meq/L)	0.05
Suma de aniones	0.31
Sodio (%)	32.14

RAS	0.35
Boro (ppm)	0.06
Clasificación	01-S1

3.3. Materiales

3.1.1. Material genético

- Semillas del maíz híbrido AGRI - 144

Características:

- Potencial de rendimiento: 14 000 Kg/ha
- Altura. 1.9 m.
- Periodo vegetativo (precoz)
- Color de grano: anaranjado.
- Tolerancia a enfermedades y acame.

3.1.2. Material de riego

- Sistema de riego tecnificado por goteo:
 - Tubería principal de 2 pulgadas.
 - Cabezal: electrobomba de 2 hp.
 - Filtro de anillos.
 - Manómetro.
 - Tanque de fertilización.
 - Mangueras de líneas de riego.
 - Distancia de 0.3 m entre goteros en la línea de distribución de agua.
 - Capacidad de distribución de agua por gotero 1.35 lt/h.
 - Presión de riego 2 bar.

3.1.3. Materiales de campo

- Palas
- Rastrillo
- Machetes
- Cordeles
- Jalones
- Letreros
- Cintas de riego por goteo
- Libreta de campo
- Lápices

3.1.4. Insumos

- Skemata
- Malathión
- Urea
- Fosfato monoamónico
- Cloruro de potasio
- Nitrato de calcio
- Nitrato de magnesio

3.1.5. De gabinete

- Lapiceros
- Papel bond
- Fólder Manila
- Cámara fotográfica
- Memorias USB
- Formatos de evaluación

3.4. Tratamientos en estudio

El siguiente cuadro muestra las dosis de fertilizantes para cada tratamiento que se estudiaron en el presente trabajo de investigación.

Cuadro 10. Tratamientos y dosis de fertilizantes.

Tratamientos	Dosis de N - P - K (kg/ha)	Dosis de Ca - Mg (kg/ha)
1	0	0
2	200 - 120 - 100	30 - 20
3	160 - 90 - 75	25 - 15
4	120 - 60 - 50	20 - 10

3.5. Variables evaluadas

3.5.1. Altura de planta

Se evaluó a la cosecha, midiendo con una wincha la altura de la planta, desde la base hasta la punta de la panoja para cada unidad experimental.

3.5.2. Altura de la inserción de la mazorca

Se evaluó, midiendo con una wincha la altura de la inserción de la mazorca, desde la base hasta el punto de inserción de la mazorca con el tallo, para cada unidad experimental.

3.5.3. Largo de mazorca

Se evaluó, midiendo con una wincha el largo de las mazorcas cosechadas, para cada unidad experimental.

3.5.4. Diámetro de mazorca

Se evaluó, midiendo con un vernier el diámetro de las mazorcas cosechadas, para cada unidad experimental.

3.5.5. Número de hileras por mazorca

Se evaluó, contando el número de hileras de 10 mazorcas elegidas al azar de la cosecha de cada unidad experimental.

3.5.6. Número de granos por hilera

Se evaluó, contando el número de granos por cada hilera, de 10 mazorcas elegidas al azar de la cosecha de cada unidad experimental.

3.5.7. Peso de 100 granos

En una balanza analítica se pesó cuatro muestras de 100 granos de cada unidad experimental y se registró, expresado en g/100 granos.

3.5.8. Rendimiento por hectárea

Se evaluó, obteniendo del total de grano seco cosechado por parcela neta y convertido en kg/ha.

3.6. Distribución y dimensiones de las parcelas experimentales

Las características del campo experimental fueron las siguientes:

Parcela:

- Numero de hileras: 4
- Longitud de hileras: 50 m
- Distancia de surcos: 0.90 m
- Distancia entre golpes: 0.16 m

▪ Numero de semillas por golpe :	2
▪ Número de plantas/golpe final:	1
▪ N° de golpes por unid. experimental:	1260
▪ N° de plantas por unid. experimental:	1260
▪ Largo de parcela:	50 m
▪ Ancho de parcela:	3.6 m
▪ Área de la parcela:	180 m ²
▪ Numero de semillas por parcela:	2520

Bloques

▪ Numero de tratamientos:	4
▪ Numero bloques:	3
▪ Número de unidades experimentales:	12
▪ Área total del experimento:	2160 m ²

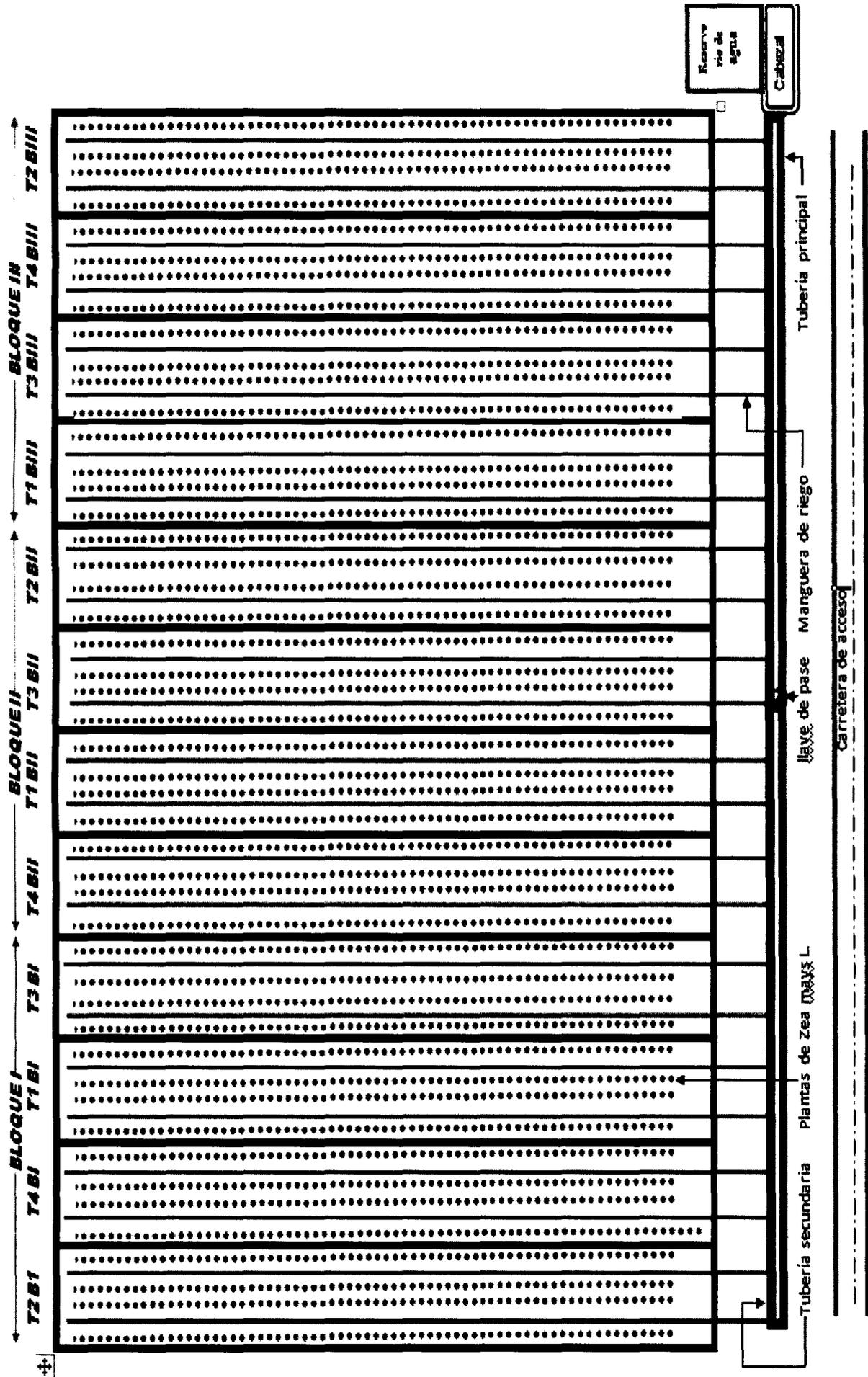


Figura 02. Diseño de la parcela de investigación. Pucallpa, Perú, 2014.

3.7. Del trabajo experimental

3.7.1. Historial del campo

En el año 2006, el terreno era una purma con pastos. En el año 2007 se sembró arroz en seco. A fines del 2008 se sembró frejol caupi y arroz. A inicios del 2009 se preparo el terreno con una rastra simple, se aplico dolomita a razón de 1.5 ton/ha, roca fosfórica 200 kg/ha y gallinaza; en agosto se sembró tomate, en septiembre se sembró maíz ambos con riego por goteo. A inicios del 2010 se sembró maíz nuevamente utilizando nuevamente riego por goteo.

3.7.2. Muestra de suelo

Se extrajo muestras de suelo, a 25 cm de profundidad, empleando el método del zig-zag, todas estas sub muestras fueron mezcladas, formando una sola muestra la cual fue secada bajo sombra, molido y tamizado; finalmente se embolsara (1 kg) y se procedió a su rotulación con datos de su extracción (lugar, fecha de recolección, nombre del recolector, etc.) para posteriormente ser enviados a su análisis en el laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) de Lima.

3.7.3. Prueba de germinación de la semilla

Se utilizó 100 semillas del maíz híbrido Agri 144, luego se colocó en una placa petri con papel absorbente, añadiendo una cantidad mínima de agua, posteriormente se anotó el número de semillas germinadas para posteriormente expresarlo en porcentaje, obteniéndose como resultado 72 % de germinación de las semillas.

3.7.4. Preparación y limpieza del área experimental

Se procedió a la limpieza del terreno, mecanizando el área con un arado de rastra.

3.7.5. Demarcación del área experimental

Usando una wincha se procedió a cuadrar el terreno por el método de 3, 4, 5 de Pitágoras, colocando estacas en todos los vértices, y luego delimitando los bloques y los tratamientos, de acuerdo al diseño de instalación.

3.7.6. Siembra

Se utilizó rafias marcadas cada 0.16 m, las hilera fueron distribuidas entre surcos 0.90 m, utilizándose dos semillas por golpe, a una profundidad media de 3 - 5 cm.

3.7.7. Raleo

Esta labor se efectuó a las dos semanas después de la siembra, dejando una planta por golpe.

3.7.8. Control de malezas

Se realizó una aplicación de herbicida (glifosato) 15 días antes la siembra, posteriormente a la siembra, se realizó el control de malezas en forma manual, con machetes, hasta que el maíz alcance a coberturar el terreno.

3.7.9. Aplicación de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos de fertirrigación se realizó de acuerdo al uso de los siguientes fertilizantes

Cuadro 11. Aplicación de fertilizantes para el tratamiento 01.

Producto	Sem 1 (kg)	Sem 2 (kg)	Sem. 3-4-5 (kg)	Sem. 6-7-8 (kg)	Sem. 9-10-11 (kg)	Sem. 12 (kg)	Total de fert. para las 3 repeticiones (Kg)
Urea	0	0	0	0	0	0	0
Fosfato monoamónico	0	0	0	0	0	0	0
Cloruro de potasio	0	0	0	0	0	0	0
Nitrato de calcio	0	0	0	0	0	0	0
Nitrato de magnesio	0	0	0	0	0	0	0

Cuadro 12. Aplicación de fertilizantes para el tratamiento 02.

Producto	Sem 1 (kg)	Sem 2 (kg)	Sem. 3-4-5 (kg)	Sem. 6-7-8 (kg)	Sem. 9-10-11 (kg)	Sem. 12 (kg)	Total de fert. para las 3 repeticiones (Kg)
Urea	0.7	1.8	6	6	6.7	2.3	23.5
Fosfato monoamónico	0.3	0.7	2.4	2.7	3.3	1.2	10.6
Cloruro de potasio	0.15	0.25	2.5	3.3	2.8	0	9
Nitrato de calcio	0.2	0.5	2.1	2.4	2.3	1	8.5
Nitrato de magnesio	0.2	0.2	1.7	2.1	1.9	0	6.1

Cuadro 13. Aplicación de fertilizantes para el tratamiento 03.

Producto	Sem 1 (kg)	Sem 2 (kg)	Sem. 3-4-5 (kg)	Sem. 6-7-8 (kg)	Sem. 9-10-11 (kg)	Sem. 12 (kg)	Total de fert. para las 3 repeticiones (Kg)
Urea	0.7	1.3	4.8	4.8	4.7	2.5	18.8
Fosfato monoamónico	0.3	0.4	1.8	2.1	2.5	0.9	8
Cloruro de potasio	0.15	0.5	1.6	2.1	1.9	0.55	6.8
Nitrato de calcio	0.2	0.3	1.8	2.1	1.7	1	7.1
Nitrato de magnesio	0.2	0.2	1.2	1.5	1.5	0.5	5.1

Cuadro 14. Aplicación de fertilizantes para el tratamiento 04.

Producto	Sem 1 (kg)	Sem 2 (kg)	Sem. 3-4-5 (kg)	Sem. 6-7-8 (kg)	Sem. 9-10-11 (kg)	Sem. 12 (kg)	Total de fert. para las 3 repeticiones (Kg)
Urea	0.7	0.8	3.6	3.6	3.1	2.3	14.1
Fosfato monoamónico	0.3	0.2	1.3	1.5	1.3	0.7	5.3
Cloruro de potasio	0.15	0.5	1.2	1.5	1.15	0	4.5
Nitrato de calcio	0.2	0.3	1.3	1.5	1.5	0.9	5.7
Nitrato de magnesio	0.2	0.2	1	1.2	0.8	0	3.4

3.7.10. Frecuencia de riego.

Los riegos se realizaron semanalmente, a los cuales se le incorporo aplicación de los fertilizantes según correspondía, los riegos tenían una duración de dos horas por cada tratamiento, para un total de dieciséis semanas, no realizándose riegos cuando se presentaron lluvias.

Cuadro 15. Análisis de sistema y frecuencia de riego. Pucallpa, Perú, 2014.

Análisis de sistema de riego	Cantidad	Unidades
cantidad Agua por gotero	1.35	Lt/hora.
cantidad Agua por gotero	0.00135	M3/hora
Numero de goteros por manguera de 50 m.	167	Unid
Total de agua distribuida por manguera de 50 m.	0.2255	M3/hora
cantidad de mangueras por unidad experimental	2	Unid
Tiempo de riego por unidad experimental	2	Horas.
Cantidad de agua por tratamiento /unidad exp./riego	0.9018	M3.
Frecuencia de riego (promedio)	7	Días
Cantidad total de riegos	12	Riegos
Cantidad total de agua	129.86	M3

3.7.11. Control fitosanitario

Para realizar esta labor se realizó el monitoreo inter diario del campo, a la tercera semana después de la siembra se observo el ataque de cogollero, para lo cual se realizó la aplicación de un control químico con la dosis recomendada del producto utilizado.

3.7.12. Cosecha

La cosecha se realizó al observarse la madures fisiológica del maíz y cuando los granos lograron un contenido de humedad de mínimo. La recolección se realizó de manera manual mazorca por mazorca, que después se secan en mantas previo al desgrane.

3.7.13. Desgrane

Se efectuó en con una desgranadora mecánica.

3.7.14. Secado de granos

Se colocaron las semillas cosechadas sobre mantas y expuestas al sol, por uno o dos días, hasta que el grano alcance 14% de humedad. Este secado se realizó removiendo los granos cada hora para obtener un secado uniforme.

3.7.15. Almacenamiento

Se guardó en costales para posteriormente almacenarlos en un ambiente seco para evitar el deterioro de las semillas.

3.7.16. Evaluación de parámetros

Se realizó durante el desarrollo del experimento de acuerdo a las variables establecidas.

3.8. Diseño experimental

Para el análisis de las variables estudiadas, se utilizó un Diseño de Bloque Completo al Azar (BCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones teniendo un total de 12 unidades experimentales. Para la prueba de promedios, se utilizó la prueba de Duncan con un $\alpha = 0.05$ de significancia para cada variable de estudio.

Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Cualquier observación en estudio.

μ = Media general

B_i = Efecto del i-esimo bloque en estudio.

T_j = Efecto del j-esimo tratamiento en estudio.

E_{ij} = Error o residuo.

Esquema de análisis de variancia

F.V.	G. L.
Bloque	2
Tratamientos	3
Error	6
Total	11

IV. RESULTADOS



4.1. Altura de planta

El cuadro 16 presenta los resultados correspondientes a la prueba de Duncan para la altura de planta del maíz híbrido AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego en estudio.

Cuadro 16. Resultados de la altura de planta del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

Trat.	Dosis de N – P – K (kg/ha)	Dosis de Ca - Mg (kg/ha)	Altura de planta (m)
1	agua	agua	1.86 a
2	200 - 120 - 100	30 - 20	1.92 a
3	160 - 90 - 75	25 - 15	1.91 a
4	120 - 60 - 50	20 - 10	1.88 a

*Letras iguales no presentan diferencias significativas. Duncan $p \leq 0.05$

Para la altura de planta, se realizó el análisis de varianza (ver cuadro 1 A), los cuales no muestran diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre los tratamientos en estudio, esto se corrobora con las pruebas de promedios de Duncan que se muestra en el cuadro 16, en el cual, el tratamiento testigo, constituido por agua, y los tratamientos con diferentes concentraciones de N, P, K, Ca y Mg, no mostraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos, como se muestra en la figura 03.

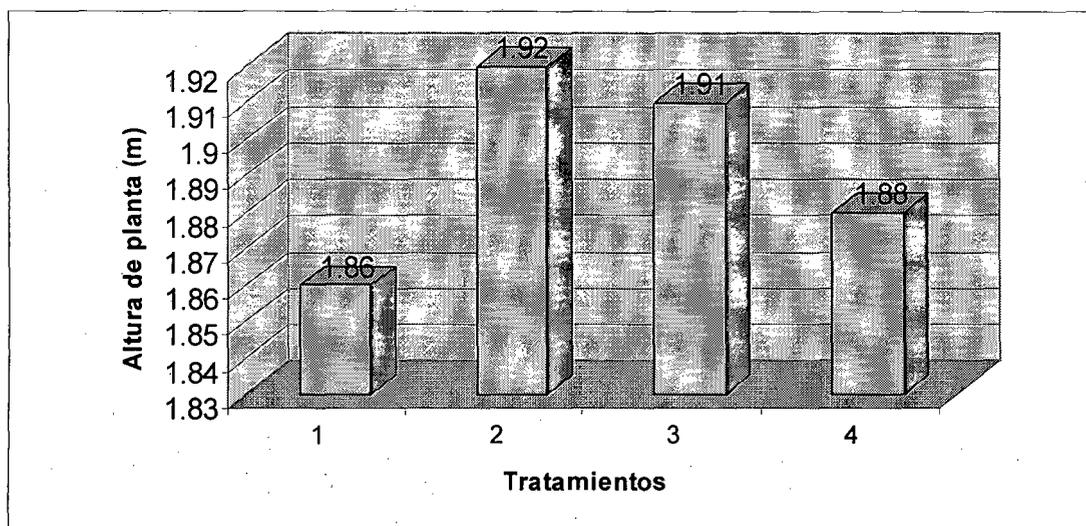


Figura 03. Altura de planta del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

4.2. Altura de la inserción de la mazorca

El cuadro 17 presenta los resultados correspondientes a la prueba de Duncan para la altura de inserción de la mazorca del maíz híbrido AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego en estudio.

Cuadro 17. Resultados de la altura de inserción de la mazorca del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

Trat.	Dosis de N – P – K (kg/ha)	Dosis de Ca - Mg (kg/ha)	Altura de la inserción de la mazorca (m)
1	agua	Agua	0.91 a
2	200 - 120 - 100	30 - 20	0.84 b
3	160 - 90 - 75	25 - 15	0.85 b
4	120 - 60 - 50	20 - 10	0.81 b

*Letras iguales no presentan diferencias significativas. Duncan $p \leq 0.05$

Para la altura de inserción de la mazorca, se realizó el análisis de varianza (ver cuadro 2 A), los cuales muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos en estudio, esto se corrobora con las pruebas de promedios de Duncan que se muestra en el cuadro 17, en el cual, el

tratamiento testigo, constituido por agua, mostró la mayor altura de inserción de la mazorca, el cual muestra diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto a los tratamientos con diferentes concentraciones de N, P, K, Ca y Mg, los cuales no mostraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos, como se muestra en la figura 04.

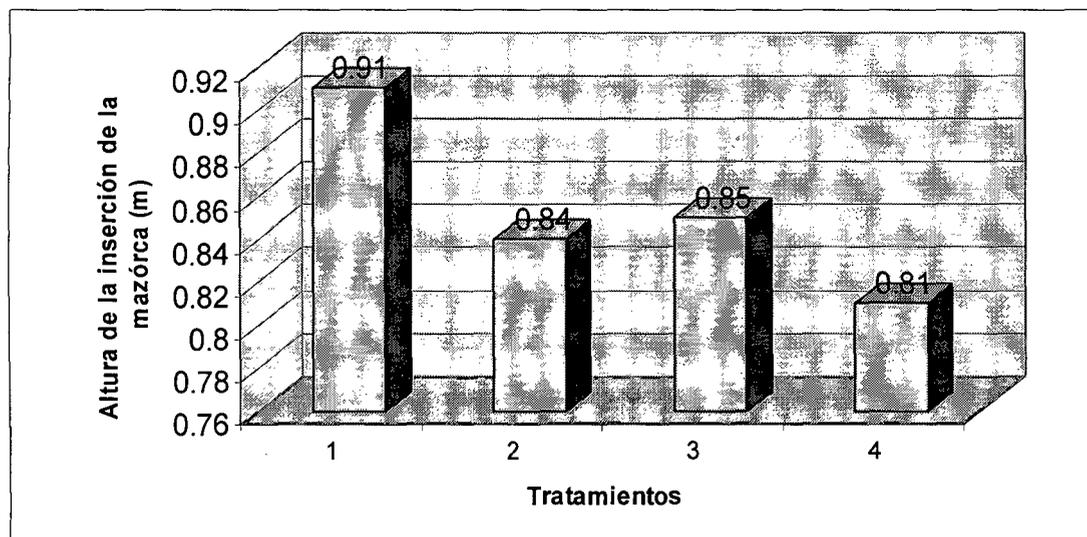


Figura 04. Altura de inserción de la mazorca del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

4.3. Largo de mazorca

El cuadro 18 presenta los resultados correspondientes a la prueba de Duncan para el largo de mazorca del maíz híbrido AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego en estudio.

Cuadro 18. Resultados del largo de mazorca del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

Trat.	Dosis de N – P – K (kg/ha)	Dosis de Ca - Mg (kg/ha)	Largo de mazorca (cm)
1	agua	Agua	12.68 c
2	200 - 120 - 100	30 - 20	14.67 a
3	160 - 90 - 75	25 - 15	13.92 ab
4	120 - 60 - 50	20 - 10	13.30 bc

*Letras iguales no presentan diferencias significativas. Duncan $p \leq 0.05$

Para el largo de mazorca, se realizó el análisis de varianza (ver cuadro 3 A), los cuales muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos en estudio, esto se corrobora con las pruebas de promedios de Duncan que se muestra en el cuadro 18, en el cual, el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca y Mg, logró el mejor largo de mazorca, el cual no muestra diferencias significativas ($p \geq 0,05$) con respecto al tratamiento con 160 – 90 – 75 de N, P, K, y 25 – 15 de Ca y Mg, el cual a su vez tampoco muestra diferencias significativas ($p \geq 0,05$) con respecto al tratamiento con 120 – 60 – 50 de N, P, K y 20 - 10 de Ca y Mg, el mismo que tampoco muestra diferencias significativas ($p \geq 0,05$) con respecto al tratamiento con agua, el cual si muestra diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca y Mg, como se muestra en la figura 05.

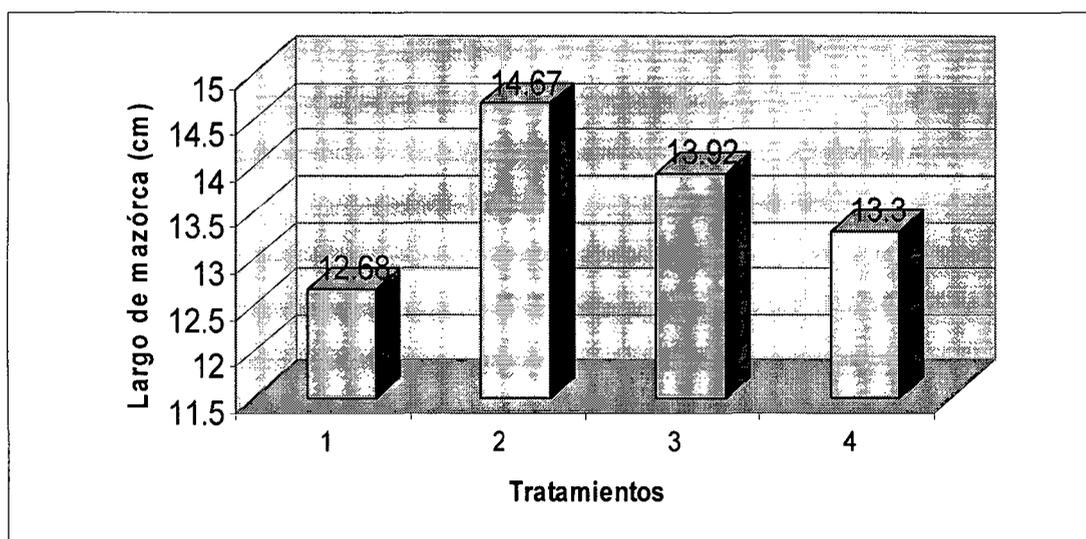


Figura 05. Largo de mazorca del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

4.4. Diámetro de mazorca

El cuadro 19 presenta los resultados correspondientes a la prueba de Duncan para el diámetro de mazorca del maíz híbrido AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego en estudio.

Cuadro 19. Resultados del diámetro de mazorca del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

Trat.	Dosis de N – P – K (kg/ha)	Dosis de Ca - Mg (kg/ha)	Diámetro de mazorca (cm)
1	Agua	Agua	4.42 c
2	200 - 120 - 100	30 - 20	4.81 a
3	160 - 90 - 75	25 - 15	4.42 c
4	120 - 60 - 50	20 - 10	4.65 b

*Letras iguales no presentan diferencias significativas. Duncan $p \leq 0.05$

Para el diámetro de mazorca, se realizó el análisis de varianza (ver cuadro 4 A), los cuales muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos en estudio, esto se corrobora con las pruebas de promedios de Duncan que se muestra en el cuadro 19, en el cual, el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca y Mg, logró el mejor diámetro de mazorca, el cual muestra diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al tratamiento con 120 – 60 – 50 de N, P, K, y 20 – 10 de Ca y Mg, el cual a su vez también muestra diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto a los tratamientos con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca y Mg, y el tratamiento con agua, los cuales no mostraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos, como se muestra en la figura 06.

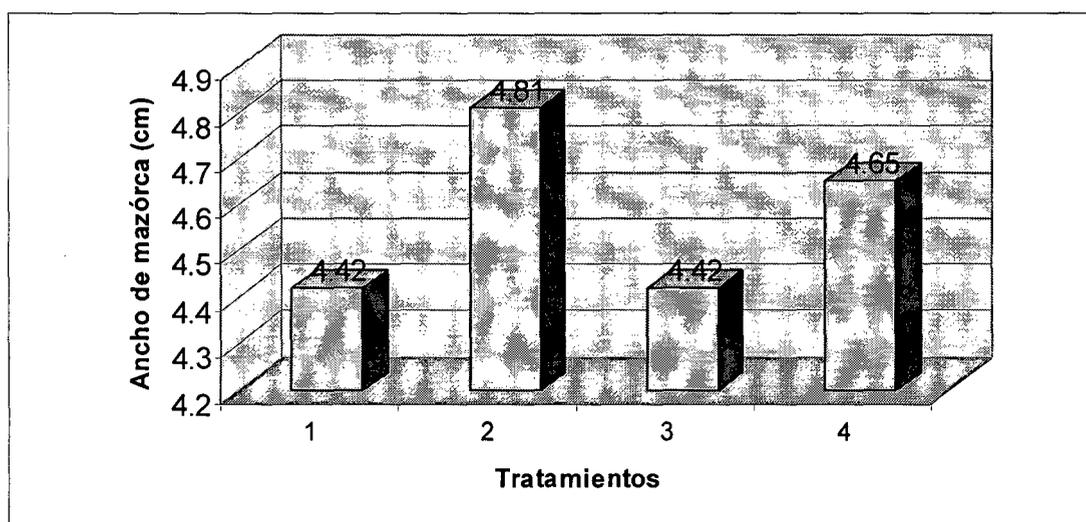


Figura 06. Diámetro de mazorca del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

4.5. Número de hileras por mazorca

El cuadro 20 presenta los resultados correspondientes a la prueba de Duncan para el número de hileras por mazorca del maíz híbrido AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego en estudio.

Cuadro 20. Resultados del número de hileras por mazorca del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

Trat.	Dosis de N – P – K (kg/ha)	Dosis de Ca - Mg (kg/ha)	Número de hileras por mazorca
1	agua	Agua	13.66 c
2	200 - 120 - 100	30 - 20	14.36 a
3	160 - 90 - 75	25 - 15	14.38 a
4	120 - 60 - 50	20 - 10	13.91 bc

*Letras iguales no presentan diferencias significativas. Duncan $p \leq 0.05$

Para el número de hileras por mazorca, se realizó el análisis de varianza (ver cuadro 5 A), los cuales muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos en estudio, esto se corrobora con las pruebas de promedios de Duncan que se muestra en el cuadro 20, en el cual, los tratamientos con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 – 40 de Ca y Mg, y el tratamiento con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca y Mg, obtuvieron los mejores promedios de número de hileras por mazorca, no mostrándose diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos, los cuales si mostraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) con el tratamiento con 120 – 60 – 50 de N, P, K, y 20 – 10 de Ca y Mg, y el tratamiento con agua el cual presentó el menor número de hileras por mazorca, no mostrándose diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos como se muestra en la figura 07.

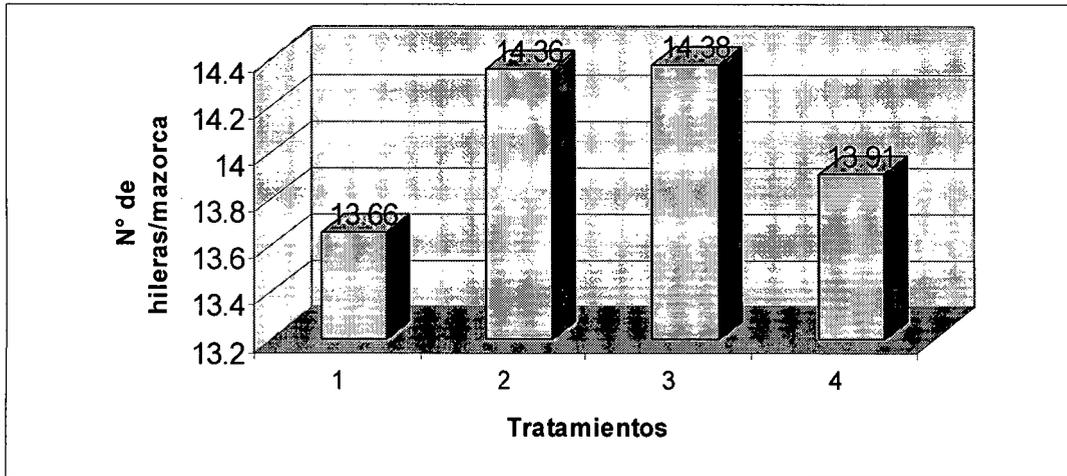


Figura 07. Número de hileras por mazorca del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

4.6. Número de granos por hilera

El cuadro 21 presenta los resultados correspondientes a la prueba de Duncan para el número de granos por hilera del maíz híbrido AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego en estudio.

Cuadro 21. Resultados del número de granos por hileras del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

Trat.	Dosis de N – P – K (kg/ha)	Dosis de Ca - Mg (kg/ha)	Número de granos por hilera
1	Agua	agua	26.18 b
2	200 - 120 - 100	30 - 20	30.13 a
3	160 - 90 - 75	25 - 15	30.20 a
4	120 - 60 - 50	20 - 10	26.66 b

*Letras iguales no presentan diferencias significativas. Duncan $p \leq 0.05$

Para el número de granos por hileras, se realizó el análisis de varianza (ver cuadro 6 A), los cuales muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos en estudio, esto se corrobora con las pruebas de promedios de Duncan que se muestra en el cuadro 21, en el cual, los tratamientos con

200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca y Mg, y el tratamiento con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca y Mg, obtuvieron los mejores promedios de número de granos por hilera, no mostrándose diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos, los cuales si mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto a los tratamientos con 120 – 60 – 50 de N, P, K, y 20 – 10 de Ca y Mg , y el tratamiento con agua, los cuales no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos, como se muestra en la figura 08.

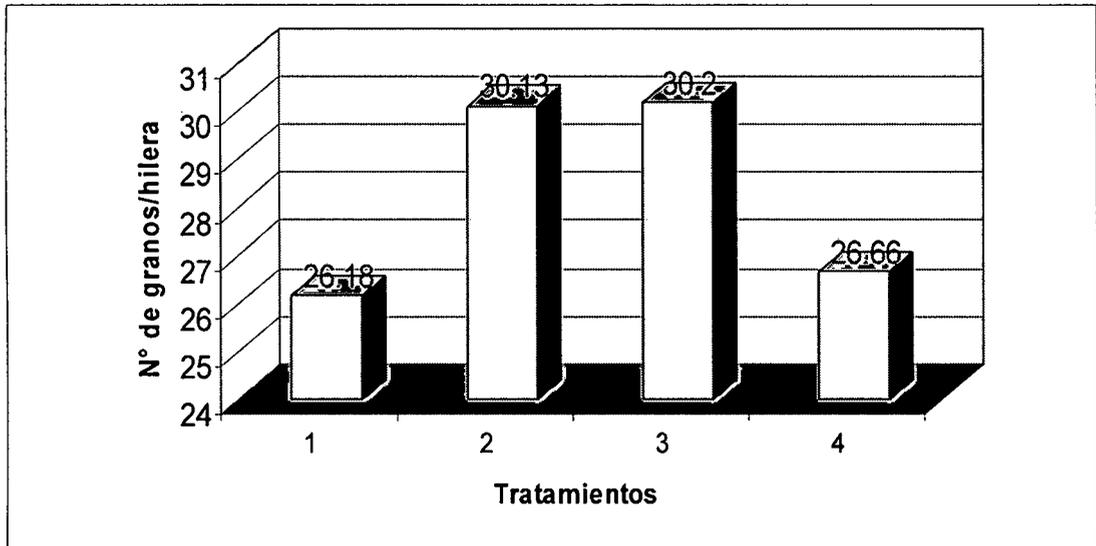


Figura 08. Número de granos por hilera del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

4.7. Peso de 100 granos

El cuadro 22 presenta los resultados correspondientes a la prueba de Duncan para el peso de 100 granos del maíz híbrido AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego en estudio.

Cuadro 22. Resultados del peso de 100 granos del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

Trat.	Dosis de N – P – K (kg/ha)	Dosis De Ca - Mg (kg/ha)	Peso de 100 granos (g)
1	Agua	Agua	30.61 d
2	200 - 120 - 100	30 - 20	37.34 c
3	160 - 90 - 75	25 - 15	38.57 a
4	120 - 60 - 50	20 - 10	37.64 b

*Letras iguales no presentan diferencias significativas. Duncan $p \leq 0.05$

Para el peso de 100 granos, se realizó el análisis de varianza (ver cuadro 7 A), los cuales muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos en estudio, esto se corrobora con las pruebas de promedios de Duncan que se muestra en el cuadro 22, en el cual, el tratamiento con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca y Mg, mostró el mejor peso de 100 granos, el cual mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al tratamiento con 120 – 60 – 50 de N, P, K, y 20 – 10 de Ca y Mg, el cual mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca y Mg, el mismo que mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al tratamiento con agua, como se muestra en la figura 09.

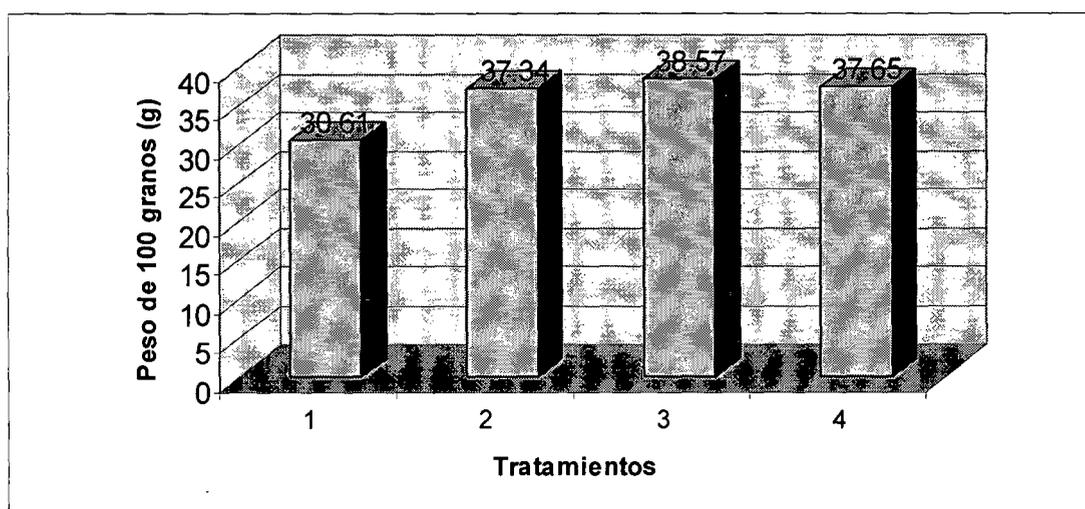


Figura 09. Peso de 100 granos del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

4.8. Rendimiento por hectárea

El cuadro 23 presenta los resultados correspondientes a la prueba de Duncan para el rendimiento por hectárea del maíz híbrido AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego en estudio.

Cuadro 23. Resultados del rendimiento por hectárea del maíz híbrido AGRI – 144 con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

Trat.	Dosis de N – P – K (kg/ha)	Dosis de Ca - Mg (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)
1	Agua	Agua	5062.4 c
2	200 - 120 - 100	30 - 20	7523.9 a
3	160 - 90 - 75	25 - 15	7756.1 a
4	120 - 60 - 50	20 - 10	6502.2 b

*Letras iguales no presentan diferencias significativas. Duncan $p \leq 0.05$

Para el rendimiento por hectárea, se realizó el análisis de varianza (ver cuadro 8 A), los cuales muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos en estudio, esto se corrobora con las pruebas de promedios de Duncan que se muestra en el cuadro 23, en el cual, los tratamientos con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca y Mg y el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K y 30 - 20 de Ca y Mg presentaron los mayores rendimientos por ha, no mostrando diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos, pero si se muestra diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al tratamiento con 120 – 60 – 50 de N, P, K y 20 - 10 de Ca y Mg, el mismo que mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto al tratamiento con agua, el cual mostró el menor rendimiento por ha, como se muestra en la figura 10.

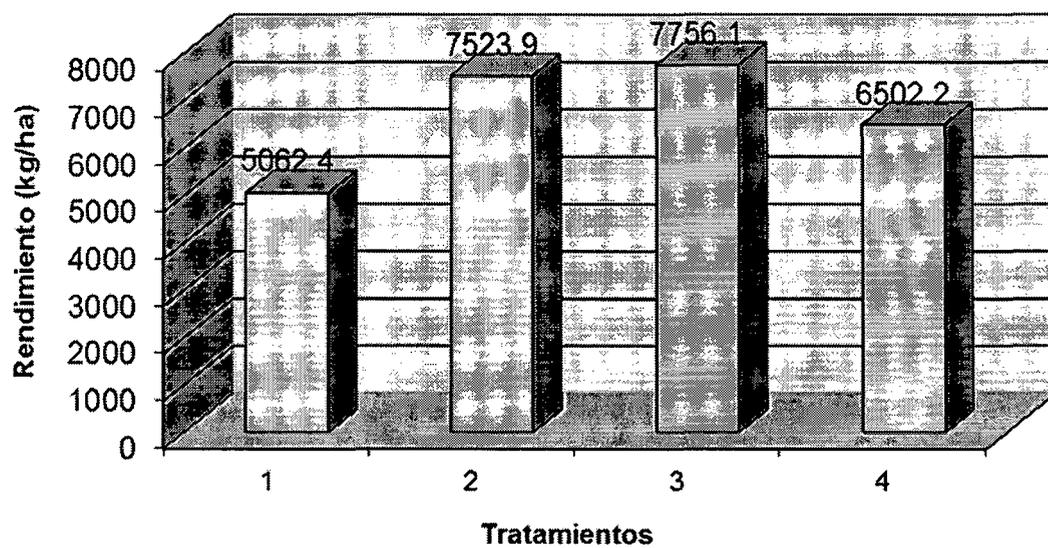


Figura 10. Rendimiento por hectárea del maíz AGRI – 144, con diferentes niveles de fertirriego. Pucallpa, Perú, 2014.

V. DISCUSIONES

5.1. Variables agronómicas

5.1.1. Altura de planta y altura de la inserción de la mazorca

Con respecto a la altura de planta, la descripción del maíz híbrido AGRI – 144, se encuentra en 1.90 m, (El Maicero, s.f.) lo que coincide con los resultados obtenidos, no encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos; pero a la vez, se observa que mayor cantidad de nutrientes incorporados mayor es el promedio de altura. Al respecto, Castañeda y Martínez (2011), indican que el nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales que más limitan el rendimiento del maíz. Este macronutriente participa en la síntesis de proteínas y por ello es vital para toda la actividad metabólica de la planta. Su deficiencia provoca reducciones severas en la tasa de crecimiento y expansión foliar que reduce la captación de la radiación solar y por consiguiente un menor desarrollo productivo.

En lo que respecta a la altura de inserción de mazorca se observó que el tratamiento 1 tuvo el mayor promedio de altura de inserción de mazorca al respecto Aldrich y Leng (1974) nos indican que cuando surge la panoja y puede verse el ápice del vástago correspondiente a la espiga, comienza a disminuir la velocidad de crecimiento de la planta y se inicia las fases finales de preparación para la floración; la falta de nutrientes especialmente de nitrógeno causa que, uno o dos días antes de comenzar la liberación del polen los entrenudos superiores se alarguen rápidamente y empujan la panoja fuera del área foliar .

5.1.2. Largo y diámetro de mazorca

El mayor promedio de largo y diámetro de mazorca se registró en los tratamientos 2 y 3 seguido de los tratamientos 4y1.

Debido a qué, en el desarrollo de la mazorca, aparece sobre ella en la primera semana unas vejigas acuosas, que son los granos en formación. Durante las dos semanas siguientes, los granos crecen muy rápidamente, el embrión toma forma dentro de ellos y la mazorca, sobre la que se encuentran, se desarrolla hasta alcanzar su longitud y diámetro definitivo. En esta etapa la planta se

dedica a casi exclusivamente a llenar la mazorca y a iniciar el almacenamiento de alimento en los granos. Sin embargo un serio déficit de agua y de nutrientes, impedirán que se llene todo el grano y determinaran si se llenan o no los granos superiores de la espiga.

Por lo cual se observa que los tratamientos que obtuvieron los mejores promedios, fueron los que se les incorporo mayor cantidad de nutrientes integrados a los riegos.

5.1.3. Número de hileras por mazorca y número de granos por hilera.

Al analizar los resultados obtenidos para el número de hileras por mazorca y número de granos por hilera, podemos ver que, los tratamientos 2 y 3, obtuvieron los mejores promedios, seguidos de los tratamientos 4 y 1.

En consecuencia a que la polinización es una etapa sumamente expuesta en la vida de la planta de maíz. En ella el fracaso o problemas tienen importantes consecuencias sobre el rendimiento, pues un grano que no comienza en ella su formación, no puede iniciarla más tarde, y por qué una espiga que no está bien formada y totalmente polinizada no podrá alcanzar un tamaño normal en la madurez.

El hecho decisivo en esta etapa seria la gran necesidad de agua y nutrientes, especialmente de nitrógeno, originada en la enorme actividad fisiológica de la planta en floración.

La incorporación de riegos frecuentes y de nutrientes, influyen en un buen desarrollo de la planta, lo que da como consecuencia un óptimo proceso de floración y fecundación, lo cual va a determinar el número de granos que se desarrollaran en la mazorca.

5.2. Variables productivas

5.2.1 Peso de 100 granos y rendimiento por hectárea

Las evaluaciones para el peso de 100 granos y rendimiento por hectárea nos indican que el tratamiento 3, tuvo los mejores promedios, seguido del tratamiento 2, luego el tratamientos 4 y por último el tratamiento 1.

Al respecto, se pudo observar que los rendimientos pueden considerarse buenos para las condiciones de suelo de altura en nuestra zona y teniendo en cuenta que se desarrollo el cultivo en época seca. En la agricultura tradicional, en las mismas condiciones de suelo no se sembraría el maíz en esta época, por el bajo rendimiento que presentaría, el cual no llegaría ni a los 500 kilogramos por hectárea, en consecuencia a la falta de agua, lo que influiría drásticamente en el rendimiento. Es conocido que en los primeros meses de desarrollo el factor agua es fundamental para crecimiento y producción del maíz.

Por lo cual podemos determinar la importancia del riego que nos permite aprovechar los meses de mayor radiación solar, donde de la planta tiene un mayor índice de absorción y transpiración, teniendo como resultado una mayor asimilación de los nutrientes que se incorporan al suelo.

Otro punto que influye son las condiciones de suelo, al respecto Aldrich (1974) nos indica que los suelos francos poseen la mejor combinación de: suministro de agua, almacenamiento de nutrientes, facilidad de laboreo, buen drenaje y aireación. Son los mejores suelos para el cultivo de maíz. Así mismo, la mayoría de las plantas absorben los nutrientes en un alto porcentaje a valores de pH entre 6.0 y 6.8.

Las condiciones de estos suelos fueron mejorando debido a la preparación de suelo y a la incorporación de nutrientes en los riegos durante varias campañas. Una clara señal es el aumento del pH; ya que en un principio estos suelos tenían un pH de 4.0, lo cual fue mejorando con el tiempo hasta que se obtuvo un pH de 6.0 como indica el análisis de suelo al inicio del trabajo de investigación, lo que nos demuestra claramente que se pueden recuperar suelos degradados para la agricultura a través del fertirriego; evitando así la expansión la frontera agrícola tradicional, lo cual nos va a permitir detener la tala y quema de nuestros bosques tropicales, preservando así nuestro medio ambiente.

Existe una ley muy importante denominado la ley de los rendimientos decrecientes, que consiste en que el aplicar ciertas cantidades de fertilizantes; no necesariamente se incrementará la misma cantidad de rendimiento conforme aumente cantidades sucesivas de fertilizante; sino que las primeras proporciones tienen un efecto mayor que los demás, incluso

llega a decrecer el rendimiento a cierta cantidad excesiva (Tiasdale, 1980), lo que nos explica los resultados que se obtuvieron en los tratamientos con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca y Mg y el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K y 30 - 20 de Ca y Mg los cuales presentaron los mayores rendimientos por ha, disminuyendo en el tratamiento con 120 – 60 – 50 de N, P, K y 20 - 10 de Ca y Mg, siendo el tratamiento solo con agua el que obtuvo el menor rendimiento por ha.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos afirmar que solo aplicando riego al cultivo de maíz en condiciones de altura en nuestra región, es posible obtener producciones rentables en la época seca, lo cual no sería posible de obtener sin riego, más aun en suelos ácidos y poco fértiles, aprovechando de ésta manera suelos degradados, reduciendo el índice de la deforestación de áreas para nuevos cultivos y así evitar daños ambientales. Habiendo llegado en el estudio a las siguientes conclusiones:

1. Para las variables altura de planta, no se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados y para la altura de inserción de mazorca, el tratamiento con agua mostró el mejor promedio de altura.
2. Para el largo y el diámetro de mazorca, el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca y Mg, logró los mejores promedios, y para el número de hileras por mazorca y número de granos por hilera, el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K, y 30 – 20 de Ca y Mg y el tratamiento con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca y Mg, mostraron los mejores promedios y para el peso de 100 granos, el tratamiento con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca y Mg mostró el mejor promedio.
3. Para el rendimiento, los tratamientos con 160 – 90 – 75 de N, P, K y 25 - 15 de Ca y Mg y el tratamiento con 200 – 120 – 100 de N, P, K y 30 - 20 de Ca y Mg presentaron los mayores rendimientos por ha, seguido del tratamiento con 120 – 60 – 50 de N, P, K y 20 - 10 de Ca y Mg, y finalmente el tratamiento con agua, el cual obtuvo el menor rendimiento por ha.

VII. RECOMENDACIONES

Luego de haber analizado los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se recomienda lo siguiente:

1. Utilizar el fertirriego con las diferentes concentraciones de N, P, K, y Ca, Mg estudiados, para poder obtener rendimientos por hectárea de 6502.2 kg/ha a 7756.1 kg/ha
2. Estudiar diferentes variedades y líneas de maíz bajo condiciones de fertirriego, con diferentes concentraciones de N, P, K.
3. Estudiar diferentes variedades y líneas de maíz bajo condiciones de fertirriego, con diferentes concentraciones de de Ca, Mg y microelementos como Boro.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Ayres, R.S and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper. 29 Rev 1. 174 pp.
- Bejarano, A; Segovia, V. 2000. Origen del maíz In: Fontana; N,H.;Gonzáles, N. C. (eds). 2000. El maíz en Venezuela. Fundación Polar. Caracas. 530 p.
- Brito y Gilabert. 1993. Caracterización agroclimática de los llanos occidentales y sus relaciones con el ciclo del cultivo del maíz Maracay. CENIAP. IAG. Serie C. Nº 3 – 02. 125 P.
- Bolaños, J. Y. G. Edmeades. 1993. La fonología del Maíz. In: Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992. Vol. 4 (1993). P 251 – 254 P.
- Burt, C; K. O'connor & T. Ruehr. 1998. Fertigation. Irrigation Training and Research Center. CPSU. San Luis Obispo CA. 295 p.
- Castañeda Ortega, E.; Martínez Alvarez, M.A. 2011. Efecto de la fertilización química y orgánica en el crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) cv. Victoria en condiciones controladas. Trabajo de Experiencia Recepcional para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Mexico
- CIMMYT, 1994. CIMMYT 1993/94 World Maize Facts and Trends. Maize seed industries, revisited: Emerging Roles of the public and Private Sectors. México, D. F.
- Cochrane, T. T. 1992. Caracterización agroecológica para el desarrollo de pasturas en suelos ácidos de América tropical. En Toledo J. M. (ed): manual para la evaluación Agronómica, Red Internacional de Pastos Tropicales. Cali – Colombia. CIAT. Pp. 23 – 44.
- De Souza, J. C. 2000. Selección de maíz amarillo duro (*Zea mays*) de la variedad M - 28 – T entre y dentro de las familias de medios hermanos en un entisols, Tesis Ing. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Perú. 54 P.
- Freyre. L. W. 1999. Selección de maíz amarillo duro (*Zea mayz*) en variedad M – 28 – T por el método de mejoramiento de medios hermanos. Tesis, Ing. Universidad Nacional de Ucayali. Pucállpa, Perú. 36p.

- Ferreya E.R.; Sellés V., G.; Ahumada B., R.; Maldonado B., P.; Gil M., P.; Barrera M., C. 2005. Manejo del riego localizado y fertirrigación. Boletín INIA N° 126. ISSN 0717-4829. Centro Regional de Investigación La Cruz del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. La Cruz, Chile.
- García, A, 2002. Cultivos Tropicales: Cultivos de arroz, maíz y frijol. Tesis de Suficiencia Profesional. Pucallpa, Perú. 30 p.
- García, F.O. (s.f.). Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur. Av. Santa Fe 910 – (B1641ABO) Acassuso – Argentina. fgarcia@inpofos.org
- García, J. & Espinosa J. 2009. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones agronómicas*, 72:1-5.
- Herrera, J, L et al. 1997. Biblioteca de la agricultura. Edit. Lexus, Barcelona - España. 768 p.
- Jacob, A. y Uexkull, H. 1 996. Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y sub-tropicales. Tercera Edición Española. Editado por Verlagsgesellschaft Fur- Alemania. 626 p.
- Jara, Hidalgo y Echeverría. 2003. El maíz amarillo duro en la Región San Martín. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria. Estación Experimental El porvenir. Programa Nacional de Investigación en Sistemas Agrarios de la Selva. Tarapoto, Perú, Marzo, 2003. 59 p.
- Manrique, A. 1997 Selección de maíz Amarillo Programa de comportamiento de Investigación Agrícola para la Sobre Región Argentina, Bolivia, Perú. Pag. 89.
- Martínez, A.G. Y Tico, G.T. 1974 Informe anual del programa cooperativo de investigación de maíz tropical. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 42p.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). 2014. Valor bruto de la producción agropecuaria – VBP. Oficina de estudios económicos y estadísticos.
- Poelhman, J, M. 1965. Mejoramiento genético de las cosechas. Traducido por Nicolás Sánchez. Edit. Limusa.
- Primavesi, A. 1980. Manejo Ecológico del Suelo. Editorial "El Ateneo", V Edición. Argentina 1 980. 537p.

- Ripusudan, L, P. Granados, G. Honor, R. L. Marathee, J, P. 2001. El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Departamento de Agricultura. Roma, 2001. Disponible en <http://fao.org/DOCREP/003/X650s121.htm>.
- Ruiz, G. E. 2006. Maíz producción. Manual técnico de maíz, Argentina. Disponible en <http://www.viarural-produccion.htm>.conectado el 13 de enero del 2008.
- Sagastegui y Leyva, Flora Invasora de los Cultivos del Perú 1993. Trujillo, Peru. 539 p.
- Sánchez, P.A. 1981. Suelos del Trópico. Características y manejo. Instituto Interamericano de Corporación para la agricultura (IICA). San José de Costa Rica. 420p.
- Sánchez V., J. 2000. Fertirrigación: Principios, Factores, Aplicaciones. Seminario de Fertirrigación: Apukai-Comex Perú. FERTITEC S.A.
- Sevilla, R. 1989. Resultados de cuatro ciclos de selección de mazorca – hileras modificada en un compuesto de maíz de la sierra del Perú. En la IV conferencia de maíz de la zona Andina, Lima.
- Silva, C, C, A. 2005. Maíz genéticamente modificado. Primera edición publicada en Agro Bio. Bogotá. D. C. Colombia. Disponible en www.agrobio.org.
- SIAR. 2005. Fertirrigación. Hoja informativa N° 11. Página web (www.jccm.es o <http://crea.uclm.es>).
- Tiasdale L.S. 1980 Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes Tercera Edición. Editorial Montaner y Simón S. A. Barcelona – España 1982. 437p.

IX. ANEXO

Cuadro 1A. ANVA para la altura de planta.

Fuente de variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Signif.
Bloque	2	0.05009083	0.02504542	1.33	0.2670	n.s.
Tratamiento	3	0.10722458	0.03574153	1.90	0.1311	n.s.
Error	234	4.41322417	0.01885993			
Total	239	4.57053958				

C.V. = 7.23

Cuadro 2A. ANVA para la altura de inserción de la mazorca.

Fuente de variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Signif.
Bloque	2	0.04265083	0.02132542	1.51	0.2234	n.s.
Tratamiento	3	0.37540167	0.12513389	8.85	0.0001	*
Error	234	3.30774583	0.01413567			
Total	239	3.72579833				

C.V. = 13.87

Cuadro 3A. ANVA para el largo de mazorca.

Fuente de variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Signif.
Bloque	2	17.51875000	8.75937500	1.89	0.1527	n.s.
Tratamiento	3	125.58750000	41.86250000	9.05	0.0001	*
Error	234	1081.85625000	4.62331731			
Total		1224.96250000				

C.V. = 15.76

Cuadro 4A. ANVA para el ancho de mazorca.

Fuente de variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Signif.
Bloque	2	1.22708333	0.61354167	3.25	0.0407	*
Tratamiento	3	6.53750000	2.17916667	11.53	0.0001	*
Error	234	44.23125000	0.18902244			
Total	239	51.99583333				

C.V. = 9.49

Cuadro 5A. ANVA para el número de hileras por mazorca.

Fuente de variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Signif.
Bloque	2	5.50833333	2.75416667	0.88	0.4162	n.s.
Tratamiento	3	22.30000000	7.43333333	2.37	0.0709	*
Error	234	732.52500000	3.13044872			
Total	239	760.33333333				

C.V. = 12.56

Cuadro 6A. ANVA para el número de granos por hilera.

Fuente de variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Signif.
Bloque	2	172.03333333	86.01666667	2.69	0.0703	n.s.
Tratamiento	3	847.14583333	282.38194444	8.82	0.0001	*
Error	234	7494.81666667	32.02913105			
Total	239	8513.99583333				

C.V. = 20

Cuadro 7A. ANVA para el peso de 100 granos.

Fuente de variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Signif.
Bloque	2	7.61679750	3.80839875	8.16	0.0004	*
Tratamiento	3	2410.28456792	803.42818931	1721.95	0.0001	*
Error	234	109.17998083	0.46658111			
Total	239	2527.08134625				

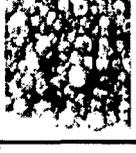
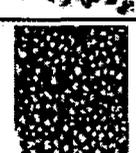
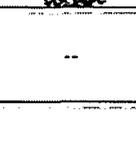
C.V. = 1.89

Cuadro 8A. ANVA para el rendimiento por hectárea.

Fuente de variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Signif.
Bloque	2	37934914.39540480	18967457.19770240	3.38	0.0358	*
Tratamiento	3	578520736.44033800	192840245.48011200	34.35	0.0001	*
Error	234	1313676807.74018000	5614003.45188115			
Total	239	1930132458.57593000				

C.V. = 23.53

Cuadro 09 A. Características principales de los abonos sólidos solubles.

Fertilizante		Composición (N-P-K)	Solubilidad	Manejo	Observaciones
Nitrato amónico		33,5-0-0	2190 g/l a 20 °C	Solución madre: 1/3 abono + 2/3 agua	-Es muy soluble. -Baja la temperatura y el pH del agua. -Aporta la mitad del N en forma nítrica y la otra mitad en forma amoniacal.
Sulfato amónico		21-0-0 (23 S)	750 g/l a 20 °C	Solución madre: 1/5 abono + 4/5 agua	-Aporta el N en forma amoniacal. -Puede presentar problemas si se usa con aguas de alto contenido en calcio. -También presenta ciertos problemas de salinidad.
Urea		46-0-0	1033 g/l 25 °C	Solución madre: 1/3 abono + 2/3 agua	-No acidifica ni saliniza el agua. -Se ha de controlar bien para evitar pérdidas por lixiviación.
Nitrato cálcico		15-0-0 (30 CaO)	1220 g/l a 20 °C	--	-Se utiliza por su aporte de calcio en suelos carentes del mismo o en cultivos hortícolas muy exigentes.
Nitrato potásico		13-0-46	316 g/l a 20 °C	--	-Aunque es menos soluble que los anteriores, es muy recomendado para el aporte de potasio en fertirrigación. -Produce una ligera subida del pH de la solución.
Fosfato monoamónico (MAP)		12-60-0	227 g/l a 0 °C; 434 g/l a 27 °C	Solución madre: 1/5 abono + 4/5 agua	-Requiere una buena agitación para su disolución. -Tiene bajo efecto salinizante y reacción ácida. -Cuando se usan aguas alcalinas, se aconseja corregirlo con ácido nítrico.
Fosfato diamónico (DAP)		21-52-0	400 g/l a 20 °C	--	-Todo el N se encuentra en forma amoniacal. -Su reacción es alcalina, por lo que hay que añadir ácido nítrico para bajar el pH, a razón de 1,3 kg por kg de DAP.
Polifosfato amónico	--	10-30-0	--	--	-Es un compuesto muy soluble, con capacidad para secuestrar microelementos, manteniéndolos disponibles para el cultivo.
Fosfato de urea	--	17-44-0	960 g/l a 20 °C	Solución madre: 25-35 kg/100 l agua	-Su solubilidad es más alta que la del polifosfato amónico, pero también es más salinizante. -Por su marcada reacción ácida, previene las precipitaciones cálcicas.
Sulfato potásico		0-0-50 (17 S)	110 g/l a 20 °C	Solución madre: 1/10 abono + 9/10 agua	-Su solubilidad es muy baja comparada con la del cloruro y el nitrato de potasio.
Microelementos	- Para complementar los microelementos en la solución fertilizante existe una serie de productos que permiten aportar cada uno de los mismos en función de las características requeridas. Estos pueden ser de dos tipos: sales minerales inorgánicas (hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, boro) o productos orgánicos o quelatos (de hierro, manganeso, zinc y cobre) que secuestran a los microelementos y los ponen a disposición de la planta.				

Fuente: SIAR (2005)

X. ICONOGRAFIA



Figura 11. Preparación de campo y del sistema de fertirriego.

Figura 12. Siembra del campo de cultivo.

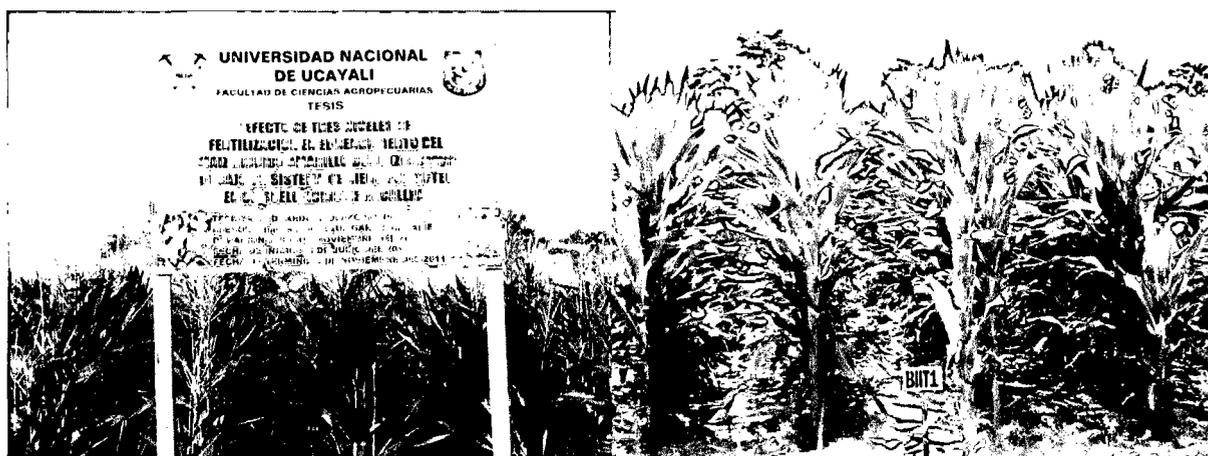


Figura 13. Campo experimental.



Figura 14. Evaluación de parámetros.

