

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMIA

Departamento Académico de Ciencias Agrarias



**FERTILIZACIÓN BALANCEADA DEL MAÍZ (*Zea mays* L.)
HÍBRIDO XB 8010 EN UN SUELO RESIDUAL**

TESIS

Para optar al título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Jhon VIVANCO ANDÍA

Promoción I - 2006

TINGO MARÍA - PERÚ

2011



F04

V77

Vivanco Andía, Jhon

Fertilización balanceada del Maíz (*Zea mays* L.) híbrido XB 8010 en un suelo residual. Tingo María 2011.

58 h.; 21 cuadros; 5 fgrs.; 19 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Agronomía.

MAÍZ / HÍBRIDO XB 8010 / FERTILIZACIÓN BALANCEADA /
SUELO RESIDUAL / RENDIMIENTO RELATIVO / MICROELEMENTOS
/TINGO MARÍA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUÁNUCO / PERÚ.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Av. Universitaria Km 1.5 Telf. (062)562341 (062)561136 Fax. (062)561156 E.mail:
fagro@unas.edu.pe.

COMISIÓN DE TESIS Y EXAMEN PROFESIONAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 005/2010-FA-UNAS

BACHILLER : VIVANCO ANDÍA, JHON

TÍTULO : "FERTILIZACIÓN BALANCEADA DEL MAÍZ
(Zea mays) HIBRIDO XB 8010, EN EL SUELO RESIDUAL"

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : ING. M.Sc. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
VOCAL : ING. M.Sc. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLORIZANO
VOCAL : ING. M.Sc. DAVID GUARDA SOTELO
ASESOR : ING. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA

FECHA DE SUSTENTACIÓN : MIERCOLES 01 DE DICIEMBRE DEL 2010

HORA DE SUSTENTACIÓN : 3:15 PM

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA DE GRADOS DE LA UNAS

CALIFICATIVO : BUENO

RESULTADO : APROBADO


OBSERVACIONES AL ACTA : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARIA, 04 DE DICIEMBRE DE 2010


.....
ING. M.Sc. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
PRESIDENTE




.....
ING. M.Sc. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLORIZANO
VOCAL


.....
ING. M.Sc. DAVID GUARDA SOTELO
VOCAL


.....
ING. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA
ASESOR

DEDICATORIA

A mi querida madre CIRILA, con infinito amor, cariño y entorno gratitud por su invaluable apoyo y constante orientación para lograr mi carrera profesional.

A mi querido padre FELIPE, a mis hermanos, Raúl, Martha, Nelly, Rocío y Kelly con cariño y amor por el apoyo y sacrificio.

A mi hermano mayor Javier C., que en paz descansa, que en vida fue un ejemplo para mí y que siempre lo recordaré por sus frases; recuerdo una de ellas: "El que estudia triunfa".

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y docentes de la Facultad de Agronomía que contribuyeron en la formación de mi carrera profesional.
- A la Cooperativa Agraria Frutos Ecológicos Sanchirio Palomar Chanchamayo por el apoyo en la realización del presente trabajo de investigación.
- A los miembros del jurado: Ing° M.Sc. José ZAVALA SOLÓRZANO, Ing° M.Sc. David GUARDA SOTELO e Ing° M.Sc. Hugo HUAMANÍ YUPANQUI.
- Al Ing°. Luis MANSILLA MINAYA, asesor, por su colaboración, y valiosa orientación para la culminación del presente trabajo de investigación.
- Al Ing°. Ángel QUISPE JANAMPA por su amistad y apoyo desinteresado durante la ejecución del trabajo.
- Al técnico agropecuario Jesús QUEZADA AZAÑERO por su ayuda en la ejecución del presente trabajo.
- A mis compañeros de estudio de la promoción 2002 – I de la Facultad de Agronomía.
- A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera me brindaron su apoyo y colaboración en la realización del presente trabajo.

INDICE GENERAL

| | Pag. |
|--|-------------|
| I. INTRODUCCION | 9 |
| II. REVISION DE LITERATURA | 11 |
| 2.1 Ciclo vegetativo del maíz | 12 |
| 2.2 Exigencias edafoclimáticas | 13 |
| 2.3 Requerimientos nutricionales | 14 |
| 2.4 Fertilización balanceada | 20 |
| 2.5 Rendimiento relativo | 23 |
| 2.6 Experiencias locales con el híbrido XB 8010 | 25 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 27 |
| 3.1 Ubicación del experimento | 27 |
| 3.2 Historial del campo | 27 |
| 3.3 Registros meteorológicos e interpretación | 28 |
| 3.4 Analisis físico químico del suelo e interpretación | 29 |
| 3.5 Componentes en estudio | 29 |
| 3.6 Tratamientos en estudio | 29 |
| 3.7 Materiales | 31 |
| 3.8 Diseño experimental | 32 |
| 3.9 Características del campo experimental | 33 |
| 3.10 Ejecución del experimento | 34 |
| 3.11 Observaciones efectuadas | 36 |
| 3.12 Evaluaciones efectuadas | 37 |

| | | |
|-------|---|----|
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 39 |
| | 4.1 Caracterización de la fertilidad del suelo | 39 |
| | 4.2 Rendimiento de grano | 41 |
| | 4.3 Altura de planta | 44 |
| | 4.4 Longitud y diámetro de mazorca | 49 |
| | 4.5 Peso de 100 granos y porcentaje de desgrane | 49 |
| | 4.6 Evaluación económica | 50 |
| V. | CONCLUSIONES | 52 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 53 |
| VII. | RESUMEN | 54 |
| VIII. | BIBLIOGRAFÍA | 55 |
| IX. | ANEXO | 58 |

INDICE DE CUADROS

| Cuadro | | Pag. |
|--------|---|------|
| 1. | Datos meteorológicos registrados durante el periodo experimental (abril a setiembre, 2006)..... | 27 |
| 2. | Resultados de los análisis físico químicos realizados en el suelo experimental | 29 |
| 3. | Descripción de los tratamientos | 29 |
| 4. | Esquema del análisis de variancia | 32 |
| 5. | Rendimiento relativo de cada tratamiento en estudio | 39 |
| 6. | ANVA del rendimiento de grano del maíz híbrido XB 8010 | 40 |
| 7. | Efecto de elementos faltantes en el rendimiento de grano del maíz híbrido XB 8010 (Duncan, $\alpha = 0,05$) | 42 |
| 8. | ANVA de la altura de planta del maíz híbrido XB 8010 | 43 |
| 9. | Efecto de elementos faltantes en la altura de planta del maíz híbrido XB 8010 (Duncan, $\alpha = 0,05$) | 44 |
| 10. | Resumen del ANVA de la longitud y diámetro de mazorca del maíz híbrido XB 8010 | 46 |
| 11. | Efecto de elementos faltantes en la longitud y diámetro de mazorca del maíz híbrido XB 8010 (Duncan, $\alpha = 0,05$) | 47 |
| 12. | Resumen del ANVA del peso de 100 granos y porcentaje de desgrane del maíz híbrido XB 8010 | 48 |
| 13. | Efecto de elementos faltantes en el peso de 100 granos y porcentaje de desgrane del maíz híbrido XB 8010 (Duncan, $\alpha = 0,05$) | 49 |

| | | |
|-----|---|----|
| 14. | Análisis de rentabilidad de los tratamientos en estudio de la fertilización del cultivo de maíz híbrido XB 8010 | 50 |
| 15. | Resultados originales del rendimiento del maíz..... | 58 |
| 16. | Resultados originales de la altura de planta del maíz..... | 58 |
| 17. | Resultados originales de la longitud de mazorca | 59 |
| 18. | Resultados originales del diámetro de mazorca | 59 |
| 19. | Resultados originales del peso de 100 granos | 60 |
| 20. | Resultados originales del porcentaje de desgrane | 60 |
| 21. | Cuadro descriptivo de los tratamientos, cantidades de nutrientes y de fertilizantes aplicados por hectárea | 61 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura | | Pag. |
|---------------|---|-------------|
| 1. | Rendimiento relativo del maíz por efecto de la fertilización balanceada | 39 |
| 2. | Croquis del campo experimental | 58 |
| 3. | Detalle de una parcela experimental | 58 |
| 4. | Medición de longitud de mazorcas: tratamiento completo | 61 |
| 5. | Medición de longitud de mazorcas: tratamiento sin N | 61 |

I. INTRODUCCION

Tradicionalmente, las recomendaciones de abonamiento han estado basadas en la aplicación de los tres elementos mayores primarios, es decir, el N, P y K. Sin embargo, el uso continuo de los suelos sin reposición de nutrientes, los procesos erosivos, las elevadas temperaturas y fuertes precipitaciones, entre otros, trae como consecuencia su agotamiento, principalmente en aquellos nutrientes que no son aportados normalmente con los fertilizantes, tales como Ca, Mg, S y micro elementos, agotamiento que puede manifestarse en el rendimiento de los cultivos y que es necesario evaluar.

Un buen rendimiento de maíz requiere que el suelo este bien abastecido de elementos nutritivos y para ello es necesario utilizar un buen programa de fertilización balanceada; es decir, se requiere nitrógeno (N) y fósforo (P) además de una abundante cantidad de potasio (K), calcio (Ca) magnesio (Mg) azufre (S) y micro nutrientes.

Se espera entonces, que una fertilización más balanceada mejore el rendimiento del maíz. Teniendo en cuenta estos aspectos se planteó el presente trabajo experimental cuyos objetivos fueron:

- 1) Determinar los elementos nutritivos limitantes del rendimiento del maíz en el suelo en estudio.
- 2) Determinar el efecto de la fertilización nitrogenada, fosforada, potásica y magnésico-azufrada en el crecimiento y rendimiento del maíz en un suelo residual ácido.

- 3) Evaluar el índice de rentabilidad de la fertilización nitrogenada, fosforada, potásica y magnésico-azufrada, en el cultivo de maíz.

I. REVISION DE LITERATURA

La respuesta de los cultivos a la fertilización depende de diversos factores entre los que se puede mencionar a la fenología del cultivo, estrechamente relacionada con las épocas de abonamiento, la adaptabilidad del cultivo a las condiciones edafo-climáticas, nivel de fertilidad del suelo y un buen balance de nutrientes y el manejo entre otros.

2.1 Ciclo vegetativo del maíz

La fenología es importante por cuanto va a determinar las épocas apropiadas de aplicación de los fertilizantes. En el caso del maíz, el ciclo vegetativo comprende la nacencia, el crecimiento, floración, fructificación, la maduración y secado.

La nacencia comprende el período transcurrido desde la siembra hasta la aparición del coleoptilo, cuya duración aproximada es de 6 a 8 días. El crecimiento implica la aparición de una nueva hoja cada tres días una vez nacido el maíz, si las condiciones son normales. A los 15-20 días siguientes a la nacencia, la planta debe tener ya cinco o seis hojas, y en las primeras 4-5 semanas la planta deberá tener formadas todas sus hojas. Hasta esta etapa ya debe haberse realizado el abonamiento completo.

La floración se presenta a los 25-30 días de la siembra y transcurridas 4 a 6 semanas se inicia la liberación del polen y el alargamiento de los estilos. La emisión de polen dura de 5 a 8 días, pudiendo surgir problemas si las temperaturas son altas o se provoca en la planta una sequía por falta de riego o lluvias.

Con la fecundación se inicia la fructificación; los estilos o sedas de la mazorca, cambian de color al castaño y transcurrida la tercera semana después de la polinización, la mazorca toma el tamaño definitivo, se forman los granos y aparece en ellos el embrión. Los granos se llenan de una sustancia lechosa, rica en azúcares, los cuales se transforman al final de la quinta semana en almidón.

Hacia el final de la octava semana después de la polinización, el grano alcanza su máximo de materia seca, pudiendo entonces considerarse que ha llegado a su madurez fisiológica. Entonces suele tener alrededor del 35% de humedad. A medida que va perdiendo la humedad se va aproximando el grano a su madurez comercial, influyendo en ello más las condiciones ambientales de temperatura y humedad que las características varietales.

2.2 Exigencias edafoclimáticas

El maíz se adapta a muy diferentes suelos, prefiriendo valores de pH entre 6 y 7, pero se adapta a condiciones de mayor acidez y alcalinidad e incluso se da en terrenos calizos, siempre que el exceso de cal no implique el bloqueo de microelementos (INFOAGRO.COM, 2010).

Requiere temperaturas relativamente elevadas durante su ciclo vegetativo. En la fase de crecimiento, la temperatura ideal se encuentra entre 24 y 30°C. Por encima de los 30°C disminuye la capacidad de absorción de agua por las raíces. Si las temperaturas son excesivas durante la emisión de polen y alargamiento de los estilos se pueden afectar los rendimientos.

El maíz tiene fuertes necesidades de agua; las mayores necesidades corresponden a la época de la floración, comenzando 15 ó 20 días antes de ésta, período crítico de necesidades de agua.

2.3 Requerimientos nutricionales

En una publicación sobre el manejo de la fertilización del maíz, GARCÍA (2007) menciona que las necesidades nutricionales del cultivo se definen de acuerdo al nivel de rendimiento a alcanzar, y que para producir 12 t ha^{-1} el cultivo absorbe aproximadamente 264, 48 y 48 kg de N, P y K. Seguidamente se muestra los requerimientos (absorción total por el cultivo) y la extracción del grano de los nutrientes esenciales para producir una tonelada de grano de maíz, información según el mismo autor, de numerosas referencias.

| Nutriente | Requerimiento | Índice de cosecha | Extracción |
|------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Nitrógeno | 22 kg t ⁻¹ | 0,66 | 14,5 kg t ⁻¹ |
| Fósforo | 4 kg t ⁻¹ | 0,75 | 3,0 kg t ⁻¹ |
| Potasio | 19 kg t ⁻¹ | 0,21 | 4,0 kg t ⁻¹ |
| Calcio | 3 kg t ⁻¹ | 0,07 | 0,2 kg t ⁻¹ |
| Magnesio | 3 kg t ⁻¹ | 0,28 | 0,8 kg t ⁻¹ |
| Azufre | 4 kg t ⁻¹ | 0,45 | 1,8 kg t ⁻¹ |
| Boro | 20 g t ⁻¹ | 0,25 | 5,0 g t ⁻¹ |
| Cloro | 444 g t ⁻¹ | 0,06 | 27,0 g t ⁻¹ |
| Cobre | 13 g t ⁻¹ | 0,29 | 4,0 g t ⁻¹ |
| Hierro | 125 g t ⁻¹ | 0,36 | 45,0 g t ⁻¹ |
| Manganeso | 189 g t ⁻¹ | 0,17 | 32,0 g t ⁻¹ |

| | | | |
|-----------|----------------------|------|------------------------|
| Molibdeno | 1 g t ⁻¹ | 0,63 | 1,0 g t ⁻¹ |
| Zinc | 53 g t ⁻¹ | 0,50 | 27,0 g t ⁻¹ |

Asimismo, GARCÍA (2007) presenta las cantidades requeridas y extraídas de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), los tres nutrientes más comúnmente deficitarios en los suelos, para tres niveles de producción.

| Rendimiento kg ha ⁻¹ | Absorción en planta | | | Extracción en grano | | |
|------------------------------------|---------------------------------|----|----|---------------------------------|----|----|
| | N | P | S | N | P | S |
| | ----- kg ha ⁻¹ ----- | | | ----- kg ha ⁻¹ ----- | | |
| 9000 | 198 | 36 | 36 | 131 | 27 | 16 |
| 12000 | 264 | 48 | 48 | 174 | 36 | 22 |
| 15000 | 330 | 60 | 60 | 218 | 45 | 27 |

Nitrógeno

El N es parte de las proteínas y la clorofila y necesaria para la fotosíntesis. Se estima que en promedio se necesitan de 17 a 23 kg N t⁻¹ de grano, y que más de 110 kg ha⁻¹ son requeridos durante los primeros 50 días, llegando el requerimiento hasta 4 kg ha⁻¹día⁻¹ en los picos de absorción. Las tasas de absorción varían entre híbridos (MELGAR y TORRES, 2006). Estos autores señalan que el maíz requiere de 20 a 25 kg de N por cada tonelada de grano producido y que la oferta del terreno (N en el suelo + N del fertilizante) debería satisfacer esa necesidad, sin considerar la eficiencia de la fertilización.

Asimismo, citan a diversos autores en relación al momento de aplicación y fuentes y formas de aplicación.

a) Momento de aplicación

La tasa de absorción de N es baja en los estados iniciales de desarrollo hasta el V5-6 (estado de 5-6 hojas desarrolladas). A partir de V5-6, que ocurre de 30-50 días después de la emergencia, la tasa de absorción y demanda de N se incrementa marcadamente. Por esta razón, la aplicación en este estado o poco antes ha sido reportada como la de mayor eficiencia de uso de N. A la floración el cultivo acumula del 55-65% del N total absorbido hasta la cosecha.

b) Fuentes y forma de aplicación

La eficiencia de uso de N de distintas fuentes nitrogenadas es similar cuando los fertilizantes son incorporados. Aplicaciones superficiales de N pueden resultar en pérdidas por volatilización de amoníaco cuando se utiliza urea o fuentes que contengan urea. Estas pérdidas dependen del contenido de agua del suelo y de la temperatura; las mayores pérdidas ocurren con contenidos de humedad cercanos a capacidad de campo y temperaturas de 25°C o superiores. Bajo siembra directa las pérdidas por volatilización son mayores que bajo cultivo en limpio debido principalmente a la mayor actividad ureásica de los residuos. La inmovilización/intercepción del N por los residuos bajo siembra directa representa una pérdida de N común a todos los fertilizantes nitrogenados con aplicaciones superficiales. Se ha encontrado que los efectos sobre el rendimiento de las pérdidas de N debidas a la intercepción

del fertilizante por el residuo y/o a la inmovilización microbiana en aplicaciones superficiales de fertilizantes nitrogenados sobre el rastrojo bajo siembra directa, pueden ser de igual o mayor magnitud que las pérdidas por volatilización.

Fósforo

Es esencial para el crecimiento vigoroso de las raíces y la parte aérea y es necesario para el almacenamiento y transferencia de energía en la planta. Adelanta la madurez y disminuye la humedad del grano a la cosecha. Es poco móvil en el suelo pero tiene una dinámica muy compleja. En un artículo sobre Manejo de la Fertilización en maíz, MELGAR y TORRES (2006) indican que el cultivo puede tomar más de 110 kg ha^{-1} , y citan diversos autores en relación con los temas de momentos de aplicación así como fuentes y formas de aplicación.

a) Momento de aplicación

La acumulación de P antecede a la de materia seca, de modo que a la floración más del 70% del P total ya fue absorbido, mientras que la acumulación de materia seca es de menos del 50% del total. La absorción temprana de P y su dinámica en el suelo resultan en la necesidad de que él se encuentre disponible en etapas iniciales de desarrollo.

La aplicación de los fertilizantes fosfatados debe hacerse a la siembra o antes de la siembra de manera tal que el P esté disponible para el cultivo desde la implantación. La reducida movilidad del ión ortofosfato y la retención (fijación, adsorción e inmovilización) del fertilizante fosfatado en el suelo requieren de la aplicación localizada del mismo, especialmente en suelos de

bajo contenido de P disponible y alta capacidad de fijación. Sin embargo, en ensayos realizados bajo siembra directa se han encontrado eficiencias de uso del P aplicado similares para aplicaciones al voleo anticipadas, y aplicaciones en bandas a la siembra. En ensayos realizados en cultivos de maíz bajo SD, la aplicación en bandas superó a la aplicación al voleo en suelos con bajo nivel de P disponible, mientras que con niveles medios de P no se observaron diferencias entre formas de aplicación. Se ha encontrado respuestas a P con aplicaciones al voleo anticipadas y en la línea de siembra en un suelo con 13 ppm P Bray.

b) Fuentes y forma de aplicación

Entre las fuentes de P, los fosfatos diamónico y monoamónico tienen la ventaja sobre el superfosfato triple al presentar N-NH₄ en su composición, por los efectos benéficos de la interacción amonio-fosfato. Sin embargo, estas diferencias entre fuentes fosfatadas no suelen observarse en campo cuando se igualan las dosis de N aplicadas.

Potasio

Un cultivo de maíz de 10 t ha⁻¹ toma más de 100 kg de K. La mayor disponibilidad de N incrementa las necesidades de potasio. Entre los beneficios del K en el crecimiento de los cultivos se menciona que reduce la incidencia de enfermedades, ayuda a tolerar el stress de humedad e incrementa la eficiencia de uso del agua (MELGAR y TORRES (2006)).

Magnesio

Es parte de la clorofila por lo que está involucrado en la fotosíntesis. Activa muchos sistemas enzimáticos. Un cultivo de alta producción toma 30 kg ha⁻¹ o más (MELGAR y TORRES, 2006).

Azufre

Es parte de muchos aminoácidos y por lo tanto de proteínas. Puede incrementar la eficiencia del uso de N y P. Un cultivo de alta producción toma más de 30 kg ha⁻¹. La planta toma el S en forma de sulfato (GARCIA, 2007).

La dinámica del S en el suelo es muy similar a la de N; en ambos casos la materia orgánica es la principal reserva en el suelo y la disponibilidad de nitratos o sulfatos para las plantas depende de la mineralización de la fracción orgánica. En general, las deficiencias de S se observan en situaciones de bajo contenido original de materia orgánica, y en situaciones en las que los niveles de materia orgánica disminuyeron a través de los años debido al laboreo continuo de los suelos. El mismo autor indica que últimamente se ha observado respuesta a la fertilización azufrada en muchos cultivos (maíz, soja, trigo, canola, alfalfa, pasturas) y que las respuestas a S se observan cuando se han cubierto las deficiencias de los otros nutrientes, principalmente N y P. Las respuestas a la aplicación de S se relacionan con el bajo nivel de materia orgánica del suelo (< 2 – 2,5%), disponibilidad de S y a los altos rendimientos. También se observan respuestas en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua y con cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada.

Micronutrientes

Son importantes en el crecimiento inicial de la planta por lo que las deficiencias se observan rápidamente en plantas jóvenes. En suelos ácidos tropicales, el zinc (Zn) es generalmente el más limitante conjuntamente con el boro (B). El balance entre K y el boro (B) es importante, mientras que una alta disponibilidad de P puede limitar la absorción de Zn, Cu y Mn. La severidad de las deficiencias puede variar entre híbridos. Si el objetivo es la producción rentable de maíz, la nutrición balanceada mejora la rentabilidad de su producción (YAMADA, 2004).

2.4 Fertilización balanceada

Las plantas para su crecimiento y desarrollo requieren de muchos elementos, habiéndose establecido la esencialidad de 16 nutrientes, que han sido clasificados como macro y micronutrientes, según las cantidades absorbidas o requeridas por los cultivos; cada elemento es requerido en diferentes cantidades y cada uno tiene una función diferente.

Sin embargo, tradicionalmente las fórmulas de abonamiento sólo han incluido hasta tres elementos mayores primarios (N, P y K), y debido a que el efecto inmediato de la aplicación de N en el rendimiento es altamente atractivo para los agricultores, en las décadas de 1960 a 1980, la demanda mundial de este elemento se incrementó mucho más rápidamente que la del P y K, que hasta esa época eran los tres elementos mayores únicamente considerados en la práctica del abonamiento. A partir de 1990, en países de alto consumo de fertilizantes, las relaciones N:P:K se estabilizaron y la demanda de nutrientes

como el S, Mg y micronutrientes se incrementaron rápidamente en respuesta a las crecientes deficiencias de estos nutrientes y al mayor conocimiento del papel de estos en la nutrición de los cultivos, apareciendo el concepto de “fertilización balanceada” (LUC y HEFFER, 2007).

Este concepto de nutrición o fertilización balanceada que se viene manejando desde hace buen tiempo, considera básicamente las cantidades absorbidas por los cultivos (AGROESTRATEGIAS, 2008) y vendría a ser una aplicación de la Ley del Mínimo de Justus von Liebig, que implica que el rendimiento de un cultivo estará limitado por el nutriente que se encuentra en cantidad insuficiente en el suelo, aun disponiendo de los otros en cantidades suficientes (TISDALE y NELSON, 1970).

De este modo, LASCANO-FERRAT (1995) indican que “la fertilización balanceada provee los nutrientes suficientes y en las proporciones adecuadas para un crecimiento, desarrollo, diferenciación y maduración óptimos del cultivo, de modo que con un buen clima y manejo, permitirá la máxima expresión de su potencial genético”. Según los mismos autores, la fertilización balanceada no sólo implica ello, sino que también es conveniente aplicarlos en el momento apropiado.

Causas de las deficiencias de nutrientes en los suelos

Los suelos pueden ser naturalmente deficientes en muchos suelos. Sin embargo, en suelos cultivados, las deficiencias son producto de un uso intensivo sin restitución de los nutrientes extraídos. En el caso del N, se pueden producir pérdidas por erosión, mineralización excesiva de la materia orgánica,

desnitrificación, volatilización en forma de amoníaco, inmovilización y lixiviación. El P por su parte, está sujeto a procesos de reducción de su disponibilidad por reacciones con sesquióxidos de Fe, Al y Mn en suelos ácidos y por su reversión a formas poco solubles en suelos alcalinos. Mientras tanto, en el caso del K los suelos pueden ser pobres por falta de minerales portadores de este catión, por lavado debido a intensas precipitaciones o por antagonismo con otros cationes (TISDALE y NELSON, 1970)

En relación al azufre, MELGAR y TORRES (2006) indican que en los últimos años se han presentado evidencias de incrementos del rendimiento del maíz por la fertilización con azufre, esperándose mayores posibilidades de respuesta en variedades con alto potencial de rendimiento, en suelos con contenidos de sulfatos menores a 5 ppm, así como en suelos degradados, con baja materia orgánica o textura gruesa. Añaden que las respuestas son de 10 a 12 kg de grano kg^{-1} de S aplicado por hectárea con dosis de 5 a 15 kg S ha^{-1} como sulfato.

En una revisión sobre el manejo del azufre en arroz, DOBERMANN y FAIRHURST (2005) indican que la deficiencia de S puede presentarse por el poco contenido de S disponible en el suelo debido a su agotamiento por sistemas de cultivos intensos, por el uso de fertilizantes de alta pureza y que no contienen S como es el caso de la urea, superfosfato triple y cloruro de potasio, a los bajos niveles de contaminación industrial del aire y del agua así como a las pérdidas de materia orgánica de los suelos, sea por erosión o por la quema. Afirman asimismo, que los suelos particularmente susceptibles a deficiencias de S son aquellos que contienen alofana (Andisols), aquellos con bajos

contenidos de materia orgánica, los suelos arenosos fácilmente lixiviables y aquellos altamente meteorizados que contienen grandes cantidades de óxidos de Fe.

DOBERMANN y FAIRHURST (2005) consideran que una de las formas de prevenir las deficiencias de S es mediante el uso de fertilizantes que contengan este elemento como el sulfato de amonio, superfosfato simple o sulfato de potasio, entre otros, que son a la vez fuentes de N, P y K. Se sabe asimismo, que existen en el mercado otros fertilizantes que contienen S como la urea recubierta con S que contiene 30 – 40% N y 6 – 30% S, y que es de acción lenta.

Se estima según estos autores, que en suelos donde se presente moderada deficiencia de S es suficiente la aplicación de 10 kg S ha⁻¹ mientras que en suelos con severas deficiencias se debe aplicar de 20 a 40 kg S ha⁻¹, cantidad suficiente para lograr altos rendimientos.

2.5 Rendimiento relativo

El rendimiento relativo o porcentaje de rendimiento es definido por WAUGH *et al.*, (1973) como el rendimiento sin el nutriente bajo estudio como un porcentaje del rendimiento máximo. Al utilizar este concepto se supone que es una respuesta del rendimiento a un solo nutriente cuando los otros nutrientes han sido suministrados en cantidades adecuadas pero no excesivas y cuando otras variables se mantienen constantes. La principal justificación para su uso es que siendo una proporción en lugar de una cantidad absoluta, es posible comparar el rendimiento relativo de sitios diferentes. En la ecuación

que se presenta seguidamente se incluye el concepto de “Rendimiento máximo estable” que es el máximo donde el rendimiento se estabiliza cuando el nutriente bajo estudio deja de ser el principal factor limitante.

$$\text{Rendimiento relativo (\%)} = \frac{\text{Rendimiento con el nutriente X al mínimo}}{\text{Rendimiento máximo estable para X}} \times 100$$

Esto significa que cuando el rendimiento con el nutriente al mínimo es bajo comparado con el rendimiento completo, obviamente existe una respuesta alta en el rendimiento debida a la adición del nutriente bajo estudio. Por otra parte, se obtiene un rendimiento relativo elevado cuando los dos rendimientos son similares, o sea que se obtiene poca respuesta a la adición del nutriente cuando el rendimiento con el nutriente al mínimo está cerca del rendimiento máximo estable.

Este concepto ha sido utilizado a nivel nacional para caracterizar o establecer el status nutricional de los suelos, es decir, para determinar qué nutrientes se encuentran en estado de deficiencia en ellos, como es el caso de PALOMINO (1988) en suelos de Huamanga, Ayacucho y HUAMANÍ y MANSILLA (1995) en suelos del Alto Huallaga. Ello no es sino la aplicación de la técnica del elemento faltante que utilizó MARTINI (1969) para caracterizar el estado nutricional de los suelos de Costa Rica y que según este autor, se aplica desde 1849 en estudios de campo e invernadero. En esta técnica, se aplican todos los nutrientes menos el elemento que se desea investigar y se adecúa a condiciones de invernadero donde el volumen de suelo es pequeño y los síntomas de deficiencias nutricionales suelen aparecer con facilidad, así

como en condiciones de campo de suelos pobres, donde las deficiencias y desbalances nutricionales son comunes.

2.6 Experiencias locales con el híbrido XB - 8010

URQUÍA (2004) con el híbrido XB 8010 en dos suelos aluviales de Tingo María halló rendimientos de 7 370 y 8 529 kg ha⁻¹, con pesos de 100 semillas de 34,82 y 33,76 g en las localidades de Afilador y Tulumayo respectivamente. Los suelos en los que se condujeron los experimentos tuvieron valores de pH de 5,1 y 5,3 con niveles medios de materia orgánica y bajos a medios de P y K disponibles. En términos generales el rendimiento estuvo relacionado con el nivel de fertilidad del suelo. Asimismo, se obtuvieron valores de longitud de 19,36 y 18,74 cm y diámetro de mazorca de 5,09 y 5,07 cm en las localidades de Afilador y Tulumayo, respectivamente. Las fórmulas de abonamiento empleadas fueron de 200 – 100 – 120 en Afilador y 180 – 100 – 100 en Tulumayo.

ROJAS (2005), en un trabajo de similares características sobre densidades de siembra en las localidades de Afilador y Naranjillo y con el mismo híbrido y niveles de abonamiento de 180 – 70 – 80, obtuvo rendimientos que variaron de 9 400 a 9 960 kg ha⁻¹ en la localidad de Afilador y de 6 510 a 7 250 kg ha⁻¹ en Naranjillo. La altura de planta varió en general de 2,04 a 2,09 m, la longitud de mazorca en Afilador alcanzó 17,60 a 18,30 y en Naranjillo de 16,80 a 17,20 y el diámetro en general fue de 4,83 a 5,08.

MARROQUÍN (2003) en un ex cocal degradado residual de pH 4,3 y baja fertilidad con 40% de saturación de aluminio intercambiable obtuvo con la

variedad Marginal 28 - T, rendimientos de 2 544 kg ha⁻¹ con un nivel de abonamiento de 160 - 150 - 110 y 1 009 kg ha⁻¹ con el testigo. Comparativamente, URQUÍA (2004) con la misma variedad obtuvo rendimientos de grano de 6 074 y 5 921 kg ha⁻¹ en suelos aluviales, con niveles de abonamiento de 200 - 100 - 120 en Afilador y 180 - 100 - 100 en Tulumayo, evidenciándose la calidad de los suelos en los rendimientos.

II. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento fue conducido entre los meses de abril a setiembre del 2007, en un suelo residual ácido, ubicado en la localidad de Santa Rosa Yapaz a 1618 msnm y a 20 km de la ciudad de Santa Ana, distrito del Perené, provincia de Chanchamayo del departamento de Junín, cuyas coordenadas en UTM son las siguientes:

| | | |
|-----|---|-----------------|
| 18L | : | 0478029 m Este |
| | : | 8799894 m Norte |

3.2 Historial del campo

El terreno en el que fue conducido el experimento presentó la siguiente secuencia de cultivos:

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| 2001- 2002 | Cultivo de piña |
| 2003 | Cultivo de yuca |
| 2004 - 2005 | Cultivo de plátano |
| 2006 | Purma |
| 2007 | Conducción del presente experimento. |

3.3 Registros meteorológicos e interpretación

Los datos meteorológicos correspondientes al período del experimento (Cuadro 1) fueron obtenidos de la Estación Meteorológica del Centro Internacional de la Papa (CIP) de San Ramón - Chanchamayo. La información

muestra temperaturas que variaron entre 14,1 y 15,3 °C (mínima) y 23,9 a 25,5°C (máxima) con temperaturas medias de 18,9 a 20,3°C y que se encuentran dentro del rango aceptable por el cultivo, así como la humedad relativa fluctuante entre 82,6% (mes de julio) y 86,5% (mes de abril). La precipitación acumulada de cada mes varió desde 40,5 mm (mes de junio) a 110,1 mm (mes de abril).

Cuadro 1. Datos meteorológicos registrados durante el periodo experimental (abril – julio 2007)

| Meses | Temperatura (°C) | | | Precipitación pluvial (mm) |
|--------------|-------------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|
| | Mínima | Máxima | Media | |
| Abril | 15,3 | 24,9 | 20,1 | 110,1 |
| Mayo | 14,6 | 25,5 | 20,0 | 51,1 |
| Junio | 13,9 | 23,9 | 18,9 | 40,5 |
| Julio | 14,1 | 26,4 | 20,3 | 81,6 |

Fuente: Estación Meteorológica del CIP – San Ramón, Chanchamayo. 2007

El área de estudio correspondería a una zona de bosque húmedo pre montano tropical (bh – PT), caracterizado por temperaturas medias anuales de 17 – 25°C, y precipitaciones medias anuales de 936 – 1 968 mm que se presenta a altitudes de 500 a 2 000 msnm (OEA. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, 1987).

3.4 Análisis físico – químico del suelo e interpretación

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; los resultados que se muestran en el Cuadro 2, indican una textura media a fina (franco a franco arcillo limoso), reacción fuertemente ácida, un contenido medio de materia orgánica y N total y bajo en P y en K disponibles. La CICe es muy baja con bajo porcentaje de saturación de bases.

3.5 Componentes en estudio

Cultivo

Maíz (*Zea mays* L.) híbrido XB 8010.

Elementos faltantes

Se compararon tratamientos completos con aquellos a los que se les dejó de aplicar un elemento en estudio.

3.6 Tratamientos en estudio

Los tratamientos en estudio, se presentan en el Cuadro 3, y las cantidades de cada elemento en el Anexo (Cuadro 21).

Cuadro 2. Resultados de los análisis de caracterización realizados en el suelo experimental

| Características | Valores | | | | Método |
|---|---------|----------|-----------|----------|-----------------------------------|
| | Block I | Block II | Block III | Block IV | |
| Análisis físico | | | | | |
| Arena (%) | 26 | 28 | 32 | 32 | |
| Limo (%) | 50 | 40 | 44 | 46 | Bouyoucos |
| Arcilla (%) | 24 | 32 | 24 | 22 | |
| Clase textural (%) | Fr Lo | Fr Ar Lo | Fr | Fr | Triángulo textural |
| Análisis químico | | | | | |
| pH (en H ₂ O 1:1) | 4,7 | 4,6 | 4,6 | 4,4 | Potenciómetro |
| Materia orgánica (%) | 3,9 | 2,9 | 2,7 | 2,7 | Walkley-Black |
| Nitrógeno total (%) | 0,18 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | %N = % MO x 0,045 |
| Fósforo disponible (ppm P) | 5,7 | 5,9 | 6,1 | 6,1 | Olsen |
| Potasio disponible (kg K ₂ O/ha) | 159 | 142 | 124 | 126 | H ₂ SO ₄ 6N |
| CIC e (meq/100 g suelo) | 5,6 | 5,1 | 4,3 | 4,8 | KCl 1N |
| Ca (meq/100 g suelo) | 3,1 | 3,1 | 2,1 | 2,1 | EAA |
| Mg (meq/100 g suelo) | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | EAA |
| Al ⁺⁺⁺ + H ⁺ (meq/100g suelo) | 2 | 1,8 | 1,9 | 2,5 | Yuan |
| Sat. Acidez Cambiable (%) | 35,71 | 35,29 | 44,19 | 52,08 | AC x 100 / CICe |

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Plantas de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos

| Clave | Descripción | Nutrientes | | | | | |
|----------------|---------------------|------------|----|----|-----|----|------------|
| | | N | P | K | Mg | S | |
| T ₁ | Completo | N | P | K | Mg | S | |
| T ₂ | Todos menos N | -- | P | K | Mg | S | |
| T ₃ | Todos menos P | N | -- | K | Mg | S | |
| T ₄ | Todos menos K | N | P | -- | Mg | S | |
| T ₅ | Todos menos Mg y S | N | P | K | --- | -- | |
| T ₆ | Completo + Cal | N | P | K | Mg | S | Cal |
| T ₇ | Completo + Cal + EM | N | P | K | Mg | S | Cal B + Zn |
| T ₈ | Testigo absoluto | -- | -- | -- | --- | -- | ----- |

3.7 Materiales

Semilla.- Se utilizó semilla certificada y garantizada, del híbrido doble XB 8010 proveniente de la empresa AGRHICOL S.A. Sus principales características son:

- Tipo de híbrido : Doble
- Altura de planta : 2,20 m.
- Inserción de mazorca : 0,90 m
- Longitud de mazorca : 17 cm.
- N° granos / hilera : 36
- N° hileras / mazorca : 12 – 14 hileras
- Peso de 1000 granos : 365 g
- Relación grano / coronta : 84 / 16
- Diámetro de coronta : 2,77 cm

- Días a la cosecha : 135 – 150 días (invierno)
120 – 125 días (verano)
- Densidad de plantas : 70 000 – 78 000

Fertilizantes.- Se utilizaron los fertilizantes inorgánicos:

- Urea (46 – 0 – 0)
- Superfosfato triple (0 – 46 – 0)
- Cloruro de potasio (0 – 0 – 60)
- Sulfato de amonio (21 – 0 – 0 – 24 S)
- Sulfato de potasio (0 – 0 – 50 – 18 S)
- SulPoMag (0 – 0 – 22 – 11 Mg – 22 S)
- Cal agrícola
- Sulfato de magnesio heptahidratado 16,8% MgO; 13% S
- Zinc Mix (22 % Zn)
- Solubor (17,5 % B)

3.8 Diseño experimental

Las unidades experimentales fueron dispuestas en un diseño de bloques completos al azar (D.B.C.A), con 8 tratamientos y 4 repeticiones, haciendo un total de 32 unidades experimentales. La significación estadística entre medias de los tratamientos en estudio se determinó con la prueba de Duncan con un nivel de significación de 0,05 de probabilidad. El esquema del análisis de variancia fue el siguiente:

Cuadro 4. Esquema del análisis de varianza

| Fuentes de variación | GL |
|-----------------------------|-----------|
| Bloques | 3 |
| Tratamientos | 7 |
| Error experimental | 21 |
| Total | 31 |

Modelo Aditivo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} = Observación realizada en el j-ésimo bloque al cual se le aplicó el i-ésimo tratamiento.

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque.

ϵ_{ijk} = Efecto del error aleatorio asociado a dicha observación Y_{ijk} .

Para:

$i = 1, \dots, 8$ tratamientos.

$j = 1, \dots, 4$ bloques

3.9 Características del campo experimental

Bloques

Nº de bloques : 4 Ancho de las calles : 1,00 m.

Largo de bloques : 36 m Ancho de bloques : 4,80 m

Parcelas

| | | | | | |
|----------------------------|---|-------------------------|--------------------------|----|--------|
| Nº de parcelas por bloque: | 8 | Nº de golpes por hilera | : | 14 | |
| Total de parcelas | : | 32 | Distancia entre hileras | : | 0,80 m |
| Largo de parcelas | : | 4,0 m | Distancia entre golpes | : | 0,40 m |
| Ancho de parcelas | : | 4,8 m | Nº de semillas por golpe | : | 3 |
| Nº de surcos por parcela | : | 5 | Nº de golpes por parcela | : | 70 |

Áreas

| | | | | | |
|------------------|---|----------------------|-----------------------|---|----------------------|
| Total de bloque | : | 172,8 m ² | Neta por parcela | : | 9,6 m ² |
| Total de parcela | : | 19,2 m ² | Total del experimento | : | 718,2 m ² |

3.10 Ejecución del experimento

Preparación del terreno, muestreo y demarcación del campo

La preparación se inició con el desmalezado, alineamiento y demarcación de las parcelas. Se hizo el muestreo de suelos, tomando sub muestras a 20 cm de profundidad de todo el bloque (uno por cada parcela es decir 8 sub muestras) para luego obtener una muestra por cada bloque; se identificó cada muestra y se envió al Laboratorio de Suelos de la UNAS.

Después de la demarcación de cada parcela y bloque se removió el terreno con palas y zapapicos a una profundidad de 20 cm. Luego de obtener los resultados de los análisis se calculó la cantidad de cal agrícola a ser aplicada y se aplicó a las parcelas de los tratamientos con cal (T₆ y T₇). La siembra se realizó a los 20 días después de la aplicación de la cal.

Siembra

La siembra se realizó con tacarpo (11 de abril), colocando 3-4 semillas/golpe con distanciamiento de 0,8 m entre hileras x 0,35 m entre golpes. Luego del deshije (20 de abril) se dejaron 2 plantas por golpe.

Abonamiento

Los fertilizantes N, K y Mg-S se fraccionaron en dos: 10 días después de la siembra (22 de abril) y 30 días después de la siembra (20 de mayo) al inicio de la floración (estado V6-V7) haciéndose la aplicación por golpes. El P se aplicó el 100% a la siembra. La cal se aplicó 20 días antes de la siembra según los análisis de suelo (740 kg ha^{-1}). Los micro nutrientes se aplicaron una semana antes de inicio de la emisión de polen (20 junio). El Zn se aplicó como Sulfato de Zn en solución al suelo (50 mL por mochila de 20 L) mientras que el Boro (Solubor) fue aplicado al follaje.

Deshierbos y control sanitario

Se realizaron tres deshierbos manuales y se aplicaron productos químicos necesarios para el control de gusano de tierra (*Heliothis sp.*) y grillos a los 15 días de la siembra. Se controlaron aplicándose Metamidofos (Extermin) a la dosis de 30 ml por mochila. También se detectó la presencia de "cogollero" que se combatió con aplicación de Metamidofos a una dosis de 40 ml por mochila de 20 L.

Cosecha

Se efectuó el 05 de setiembre a los 145 días después de la siembra, cuando las plantas mostraron signos de madurez fisiológica (secamiento) en un 90% de ellas. El testigo y el tratamiento –N mostraron los primeros síntomas. Para el rendimiento total de grano se cosecharon un total de 36 golpes que representaron 72 mazorcas. Para las otras evaluaciones se utilizaron las mismas plantas. El porcentaje de humedad a la cosecha fue de 32%; luego se hicieron secar en bandejas hasta un 13% de humedad comercial determinada con un hidrómetro.

3.11 Observaciones efectuadas

Fecha de siembra y emergencia de las plántulas

La siembra se realizó el 11 de abril del 2007 y la emergencia de las plántulas se observó en un 80% el 18 de abril del 2007.

Días a la floración

Se determinaron los días transcurridos desde la siembra hasta el inicio de la floración, cuando el 90% de las plantas de cada parcela neta presentaron flores abiertas. El número de días transcurridos fueron de 80 a 82 días.

Fecha de fructificación

Quedó determinada por el número de días transcurridos desde la siembra hasta el inicio de la fructificación, cuando el 50% de las plantas de las presentaron frutos comercialmente maduros; ello fue a los 140 días.

Días a la maduración

Se determinó cuando el 95% de la plantas mostraron sequedad, lo que ocurrió a los 140 días después de la siembra.

3.12 Evaluaciones efectuadas

Altura de planta

Se determinó en la fase de plena floración (90 %) a los 82 días (01 de julio) de la siembra en las plantas de 36 golpes marcadas para tal fin. La medición se hizo desde el nivel del suelo hasta la inserción de la panícula.

Peso de 100 semillas

Se determinó el peso de cien semillas tomadas al azar de cada repetición, en una balanza digital.

Porcentaje de desgrane

Se pesaron 10 mazorcas de los 36 golpes muestreados y luego del desgrane y de la determinación del peso del grano, se calculó el % de desgrane con la siguiente relación:

$$\% \text{ de desgrane} = \text{Peso de grano} \times 100 / \text{Peso de mazorcas}$$

Longitud y diámetro de mazorca

Se realizó esta labor después de la cosecha, midiendo el largo y diámetro de 10 mazorcas tomadas al azar de los 36 golpes, utilizando un canal graduado al milímetro, especialmente confeccionado (Figuras 4 y 5 Anexo).

Rendimiento en peso de grano

Se determinó el peso seco a la cosecha de los 36 golpes muestreados, luego de hacer la corrección necesaria para uniformizar el peso hasta un 14% de humedad, llevándose el peso de grano a kg ha^{-1} . En el cálculo del rendimiento final no se consideró el efecto de borde (factor 0,971).

Evaluación económica

Para la evaluación económica se establecieron los costos de producción y se aplicó la relación beneficio/costo. Los beneficios económicos fueron determinados con el precio de venta en chacra. La renta neta se obtuvo por la diferencia del valor total de la cosecha, con el costo total de la producción. La ganancia por la inversión de cada tratamiento se dedujo con el índice de rentabilidad calculada en base a la relación de la renta neta y el costo de producción.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización de la fertilidad del suelo

Aun cuando la caracterización de la fertilidad del suelo no fue considerado en los objetivos, sin embargo, se considera necesario discutirla debido a que estas observaciones serán de mucha utilidad en la discusión de otros resultados.

Los resultados obtenidos del rendimiento de grano y en base a ello el rendimiento relativo, nos permiten extraer algunas conclusiones respecto a la fertilidad del suelo donde se instaló el experimento en base a la respuesta que se obtuvo a la fertilización por el cultivo de maíz.

Así, en el Cuadro 5 y Figura 1, se observa mayor respuesta a la aplicación de P y luego N, K y Mg + S, en dicho orden. Ello estaría indicando que el suelo es principalmente deficiente en P disponible debido a sus condiciones de alta acidez. Se observa asimismo, que considerando al tratamiento Completo (N + P + K + Mg + S) un rendimiento relativo del 100%, la falta de la inclusión del P en las fórmulas de abonamiento, conduciría a una disminución de más del 50% de los rendimientos, mientras que la aplicación de Mg y S, nuevos elementos que vienen siendo incluidos en las mencionadas fórmulas, conducirían a incrementos de 21 a 22%. En estudios sobre caracterización de los suelos del Alto Huallaga realizado por HUAMANI y MANSILLA (1995) se halló que el elemento más deficiente en los suelos de esta parte del trópico peruano fue el P, tanto en suelos residuales como aluviales.

Cuadro 5. Rendimiento relativo de cada tratamiento en estudio

| Tratamiento | Rendimiento relativo (%) |
|--------------------------|---------------------------------|
| Completo + Cal + EM | 118,39 |
| Completo + Cal | 107,70 |
| Completo (N,P,K,Ca,Mg,S) | 100,00 |
| Menos Mg y S | 78,61 |
| Menos K | 75,63 |
| Menos N | 68,71 |
| Menos P | 46,01 |
| Testigo | 36,95 |

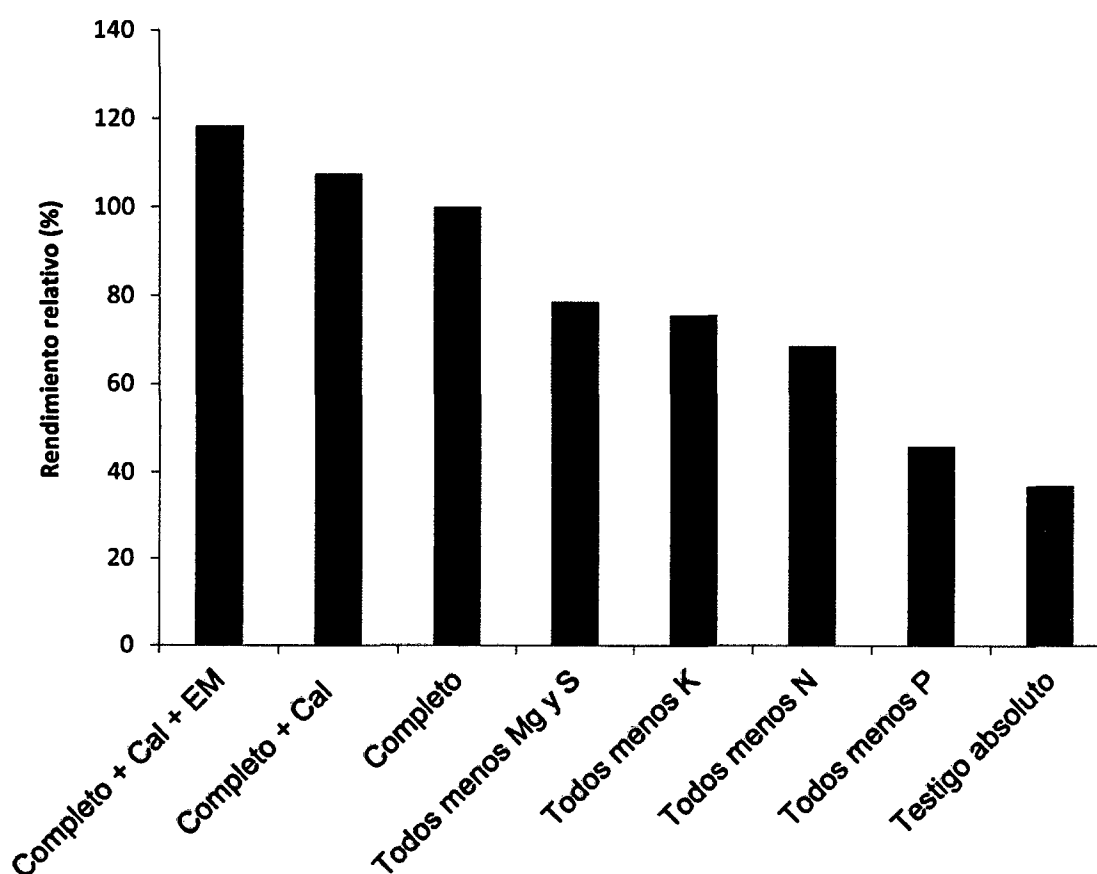


Figura 1. Rendimiento relativo del maíz por efecto de la fertilización balanceada

Estos resultados no hacen más que confirmar que debido a la dinámica del P en estos suelos altamente meteorizados, su disponibilidad se ve reducida, y que por lo tanto las posibilidades de respuesta al abonamiento fosforado sean mayores. En suelos residuales, el segundo elemento limitante fue el N. seguido por el K, Mg y S.

Se observa en el mismo cuadro que el encalado condujo a incrementos de 7 – 8%, y si se adicionan los microelementos B y Zn, se podría alcanzar hasta 18% de incremento en el rendimiento, siempre que se aplique una fertilización más balanceada.

4.2 Rendimiento de grano

Los análisis estadísticos que se presentan en el Cuadro 6, muestran que no se halló diferencias de significación entre bloques a pesar de la pendiente observada en el terreno.

Cuadro 6. ANVA del rendimiento de grano de maíz híbrido XB 8010

| Fuente de variación | GL | SC | CM | Fcal | Signif. |
|---------------------|----|---------|--------|-------|---------|
| Bloques | 3 | 0,474 | 0,158 | 0,30 | NS |
| Tratamientos | 7 | 93,569 | 13,367 | 25,17 | AS |
| Error experimental | 21 | 11,152 | 0,531 | | |
| Total | 31 | 105,195 | | | |

C.V. (%) : 14,50

NS = No significativo

AS = Altamente significativo

Sí se encontraron diferencias estadísticas ($p < 0,01$) entre tratamientos y un coeficiente de variabilidad de 14,50% que indica un valor dentro de lo

normal tratándose de rendimientos agronómicos los cuales pueden variar entre 9 y 29 según CALZADA (1970).

Los resultados de rendimiento de grano del Cuadro 7 muestran que los tratamientos Completo + Cal + Elementos menores (T_7) y el Completo + Cal (T_6) produjeron los más altos rendimientos, sin diferencias estadísticas entre ellos pero con una superioridad numérica del tratamiento que incluyó los elementos menores, B y Zn. La comparación de estos tratamientos con el Completo (T_1), nos permite deducir que el suelo donde se instaló el experimento requiere de prácticas de encalado para incrementar su capacidad productiva y que su aplicación ($0,74 \text{ t ha}^{-1}$) estaría produciendo un incremento de 0.49 t ha^{-1} de grano ($T_6 - T_1$). Del mismo modo se observa un incremento no significativo de los rendimientos al aplicar los elementos menores B y Zn vía foliar, incrementos que son del orden de 0.68 t ha^{-1} ($T_7 - T_6$). De esta manera, la aplicación conjunta de Cal y Elementos menores estarían conduciendo a incrementos del orden de $1,17 \text{ t ha}^{-1}$ ($T_7 - T_1$).

Como es sabido, el B y Zn y otros elementos menores, con excepción del Mo, son más solubles y disponibles en condiciones de acidez (TISDALE y NELSON, 1970) y sin embargo, parecen estar deficientes en el suelo donde se instaló el experimento. Ello se debe a que por su alta solubilidad, son susceptibles a ser lavados por las lluvias que son moderadamente altas en la zona en estudio.

En términos generales, los rendimientos alcanzados en este experimento resultaron menores a los alcanzados por URQUÍA (2004) en dos suelos aluviales de Tingo María con el mismo híbrido XB 8010, que fueron

7 370 y 8 529 kg ha⁻¹, debido probablemente a las mejores condiciones físicas y químicas y biológicas de los suelos aluviales. El nivel de abonamiento fue de 200 – 100 – 120 y 180 – 100 – 100.

Cuadro 7. Efecto de elementos faltantes en el rendimiento en grano del maíz híbrido XB 8010 (Duncan, $\alpha = 0,05$).

| Tratamientos | | Rendimiento de grano | |
|----------------|---------------------|-----------------------|-----|
| Nº | Descripción | (t ha ⁻¹) | |
| T ₇ | Completo + Cal + EM | 7,53 | a |
| T ₆ | Completo + Cal | 6,85 | a b |
| T ₁ | Completo | 6,36 | b |
| T ₅ | Todos menos Mg, S | 5,00 | c |
| T ₄ | Todos menos K | 4,81 | c |
| T ₂ | Todos menos N | 4,37 | c |
| T ₃ | Todos menos P | 2,93 | d |
| T ₈ | Testigo | 2,35 | d |

En relación a los elementos mayores, se observa en el mismo cuadro, que el elemento más deficiente por la mayor respuesta a su aplicación es el P siguiéndole en orden de importancia el N (tratamientos T₃ y T₂ respectivamente), y cuyas aplicaciones conducirían a incrementos de 3,43 y 1,99 t ha⁻¹ respectivamente, tomando siempre como referencia el tratamiento Completo (T₁). Resultados estadísticamente similares al tratamiento sin N (T₂),

produjeron aquellos que no llevaron K (T₄) y Mg + S (T₅) y cuyos incrementos del rendimiento por su aplicación fueron de 1,55 y 1,36 t ha⁻¹ respectivamente.

Estos resultados estarían indicando que, aparte de los elementos mayores primarios (N, P y K), también son necesarios los secundarios (Mg y S), elementos no considerados en las fórmulas de abonamiento tradicionales y que sería importante una fertilización más balanceada, que incluya aquellos elementos que por efecto de la lixiviación y/o pérdida de materia orgánica, ven reducida su presencia en el suelo (DOBERMANN y FAIRHURST, 2005; MELGAR y TORRES, 2006)

4.3 Altura de planta

Los análisis estadísticos presentados en el Cuadro 8 nos muestran diferencias estadísticas ($p < 0,01$) entre tratamientos y un coeficiente de variabilidad de 13,69 %, para la característica altura de planta. Entre bloques no hubo diferencias de significación.

Cuadro 8. ANVA de la altura de planta del maíz híbrido XB 8010

| F. de variación | GL | SC | CM | Fcal | Signif. |
|--------------------|----|-----------|----------|------|---------|
| Bloques | 3 | 1 406,28 | 468,76 | 1,56 | NS |
| Tratamientos | 7 | 12 216,18 | 1 745,17 | 5,81 | AS |
| Error experimental | 21 | 6 303,85 | 300,18 | | |
| Total | 31 | 19 926,31 | | | |

C.V. (%) : 13,69
NS = No significativo
AS = Altamente significativo

En el Cuadro 9 se observa que se justifican los rendimientos alcanzados por los tratamientos Testigo (T₈) y aquel en el que no se incluyó a los elementos P (T₃) y N (T₂), al haber producido plantas de tamaño pequeño y probablemente con baja área foliar y capacidad fotosintética. Lo hallado tanto en rendimiento como en altura de planta en los tratamientos antes mencionados, ratifican lo observado en los análisis químicos (Cuadro 2) que indicaron valores de pH fuertemente ácidos y pobreza en P disponible. De esta manera, la falta de P habría originado plantas con escaso desarrollo radicular y por lo tanto limitaciones para absorber otros nutrientes, aparte de lo que significa para la planta el no disponer de P para la formación de compuestos orgánicos de alta energía (MENGEL Y KIRKBY, 2000).

Cuadro 9. Efecto de elementos faltantes en la altura de planta del maíz híbrido XB 8010 (Duncan, $\alpha = 0,05$)

| Tratamiento | | Altura de planta | |
|--------------------|---------------------|-------------------------|-----|
| N° | Descripción | (cm) | |
| T ₄ | Todos menos K | 154,88 | a |
| T ₇ | Completo + Cal + EM | 147,10 | a |
| T ₁ | Completo | 138,31 | a |
| T ₅ | Todos menos Mg y S | 132,69 | a b |
| T ₆ | Completo + Cal | 128,63 | a b |
| T ₂ | Todos menos N | 107,73 | b c |
| T ₈ | Testigo | 105,88 | b c |
| T ₃ | Todos menos P | 97,11 | c |

Por otra parte, la falta de N según lo mencionan fisiólogos diversos (MARSCHNER, 2000; MENGEL y KIRKBY, 2000) conduce a plantas amarillentas y raquílicas según la gravedad de la deficiencia, con escasa área foliar lo que conducirá a bajos rendimientos.

Asimismo, al parecer la aplicación de Ca, Mg y S, elementos menores y K no tuvieron efecto en el crecimiento de las planta de maíz.

En términos generales, la altura alcanzada por las plantas en los diferentes tratamientos, no corresponden a las características dadas por AGRICOL (2,20 m), siendo menor también a las obtenidas por ROJAS(2005) en suelos aluviales de Tingo María, debido probablemente a las mejores condiciones de estos suelos.

Resulta paradójico y poco explicable el que el tratamiento que no incluyó K en su formulación haya producido plantas de gran tamaño; sin embargo, autores relacionados con la nutrición mineral de las plantas como MENGEL y KIRKBY (2000) y MARSCHNER (2000) indican que el K no es un factor de cantidad como para incrementar el crecimiento, y por lo tanto, su acción tendría lugar en el caso de este experimento principalmente en el transporte de hidratos de carbono de las hojas a los granos.

4.4 Longitud y diámetro de mazorca

El análisis de variancia de las características de longitud y diámetro de mazorcas, se muestran en el Cuadro 10. El mencionado cuadro indica alta significación estadística para los bloques y tratamientos en dichas características.

Cuadro 10. Resumen del ANVA de la longitud y diámetro de mazorca del maíz híbrido XB 8010

| Fuente de variación | G.L. | Longitud de mazorca | | Diámetro de mazorca | |
|---------------------|------|-------------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | | C.M. | Signific. | C.M. | Signific. |
| Bloques | 3 | 0,27 | NS | 0,0114 | NS |
| Tratamientos | 7 | 24,91 | AS | 0,5510 | AS |
| Error | 21 | 2,26 | | 0,0789 | |
| Total | 31 | | | | |
| C.V. (%) | | 11,78 | | 6,40 | |
| NS | = | No significativo | | | |
| AS | = | Altamente significativo | | | |

En el Cuadro 11 se presentan los resultados de longitud y diámetro de mazorcas. Se observa que el tratamiento Completo (T₁) produjo mazorcas de mayor tamaño, aun cuando no hubo diferencias de significación estadística con aquellos que no llevaron K (T₄) y Mg + S (T₅) y con los que llevaron adicionalmente Cal (T₆) y elementos menores (T₇). Estos resultados indicarían que el K y Mg + S no influyeron en el incremento en tamaño de mazorcas y que los resultados en rendimiento total probablemente estarían influenciados por otras características.

Se observa asimismo, que los tratamientos que sí influenciaron pero negativamente en el incremento del tamaño de mazorca fueron aquellos que no llevaron P (T₃) y N (T₂). Estos resultados son lógicos si se considera que el N interviene en la fotosíntesis como componente principal de la clorofila y que el P igualmente interviene en la floración (MENGEL y KIRKBY, 2000).

Con similar híbrido y en condiciones de suelos aluviales en Tingo María URQUIA (2004) obtuvo valores de longitud de 19,36 y 18,74 cm y diámetro de mazorca de 5,09 y 5,07 cm en las localidades de Afilador y Tulumayo,

respectivamente, mayores a los obtenidos en el actual experimento, debido probablemente a las mejores condiciones de los suelos.

Cuadro 11. Efecto de elementos faltantes en la longitud y diámetro de mazorca y el peso de 100 granos del maíz (Duncan, $\alpha = 0,05$)

| Tratamientos | | Características | | | |
|----------------|------------------|--------------------------|---|--------------------------|---|
| Nº | Descripción | Longitud de mazorca (cm) | | Diámetro de mazorca (cm) | |
| T ₁ | Completo | 15,13 | a | 4,70 | a |
| T ₄ | Todos menos K | 14,78 | a | 4,69 | a |
| T ₇ | Comp + Cal + EM | 14,49 | a | 4,73 | a |
| T ₅ | Todos menos Mg S | 14,24 | a | 4,63 | a |
| T ₆ | Completo + Cal | 13,98 | a | 4,52 | a |
| T ₂ | Todos menos N | 10,37 | b | 4,06 | b |
| T ₃ | Todos menos P | 10,36 | b | 3,82 | b |
| T ₈ | Testigo | 8,79 | b | 4,00 | b |

4.5 Peso de 100 granos y porcentaje de desgrane

El Cuadro 12 muestra el análisis de variancia del peso de 100 granos y del porcentaje de desgrane, observándose falta de significación estadística para ambas características. La falta de significación indicaría que los tratamientos no influenciaron en el peso de las semillas ni en la relación grano : mazorca.

Cuadro 12. Resumen del ANVA del peso de 100 granos y porcentaje de desgrane del maíz híbrido XB 8010

| Fuente de variación | G.L. | Peso de 100 granos | | Porcentaje de desgrane | |
|---------------------|------|-------------------------|-----------|------------------------|-----------|
| | | C.M. | Signific. | C.M. | Signific. |
| Bloques | 3 | 8,84 | NS | 11,39 | NS |
| Tratamientos | 7 | 6,29 | NS | 14,13 | AS |
| Error | 21 | 5,75 | | 7,44 | |
| Total | 31 | | | | |
| C:V: (%) | | 7,38 | | 3,40 | |
| NS | = | No significativo | | | |
| AS | = | Altamente significativo | | | |

Sin embargo, hechas las pruebas de Duncan, como se verá posteriormente, los resultados fueron diferentes. Los coeficientes de variabilidad por otra parte, fueron algo bajos para las condiciones del experimento.

El Cuadro 13 muestra los resultados obtenidos en el peso de 100 granos y del porcentaje de desgrane. En el peso de 100 granos, se mantuvo la falta de significación observada en el análisis de variancia, indicando que el efecto de la falta de algún elemento dentro de la formulación del abonamiento, no fue suficiente como para originar diferencias de significación entre los tratamientos, incluyendo el tratamiento completo y aun aquellos que fueron beneficiados con la práctica del encalado y con los elementos menores.

URQUÍA (2004) obtuvo pesos de 100 semillas de 34,82 y 33,76 g en las localidades de Afilador y Tulumayo respectivamente con el mismo híbrido, correspondientes con los mejores tratamientos del presente experimento (T₁: Completo y T₇: Completo + Cal + EM).

Cuadro 13. Efecto de elementos faltantes en el peso de 100 granos y el porcentaje de desgrane del maíz híbrido XB 8010 (Duncan, $\alpha = 0,05$)

| Tratamientos | | Peso 100 granos | | Tratamientos | | Desgrane | |
|----------------|---------------------|-----------------|---|----------------|---------------------|----------|-------|
| Nº | Descripción | (g) | | Nº | Descripción | (%) | |
| T ₇ | Completo + Cal + EM | 34,5 | a | T ₇ | Completo + Cal + EM | 82,89 | a |
| T ₁ | Completo | 33,6 | a | T ₂ | Todos menos N | 81,87 | a |
| T ₄ | Todos menos K | 33,0 | a | T ₆ | Completo + Cal | 81,61 | a b |
| T ₅ | Todos menos Mg y S | 32,9 | a | T ₅ | Todos menos Mg y S | 80,60 | a b c |
| T ₆ | Completo + Cal | 32,1 | a | T ₁ | Completo | 80,15 | a b c |
| T ₈ | Testigo | 31,8 | a | T ₈ | Testigo | 78,81 | b c |
| T ₂ | Todos menos N | 31,6 | a | T ₃ | Todos menos P | 78,46 | b c |
| T ₃ | Todos menos P | 30,5 | a | T ₄ | Todos menos K | 77,45 | c |

Aparentemente, la fertilización balanceada de nuestro experimento suplió las deficiencias naturales del suelo en estudio, produciendo semillas de similar peso, aunque algo inferiores al peso que reporta AGRHICOL S.A. para el híbrido XB 8010 (36,5 g).

En el porcentaje de desgrane, que representa la proporción en peso del rendimiento en grano en relación al peso total de las mazorcas, resulta contradictorio nuevamente, que el menor valor correspondiera al tratamiento sin K, cuando en el peso de 100 granos, longitud y diámetro de mazorcas, este tratamiento ocupó los primeros lugares. Igualmente resulta contradictorio el caso del tratamiento sin N, que teniendo un alto porcentaje de desgrane, el peso de 100 granos y el rendimiento total sean bajos.

4.6 Evaluación económica

La evaluación económica de la aplicación de los tratamientos se hizo a través del análisis de rentabilidad; los resultados se presentan en el Cuadro 14.

Por los bajos rendimientos obtenidos debido a la baja disponibilidad de P del suelo, el tratamiento al que no se le aplicó dicho elemento, resultó el menos rentable. Es decir, aun cuando se apliquen los otros elementos, si no se aplica P en suelos con niveles críticos bajos, la fertilización resulta antieconómica, de acuerdo con la Ley del Mínimo de Liebig (TISDALE y NELSON, 1970).

Cuadro 14. Análisis de rentabilidad de los tratamientos en estudio de la fertilización del cultivo de maíz, híbrido XB 8010

| Tratamientos | Rendimiento (t ha ⁻¹) | Valor total (S/.) | Costo de producción (S/.) | Renta neta (S/.) | Índice de rentabilidad (%) |
|---------------------|--------------------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Completo | 6,36 | 7 632,00 | 6 184,64 | 1 447,36 | 23 |
| Todo menos N | 4,37 | 5 244,00 | 4 749,14 | 494,86 | 10 |
| Todo menos P | 2,93 | 3 516,00 | 5 182,10 | -1 666,10 | -32 |
| Todo menos K | 4,81 | 5 772,00 | 4 909,85 | 862,15 | 18 |
| Todo menos Mg-S | 5,00 | 6 000,00 | 5 905,57 | 94,43 | 2 |
| Completo + cal | 6,85 | 8 220,00 | 7 078,94 | 1 141,06 | 16 |
| Completo + cal + EM | 7,53 | 9 036,00 | 7 287,94 | 1 748,06 | 24 |
| Testigo absoluto | 2,35 | 2 820,00 | 2 167,00 | 653,00 | 30 |

Precio por tonelada: S/. 1 200.00

Índice de rentabilidad = Renta Neta x 100 / Costo de producción

Aun cuando el tratamiento de mayor índice de rentabilidad fue el Testigo (30%), con los que se obtuvo mayor renta neta fueron el tratamiento completo + Cal + Elementos menores debido a los mayores rendimientos alcanzados, seguido por el tratamiento completo (N + P + K + Mg + S). En relación al mayor índice de rentabilidad alcanzado por el Testigo, este valor (30%) se debe al bajo costo de producción, lo que resulta engañoso desde que la renta obtenida

de S/. 653,00, resulta muy baja a pesar del alto índice de rentabilidad. La falta de aplicación de P, aun cuando se apliquen los otros nutrientes, conduce a pérdidas económicas importantes, de acuerdo con uno de los criterios de la esencialidad de los elementos que indica que un elemento deficiente no puede ser sustituido por otro (MENGEL y KIRKBY, 2000).

V. CONCLUSIONES

1. El suelo donde se instaló el experimento presenta deficiencias importantes de P disponible, N total, K y Mg y S. Para el caso del P, su exclusión de las fórmulas de abonamiento conducirían a reducción del rendimiento hasta el 46,0% del que se obtendría con el abonamiento completo, 68,7% para el N, 75,6% para el K y 78,6% para el Mg y S.
2. En el suelo residual donde se condujo el experimento, mayores respuestas se obtendrán de la fertilización fosforada y nitrogenada.
3. Los más altos rendimientos de grano ($7,53 \text{ t ha}^{-1}$) se obtienen previo encalado del suelo y con aplicación adicional de elementos menores (B y Zn) además de una fertilización balanceada que incluya Mg y S.
4. La denominada fertilización completa si bien condujo a incrementos importantes del rendimiento, sin embargo, dadas las condiciones del suelo donde se condujo el experimento, requeriría además de la aplicación de enmiendas químicas y microelementos B y Zn.
5. Si bien es cierto que el índice de rentabilidad del testigo fue el mayor (30%), el tratamiento más rentable correspondió a la aplicación de N, P, K, Mg y S + Cal + Elementos menores y el menos rentable cuando no se aplicó P.

VI. RECOMENDACIONES

1. Al determinar fórmulas de abonamiento, incluir al Mg y S en la formulación, cuando se trate de suelos muy meteorizados
2. Realizar estudios de respuesta a la aplicación de estos nutrientes en diversas condiciones de suelo, previo análisis para establecer los niveles críticos.
3. Probar la respuesta a otros elementos menores en condiciones de suelo similares.

VII. RESUMEN

Con el fin de determinar los elementos limitantes del rendimiento del maíz en un suelo residual ácido de Chanchamayo de baja fertilidad y evaluar la eficiencia de la fertilización balanceada en dicho cultivo, fue conducido un experimento en Santa Rosa de Yapáz, ubicado en el distrito de Perené, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, de abril a noviembre de 2007.

La semilla de maíz correspondió al híbrido XB 8010 y se aplicó la técnica del elemento faltante para los elementos en estudio, N, P, K y Mg + S. Los tratamientos fueron dispuestos en un DBCA con 4 repeticiones.

Los resultados mostraron que el elemento más limitante de la producción de maíz en el suelo donde se instaló el experimento fue el P, cuya exclusión de las formulas de abonamiento conduce a depresiones del rendimiento hasta del 46%. Siguió en orden de limitancia, el N, K y finalmente Mg + S. Asimismo, la aplicación de Cal y elementos menores, B y Zn, produjeron incrementos importantes del rendimiento. Consecuentemente, se obtuvieron mayores respuestas a la fertilización fosforada, nitrogenada, potásica y magnésico-azufrada, respectivamente.

Aun cuando el índice de rentabilidad fue mayor en el tratamiento Testigo (30%), el tratamiento más rentable correspondió a la aplicación de N, P, K, Mg y S + Cal + Elementos menores y el menos rentable cuando no se aplicó P.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. AGROESTRATEGIAS. 2008. La importancia de la fertilización balanceada. Argentina. Pp. 2. En línea: <[www.agroestrategias@ agroestrategias.com](mailto:www.agroestrategias@agroestrategias.com)>. Marzo, 2009.
2. DOBERMANN, A. y FAIRHURST, T. 2005. Manejo del Azufre en arroz. Informaciones Agronómicas. Julio 2005. N° 58. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Pp 7.
3. GARCÍA, F. 2002. Criterios para el manejo de la fertilización fosfatada del cultivo de maíz. El Sitio Agrícola.com. Acassuso. Argentina. En línea: <<http://www.fertilizando.com/articulos/Criterios-Manejo-Fertilizacion-Cultivo-Maiz.pdf>>
4. GARCÍA, F. 2007. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. *INPOFOS/PPI/PPIC*. Archivo 23 febrero 2007.
5. HUAMANÍ, H. y MANSILLA, M. 1995. Caracterización del estado nutricional de los suelos degradados del Alto Huallaga. *Tropicultura*. Vol. VII. N° 1,2 (7-17). UNAS. Tingo María.
6. INFOAGRO.COM. 2010. Comercialización y marketing agroalimentario. En línea <<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp>> Set. 2009.
7. LAZCANO-FERRAT, I. 1995. Maximice los beneficios de la inversión hecha en el fertilizante a través de una nutrición balanceada. *Informaciones Agronómicas* Vol. 1. N° 1. Abril. 8-11p.
8. LAZCANO-FERRAT, I. 1996. El potasio y el concepto de la fertilización balanceada. *Informaciones Agronómicas* Vol. 1. N° 6. Julio.

9. LUC, M. y HEFFER, P. 2007. Desarrollo tecnológico en el uso de fertilizantes. *Informaciones Agronómicas* Julio 2007. N° 66. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Quito, Ecuador. Pp. 6.
10. MARROQUÍN S., L. 2003. Efecto de dos materiales encalantes y orgánicos en el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en siembra directa en un suelo ácido. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Pp. 84
11. MARTINI, J. 1969. Caracterización del estado nutricional de los principales "latosoles" de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero". *Turrialba* 19(3):394-408. Julio-Set.
12. MELGAR, R. y TORRES, M. 2006. Manejo de la fertilización en maíz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA. Pergamino. Buenos Aires. Pp. 121.
13. OEA-PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 1987. Estudio de casos de manejo ambiental: Desarrollo integrado de un área en los trópicos húmedos-Selva central del Perú. Departamento de Desarrollo Regional. Washington, D.C. En línea: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea27s/begin.htm>.>. Agosto. 2008.
14. PALOMINO, R. 1987. Estado nutricional de los suelos de las provincias de Huamanga, Cangallo, Víctor Fajardo y Vilcashuamán del departamento de Ayacucho. Tesis Ing° Agr°. UNSCH. Ayacucho. 79 p.
15. ROJAS R., R. 2005. Efecto de tres densidades de siembra en el comportamiento de tres cultivares comerciales de maíz (*Zea mays* L.) en

- dos localidades. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Pp. 88.
16. TISDALE, S. y NELSON, W. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Montaner y Simon, S.A. España. Pp. 126.
 17. URQUÍA S., M. 2004. Efecto de tres densidades de siembra en el comportamiento de cinco cultivares comerciales de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. 84 p.
 18. WAUGH, D., CATE, R. y NELSON, L. 1973. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. International Soil Fertility. Boletín Técnico N° 7. Agosto. 77 p.
 19. YAMADA, T. 2004. Deficiencia de micronutrientes. Ocurrencia, detección y corrección. En línea: <<http://www.potafos.org/ppiweb/ltamn.nsf>>. Obtenida el 11 Feb 2007

VIII. ANEXO

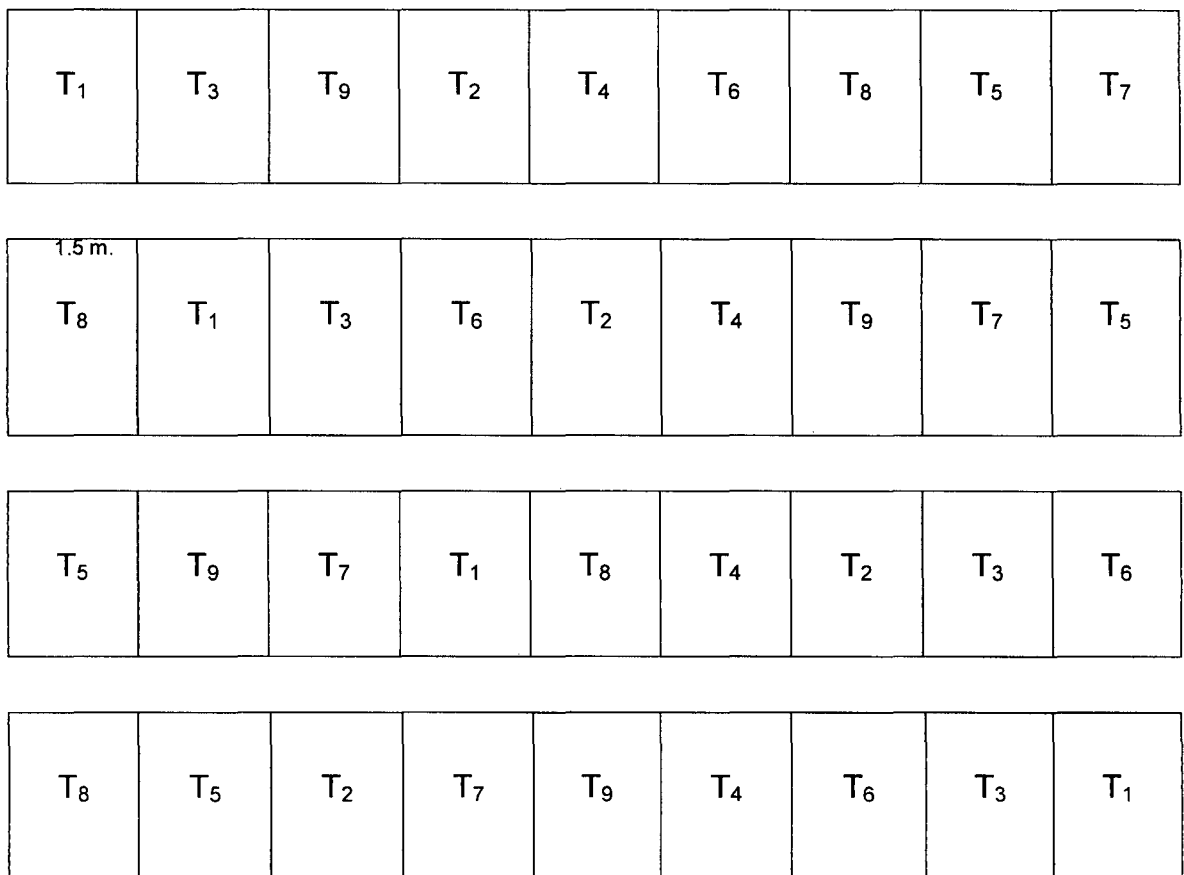


Figura 2. Croquis del campo experimental

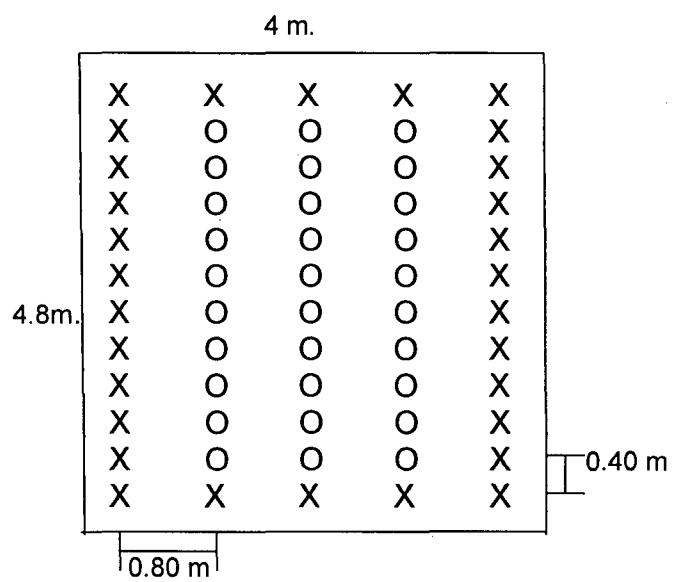


Figura 3. Detalle de la parcela experimental

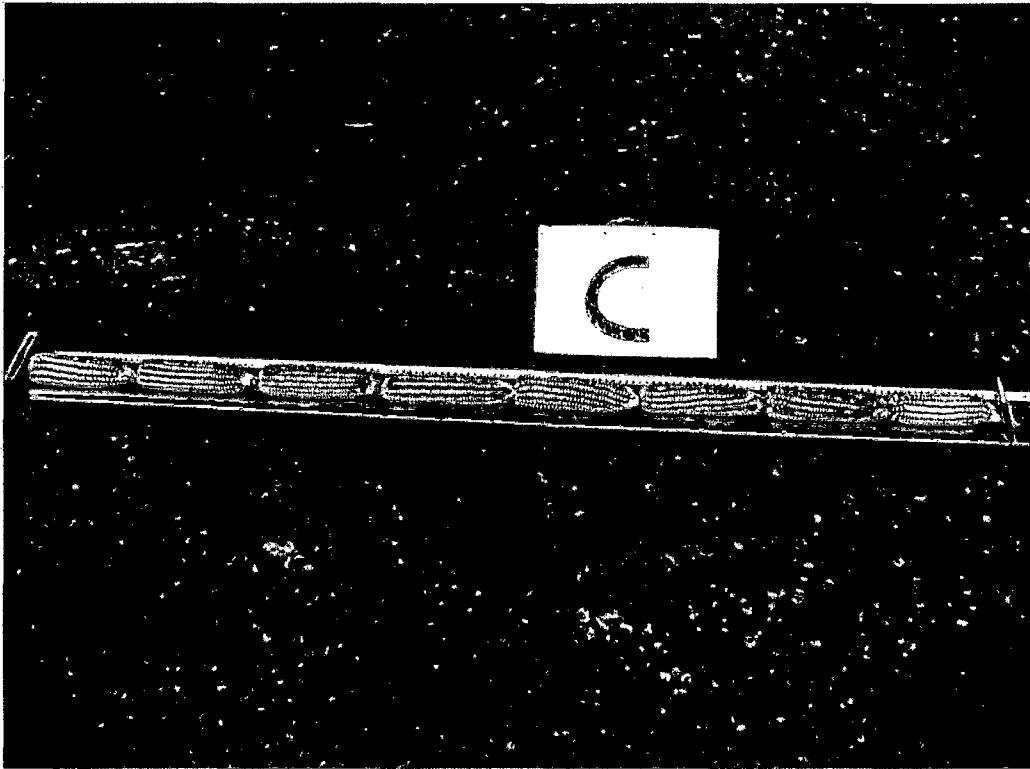


Figura 4. Medición de longitud de mazorcas: tratamiento completo

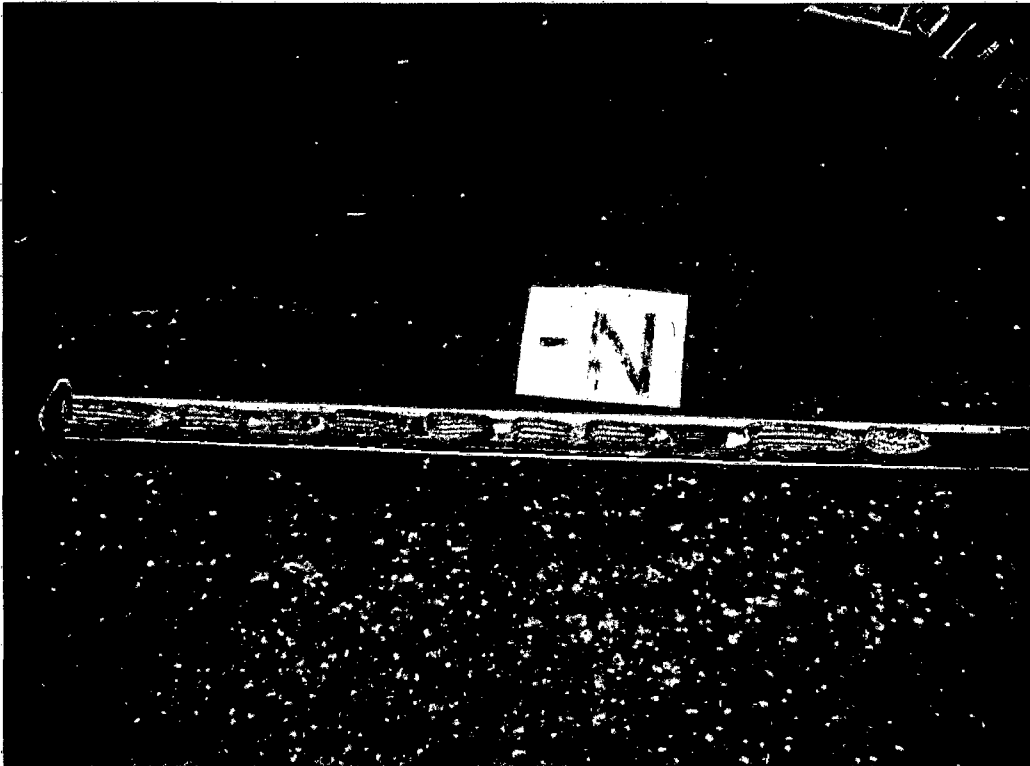


Figura 5. Medición de longitud de mazorcas: tratamiento sin N

Cuadro 15. Resultados originales del rendimiento del maíz

| Tratamientos | Bloque | | | | Promedio (t ha ⁻¹) |
|----------------|--------|------|------|------|-----------------------------------|
| | I | II | III | IV | |
| T ₁ | 5,90 | 6,90 | 6,40 | 6,30 | 6,36 |
| T ₂ | 4,90 | 3,60 | 3,70 | 5,25 | 4,37 |
| T ₃ | 1,90 | 2,50 | 3,80 | 3,46 | 2,93 |
| T ₄ | 5,40 | 6,00 | 4,30 | 3,65 | 4,81 |
| T ₅ | 5,20 | 5,00 | 4,50 | 5,30 | 5,00 |
| T ₆ | 6,20 | 7,30 | 7,60 | 6,30 | 6,85 |
| T ₇ | 7,60 | 8,00 | 7,40 | 7,10 | 7,53 |
| T ₈ | 1,60 | 2,00 | 2,80 | 3,00 | 2,35 |

Cuadro 16. Resultados originales de altura de planta del maíz

| Tratamientos | Bloque | | | | Prom. (cm) |
|----------------|--------|-------|-------|-------|---------------|
| | I | II | III | IV | |
| T ₁ | 126,9 | 139,4 | 149,2 | 137,7 | 138,30 |
| T ₂ | 123,5 | 83,6 | 100,2 | 123,6 | 107,73 |
| T ₃ | 89,2 | 73,2 | 121,4 | 104,7 | 97,11 |
| T ₄ | 164,3 | 167,7 | 147,1 | 140,4 | 154,88 |
| T ₅ | 137,0 | 108,7 | 160,0 | 125,0 | 132,69 |
| T ₆ | 126,2 | 117,6 | 131,2 | 139,5 | 128,63 |
| T ₇ | 166,3 | 148,7 | 150,5 | 123,0 | 147,13 |
| T ₈ | 75,8 | 94,8 | 122,9 | 130,0 | 105,88 |

Cuadro 17. Resultados originales de la longitud de mazorca

| Tratamientos | Bloque | | | | Promedio (cm) |
|----------------|--------|-------|-------|-------|------------------|
| | I | II | III | IV | |
| T ₁ | 13,80 | 15,52 | 16,88 | 14,30 | 15,13 |
| T ₂ | 12,19 | 9,83 | 8,10 | 11,34 | 10,37 |
| T ₃ | 9,77 | 9,30 | 12,08 | 10,28 | 10,36 |
| T ₄ | 15,75 | 15,76 | 14,08 | 13,51 | 14,78 |
| T ₅ | 15,91 | 12,01 | 15,82 | 13,20 | 14,24 |
| T ₆ | 12,60 | 15,35 | 12,71 | 15,24 | 13,98 |
| T ₇ | 15,28 | 14,37 | 15,05 | 13,24 | 14,49 |
| T ₈ | 7,86 | 8,18 | 8,75 | 10,35 | 8,79 |

Cuadro 18. Resultados originales del diámetro de mazorca

| Tratamientos | Bloque | | | | Promedio (cm) |
|----------------|--------|------|------|------|------------------|
| | I | II | III | IV | |
| T ₁ | 4,50 | 4,80 | 4,90 | 4,55 | 4,70 |
| T ₂ | 4,30 | 3,90 | 3,70 | 4,28 | 4,06 |
| T ₃ | 3,60 | 3,50 | 4,20 | 3,96 | 3,82 |
| T ₄ | 4,80 | 4,80 | 4,60 | 4,51 | 4,69 |
| T ₅ | 4,90 | 4,40 | 4,80 | 4,45 | 4,63 |
| T ₆ | 4,30 | 4,80 | 4,30 | 4,64 | 4,52 |
| T ₇ | 4,80 | 4,80 | 4,80 | 4,55 | 4,73 |
| T ₈ | 3,50 | 4,00 | 4,10 | 4,41 | 4,00 |

Cuadro 19. Resultados originales del peso de 100 granos

| Tratamientos | Bloques | | | | Promedio (g) |
|----------------|---------|------|------|------|-----------------|
| | I | II | III | IV | |
| T ₁ | 30,6 | 32,8 | 36,8 | 34,3 | 33,6 |
| T ₂ | 30,6 | 30,5 | 27,9 | 37,5 | 31,6 |
| T ₃ | 31,5 | 28,3 | 32,4 | 29,7 | 30,5 |
| T ₄ | 33,2 | 33,3 | 31,3 | 34,2 | 33,0 |
| T ₅ | 33,0 | 31,1 | 32,3 | 35,1 | 32,9 |
| T ₆ | 30,8 | 35,1 | 30,3 | 32,0 | 32,1 |
| T ₇ | 35,7 | 34,7 | 34,5 | 32,9 | 34,5 |
| T ₈ | 28,7 | 30,7 | 31,1 | 36,7 | 31,8 |

Cuadro 20. Resultados originales del porcentaje de desgrane

| Tratamientos | Bloque | | | | Promedio (%) |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-----------------|
| | I | II | III | IV | |
| T ₁ | 80,91 | 78,41 | 81,53 | 79,75 | 80,15 |
| T ₂ | 83,05 | 79,55 | 82,22 | 82,68 | 81,87 |
| T ³ | 73,39 | 80,83 | 79,17 | 80,47 | 78,46 |
| T ₄ | 81,93 | 78,81 | 78,18 | 70,87 | 77,45 |
| T ₅ | 81,12 | 81,97 | 80,20 | 79,10 | 80,60 |
| T ₆ | 84,70 | 78,49 | 83,52 | 79,75 | 81,61 |
| T ₇ | 84,92 | 80,00 | 84,09 | 82,56 | 82,89 |
| T ₈ | 80,00 | 74,07 | 81,16 | 80,00 | 78,81 |

Cuadro 21. Cuadro descriptivo de los tratamientos, cantidades de nutrientes y de fertilizantes aplicados por hectárea.

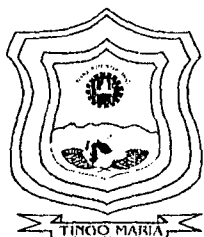
| Tratamientos | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Mg | S | Fertilizantes (kg ha ⁻¹) | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------------|-----|-------------------------------|------------------|-----|------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|------|--------|-----|-----------|-----|----------|-------------|------|------|
| N° | Nutrientes | | | | | (Kg ha ⁻¹) | | | | | Urea | S.Trip | KCl | Sulpo-Mag | Cal | Solu-bor | Sulf. de Zn | | |
| 1 | N | P | K | Mg | S | 200 | 100 | 200 | 22 | 44 | 435 | 218 | 333 | 200 | --- | --- | --- | | |
| 2 | --- | P | K | Mg | S | --- | 100 | 200 | 22 | 44 | --- | 218 | 333 | 200 | --- | --- | --- | | |
| 3 | N | --- | K | Mg | S | 200 | --- | 200 | 22 | 44 | 435 | --- | 333 | 200 | --- | --- | --- | | |
| 4 | N | P | --- | Mg | S | 200 | 100 | --- | 22 | 44 | 435 | 218 | --- | 200 | --- | --- | --- | | |
| 5 | N | P | K | --- | --- | 200 | 100 | 200 | --- | --- | 435 | 218 | 333 | --- | --- | --- | --- | | |
| 6 | N | P | K | Mg | S | Cal | 200 | 100 | 200 | 22 | 44 | 435 | 218 | 333 | 200 | 750 | --- | --- | |
| 7 | N | P | K | Mg | S | Cal | B,Zn | 200 | 100 | 200 | 22 | 44 | 435 | 218 | 333 | 200 | 750 | p.d. | p.d. |
| 8 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |

Nota.- Los niveles de NPK fueron determinados considerando la extracción del cultivo de maíz (25-5-19 kg/t) para un rendimiento estimado de 7 t ha⁻¹ y los análisis de suelos (0.14%N, 6 ppm P y 138 kg K₂O/ha). La cal se aplicó al 50% de la acidez cambiante y los micronutrientes según recomendaciones del fabricante

Cuadro 2. Resultados de los análisis físico-químicos realizados en el suelo experimental

| Características | Valores | | | | Método |
|---|---------|----------|-----------|----------|------------------------------------|
| | Block I | Block II | Block III | Block IV | |
| Análisis Físico | | | | | |
| Arena (%) | 26 | 28 | 32 | 32 | Bouyoucos |
| Limo (%) | 50 | 40 | 44 | 46 | Bouyoucos |
| Arcilla (%) | 24 | 32 | 24 | 22 | Bouyoucos |
| Clase Textural (%) | Fr Lo | Fr Ar Lo | Fr | Fr | Triángulo textural |
| Análisis Químico | | | | | |
| pH (1/1) | 4.7 | 4.6 | 4.6 | 4.4 | Potenciómetro |
| Materia orgánica (%) | 3.9 | 2.9 | 2.7 | 2.7 | Walkley-Black |
| Nitrógeno total (%) | 0.18 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | %N = % MO x 0.045 |
| Fósforo disponible (ppm P) | 5.7 | 5.9 | 6.1 | 6.1 | Olsen |
| Potasio disponible (kg K ₂ O/ha) | 159 | 142 | 124 | 126 | H ₂ SO ₄ 6 N |
| CIC e (meq./100 g suelo) | 5.6 | 5.1 | 4.3 | 4.8 | KCl 1N |
| Ca (meq./100 g suelo) | 3.1 | 3.1 | 2.1 | 2.1 | EAA |
| Mg (meq./100 g suelo) | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | EAA |
| Al ⁺⁺⁺ + H ⁺ (meq/100g suelo) | 2 | 1.8 | 1.9 | 2.5 | Yuan |
| Sat. AC (%) | 35.71 | 35.29 | 44.19 | 52.08 | AC x 100 / CICE |

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Plantas de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos
 Av. Universitaria s/n Telef. (064) 562342 Anexo 283 Fax (064) 561156 Aptdo. 156



ANALISIS DE SUELOS

Procedencia:..... Chanchamayo

Solicitante: Jhon Vivanco Andía

| Número de Muestra | | CE | ANALISIS MECANICO | | | | pH | CO ₃ Ca | M.O. | N | P | K ₂ O | CAMBIABLES me/100 g | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|--------|-------------------|--------|-----------|-----------|-----|--------------------|------|------|------|------------------|---------------------|------|------|---|----|------|------|------|---------|---------|
| Laborat. | Campo | mmh/cm | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura | 1:1 | % | % | % | ppm | kg/ha | CIC | Ca | Mg | K | Na | Al | H | CICe | % | % |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Bas.Cam | Ac.Camb |
| M162-07 | B-I | | 26,0 | 50,0 | 24,0 | Fo.Lo | 4,7 | | 3,9 | 0,18 | 5,70 | 159 | | 3,10 | 0,50 | | | 1,30 | 0,70 | 5,60 | 64,29 | 35,71 |
| M163-07 | B-II | | 28,0 | 40,0 | 32,0 | Fo.Ar.Lo. | 4,6 | | 2,9 | 0,13 | 5,90 | 142 | | 3,10 | 0,20 | | | 1,50 | 0,30 | 5,10 | 64,71 | 35,29 |
| M164-07 | B-III | | 32,0 | 44,0 | 24,0 | Franco | 4,6 | | 2,7 | 0,12 | 6,10 | 124 | | 2,10 | 0,30 | | | 1,20 | 0,70 | 4,30 | 55,81 | 44,19 |
| M165-07 | B-IV | | 32,0 | 46,0 | 22,0 | Franco | 4,4 | | 2,7 | 0,12 | 6,10 | 126 | | 2,10 | 0,20 | | | 2,00 | 0,50 | 4,80 | 47,92 | 52,08 |

Para: % Bases Cambiables= $\frac{Ca+Mg+K+Na}{CICe} \times 100$

Para: % Acides Cambiables= $\frac{Al+H}{CICe} \times 100$

Observaciones : Muestras proporcionadas por el interesado

Fecha; Tingo María, 28 de Marzo del 2007

Luis G. Mansilla Minaya
 JEFE DE LABORATORIO

METODOS ANALÍTICOS

01. Análisis Mecánico. Textura por el método del hidrómetro.
02. Conductividad eléctrica (C.E) lectura del extracto de saturación en la celda eléctrica.
03. pH método del potenciómetro, relación suelo agua 1:1.
04. Calcareo total: método gaso – volumétrico.
05. Materia orgánica: Método de Walkley y Black.
06. Nitrogeno total: % M.O. x 0.045
07. Fósforo disponible: Método de Olsen Modificado. Extracto NaHCO_3 0.5M, pH 8.5
08. Potasio disponible: Método de ácido sulfúrico 6N
09. Capacidad de intercambio catiónico: Método de Acetato de Amonio 1N. pH 7.0 (suelos con pH > 5.5)

Ca : Absorción Atómica
Mg : Absorción Atómica
K : Absorción Atómica
Na : Absorción Atómica

10. C.I.C. Efectiva: Desplazamiento con Kel KCl 1 N (Suelos en pH < 5.5)
Aluminio más Hidrógeno: Método de Yuan
Calcio más Magnesio: Método de E.D.T.A (Versenato)