

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**



**“EXPLORACIÓN DE FUENTES ORGÁNICAS Y  
MINERALES NO CONVENCIONALES COMO  
ALTERNATIVAS PARA LA FERTILIZACIÓN DE  
CULTIVOS”**

**Presentada por:**

**VÍCTOR GUILLERMO AGUIRRE YATO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE *DOCTORIS PHILOSOPHIAE*  
EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

**Lima - Perú**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

**“EXPLORACIÓN DE FUENTES ORGÁNICAS Y MINERALES NO  
CONVENCIONALES COMO ALTERNATIVAS PARA LA  
FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE**

***Doctoris Philosophiae (Ph. D.)***

**Presentada por:**

**VICTOR GUILLERMO AGUIRRE YATO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**Dra. Luz Gómez Pando  
PRESIDENTE**

**Ph. D. Julio Alegre Orihuela  
PATROCINADOR**

**Dr. Oscar Loli Figueroa  
MIEMBRO**

**Ph. D. Sady García Bendezú  
MIEMBRO**

**Ph. D. Gordon Prain  
MIEMBRO EXTERNO**

## **DEDICATORIA**

*A la memoria de mi padre, Roberto*

*A la vigencia protectora de mi madre, Salomé*

*A Liza, Kusi, Kenty y Kai, mi familia:*

*Fuente permanente de inspiración*

*A la memoria del Dr. Sven Villagarcía Hermoza,*

*Por su aliento y confianza en mi persona*

## **AGRADECIMIENTOS**

A los miembros de mi Jurado: Dra. Luz Gómez Pando, Dr. Julio Alegre Orihuela mi patrocinador, Dr. Oscar Loli Figueroa, Dr. Sady García Bendezú, Dr. Gordon Prain; por su apoyo y buena voluntad.

Especial reconocimiento al Dr. Sady García por sus consejos y orientaciones.

A la Ing. Luciana Chávez por su valioso apoyo permanente.

A Marhleni Cerda, por su amistad y acompañamiento en compartir tareas y aspiraciones.

A todos mis amigos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, que directa e indirectamente, me alentaron a concluir con esta tarea.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	2
I. INTRODUCCION .....	6
1.1 Hipótesis general .....	8
1.2 Hipótesis específicas .....	8
1.3 Mapa conceptual del documento .....	9
II. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS FUENTES ORGANICAS NO CONVENCIONALES	
2.1 Introducción .....	12
2.2 Revisión de literatura .....	12
2.2.1 Utilización de los residuos de pescado .....	12
2.2.2 Los residuos hidrolizados de pescado o alopes .....	13
2.2.3 La harina de huesos .....	13
2.2.4 Desechos orgánicos como fuentes de nutrientes .....	14
2.3 Análisis químico de los materiales estudiados .....	18
2.3.1 Harina de cuernos y pezuñas .....	18
2.3.2 Harina de huesos .....	20
2.3.3 Residuo hidrolizado o alopes (abono líquido orgánico de pescado) .....	21
2.4 Protocolo de análisis químico .....	23
III. EVALUACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN FUENTES ORGÁNICAS NO CONVENCIONALES EN CONDICIONES DE INVERNADERO	
3.1 Introducción .....	25
3.2 Revisión de literatura .....	25
3.2.1 Sobre la roca fosfatada (RF) de Bayóvar .....	25

a. Características .....	25
b. Grado .....	26
c. Solubilidad .....	26
d. Reactividad .....	27
e. Composición química .....	28
f. Experiencias de uso de la roca fosfatada para propósitos agrícolas .....	29
3.2.2 Solubilización de fuentes poco solubles como la roca fosfatada, y la harina de huesos .....	30
3.2.3 Efecto residual de la roca fosfatada y la harina de huesos .....	31
3. 3 Materiales y métodos .....	33
3.3.1 Ubicación de los experimentos de invernadero.....	33
3.3.2 Equipos y materiales .....	33
3.3.3 Cultivo indicador .....	34
3.3.4 Suelo .....	34
3.3.5 Métodos de análisis de suelos .....	35
3.3.6 Tratamientos .....	37
a. Experimento 1: Niveles de abonamiento con harina de huesos y harina de cuernos y pezuñas y residuos hidrolizados, incluyendo los tratamientos adicionales .....	37
b. Experimento 2: Niveles de abonamiento con roca fosfatada y harina de cuernos y pezuñas y residuos hidrolizados, incluyendo los tratamientos adicionales ...	38
c. Experimento 3: Efecto residual de los experimentos 1 y 2 .....	39
3.3.7 Desarrollo de los experimentos .....	39
3.3.8 Variables a evaluar en los experimentos de invernadero .....	40
3.3.9 Análisis Estadístico.....	41
3.4. Resultados y discusión	
3.4.1 Experimento 1: Fuentes no convencionales: Residuo hidrolizado, harina de huesos, harina de cuernos y pezuñas en maíz en condiciones de invernadero ...	43
a. Altura de planta y producción de materia seca .....	43
b. Extracción de nutrientes (N, P, K) .....	48
3.4.2 Experimento 2 : Fuentes no convencionales: Residuo hidrolizado, roca fosfatada, harina de cuernos y pezuñas en maíz en condiciones de invernadero .....	52
a. Altura de planta y producción de materia seca .....	52
b. Extracción de nutrientes (N, P, K).....	56

c. Reacción final del suelo (pH) .....	61
3..4.3 Experimento 3: Efecto residual de fuentes no convencionales: Residuo hidrolizado, harina de huesos, roca fosfatada, harina de cuernos y pezuñas en maíz en condiciones de invernadero .....	61
a. Altura de planta y producción de materia seca (Residual: Harina de huesos y roca fosfatada), más adicionales .....	61
b. Extracción de nutrientes (N,P, K) Efecto residual de harina de huesos y roca fosfatada , más adicionales .....	67
IV. ENSAYOS DE CAMPO	
4.1 Experimento 4: Fuentes no convencionales de fertilización nitrogenada y extracción de nutrientes en maíz, bajo condiciones de Costa Central .....	72
4.1.1 Revisión de literatura: Sobre la producción de biomasa, rendimientos y extracción de nutrientes por el cultivo de maíz en condiciones de campo ....	72
4.1.2 Materiales y métodos .....	75
a. Ubicación de los experimentos de campo .....	75
b. Equipos y materiales .....	75
c. Cultivo o planta indicadora .....	75
d. Suelos .....	76
e. Clima .....	76
f. Tratamientos .....	79
g, Desarrollo del experimento de campo .....	79
h. Variables a evaluar .....	82
i. Análisis Estadístico .....	82
4.1.3 Resultados y discusión del experimento 4: Evaluación de fuentes no convencionales de fertilización nitrogenada en maíz, en dos localidades del valle de Cañete .....	83
a. Altura de planta, producción de biomasa y rendimiento de grano .....	83
b. Extracción de nutrientes (N, P, K) .....	88
4.1.5 Enfoque social, económico y ambiental. Estimaciones .....	95
a. Estimación económica .....	96
b. Estimación ambiental .....	98

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Para el Experimento 1 .....	100
5.2 Para el Experimento 2 .....	100
5.3 Para el Experimento 3 .....	101
5.4 Para el Experimento 4 .....	101
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	103
VII. ANEXOS .....	110

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Contenido de nutrientes de algunos residuos orgánicos. ....	15
Tabla 2: Composición química y física de peces marinos de importancia económica en Perú .....	16
Tabla 3: Perú: Beneficio de ganado en camales por año según principales especies. 2004 – 2009 .....	17
Tabla 4: Lima Metropolitana: Beneficio de ganado en camales por año según especies. 2004 -2009 .....	18
Tabla 5: Análisis químico de harina de cuernos y pezuñas y harina de huesos con sus correspondientes unidades .....	19
Tabla 6: Análisis químico de residuo hidrolizado, con sus correspondientes unidades .....	22
Tabla 7: Aporte de nutrientes adicionales para una dosis media de aplicación por maceta de 4 kg de sustrato, de acuerdo al contenido de análisis mencionados en las Tabla 6 y 7 . ....	22
Tabla 8: Solubilidad de roca fosfatada medida por varias extracciones químicas ....	27
Tabla 9: Superfosfato producido por roca fosfatada Bayóvar y roca fosfatada Florida .....	28
Tabla 10: Composición química (%) de la Roca Fosfatada Bayóvar según diversos autores .....	28
Tabla 11: Análisis físico-químico del sustrato arenoso de Cieneguilla, y de los suelos de de los fundos Don Germán y San Martín (Cañete) .....	34
Tabla 12: Descripción de los tratamientos con niveles de abonamiento con harina de huesos y harina de cuernos y pezuñas y residuos hidrolizados (factorial)	37
Tabla 13: Descripción de los tratamientos con niveles de abonamiento con roca fosfatada y harina de cuernos, pezuñas y residuos hidrolizados (adicionales)	38
Tabla 14: Descripción de los tratamientos con niveles de abonamiento con roca fosfatada y harina de cuernos y pezuñas y residuos hidrolizados (factorial).	38
Tabla 15. Descripción de los tratamientos con niveles de abonamiento con roca fosfatada y harina de cuernos, pezuñas y residuos hidrolizados (adicionales)	39
Tabla 16: Comparación de medias por la prueba $DLS_{0.05}$ para las distintas variables en el efecto del uso de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en harina	

de huesos como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (factorial) .....	47
Tabla 17: Comparación de medias por la prueba $DLS_{0.05}$ para las distintas variables en el efecto del uso de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en harina de huesos como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (adicionales) .....	48
Tabla 18: Comparación de medias por la prueba $DLS_{0.05}$ para los distintos parámetros en el efecto del uso “residuos hidrolizados” como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (factorial) .....	54
Tabla 19: Comparación de medias por la prueba $DLS_{0.05}$ para los distintos parámetros en el efecto del uso “residuos hidrolizados” como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (adicionales) .....	55
Tabla 20: Comparación de medias por la prueba $DLS_{0.05}$ para los distintos parámetros en el efecto residual del uso de residuos hidrolizados de pescado como acidulante en harina de huesos como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (factorial) ..	66
Tabla 21: Comparación de medias por la prueba $DLS_{0.05}$ para los distintos parámetros en el efecto residual del uso residuos hidrolizados de pescado como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (factorial) .....	66
Tabla 22: Comparación de medias por la prueba $DLS_{0.05}$ para los distintos parámetros en el efecto residual del uso residuos hidrolizados de pescado como acidulante en harina de huesos y roca fosfatada como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (factorial) ...	67
Tabla 23: Análisis físico-químico de los suelos de los fundos Don Germán y San Martín (Cañete) .....	76
Tabla 24: Descripción de tratamientos, usando harina de cuernos y pezuñas y residuo hidrolizado .....	79
Tabla 25: Comparación de medias por la prueba de Bonferroni ( $\alpha = 0.05$ ) para las distintas variables en las modalidades de fertilización en el cultivo de maíz en la localidad de Don Germán (Valle de Cañete). .....	85

Tabla 26: Comparación de medias por la prueba de Bonferroni ( $\alpha = 0.05$ ) para las distintas variables en las modalidades de fertilización en el cultivo de maíz en la localidad de San Martín (Valle de Cañete). .....	85
Tabla 27: Concentración y extracción promedios en las partes de la planta, en diferentes sistemas de abonamiento, Don Germán, para biomasa de una hectárea .....	93
Tabla 28: Concentración y extracción promedios en las partes de la planta, en diferentes sistemas de abonamiento, San Martín, para biomasa de una hectárea .....	94
Tabla 29: Rendimiento de biomasa, grano, y extracciones unitarias en maíz para distintos tratamientos en Don Germán – Cañete. ....	94
Tabla 30: Rendimiento de biomasa, grano, y extracciones unitarias en maíz para distintos tratamientos en San Martín – Cañete. ....	95

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1: Mapa conceptual del documento .....	11
Fig. 2: Materiales usados en los experimentos. ....	24
Fig. 3: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatada (HH) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la altura de plantas y producción de biomasa de maíz en condiciones de invernadero ...	45
Fig. 4: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales de residuos hidrolizados en la altura de plantas de maíz en condiciones de invernadero .....	46
Fig. 5: Efecto de la aplicación de Fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la producción de materia seca de plantas de maíz en condiciones de invernadero (g/maceta .....	47
.Fig. 6: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y residuos hidrolizados en la extracción de nitrógeno por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta). ....	49
Fig. 7: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y residuos hidrolizados en la extracción de nitrógeno por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta). ....	50
Fig. 8: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y residuos hidrolizados en la extracción de fósforo por plantas de maíz en condiciones de invernadero. ....	51
Fig. 9: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y residuos hidrolizados en la extracción de potasio por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta). ....	51
Fig. 10: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas no convencionales y roca fosfatada en combinación con residuos hidrolizados en la altura de plantas y producción de biomasa en maíz en condiciones de invernadero ...	53
Fig. 11: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales y de residuos hidrolizados en la altura de plantas de maíz en condiciones de invernadero .....	55
Fig. 12: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales y de residuos hidrolizados en la producción de	

biomasa en maíz en condiciones de invernadero. ....	56
Fig. 13: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la extracción de N, P y K por plantas de maíz en condiciones de invernadero.....	57
Fig. 14: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas no convencionales, roca fosfatada y residuos hidrolizados en la extracción de nitrógeno por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta). ....	59
Fig. 15: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de fósforo por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta). ....	59
Fig. 16: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de potasio por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta). ....	60
Fig. 17: Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y residuos hidrolizados en el pH del suelo, después del experimento. ....	60
Fig. 18: Efecto residual de la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno y fuentes fosfatadas (HH) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la altura de plantas de maíz en condiciones de invernadero .....	62
Fig. 19: Efecto residual de la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno y fuentes fosfatadas (RF) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la altura de plantas de maíz en condiciones de invernadero .....	63
Fig. 20: Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la altura de plantas de maíz en condiciones de invernadero (cm) .....	64
Fig. 21: Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la producción de biomasa en plantas de maíz en condiciones de invernadero (g/maceta) .....	65
Fig. 22: Efecto residual de la aplicación de niveles de nitrógeno y fuentes fosfatadas (HH) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la extracción de N, P y K por plantas de maíz en condiciones de invernadero. ....	68
Fig. 23: Efecto residual de la aplicación de niveles de nitrógeno y fuentes fosfatadas (RF) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en extracción de N, P y K por plantas de maíz en condiciones de invernadero.....	69
Fig. 24: Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes	

fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de nitrógeno por plantas de maíz en condiciones de invernadero.....	70
Fig. 25: Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de fósforo por plantas de maíz en condiciones de invernadero .....	70
Fig. 26: Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de potasio por plantas de maíz en condiciones de invernadero .....	71
Fig. 27: Información climatológica promedial para un período de 20 años .....	78
Fig. 28: Morfología de la planta de maíz indicando las partes .....	80
Fig. 29: Altura de planta para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete). .....	86
Fig. 30: Altura de planta para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete). .....	86
Fig. 31: Biomasa total y Rendimiento para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete). .....	87
Fig. 32: Biomasa total y Rendimiento para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete). .....	87
Fig. 33: Extracción de nitrógeno total para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete). .....	88
Fig. 34: Extracción de nitrógeno total para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete) .....	89
Fig. 35: Extracción de fósforo para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete). .....	89
Fig. 36: Extracción de fósforo para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete). .....	90
Fig. 37: Extracción de potasio para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete). .....	90
Fig. 38: Extracción de potasio para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete). .....	91
Fig. 39 Extracción de N – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O por cada tonelada de grano producido, para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete) .....	91
Fig. 40: Extracción de N – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O por cada tonelada de grano producido,	

para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete). .....	92
Fig. 41: Perspectiva del ciclo de vida del uso de fertilizantes .....	97
Fig. 42: Rendimientos aproximados de un bovino adulto .....	99

## INDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en harina de huesos como fuente de fósforo en combinación con harina de cuernos y pezuñas para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Factorial.....	111
Anexo 2. Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH), harina de huesos(HH) como fuente de fósforo, harina de cuernos y pezuñas (HCP) y fertilización mineral en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Adicionales.....	112
Anexo 3. Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo en combinación con harina de cuernos y pezuñas para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Factorial.....	113
Anexo 4, Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH), roca fosfatada (RF) como fuente de fósforo, harina de cuernos y pezuñas (HCP) y fertilización mineral en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Adicionales.....	114
Anexo 5. Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en harina de huesos como fuente de fósforo en combinación con harina de cuernos y pezuñas para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Efecto residual - Factorial.....	115
Anexo 6. Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo en combinación con harina de cuernos y pezuñas para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Efecto Residual – Factorial ..	116
Anexo 7. Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH), roca fosfatada (RF) como fuente de fósforo, harina de cuernos y pezuñas (HCP) y fertilización mineral en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Efecto Residual - Adicionales.....	117
Anexo 8. Análisis de variancia para las distintas variables en comparativo de modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en dos lugares, en el Valle de Cañete .....	118

## RESUMEN

En condiciones de invernadero y campo, con el propósito de evaluar la viabilidad del uso de materiales no convencionales en la fertilización de cultivos, se sometió a prueba el efecto solubilizante del residuo hidrolizado de la industria pesquera, sobre la roca fosfatada y la harina de huesos como fuentes de fósforo (30 y 22 %  $P_2O_5$ , respectivamente, con niveles de 200, 400 y 600  $mg\ kg^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), mediante incubación. También se usó como fuente nitrogenada la harina de cuernos y pezuñas (HCP - 13.5 % N, con niveles de 100, 200 y 300  $mg\ kg^{-1}$  de N), mas tratamientos adicionales aplicando individualmente cada uno de los materiales en prueba, así como un control o testigo y un tratamiento con fertilización convencional o mineral. En el experimento de campo, se redujeron los tratamientos a la utilización de fertilización convencional, uso de harina de cuernos y pezuñas, el residuo hidrolizado como abono foliar, y testigos adicionales sin fertilizantes y sin N.

Distribuidos los tratamientos en un Diseño Completamente Randomizado, usando suelo arenoso de lecho de río, en macetas, se usó el maíz (*Zea mays*) como planta indicadora, durante 8 semanas para obtener plantas que permitan medir, altura de planta, producción de materia seca y extracción de nutrientes N; P y K. Se usó agua de riego de calidad controlada, es decir bajo en sales.

Como resultado, no se encontró efecto combinado de la aplicación de la harina de huesos, así como la roca fosfatada incubadas y la HCP, entre los niveles planteados. Cuando se analiza por separado, si se encontraron respuestas significativas que se acercan a lo obtenido con el tratamiento con fertilización convencional, especialmente la HCP, tanto en altura de planta como en producción de biomasa seca, en valores que se duplican y cuadruplican, según sean los tratamientos, aplicados tan solo en los niveles más bajos (100  $mg\ kg^{-1}$  de N y 200  $mg\ kg^{-1}$  de  $P_2O_5$ ).

En cuanto a la extracción de N, P y K, se acentúa la tendencia encontrada en la producción de materia seca.

En el experimento de campo, se confirmó la eficiencia de la harina de cuernos y pezuñas como fuente orgánica de N, y un pequeño efecto del residuo hidrolizado. Como

información adicional, se encontró una extracción unitaria en kg de N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O por tonelada de grano varía entre 21.4 a 23.8 en N, entre 12.1 a 12.3 para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y, entre 20.6 a 23.6 para K<sub>2</sub>O, que es muy adecuado para conseguir rendimientos competitivos.

La principal conclusión de estos experimentos, es que si es posible considerar estos materiales no convencionales, en la fertilización de cultivos, se necesitaría realizar mayor investigación y realizar análisis de costos en períodos más largos con rotaciones de cultivos intensivos para evaluar su sustentabilidad. Sin embargo, es necesario mayores experimentos y su profundización para confirmar la viabilidad del uso de éstos..

**Palabras clave:** Residuos hidrolizados, harina de huesos, harina de cuernos y pezuñas, roca fosfatada, fertilización no convencional, extracción de nutrientes.

## SUMMARY

With the aim of evaluate the viability of the use of non-conventional materials as fertilizers, it was tested, under controlled and fields conditions, the effect of the hydrolyzed residue from the Fishery industry in solubilizing Phosphorus rock and Bone ash (30 and 22 %  $P_2O_5$  respectively). This residue was incubated with different levels of Phosphorus (P) concentration (200, 400 and 600  $mg\ kg^{-1}\ P_2O_5$ ). As source of Nitrogen (N) was used the same Hooves and horn meal (HHM – 13.5 % N) under different levels of treatment 100, 200 and 300  $mg\ kg^{-1}\ N$ . An additional control treatment was added, as well as, a treatment with inorganic or traditional fertilizers. For the field experiment, only conventional fertilization, Hooves and horn meal, Hydrolyzed residue as foliar fertilizer and a control treatment without fertilizer were used.

The treatments were distributed following a completely randomized design, using river soil as substrate. Corn (*Zea mays*) was selected as the indicator plant for the experiment, and it was cultivated for 8 weeks in order to measure height of the plant, biomass production and nutrients extraction (N, P, K). It was used water with low content of salts.

As results from the controlled conditions, there was not combined effect of the application of Bone ash and Phosphorus rock incubated with the HHM among the treatments established. When the analyzed is done separately, responses closely to the conventional fertilization were found. That is found especially in treatments with HHA both, in the height of the plant and the biomass production. Regarding to the nutrients extraction (N, P, K), the tendency found for the biomass production is followed as well for this variable, applied only in lowest level (100  $mg\ kg^{-1}\ N$  y 200  $mg\ kg^{-1}\ P_2O_5$ ).

As results from the field experiment, the efficiency of the HHM as sources of N was confirmed, as well as a small contribution by the hydrolyzed residue. As additional information, it was reported a Unitarian extraction for every ton of grain, nutrients ranging within 21.4 – 23.8  $kg\ N$ , 12.1 – 12.3  $kg\ P_2O_5$  and 20.6 – 23.6  $kg\ K_2O$ .

As main conclusions of these experiments, it is possible to have those non-conventional materials as potential alternatives for crop fertilization. However, more research is needed in order to confirm the results obtained in this experiment.

**Keywords:** Hydrolyzed Residue, Bone meal, Hooves and horn meal, Phosphate rock, Non-conventional fertilizers, Nutrients uptake.

## I. INTRODUCCION

El uso de fuentes no convencionales de nutrientes como los biofertilizantes, es una de las técnicas que más se ha desarrollado en las últimas décadas, como alternativa en la producción agrícola. La agricultura sustentable no puede prescindir de estas fuentes. Hoy no se concibe ninguna explotación agrícola sin una adecuada fertilización que permita obtener del suelo toda la capacidad productiva dentro de las limitaciones que imponen las condiciones climáticas en cada caso.

Los agricultores están continuamente luchando para vencer las deficiencias nutritivas de los cultivos, ya que las capacidades de producción de las plantas cultivadas se están aproximando al límite de sus posibilidades genéticas (Fuentes, 1999).

El uso intensivo de fertilizantes sintéticos está conduciendo a la contaminación de los suelos, aguas y productos cosechados, poniendo en riesgo el medio ambiente y la salud humana. Por ello, es necesario buscar otras fuentes de nutrientes, de naturaleza no convencional, especialmente materiales orgánicos, con el propósito de sustituir -parcialmente cierto- a los fertilizantes minerales convencionales.

La producción constante en la explotación ganadera de vacuno, del cual se tienen residuos orgánicos como: pezuñas, cuernos y huesos, que contienen nitrógeno, fósforo y otros elementos, que pueden ser utilizados en la agricultura, que esta a su vez busca obtener altos rendimientos a un costo bajo, por ello se busca demostrar la eficiencia de estas fuentes no convencionales y cantidad adecuada en su uso para un manejo sustentable.

La industria de productos cárnicos genera una gran cantidad de desechos orgánicos, las que suponen un alto riesgo de contaminación. Estos residuos altamente contaminantes lo constituyen los cuernos, pezuñas, huesos, sanguaza, entre otros, no son tratados adecuadamente, y debido a que no se cuenta en Latinoamérica con procesos sanitarios adecuados para esta industria (Garzón, 2010). Estos residuos además de ser usados en fabricación de jabones, se podrían usar en agricultura debido al elevado contenido de elementos esenciales como nitrógeno y fósforo en estos residuos (Zoccola et al., 2009), así

como otros microelementos que los hacen muy interesantes para su aplicación como fertilizantes no convencionales, en especial en pequeñas huertas familiares o agricultura de pequeña escala, reduciendo, el uso de fertilizantes químicos, que se convierten en nuevas fuentes de contaminación.

La dinámica de estos insumos en el suelo ha sido poco estudiado. El uso de estos residuos en agricultura ha sido reportado en otros trabajos de investigación con resultados muy interesantes; así, Novelo et al. (1998) utilizó harina de huesos en aplicación directa para cultivos de café en los Altos de Chiapas, México; observando un incremento de la actividad microbiana y un consecuente aumento en la absorción de fósforo por el café. Por su parte, Chávez et al. (2006) analizó la eficiencia de la harina de sangre y huesos como fertilizante fosforado en comparación con roca fosfatada rica y superfosfato en *Festuca arundinacea*, encontrando mejores resultados con la mezcla mencionada en comparación con la roca fosfatada, pero menor al fertilizante químico.

Lo interesante de estos materiales es no sólo su uso como fertilizantes, también como enmiendas de suelo, mejorando las propiedades de los mismos. Así, Comese et al. (2009) determinaron que la combinación de composta de lombriz y harina de huesos representa la mejor enmienda de suelos, los valores carbono orgánico, carbono orgánico particulado, densidad aparente, fósforo extractable, pH, conductividad eléctrica y CIC. Asimismo, es importante destacar el uso de cuernos y pezuñas como fertilizantes a nivel comercial por parte de las industrias, lo cual surge la idea de uso a nivel más doméstico sin problemas adicionales.

Cabe resaltar que en la mayoría de investigaciones de uso de residuos sólidos, se apuesta por procesos de digestión anaerobia y/o compostaje en lugar de la aplicación directa del residuo. Por ejemplo, Xia et al. (2015) realizó la digestión anaerobia de las harinas de pezuñas con fines de producción gasífera. Por otro lado, Cayuela et al. (2009), realizó las compostas con harina de cuernos y pezuñas.

La selección y utilización de microorganismos en los procesos de transformación de los residuos orgánicos, ya es parte de las explotaciones agrícolas, tanto en la preparación de compost, como en la utilización de sus componentes ácidos, que ayudan a solubilizar

compuestos difícilmente asequibles a las plantas, simulando en tal caso a los procesos químicos en la preparación y fabricación industrial de los fertilizantes.

La industria pesquera genera una cantidad considerable de residuos, causantes de contaminación; los que convertidos mediante hidrólisis pueden ser usados en fertilización agrícola.

El Perú dispone de una de las reservas más grandes de fosfatos naturales del mundo (Bayóvar-Sechura). Una de las limitaciones para uso directo de este fosfato, es su reducida solubilidad, la que requiere de medios ácidos para hacer disponible el fosfato que contiene.

Los objetivos de la presente investigación fueron, en la primera fase, la determinación de la viabilidad del uso de los denominados residuos hidrolizados de pescado o Alopes, en la solubilización de materiales no convencionales como la harina de huesos y la roca fosfatada, en combinación con otros materiales orgánicos como harina de cuernos y pezuñas, bajo condiciones de invernadero. Luego seleccionar las opciones más viables para probarlas en condiciones de campo.

### **1.1 HIPÓTESIS GENERAL**

La solución de residuos hidrolizados en proceso de incubación ejerce acción solubilizadora sobre la harina de huesos y la roca fosfatada, que se traduce en una mayor dotación de P para la planta.

### **1.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:**

- (a) La disponibilidad de P para la planta depende de la dosis de harina de huesos y de roca fosfatada aplicada al suelo por acción solubilizadora del residuo hidrolizado.
- (b) El rendimiento de materia seca y otras variables cuantitativas expresadas por la planta, corresponden a un nivel óptimo de combinación de harina de huesos y roca fosfatada y harina de cuernos y pezuñas, por acción solubilizante del residuo hidrolizado.
- (c) El rendimiento de los cultivos en campo de los mejores tratamientos en invernadero demuestran su factibilidad de uso, aplicabilidad y posible sustentabilidad.

### 1.3 MAPA CONCEPTUAL DEL DOCUMENTO

El mapa conceptual, define la estructura general del trabajo de investigación.

1. Un problema actual de preocupación mundial <sup>(1)</sup>, lo constituye la **contaminación del medio ambiente**, que compromete la contaminación del aire, el agua y los suelos. Asociado a este problema se presenta otra preocupación: El cambio climático.
2. La respuesta a esta problemática la constituye el **desarrollo sustentable**, que propone la perdurabilidad de la vida sobre la faz de la tierra, combinando tres dimensiones: la equidad como componente **social**, la rentabilidad y viabilidad en lo **económico**, y el uso racional y limpio de los recursos desde el punto de vista **ambiental**.
3. Las actividades económicas, como la industria pesquera y la industria cárnica, producen residuos que convertidos en productos rescatables como los **residuos hidrolizados pesqueros, la harina de cuernos y pezuñas, y la harina de huesos**, podrían tener uso en la agricultura, junto a otro recurso natural como la **roca fosfatada**.
4. Como prolongación de la propuesta de desarrollo sustentable, surge la propuesta de **agricultura sustentable**, que se basa en el uso racional de recursos, uso de residuos orgánicos como fuente de reposición de nutrientes para el suelo, dando respuesta al problema de contaminación ambiental.
5. En base a estas consideraciones, se plantea una **línea de investigación** que explore la posibilidad de uso de residuo hidrolizado de la industria pesquera, de la harina de cuernos y pezuñas, de la harina de huesos, así como de la roca fosfatada, usando el cultivo de maíz como planta indicadora, en condiciones de invernadero y de campo.

-----  
<sup>(1)</sup>En setiembre de 2000, en la sede de la Organización de las Naciones Unidas en Nueva York, los Jefes de Estado y de Gobierno, se reunieron para adoptar el acuerdo denominado, la Declaración del Milenio: Dos de los desafíos como metas al 2015 (el 1 y 7), fueron: Reducir la pobreza y el hambre, y garantizar y velar por la sostenibilidad del medio ambiente (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

6. Para este efecto se obtendrá información de **indicadores biométricos** como: altura de planta, producción de biomasa, extracción de nutrientes, índice de cosecha.
7. El esquema de desarrollo del presente informe se plantea lo siguiente:

En el capítulo I como Introducción, se hace una explicación sucinta de la justificación del trabajo de investigación y del estado del arte con respecto al tema.

En el capítulo II, se describe la caracterización físico-química de los residuos orgánicos utilizados en los experimentos, así como el proceso de obtención de éstos.

La evaluación de disponibilidad de nutrientes en fuentes orgánicas no convencionales en condiciones de invernadero, se desarrolla en el capítulo III.

Los ensayos de campo se desarrollan en el capítulo IV, como continuación de los resultados de los experimentos de invernadero.

La parte final del capítulo V, corresponde a las conclusiones generales y recomendaciones, así como los trabajos a futuro.

# MAPA CONCEPTUAL

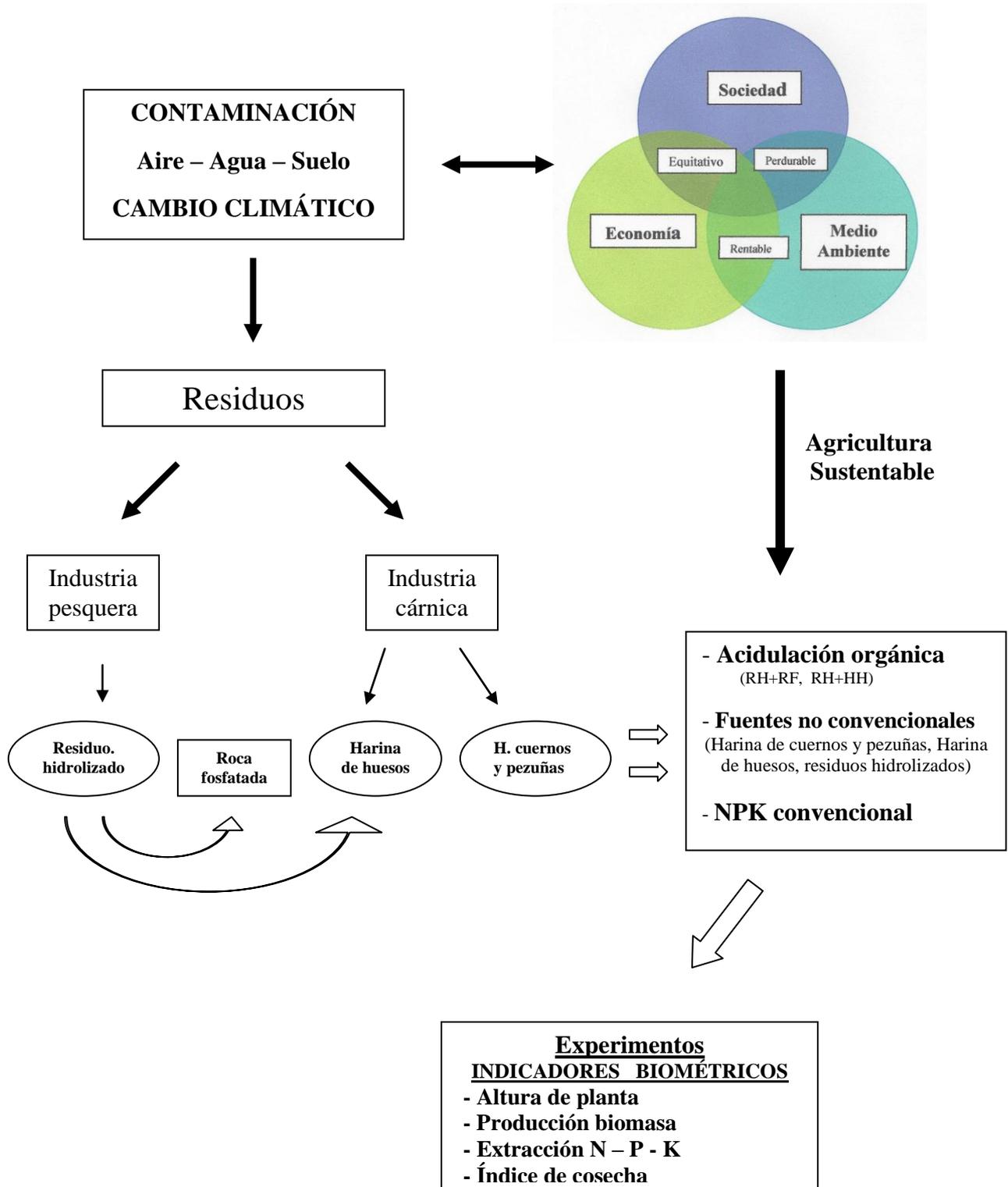


Figura 1. Mapa conceptual del documento

## **II. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS FUENTES ORGANICAS NO CONVENCIONALES**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Para un adecuado manejo de los materiales a usarse en los experimentos, es necesario previamente realizar un reconocimiento de las principales características, mediante análisis químico, así como la explicación de la procedencia de estos materiales, ya que posteriormente, nos darán pautas para la interpretación de los resultados. Como los mismos, tienen en otros lugares, antecedentes de uso, también una revisión bibliográfica nos permite comparar con otros experimentos de esta línea de investigación.

### **2.2 REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.2.1 UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PESCADO**

Según Windsor y Barlow (1984), anualmente se generan en el mundo alrededor de 20 millones de toneladas de residuos pesqueros. Si se consideran que contienen entre 15 a 20 % de proteínas, entonces representan aproximadamente 3 a 4 millones de toneladas de proteínas de elevada calidad. Agréguese a esta observación la intensa actividad industrial pesquera desarrollada en nuestro país.

Vincenza et al. (2010), señalan que de la materia prima original constituidos por los peces, entre el 20 al 70% de la industria pesquera van a constituir residuos que se orientan a distintos aprovechamientos. Estos residuos, son las vísceras, pieles, huesos, sangre, tan solo cabeza y colas y aletas de los peces, que en promedio representan entre 25 a 27%. Gran parte de estos residuos se utilizan en alimentación animal, así como en la elaboración de fertilizantes. Su composición de proteínas (70%), minerales (10%), grasa (10%) y agua (10%), explica de por sí el alto valor nutricional.

La industria pesquera es una de las actividades económicas más importantes del Perú, y por tanto la producción de residuos también es considerable. De acuerdo a la información

proporcionada por Juscamaita (2014), (ver Tabla 2), en promedio se dispone del 50% de residuos de esta industria, confirmando lo señalado por Vincenza et al. (2010).

El uso de subproductos pesqueros no es una novedad. En los países nórdicos muchos de los subproductos se utilizan con diversos propósitos, como la producción de fertilizantes, y productos para la alimentación animal, entre los que se encuentran las harinas de pescado, aceite, ensilado, hidrolizados y concentrados de proteínas (Bossio, 2007).

### **2.2.2 LOS RESIDUOS HIDROLIZADOS O ALOPES**

Rustad (2003), define los residuos hidrolizados, como proteínas que son química o enzimáticamente fragmentadas en péptidos de variados tamaños. Los residuos hidrolizados de proteínas de pescado pueden realizarse de dos formas. La primera depende de la enzima digestiva del mismo pescado, mientras que el segundo método esta basado en la hidrólisis del material por enzimas comerciales (Mohr, 1978, citado por Rustad, 2004).

Para Knuckey et al. (2004), el hidrolizado se produce mediante la molienda de desechos de pescado, la adición de un ácido y luego la agitación de la mezcla hasta que el proceso de hidrólisis enzimática esté completo. El ácido sulfúrico es utilizado debido a su disponibilidad, de manejo relativamente fácil, bajo costo y su contenido de azufre (S), que beneficia a los cultivos. El ácido sulfúrico adicionado (2% en peso) ayuda a dar inicio a la hidrólisis de pescado, pero su objetivo principal es reducir el pH para prevenir el ataque de otros microorganismos.

### **2.2.3 LA HARINA DE HUESOS**

Los huesos adecuados para la elaboración de la harina pueden proceder no sólo de los mataderos, sino también de los basureros municipales, hoteles y restaurantes. Con un equipo sencillo, los huesos pueden convertirse en harina de huesos cruda o harina de huesos calcinada. La harina de huesos tratada al vapor exige un equipo más costoso (Núñez, 1999).

Las harinas de huesos se utilizan como fuente de fósforo y de calcio en la alimentación del ganado. Son también una buena fuente de microelementos. Se pueden mezclar con suplementos concentrados o bien usarse para los bovinos en el campo. (Núñez, 1999; Castro & Vinueza, 2011).

En contexto comercial, existe información sobre ofertas de harina de huesos para jardinería. Esta información es muy pequeña para el uso agrícola, a pesar de conocerse de ser una fuente viable y de alto contenido de fósforo.

#### **2.2.4 DESECHOS ORGÁNICOS COMO FUENTES DE NUTRIENTES**

El abono orgánico a partir de la transformación de los desechos generados en restos municipales, industriales y otros, es una estrategia para mejorar la producción agrícola en las zonas marginadas.

La elaboración de abono puede desarrollarse con diversos restos municipales y aprovechar los desechos orgánicos (sangre, vísceras y pezuñas) de porcinos y bovinos, entre otros animales.

Una vez procesados los materiales, los subproductos que se obtienen son harina de sangre, lombricomposta, abono líquido y harina de pezuña, usados con excelentes resultados como fertilizantes o abonos orgánicos.

Cada año la naturaleza devuelve al suelo una parte de la riqueza utilizada en la creación de biomasa. Este ciclo es infinito pero cuando se rompe, el agricultor debe aportar al suelo riqueza en forma de abonos. A continuación (Tablas 1) el porcentaje de nitrógeno, fósforo, potasio, que contiene los siguientes desechos orgánicos.

**Tabla 1. Contenido de nutrientes de algunos residuos orgánicos**

<b>Material</b>	<b>Nitrógeno %</b>	<b>Fósforo %</b>	<b>Potasio %</b>
Harina de sangre	15	1.3	0.7
Harina de huesos	4.0	22	0.2
Estiércol de vaca fresca	3.0	0.2	0.4
Estiércol de vaca seco	0.6	0.4	0.4
Harina de pescado	10	3.0	0.0
Pezuña y cuerno	13	1.5	0.0
Estiércol equino fresco	0.4	0.2	0.4
Estiércol equino seco	0.7	0.5	0.6
Estiércol de oveja	0.7	0.4	0.3
Paja	0.6	0.3	0.9
Cabello humano	12.2	0.075	0.13
Pelo de cuy	13.0	0.02	0.06
Lana de carnero	13.2	0.035	0.22
Estiércol de camélido	1.46	0.64	0.99

Fuente: Guerrero (1993) y elaboración propia

**Tabla 2. Composición química y física de peces marinos de importancia económica en Perú**

Especie	Análisis proximal					Componentes minerales (mg/100g)							Composición física	
	Humedad (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Sales Minerales (%)	Calorías (100 g)	P	K	Na	Ca	Mg	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Filetes (%)	Residuos (%)
Anchoveta	70.8	8.2	19.1	1.2	185	240	241.4	78	77.1	31.3	10	--	46.7	53.3
Atún	70.4	4.6	23.3	1.6	175	200	40	43	38	28	13	--	58	42
Bonito	73	4.2	23.4	1.2	138	214	312.8	128	35	28	10	--	--	--
Caballa	74.2	10	15	1.2	153	239	457.4	47.8	4.3	40.4	37.7	0.9	51.2	48.8
Jurel	75	4	19.7	1.2	149	325	428.4	70.2	13.6	45.2	19.1	0.8	51.3	48.7
Sardina	71.3	6.6	20.2	1	180	475	332.1	60.6	40.5	33	19	1.3	50.4	49.6
Ayanque	76.2	3.8	18.6	1.1	141	194	345.5	32.6	11.7	16.6	4.3	0.7	48.3	51.7
Cabrilla	77.9	1.8	18.6	1.2	122	204	453	115.2	15.6	36.1	7.4	0.1	45.5	54.5
Coco	78.7	2.7	17.4	1.1	124	--	333.5	47.1	93.2	22.9	3.1	0.6	45.6	54.4
Lenguado	81.7	1.3	16.5	--	80	260	230	100	30	29	7	--	50	50
Merluza	82.4	0.5	15.8	1.2	94	190	403.7	64	14.7	54.6	0	0.1	53	47
Raya	81.2	0.9	17.1	--	79	155	274	161	26	24	10	--	55	45
Tollo	78.4	0.4	18.7	--	83	229	249.2	146.8	21	--	7	--	47	53
Cojinova	76	0.7	20.2	1	93	247	379.1	98.9	19	--	27	--	--	--
Machete	72	5.4	20.5	1.2	167	217	324.6	37.5	26.4	42.4	40.2	1.3	45.7	54.3
Pejerrey	74	1.2	18.7	--	89	311	269.1	139.1	105	--	7.7	--	--	--

**FUENTES: IMARPE (2007); Kelloggs (2007); UNMSM (2000).**

La producción de residuos de la actividad cárnica (sangre, pelos, cuernos, pezuñas), aparentemente resulta pequeña, pero cuando se cuantifica éstos en los camales de las grandes urbes, se constituyen en magnitudes a tomar en cuenta. La preocupación, sobre todo por el efecto contaminante ha llevado a los estudiosos a considerar las posibilidades agrícolas para su uso (López & Sainz, 2011).

La magnitud de los desechos de camales, por la cantidad de animales beneficiados, en el Perú y Lima Metropolitana, podemos estimarla en la siguiente información estadística (Tablas 3 y 4), estos volúmenes no son desdeñables, sobre todo por el efecto contaminante, ya que no tienen ningún uso, destinados a botaderos o basurales, que siendo residuos orgánicos, podrían servir de material fertilizante, ya sea mediante la conversión en harina para uso directo, o ya sea para el compostaje.

**Tabla 3. Perú: Beneficio de ganado en camales por año según principales especies. 2005 – 2010**

<b>Especie</b>	<b>Variable</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Ovino	Unidades	744,749	678,938	752,236	727,331	733,634	751,630
	( t )	9,244	8,504	9,511	9,371	9,575	9,754
	kg./ Unidad	12.4	12.5	12.6	12.9	13.1	13.0
Porcino	Unidades	0920,482	1,001,830	1,139,667	1,211,776	1,224,619	1,332,595
	( t )	50,621	56,812	64,372	69,953	72,078	
	kg./ Unidad	55.0	56.7	56.5	57.7	58.9	58.4
Vacuno	Unidades	915,341	941,781	937,177	901,756	851,653	<b>924,249</b>
	( t )	151,262	156,436	156,200	149,688	147,250	160,291
	kg./ Unidad	168.6	165.3	166.1	166.7	166.0	173.4

Fuente: Direcciones Regionales Agrarias - Dirección de Información Agraria

Elaboración: Ministerio de Agricultura -OEEE - Unidad de Estadística

**Tabla 4. Lima Metropolitana: Beneficio de ganado en canales por año según especies. 2005 -2010**

<b>Especie</b>	<b>Variable</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2006</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Ovino	Unidades	96,602	94,175	97,672	107,101	100,251	105,265
	( t )	1,133	1,098	1,157	1,252	1,226	1,263
	kg./ Unidad	11.7	11.7	11.8	11.7	12.2	12.0
Porcino	Unidades	413,298	461,109	534,181	601,810	629,508	655,763
	( t )	25,209	28,585	32,665	37,243	39,401	41,338
	kg./ Unidad	61.0	62.0	61.1	61.9	62.6	63.0
Vacuno	Unidades	256,862	277,589	279,525	268,091	255,022	<b>263,100</b>
	( t )	56,978	61,587	62,738	60,150	59,682	61,985
	kg./ Unidad	221.8	221.9	224.4	224.4	234.0	235.6

Fuente: Sub-Gerencia Agraria Lima Metropolitana-Municipalidad de Lima Metropolitana. - 2005 - 2010.

Elaboración: Ministerio de Agricultura -OEEE - Unidad de Estadística.

## **2.3 ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO**

### **2.3.1 HARINA DE CUERNOS Y PEZUÑAS**

Los análisis de los materiales se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes (LASPAF), de la Universidad Nacional Agraria La Molina obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 5):

**Tabla 5. Análisis químico de la harina de cuernos y pezuñas y la harina de huesos.**

<b>Determinación</b>	<b>Harina de cuernos y pezuñas</b>	<b>Harina de huesos</b>
pH	6.20	7.3
CE (dS/m)	10.90	4.46
Mat.Org. (%)	96.52	20.60
N (%)	<b>13.58</b>	4.48
P (%)	.-	9.61
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.16	<b>22.11</b>
K <sub>2</sub> O (%)	0.32	0.06
CaO (%)	0.75	31.88
MgO (%)	0.04	0.75
Na (%)	0.16	0.16
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	1696	145
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	6.0	5.0
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	99	8.0
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	26	82
B (mg kg <sup>-1</sup> )	.-	102
S (%)	.-	0.06

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina

La harina de cuernos y pezuñas tiene un elevado contenido de N (13.6 %), además de pequeñas cantidades de los demás elementos, sobre todo una apreciable dotación de elementos menores, haciendo de este producto un material orgánico utilizable con fines agrícolas. Esto coincide con otros análisis de caracterización realizadas a mezclas similares, en las cuales se encontraron importantes contenidos de aminoácidos que favorecen enlaces del tipo alfa hélice, componente principal de las proteínas (Zoccola et al., 2009), con uso potencial como fertilizantes para agricultura (Korniłowicz & Bohacz, 2011). En este caso, la mezcla de harinas de pezuñas y cuernos se convierte en una fuente de permanente, pero lenta, liberación de nitrógeno por su contenido de queratinas (Zoccola et al., 2009), a causa probablemente de degradación por hongos keratinofílicos en el suelo.

El punto de partida de la preparación de la harina de cuernos y pezuñas se inicia con el recojo de estos residuos de los camales. El proceso consiste en someter a hervor en agua

durante 10 minutos, para que después del enfriamiento se desprenda la clavija ósea de los cuernos (la que en las pezuñas no es necesario). Al dejarlo enfriar y secar, que puede ser con una fuente de calor, se somete a molienda en un molino de martillos, hasta obtener el tamaño de partícula que permita uniformizar y pasar por malla Nro. 16 (ó 16 mesh), que equivalen aproximadamente a 1.2 mm de diámetro (Documet, 2015).

### **2.3.2 HARINA DE HUESOS**

En la Tabla 5 se muestran los datos de análisis de la harina de huesos. Como todo material orgánico, contiene todos los elementos esenciales que participan de la nutrición vegetal, así como apreciables contenidos de elementos menores. Asimismo, tiene un contenido bajo de N (4.48 %). Pero siendo el propósito de usar como fuente de fosfatos, este representa un 9.6 %, que expresado en  $P_2O_5$ , es comparable al de los fertilizantes comerciales (22.1 %).

La harina de huesos calcinada (ceniza de huesos), se obtiene apilando los huesos en un marco de metal y quemándolos para esterilizarlos y privarlos de toda materia orgánica. Es el único método recomendable de utilizar los huesos. La ceniza de huesos, parecida al carbón, es friable y puede pulverizarse con facilidad (Núñez, 1999).

Luego se somete a calcinación y posteriormente es fácilmente sometido a molienda, llevando a un tamizado para uniformizar el tamaño de partícula semejante a la harina de cuernos y pezuñas (malla 16).

A modo de comparación con la información presentada, García & Rosentrater (2008), en muestras colectadas de harina de huesos (meat & bone meal), en 17 lugares, encontraron en promedio, 8.4 % de N, 4.4 % de P, 0.56 % de K, 9.4 % de Ca, 0.25 % de Mg, 1.0 % de Na, 618 ppm de Fe, 14.5 ppm de Cu, 37 ppm de Mn, 94 ppm de Zn, 10 ppm de B y 0.38% de S, valores que son congruentes, con los hallados en el LASPAF de la UNA La Molina.

Asimismo, Mondini et al. (2008), sostiene que en Europa, ante la prohibición del uso de la harina de huesos en la industria cárnica, por la aparición de riesgo de transmisión de la encefalopatía espongiiforme en Europa (“enfermedad de las vacas locas”), proponen el uso

como fertilizante agrícola, y se emprendieron estudios sobre los efectos en las propiedades biológicas y microbiológicas del suelo, lo que evidencia la diversificación del uso de estos materiales, y reducir la contaminación por acumulación de estos residuos.

### **2.3.3 RESIDUO HIDROLIZADO O ALOPES (ABONO LÍQUIDO ORGÁNICO DE PESCADO)**

Bossio (2007), cita a Aspino et al. (2005), indicando que produjeron hidrolizados de vísceras de pescado utilizando enzimas endógenas y enzimas exógenas comerciales como papaína y bromelina de origen vegetal, y alcalasa de origen microbiano. Además encontraron que la alcalasa proporciona el más alto rendimiento en solubilización de materia seca. Además señalan que estos hidrolizados son una fuente excelente de nitrógeno para el cultivo de bacterias ácido-lácticas.

La preparación de residuo hidrolizado consiste en primero en homogenizar los residuos de la actividad pesquera, aplicando una solución de microorganismos o consorcio microbiano denominado B-Lac (Juscamaita, 2014). Estos microorganismos son predominantemente anaeróbicos. Higa y Parr (1994), identifican a estos microorganismos como benéficos, distribuidos en bacterias fototróficas, levaduras, bacterias lácticas, y hongos de fermentación, en los que mencionan a *Lactobacillus* sp., bacterias aeróbicas mesófilas, mohos y levaduras, *Streptococcus* y *Bifidobacterium*. La degradación biológica es un proceso de digestión anaeróbica, en la que la materia orgánica es convertida en metano, dióxido de carbono y biomasa, que viene a constituir el residuo hidrolizado. Este resultado final es una compleja mezcla de ácidos volátiles, como ácidos acético, propiónico, butírico, valérico, láctico, etc. y alcoholes, como el glicerol y etanol.

En el análisis químico de una muestra de residuo hidrolizado producido en el Laboratorio de Bioremediación del Departamento de Biología (Facultad de Ciencias – UNALM), que finalmente se utilizó como solución acidulante, análisis realizado en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, de la UNALM se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 6.

**Tabla 6. Análisis químico del residuo hidrolizado, con sus correspondientes unidades**

Determinación	Residuo hidrolizado
pH	3.6
CE (dS/m)	17.5
Sólidos totales en suspensión(g/L)	121.8
M.O.en solución (g/L)	103.2
N total (mg/L)	1876
P total (mg/L)	167
K total (mg/L)	1890
Ca total (mg/L)	671
Mg total (mg/L)	785
Na total (mg/L)	835
Fe (mg/L)	18.2
Cu (mg/L)	1.7
Zn (mg/L)	2.5
Mn (mg/L)	0.8
B (mg/L)	9.6
S (mg/L)	1134

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina

**Tabla 7. Aporte de nutrientes adicionales para una dosis media de aplicación por maceta de 4 kg de sustrato, de acuerdo al contenido de análisis mencionado en las Tablas 5 y 6.**

Harina de cuernos y pezuñas (5.88 g)		Harina de huesos (7.24 g)		Residuo hidrolizado (40 mL)		
<u>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></u>	<u>K<sub>2</sub>O</u>	<u>N</u>	<u>K<sub>2</sub>O</u>	<u>N</u>	<u>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></u>	<u>K<sub>2</sub>O</u>
9.4 mg	18.8 mg	324 mg	4.3 mg	75 mg	15 mg	90 mg
2.3 ppm	4.7 ppm	81 ppm	1.1 ppm	19 ppm	4 ppm	22 ppm

Fuente: Elaboración propia

## 2.4 PROTOCOLO DE ANÁLISIS QUÍMICO

El pH de las muestras sólidas (harina de cuernos y pezuñas, y harina de huesos), se determinaron con un potenciómetro Consort C1020, en un extracto de pasta a solución 1:1, y en el caso del alopes (muestra líquida), con lectura directa, sin dilución.

La determinación de conductividad eléctrica (CE), se realizó en un extracto acuoso, obtenida por bomba de vacío y con el procedimiento y protocolo de esta determinación para suelos (muestras HCP y HH), y en el caso del alopes (RH), en el material directo. La lectura se realiza en un conductímetro YSI Modelo 32.

La determinación de nitrógeno en muestras sólidas (HCP y HH), se realizó por el procedimiento de Kjeldahl, en muestras de 100 mg, las que corresponden a procesos de digestión, destilación y titulación. En el caso del alopes (RH), se realizó por digestión de una muestra de 10 mL del material.

La materia orgánica se procesó por el método de Walkley y Black, en muestras homogenizadas de 0.5 mm de tamaño, mediante oxidación con una solución de dicromato de potasio y en un medio ácido proporcionado por el ácido sulfúrico, y cuantificación del remanente con un reductor sulfato ferroso amoniacal. Este procedimiento permite medir el carbón orgánico oxidable y ajustado por el factor 1.724 (58 % de C del total de la muestra), se obtiene el valor de la materia orgánica (Galantini, 1994). Para el caso de la muestra líquida (residuo hidrolizado) se deseca una muestra que permita disponer de material sólido para la determinación de la materia orgánica. Este proceso de desecamiento permite calcular de sólidos totales en suspensión.

La determinación de P, K, Ca, Mg, Na y elementos menores en las muestras, se realizó obteniendo un extracto por digestión húmeda por una solución nitro perclórica (proporción de  $\text{NO}_3\text{H}/\text{ClO}_4\text{H}$  de 1:5), de muestras homogenizadas de 1 g se llevaron a dilución de 50 mL de extracto, en las que se determinaron el P por colorimetría mediante reductor ácido naftol sulfónico (ácido 1-amino 2-naftol 4-sulfónico ANS), y como desarrollador de color el azul de molibdeno y lectura en un espectrofotómetro Spectronic20 a 660 nm de

longitud de onda. Los demás elementos se leyeron en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Mod. Analysis 200, mediante protocolo del LASPAF.



Figura 2. Materiales usados en los experimentos.

### **III. EVALUACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN FUENTES ORGÁNICAS NO CONVENCIONALES EN CONDICIONES DE INVERNADERO**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presentan el desarrollo de los experimentos de invernadero, una vez establecido su correspondiente caracterización de la harina de huesos como fuente de P, la harina de cuernos y pezuñas como fuente de N, y los residuos hidrolizados de pescado, como acidulante de la harina de huesos y roca fosfatada, en sendos experimentos. Adicionalmente se hace una revisión bibliográfica del uso de la roca fosfatada, dado que es un material suficientemente desarrollado con información abundante sobre experiencias en varios lugares a través de las últimas décadas.

#### **3.2 REVISIÓN DE LITERATURA**

##### **3.2.1 SOBRE LA ROCA FOSFATADA (RF) DE BAYÓVAR**

Considerado como uno de los yacimientos más grandes del Pacífico, el de Sechura (Bayóvar), ubicado al norte del Perú, fue estimado un volumen de 10,000 millones de toneladas de concentrados obtenibles al 31 % de  $P_2O_5$ . Esta roca es una fluorhidroxiapatita proveniente de un depósito de origen orgánico. Tiene aproximadamente 30 % de  $P_2O_5$ , del cual 25 % es soluble en citratos, y un alto contenido de CaO (45.9 %) (Alegre & Chumbimune, 1991).

##### **a. Características**

Un contenido máximo de  $P_2O_5$  y mínimo de impurezas corresponden a una roca fosfatada ideal, desde el punto de vista de un proceso, ya que las impurezas tienen una influencia negativa en la acidulación de la roca, en las propiedades físico-químicas del producto

final, en el costo del transporte y en el mercado internacional. En general la roca fosfatada más deseable sería aquella que pueda ser recibida y procesada al menor costo por unidad de  $P_2O_5$ .

La roca fosfatada contiene habitualmente fosfato de calcio de suficiente pureza que permite usarla directamente, como fertilizante o como materia prima, en la fabricación de productos comerciales como ácido ortofosfórico, superfosfatos, fosfato de amonio, fosfato dicálcico, etc.

El mineral principal de la roca fosfatada es la apatita cuya estructura puede ser presentada como la siguiente fórmula:  $Ca_{10} (X_2) (PO_4)_6$  , donde X puede representar al grupo hidroxilo (OH), cloro o flúor. El calcio puede ser reemplazado en parte por sodio, magnesio, manganeso, plomo, uranio y cerio. El radical  $PO_4$  en parte puede ser reemplazado por pequeñas cantidades de  $UO_4$ ,  $AsO_4$ ,  $CO_3$ ,  $SO_4$  o  $VO_4$ . (Nielsen & Sarudansky, 2005)

### **b. Grado**

La propiedad más importante de una roca fosfatada es su grado (contenido de  $P_2O_5$ ). Frecuentemente la denominación BPL (Bone Phosphate of Lime) o TPL (Triphosphate of Lime), es usada para expresar el grado de una roca fosfatada. (% de  $P_2O_5$  = 2.185 BPL o TPL).

En el caso de la roca fosfatada de Bayóvar el grado promedio es de 30.5 % de  $P_2O_5$  que equivale a 66.6 BPL (fosfato tricálcico). Esta concentración es obtenida por lavado y flotación.

### **c. Solubilidad**

Como resultado del alto contenido de calcio apatítico la solubilidad de la roca fosfatada de Bayóvar es notablemente superior en comparación a otras rocas. Según Chien &

Hammond (1978), el contenido de carbono-apatita determina la solubilidad de una roca fosfatada. La presencia de carbonatos libres en una cantidad significativa puede reducir y/o suprimir la solubilidad de una roca fosfatada. El aparente decrecimiento en la solubilidad de la apatita es debido al consumo y efecto del ion calcio en la solución extractante, lo cual ocurre debido a los carbonatos libres que son más solubles que la apatita. Cuando midieron la reactividad de siete rocas fosfatadas con varias extracciones químicas (Tabla 8), la solubilidad en citrato de amonio neutro (CAN) se volvió relativamente estable o constante entre la primera y segunda extracción para cada roca fosfatada, excepto la procedente de Huila. Ocurre que la RF Huila contiene 10 % de  $\text{CaCO}_3$  libre, lo que suprime la solubilidad de la apatita durante la primera extracción, mas no en la segunda extracción (Nielsen & Sarudansky, 2005).

**Tabla 8. Solubilidad de roca fosfatada medida por varias extracciones químicas.**

Roca Fosfatada	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> soluble, % de RF			
	Citrato de amonio neutro		2% de ácido cítrico	2% ácido fórmico
	1ra extrac.	2da. extrac.		
Huila, Colombia	0.9	3.5	5.3	6.2
Pesca, Colombia	1.8	1.8	6.9	5.3
Sechura, Perú (Bayóvar)	5.3	5.3	15.3	21.9
Gafsa, Túnez	4.8	5.5	14.0	22.3
Carolina del Norte, USA	7.1	6.7	15.9	25.8
Florida Central, USA	3.0	3.2	8.5	8.3
Tennessee, USA	2.5	2.8	8.7	6.9

Fuente: Chien & Hammond, 1978

#### **d. Reactividad**

La producción de superfosfatos con RF Bayóvar es más económica (Tabla 9), ya que ésta consume 15 % menos de ácido sulfúrico que el usado normalmente (Palacios, 1975).

**Tabla 9. Superfosfato producido por roca fosfatada Bayóvar y Florida**

Roca fosfatada original	Concentración SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> (%)	Porcentaje de conversión
Bayóvar (Perú) (30.5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	70	98.4
	66.7	96.6
	63	95.1
	59.5	94.9
Florida (USA) (30.5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	70	97.8
	66.7	94.2
	63	94.2
	59.5	92.0

Fuente: Waggman, 1962, citado por Palacios, 1975

#### e. Composición química

Existen diversas referencias respecto a la composición química de la RF Bayóvar, que coinciden básicamente en lo concerniente al contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabla 10)

**Tabla 10. Composición química (%) de la Roca Fosfatada Bayóvar según diversos autores**

Componente	(1)	(2)	(3)	(4)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30.5	30.0	31.08	31.8
CaO	47.8	46.8	---	47.8
K <sub>2</sub> O	0.10	3.0	0.78	0.19
SiO <sub>2</sub>	2.55	4.80	1.95	5.25
SO <sub>4</sub>	4.02	4.1	2.55	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.85	0.60	0.74	0.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.63	0.50	---	0.63
F	2.11	0.40	---	2.1
CO <sub>2</sub>	3.25	0.70	---	0.10
Na <sub>2</sub> O	1.74	0.1	0.76	1.74
MgO	0.76	0.60	1.34	0.76
Cl	---	---	3.10	0.04

Fuente: (1) Alegre & Chumbimune , 1991

(2) Departamento de Ingeniería Minera Grau Bayóvar S.A. s/f

(3) Estación Experimental Agrícola La Molina. 1986

En: Investigación Agrícola sobre Roca Fosfatada en el Perú.

(4) Besoain *et al.*, 1999

## **f. Experiencias de uso de la roca fosfatada para propósitos agrícolas**

Desde su descubrimiento en 1955, los primeros estudios sobre las características físico-químicas, así como de sus posibilidades de uso agronómico, fueron realizados en el exterior.

El reporte más remoto sobre uso de la RF de Bayóvar, corresponde a Fassbender (1967), donde en una recopilación de experiencias menciona:

- El ventajoso desempeño de la RF Bayóvar, comparada con el superfosfato triple, en experimentos con arroz, en suelos volcánicos rojos, deficientes en fósforo y elevado contenido de aluminio y hierro, por la Universidad de Gakugei, Tokio.
- En experimentos en cultivos de arroz y maíz, por la Universidad de Filipinas, en suelos ácidos, la RF Bayóvar supero al superfosfato y al metafosfato de potasio.
- En un suelo franco limoso de Illinois, USA, en un experimento de fertilización en cebada, la RF Bayóvar solo fue superada por el superfosfato de calcio, superando a la RF Florida. En alfalfa, las RF Bayóvar y RF Túnez tuvieron el mismo desempeño superando ambos a la RF Florida.
- En Alemania, en el cultivo de avena, la RF Bayóvar superó a la RF de Marruecos, indicando que la molienda fina muestra mejores resultados que la RF sin moler.
- En Costa Rica, en el cultivo del pasto Sudán, la RF Bayóvar llegó a triplicar los rendimientos comparados con un control sin P.

Las décadas de los años 1970 y 1980 fueron muy prolíficas en cuanto a experimentos con la roca fosfatada peruana.

López (1986), hizo una interesante recopilación de investigaciones de la roca fosfatada de Bayóvar, realizada por investigadores peruanos, sobre temas de efectividad agronómica,

efecto del encalado, modo de colocación, niveles de aplicación, efecto residual, absorción por las plantas, efecto del azufre, acidulación parcial, efecto de la materia orgánica, influencia del tamaño de granulo, llegando a las siguientes conclusiones:

- Los fosfatos de Sechura deben concentrarse a no menos de 29 %  $P_2O_5$  .
- La finura de la roca debe ser tal que el producto pase por lo menos en un 60 %, la malla 200 .
- La RF Bayóvar debe ser usada en suelos cuyo pH sea menor a 5.5
- La RF Bayóvar debe ser usada en suelos cuyo contenido de P sea menor a 27 ppm.

### **3.2.2 SOLUBILIZACIÓN DE FUENTES POCO SOLUBLES COMO LA ROCA FOSFATADA, Y LA HARINA DE HUESOS.**

La roca fosfatada es la materia prima indispensable para la industria del abono fosfatado. La forma usual de producir fertilizante fosfatado es tratando la roca fosfatada con ácido sulfúrico o fosfórico (Arias, 1993).

Un kg de roca fosfatada molida finamente (90 % - malla 100) requiere de aproximadamente 0.58 kg de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$  al 93 %) para formar el superfosfato de calcio simple.

Debido a que la roca fosfatada es muy poco soluble, el fósforo que contiene es de baja disponibilidad para las plantas, especialmente en suelos con pH superior a 6.5, por lo que es usual la acidulación de la roca fosfatada para producir fertilizantes fosfatados más solubles.

Algunas rocas fosfatadas finamente divididas y sin ningún tratamiento, al ser aplicadas al suelo pueden ser efectivas como fertilizantes cuando el suelo es lo suficientemente ácido y existe un régimen de humedad que permita la liberación de fósforo disponible para las plantas.

El aumento de la solubilidad y por ende la disponibilidad de fósforo y demás elementos presentes en la roca y en los huesos se explicaría posiblemente por la acción de la acidez, humedad, temperatura y microorganismos a través del tiempo; estos son los factores que actúan sobre la descomposición de las rocas en forma predominante interviniendo además procesos de naturaleza físico-química y biológica así como el tiempo durante el cual se desarrolla el proceso.

Arias (1993), desarrolló un experimento para evaluar el comportamiento agronómico de la roca fosfatada de Bayóvar (Sechura) a diferentes niveles y fuentes de acidulación en cultivo de papa bajo condiciones de invernadero. Se realizó el experimento en macetas utilizando un suelo arcilloso de reacción ácida (pH 5.2), bajo en P disponible (3ppm Olsen) procedente de Santa Rosa de Ocopa, Junín. Los tratamientos fueron: dos grados de finura de roca fosfatada (malla 200 y RF sin moler), tres fuentes de acidificación ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , y HCl) y dos niveles de acidulación parcial (25 % y 50 % de la acidulación total). Los resultados demostraron que las acidulaciones parciales con  $H_2SO_4$  y HCl superaron a la roca fosfatada sin acidular y se comportaron semejantes al superfosfato simple en el cultivo de papa. La roca fosfatada molida acidulada al 50 % con  $H_2SO_4$  y HCl superó a la roca fosfatada sin acidular y se comportaron cuantitativamente en forma semejante al superfosfato simple en el primer cultivo (papa).

Kaur & Reddy (2014), en su experiencia en incubación de roca fosfatada con soluciones con contenidos de *Pantoea cypripedii* (PSB-3) y *Pseudomonas plecoglossicida* (PSB-5), incrementaron la producción, absorción de P, P disponible y carbono orgánico en cultivos de maíz en diversas zonas agroclimáticas. Así también, se encontró el mismo efecto con incubación de roca fosfatada con soluciones enriquecidas con PDB (*Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*) y KDB (*Bacillus mucilaginosus* y *B. subtilis*) (Abou-el-Seouda & Abdel-Megeed, 2012). Este aspecto debería ser incluido en posteriores investigaciones.

### **3.2.3 EL EFECTO RESIDUAL DE LA ROCA FOSFATADA Y LA HARINA DE HUESOS.**

El efecto residual es un concepto que se aplica a la fertilización fosfatada, que basa en la retención e fijación de los iones ortofosfato al combinarse con componentes del suelo, o

también en la escasa solubilidad de las fuentes fosfatadas como la roca fosfatada, quedando como una reserva en el suelo, útil para las siguientes campañas y cultivos. Aunque también el concepto alcanza a otros nutrientes, es en el fósforo donde es más frecuente la necesidad de aplicar grandes cantidades, para compensar la reducida accesibilidad por los cultivos, o con el propósito de crear reservas en el suelo (Alvarado et al., 2009).

Koepke (1995), extiende el concepto de residualidad a las fuentes orgánicas y el nitrógeno.

Para Berardo & Marino, (2000), quienes evaluaron el efecto residual de P a lo largo de tres años, éste depende de los factores edáficos, ambientales y del cultivo, encontrando eficiencias acumuladas entre 50 a 70 % del total del P aplicado.

En Argentina, Cordone et al. (2013), concluyeron con cultivares de trigo de ciclo intermedio-corto, mostraron que altas dosis de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el trigo producían una disminución del rendimiento de la soja siguiente. Esto no ocurría cuando se le agregaba azufre (S), compensando la exportación con el grano y la inmovilización de este nutriente en el rastrojo de trigo.

Pino et al. (s/f), haciendo uso de técnicas isotópicas, en condiciones de invernadero, confirma la escasa solubilidad de la roca fosfatada molida, frente al superfosfato triple, y la necesidad de una acidulación parcial, pero que se ve compensada con una mayor efecto residual del fósforo, para los siguientes cultivos o campañas.

Fernández & Meza (2004), evaluaron el efecto residual de la roca fosfatada de Riecito (Venezuela), usando el maíz como planta indicadora, en suelo ácido encalado y sin encalar, encontraron que la RF acidulada con vinaza tuvo el mismo desempeño en producción de materia seca que el fosfato monoamónico (FMA). Para la segunda cosecha las fuentes roca acidulada con vinaza (RFV), roca fosfatada calcinada (RFC) y roca natural de Riecito (RFN) presentaron un comportamiento similar al FMA. En la tercera

cosecha la RFC superó incluso al FMA. En el suelo encalado los resultados fueron menores que en suelo sin encalar.

Vivas et al. (2006), en pruebas de residualidad para la fertilización en un factorial con P (0, 20, 40 kg/ha) y S (0, 12, 24, 36 kg/ha), en una rotación trigo-soya-maíz-soya, encontraron respuestas directas y residuales en todos los casos, así como el P extractable después de las cosechas, y concluyen que la mejor opción es el abonamiento cada dos cosechas en las referidas rotaciones.

### **3. 3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.3.1 UBICACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS DE INVERNADERO**

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en el Invernadero del Laboratorio de Fertilidad del Suelo perteneciente al Departamento de Suelos - Facultad de Agronomía de la UNALM, cuya ubicación geográfica es:

Latitud: 12° 04' 46" S  
Longitud: 76° 56' 46" W  
Altitud: 243 msnm

Para los ensayos de campo se consideraron los resultados preliminares de invernadero, dado el menor número de unidades experimentales que permitan ser manejables.

#### **3.3.2 EQUIPOS Y MATERIALES**

##### **Para los ensayos de invernadero:**

Macetas plásticas de 4 kg de capacidad, sustrato arenoso proveniente de río (Cieneguilla), mesas, mallas para tamizado, balanzas, cintas masking tape, plumones, bolsas de papel kraft, molino para material vegetal, estufas, libreta de campo, fertilizantes químicos,

fertilizantes orgánicos no convencionales: harina de huesos, harina de cuernos y pezuñas, solución de residuo hidrolizado, (ver Cap. II).

### 3.3.3 CULTIVO INDICADOR

Maíz PM-213 proporcionado por el Programa de Investigaciones en Maíz de la UNALM.

### 3.3.4 SUELO

Las muestras utilizadas como sustrato para los experimentos de invernadero, provinieron de depósitos aluviales del río Cieneguilla. Esta condición garantiza que dicha arena es lavada en forma natural, y es adecuada para experimentos de invernadero. Con un mínimo de salinidad, pH moderadamente alcalino, deficiente en materia orgánica y bajo en P disponible y K disponible, con una CIC baja, por su condición arenosa. En la Tabla 11 se muestran los resultados de análisis físico-químico, realizado en el LASPAF de la UNALM, de acuerdo a protocolos previstos y explicados líneas abajo.

**Tabla 11. Análisis físico-químico del sustrato arenoso de Cieneguilla.**

Características	Cieneguilla
Textura	Arena
Arena (%)	92
Limo (%)	6
Arcilla (%)	2
pH	8.01
CE (1 :1) (dS/m)	1.22
CO <sub>3</sub> Ca (%)	0.40
Materia orgánica (%)	0.30
P disp. (ppm)	6.0
K disp. (ppm)	82
CIC (cmol <sub>c</sub> /kg)	5.60
Ca <sup>2+</sup> ”	4.23
Mg <sup>2+</sup> ”	0.71
K <sup>+</sup> ”	0.22
Na <sup>+</sup> ”	0.44
Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup> ”	0
Saturación de bases (%)	100

### 3.3.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE SUELOS

- Análisis granulométrico: Textura, por el método del hidrómetro de Bouyoucos. En muestras de suelo de 50 g se prepara una suspensión suelo:agua en un L, previa incorporación de un dispersante, habitualmente sódico, en una probeta, la que al agitar y uniformizar se registra lecturas con el hidrómetro de Bouyoucos a los 40 seg y 2 horas respectivamente, las que corregidas y/o ajustadas por el registro de temperaturas, comparadas con la temperatura de calibración del hidrómetro, se calculan los contenidos porcentuales de arena, limo y arcilla. En un triángulo de texturas se lee la clase textural correspondiente.
- Conductividad eléctrica (CE): Se prepara un extracto de pasta saturada y lectura de CE en un conductímetro YSI Modelo 32
- Potencial hidrógeno: pH, lectura en un potenciómetro Consort C1020, en una suspensión agua:suelo 1:1
- Calcáreo total: Método gaso-volumétrico: En una muestra de 1 g de suelo, se somete a reacción con HCl concentrado, en un recipiente hermético y el gas desprendido se mide volumétricamente, el que mediante cálculos se transforma en masa de CO<sub>2</sub> desprendido y se expresa en su equivalente de CO<sub>3</sub>Ca, llevado al porcentaje.
- Materia Orgánica: Método de Walkley y Black, consistente en oxidación del C orgánico con dicromato de potasio, aplicado en exceso. El remanente sin reaccionar se cuantifica con una solución reductora de sulfato ferroso amoniacal. Por diferencia, se conoce el C orgánico que fue oxidado (C oxidable), y como se conoce que la materia orgánica estabilizada del suelo contiene 58 % de C, se utiliza el factor 1.724 para expresar el porcentaje de MO en el suelo (Galantini et al., 1994).
- P disponible: Metodología de Olsen modificado: En una muestra de 2 g de suelo, se extrae por agitación con una solución de NaHCO<sub>3</sub> 0.5 M, estabilizado a pH = 8.5. En el extracto se desarrolla color con una solución sulfomolibdica, el que se lee en un

colorímetro o espectrofotómetro Spectronic20 a una longitud de onda de 660 nm, comparado con una recta patrón previamente elaborado, se reconoce el P disponible, expresado en ppm.

- K disponible: Método de acetato de amonio: El cual consiste en la preparación de un extracto con acetato amónico, solución tamponada a  $\text{pH} = 7.0$  Para la lectura en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, habitualmente se hace una dilución de 1/10. Los resultados se expresan en ppm
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): método del acetato de amonio: La muestra de suelo de 2.5 g , previamente lavado con agua destilada, se somete a la extracción con 50 mL de acetato de amónico 1N,  $\text{pH} 7.0$  . En este extracto se lee los cationes cambiables por espectrofotometría de absorción atómica. El exceso de amonio, retenido físicamente en el suelo, se elimina por lavado con alcohol etílico. En el suelo saturado con amonio, se desplaza éste con ClK y por destilación se cuantifica las cargas negativas del complejo de cambio, expresadas en  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ .
- Cationes cambiables: calcio, magnesio, potasio y sodio: En el extracto amónico, se lee en el espectrofotómetro de absorción atómica, de acuerdo a las lámparas de cátodo hueco para cada elemento. Para cada elemento se deben elaborar rectas patrón. Los cationes cambiables se expresan en las mismas unidades que la CIC.
- Acidez cambiante: Metodología de Yuan: Extracción mediante KCl 1 N de cationes  $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$  activos, y lectura con una base alcalina valorada como el NaOH con indicador fenolftaleína.
- El porcentaje de saturación de bases, es un cálculo que expresa porcentualmente, la proporción de las bases cambiables (elementos alcalino-térreos: Ca, Mg, K y Na), con respecto a la CIC total.

### 3.3.6 TRATAMIENTOS

#### a. Experimento 1

**Tabla 12. Descripción de los tratamientos con niveles de abonamiento con harina de huesos y harina de cuernos y pezuñas y residuos hidrolizados (factorial).**

Nro.	Tratamientos	Niveles N - P (ppm N-P)	<u>Fuente de N</u> Har.Cy P (g/maceta)	<u>Fuente de P</u> Har. huesos (g/maceta)	Residuo Hidrolizado (mL/maceta)
1	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>1</sub>	100 – 200	2.94	3.62	40
2	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>2</sub>	100 – 400	2.94	7.24	40
3	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>3</sub>	100 – 600	2.94	10.86	40
4	HCP <sub>2</sub> – HH <sub>1</sub>	200 – 200	5.88	3.62	40
5	HCP <sub>2</sub> – HH <sub>2</sub>	200 – 400	5.88	7.24	40
6	HCP <sub>2</sub> – HH <sub>3</sub>	200 – 600	5.88	10.86	40
7	HCP <sub>3</sub> – HH <sub>1</sub>	300 – 200	8.82	3.62	40
8	HCP <sub>3</sub> – HH <sub>2</sub>	300 – 400	8.82	7.24	40
9	HCP <sub>3</sub> – HH <sub>3</sub>	300 – 600	8.82	10.86	40

Niveles de abonamiento ( ppm): 100-200-300 N – 200-400-600 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 200 K<sub>2</sub>O

Fuentes: HCP<sub>1</sub>, HCP<sub>2</sub>, HCP<sub>3</sub> Harina de cuernos y pezuñas (13.6% N)

HH<sub>1</sub>, HH<sub>2</sub>, HH<sub>3</sub> Harina de huesos (22.1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

RH – Residuo hidrolizado

**Tabla 13. Descripción de los tratamientos adicionales de abonamiento con harina de huesos y harina de cuernos y pezuñas y residuos hidrolizados (adicionales).**

Nro.	Tratamientos	Niveles N - P (ppm N-P)	Fuente de N Har.Cy P (g/maceta)	Fuente de P Har. huesos (g/maceta)	Residuo Hidrolizado (mL/maceta)
<b>Adicionales</b>					
1	0 - P - K	0 - 400	0	HH	0
2	N - 0 - K	200 - 0	HCP	0	0
3	0 - 0 - 0	0 - 0 - 0	0	0	0
4	N - P - K	200 - 400	U	ST	0
5	RH solo	0 - 0 - 0	0	0	40
6	HCP + PK	200 - 400	HCP	ST	0
7	N - HH - K	200 - 400	U	HH	0

Niveles de abonamiento ( ppm): 200 N - 400 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 200 K<sub>2</sub>O

Fuentes: 200 ppm N como HCP Harina de cuernos y pezuñas (13.6% N)

400 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como HH Harina de huesos (22.1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

RH - 40 mL de Residuo hidrolizado

N - Urea (46 % N)

P - ST Superfosfato triple de calcio (46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) o según sea el tratamiento

K - Cloruro de potasio (60 % K<sub>2</sub>O) 200 ppm a los tratamientos indicados (1.33 g/mac.)

## b. Experimento 2

**Tabla 14. Descripción de los tratamientos con niveles de abonamiento con roca fosfatada y harina de cuernos y pezuñas y residuos hidrolizados (factorial).**

Nro.	Tratamientos	Niveles N - P (ppm N-P)	Fuente de N Har.Cy P (g/maceta)	Fuente de P Roca Fosfata (g/maceta)	Residuo Hidrolizado (mL/maceta)
1	HCP <sub>1</sub> - RF <sub>1</sub>	100 - 200	2.94	2.67	40
2	HCP <sub>1</sub> - RF <sub>2</sub>	100 - 400	2.94	5.34	40
3	HCP <sub>1</sub> - RF <sub>3</sub>	100 - 600	2.94	8.00	40
4	HCP <sub>2</sub> - RF <sub>1</sub>	200 - 200	5.88	2.67	40
5	HCP <sub>2</sub> - RF <sub>2</sub>	200 - 400	5.88	5.34	40
6	HCP <sub>2</sub> - RF <sub>3</sub>	200 - 600	5.88	8.00	40
7	HCP <sub>3</sub> - RF <sub>1</sub>	300 - 200	8.82	2.67	40
8	HCP <sub>3</sub> - RF <sub>2</sub>	300 - 400	8.82	5.34	40
9	HCP <sub>3</sub> - RF <sub>3</sub>	300 - 600	8.82	8.00	40

Niveles de abonamiento ( ppm): 100-200-300 N y 200-400-600 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 200 K<sub>2</sub>O

Fuentes: HCP1, HCP2, HCP3 Harina de cuernos y pezuñas (13.6% N)

RF1, RF2, RF3 Roca fosfatada (30% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

RH - Residuo hidrolizado

**Tabla 15. Descripción de los tratamientos adicionales de abonamiento con roca fosfatada y harina de cuernos y pezuñas y residuos hidrolizados (adicionales).**

Nro.	Tratamientos	Niveles N - P (ppm N-P)	Fuente de N Har.Cy P (g/maceta)	Fuente de P Roca Fosfata (g/maceta)	Residuo Hidrolizado (mL/maceta)
<b>Adicionales</b>					
1	0 - P - K	0 - 400	0	RF	0
2	HCP <sub>2</sub> -0-K	200 - 0	HCP	0	0
3	0 - 0 - 0	0 - 0 - 0	0	0	0
4	N - P - K	200 - 400	U	ST	0
5	RH solo	0 - 0 - 0	0	0	40
6	HCP <sub>2</sub> + PK	200 - 400	HCP	ST	0
7	N - RF <sub>2</sub> - K	100 - 200	U	RF	0

Niveles de abonamiento ( ppm): 200 N y 400 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 200 K<sub>2</sub>O

Fuentes: 200 ppm N como HCP Harina de cuernos y pezuñas (13.6% N)

400 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como RF Roca fosfatada (30% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

RH – 40 mL de Residuo hidrolizado

N - Urea (46% N)

P – ST Superfosfato triple de calcio (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) o según sea el tratamiento

K - Cloruro de potasio (60% K<sub>2</sub>O) 200 ppm a los tratamientos indicados (1.33 g/mac.)

### c. Experimento 3:

Serán los mismos anteriores (Tablas 12, 13 y 14), solo que evaluando el efecto residual en una segunda campaña. Para evitar una repetición inútil de los adicionales, sólo se realizó con las del Experimento 1.

### 3.3.7 DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

#### En invernadero

64 macetas de plástico fueron lavadas, eliminando los residuos que pudieran contener con agua acidulada con ácido clorhídrico. Se sellaron los orificios basales con cinta masking tape.

Fueron llenadas con 4 kg de arena lavada de río, procedente de depósitos naturales en el río Cieneguilla.

Se determinó la capacidad de campo del sustrato arenoso, para el cálculo de agua a agregar en los riegos.

Fueron incubadas las soluciones de residuo hidrolizado con las diferentes dosis de fósforo teniendo como fuente la harina de huesos o roca fosfatada, según sea el caso, a temperatura ambiente, durante 30 días, las que se iba aplicando (previa homogenización) junto con los riegos, fraccionados en tres aplicaciones.

Se sembraron siete semillas de maíz por maceta, las que al desahije o raleo se dejaron las cinco más vigorosas, y se regaron frecuentemente para mantener la humedad no menor al 80% de la capacidad de campo, reponiendo periódicamente el agua de riego, con agua seleccionada sin problemas de salinidad.

Las fuentes orgánicas y fosfatadas, se aplicaron antes de la siembra, según sea los tratamientos. Después de la emergencia de las plántulas, se aplicaron en solución las fuentes de nitrógeno, potasio, según sean los tratamientos, mediante tres fraccionamientos.

### **3.3.8 VARIABLES A EVALUAR EN LOS EXPERIMENTOS DE INVERNADERO:**

Las evaluaciones se realizaron, después de 8 semanas desde la siembra, cuando expresaron visualmente diferencias entre tratamientos. Estas fueron:

- a) Altura de planta. Medida desde el piso de inserción de la planta en la maceta hasta la punta de la hoja más extendida, planta por planta. El promedio corresponde a la unidad experimental que es la maceta.
- b) Peso de biomasa o materia seca de parte aérea y radicular, por cada maceta. Las plantas se cortaron en el cuello del tallo, y picadas en trozos para facilitar el secado, en bolsas de papel kraft, se secaron en una estufa con circulación de aire a 65° C hasta peso constante, que habitualmente lleva más de 48 horas, y pesadas en una balanza analítica, con

aproximación de miligramos. Con las raíces se procedieron del mismo modo, previo lavado, de partículas adheridas de arena o impurezas.

c) Extracción de nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio por maceta. En muestras sometidas a molienda, se determinó el N por el procedimiento Kjeldahl (digestión, destilación, titulación). Para la medición de la concentración de P y K, se prepararon extractos foliares de digestión nitro-perclórica, y llevadas a un volumen de 50 mL. En este extracto se determinó el P por colorimetría y el K con un espectrofotómetro de absorción atómica (Procedimiento explicado en el Cap. II – 2.2 Protocolo de análisis químico). Conocidas las concentraciones porcentuales y la magnitud de la biomasa, se obtienen las extracciones correspondientes, tanto de la parte aérea, como de la parte radicular, que sumadas dan la extracción total.

### 3.3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se empleó el Diseño completamente al azar, con 4 repeticiones con arreglo factorial (3 x3), para los primeros 9 tratamientos y Diseño completamente al azar, para los restantes 7 tratamientos adicionales.

El paquete estadístico utilizado fue Minitab versión 17.0, de acceso libre, temporal.

#### Modelo aditivo lineal y Análisis de Variancia

a) Para experimentos del DCA en arreglo factorial, en invernadero

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:  $Y_{ijk}$  = Unidad experimental

$\mu$  = Efecto de la media general

$\alpha_i$  = Efecto de i-ésimo factor N

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo factor P

$\alpha\beta_{ij}$  = Efecto del ij-ésimo interacción NxP

$e_{ijk}$  = Error experimental del i-ésimo factor N, j-ésimo factor P y k-ésimo unidad experimental

#### Análisis de Variancia

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>
Factor N (a-1)	2
Factor P (b-1)	2
Interacc.NxP (a-1)(b-1)	4
Error ab(n-1)	27
Total abn-1	35

b) Para experimentos del DCA en invernadero (Adicionales)

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

Donde:  $Y_{ij}$  = Unidad experimental

$\mu$  = Efecto de la media general

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$e_{ij}$  = Error experimental del i-ésimo tratamiento y j-ésimo unidad experimental

#### Análisis de Variancia

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>
Tratamiento (t-1)	6
Error t (r-1)	21
Total tr-1	27

### **3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.4.1 EXPERIMENTO 1: FUENTES NO CONVENCIONALES: RESIDUO HIDROLIZADO, HARINA DE HUESOS, HARINA DE CUERNOS Y PEZUÑAS EN MAÍZ (*Zea mays*) EN CONDICIONES DE INVERNADERO**

##### **a. Altura de planta y producción de materia seca.**

La discusión de resultados se hará por separado, la parte factorial de los adicionales, tomando eventualmente como referencia los datos de los adicionales.

Tanto la altura de planta como la producción de biomasa, representada en forma de peso de materia seca, son dos indicadores utilizados en la determinación de la eficacia de tratamientos propuestos, también utilizados en otros trabajos de la misma índole (Serna et al., 2011 ; Ospina et al., 2011).

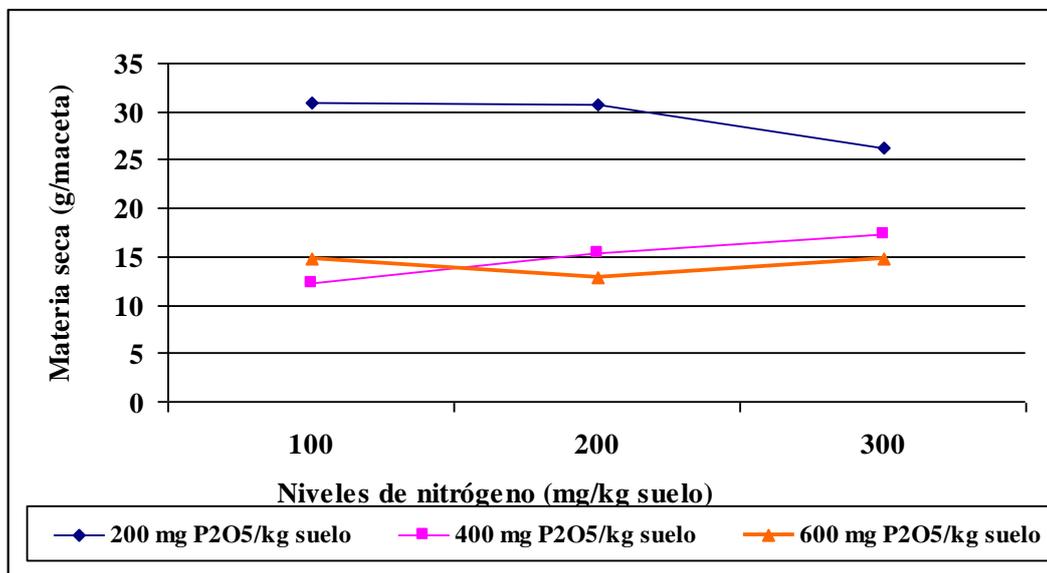
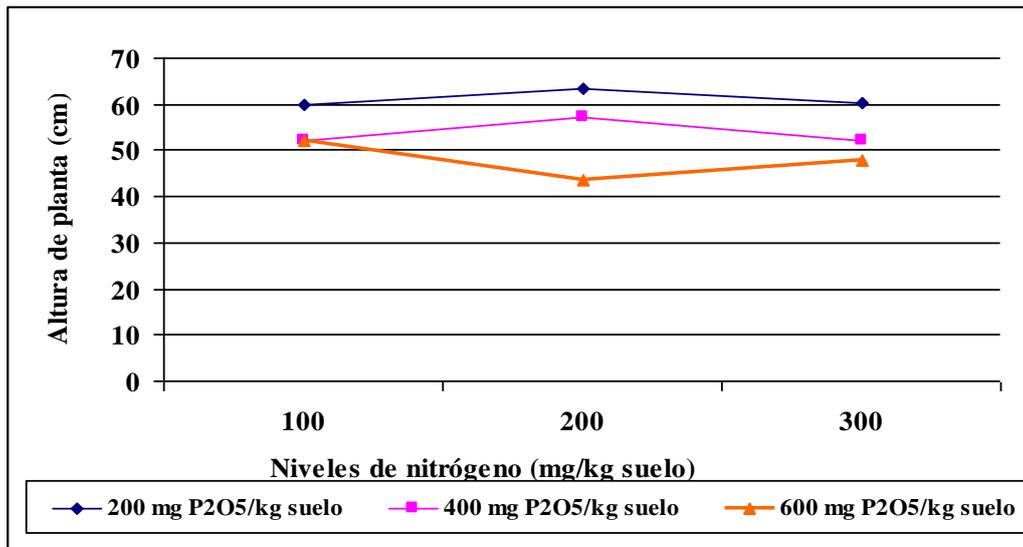
Según los resultados obtenidos, los tratamientos presentan un crecimiento y desarrollo de biomasa superiores al tratamiento testigo, solo en la dosis inicial de 100 ppm de N, no logrando expresarse en las dosis superiores de 200 y 300 ppm de N. Esta constatación es válida solo para la dosis de 200 ppm de HH. No se observa interacción entre los niveles de N (fuente HCP) y P (fuente HH). La principal deducción de la respuesta tanto en altura de planta como producción de biomasa, es más debido a la harina de cuernos y pezuñas que a la harina de huesos (Tabla 17, Fig. 2). Asimismo las altas dosis de HCP, por la alta concentración de amonio en sus primeras etapas de descomposición en el suelo, pueden haber afectado el metabolismo de las plantas (Aular & Rojas, 1994).

Dado que el P de la harina de huesos se encuentra como fosfato tricálcico, la acción del hidrolizado no fue suficiente para solubilizar el fósforo (Abou-el-Seouda & Abdel-Megeed, 2012).

También, la escasa respuesta a los niveles de aplicación de harina de huesos, pudo deberse al tiempo insuficiente de incubación (30 días). En otros experimentos del mismo tipo, además de utilizar otros materiales solubilizantes en combinación con microorganismos, utilizaron un tiempo más prolongado de incubación. Así por ejemplo, Pramanika et al.

(2009) utiliza un tiempo de 60 días de incubación de roca fosfatada con vermicompost elaborado con estiércol fresco de vaca y residuos de sólidos municipales, y aplicación directa del primero, encontrando una liberación de P de  $14.36 \text{ mg kg}^{-1}$  bajo estos tratamientos conjuntos.

Otra explicación es que puede haberse debido al incorrecto fraccionamiento del material incubado, que debió fraccionarse en mayor número de veces, por cuanto al ser un material fuertemente ácido, ha provocado un medio ácido que enmascara el efecto de ambas fuentes, tanto de N como de P. Sin embargo, hubo un ligero incremento tanto de la altura de planta como la producción de materia seca, comparada con el tratamiento control o testigo que no recibió ningún nutriente.



**Figura 3.** Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (HH) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados sobre la altura de plantas y la producción de biomasa de maíz en condiciones de invernadero

Al comparar el tratamiento control con los adicionales, podemos observar, que el tratamiento con fertilización mineral supera tanto en altura de planta como en producción de materia seca. Asimismo, es destacable, el efecto individual, aplicados por separado, tanto del residuo hidrolizado, la harina de cuernos y pezuñas, como de la harina de huesos, logrando duplicar y cuadruplicar los rendimientos de materia seca (15.8 vs. 68.0 y 27.1

g/maceta). La sola aplicación del residuo hidrolizado también tiene efecto en la producción de materia seca. Esto se explicaría por el contenido de pequeñas cantidades de sustancias orgánicas, que son parte de la nutrición vegetal, además del efecto sinérgico en la actividad biológica del suelo (67.3 cm y 25.9 g respectivamente de altura de planta y producción de materia seca/maceta)

En este grupo de tratamientos adicionales, la respuesta de la aplicación de harina de cuernos y pezuñas, tiene una respuesta significativa tanto en altura de planta como en producción de biomasa. Los tratamientos de aplicación individual de hidrolizado (Trat.5) y harina de huesos (Trat.7), tienen un desempeño superior al testigo (0-0-0), pero no alcanza a los tratamientos (4 y 6) con fertilización mineral y harina de cuernos y pezuñas (Figs. 4 y 5).

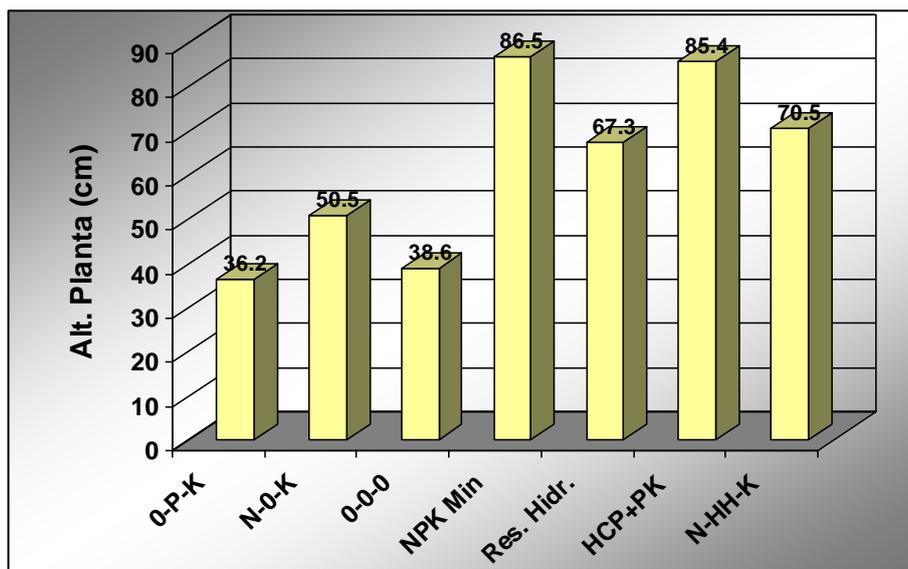


Figura 4. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la altura de plantas de maíz en condiciones de invernadero .

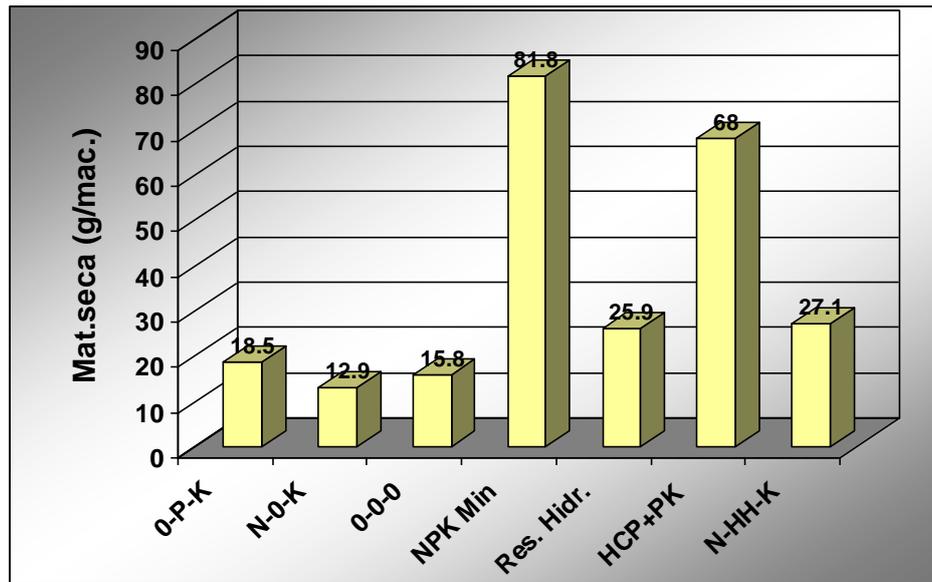


Figura 5. Efecto de la aplicación de Fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la producción de materia seca de plantas de maíz en condiciones de invernadero (g/maceta).

**Tabla 16. Comparación de medias por la prueba  $DLS_{0.05}$  para las distintas variables en el efecto del uso de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en harina de huesos como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (factorial).**

Nro	Tratam.	Altura planta (cm)	Mat. Seca (g/maceta)	Extrac.N (mg/maceta)	Extrac.P (mg/maceta)	Extrac.K (mg/maceta)
1	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>1</sub>	59.9 a <sup>*</sup> b	30.9 a <sup>*</sup>	404 a <sup>*</sup>	54 ab	704 a <sup>*</sup>
2	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>2</sub>	63.5 ab	30.8 a	353 a	61 a	668 a
3	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>3</sub>	60.1 ab	26.3 a	431 a	54 ab	548 ab
4	HCP <sub>2</sub> – HH <sub>1</sub>	51.8 bcd	12.2 b	414 a	39 bc	414 bc
5	HCP <sub>2</sub> – HH <sub>2</sub>	57.1 abc	15.4 b	349 a	45 abc	392 bc
6	HCP <sub>2</sub> – HH <sub>3</sub>	52.3 bcd	17.4 b	278 a	43 bc	416 bc
7	HCP <sub>3</sub> – HH <sub>1</sub>	52.1 bcd	14.7 b	315 a	30 c	358 c
8	HCP <sub>3</sub> – HH <sub>2</sub>	43.7 d	12.9 b	387 a	30 c	289 c
9	HCP <sub>3</sub> – HH <sub>3</sub>	48.0 cd	14.7 b	369 a	31 c	349 c

\* Promedios que en cada columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades.

**Tabla 17. Comparación de medias por la prueba  $DLS_{0.05}$  para las distintas variables en el efecto del uso de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en harina de huesos como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (adicionales).**

Nro	Tratam.	Altura planta (cm)	Mat. Seca (g/maceta)	Extrac.N (mg/maceta)	Extrac.P (mg/maceta)	Extrac.K (mg/maceta)
1	<b>ADICIONALES</b> 0 - P - K	36.2 c	18.5 ed	126 d	29 c	420 de
2	N - 0 - K	50.5 b	12.9 e	218 cd	16 e	348 e
3	0-0-0	38.6 cI	15.8 e	87 d	24 e	336 e
4	NPK Mineral	86.5 a	81.8 a	1197 a	198 a	1307 b
5	RH solo	67.3 b	25.9 d	215 cd	45 d	693 cd
6	HCP <sub>2</sub> +PK	85.4 a	68.0 b	843 b	168 b	1554 a
7	N-HH+K	70.5 b	27.1 cd	410 b	45 d	614 d

#### **b. Extracción de nutrientes (N, P, K)**

En el componente factorial, los tratamientos no muestran diferencias entre ellos, caso que no es la misma respuesta para extracción de P y K. Asimismo, en ningún caso existen interacciones (Tabla 16). El efecto de las bajas dosis de P (fuente HH), sigue siendo de mayor resultado que las dosis altas en extracción de P y K, lo que sugiere que el efecto solubilizante del hidrolizado es insuficiente.

Tal como lo indican Nuñez (1999) y Castro & Vinueza (2011), La harina de huesos no es solo una fuente de fósforo, sino también de calcio, así como una buena fuente de microorganismos. (Nuñez ,1999; Castro & Vinueza, 2011).

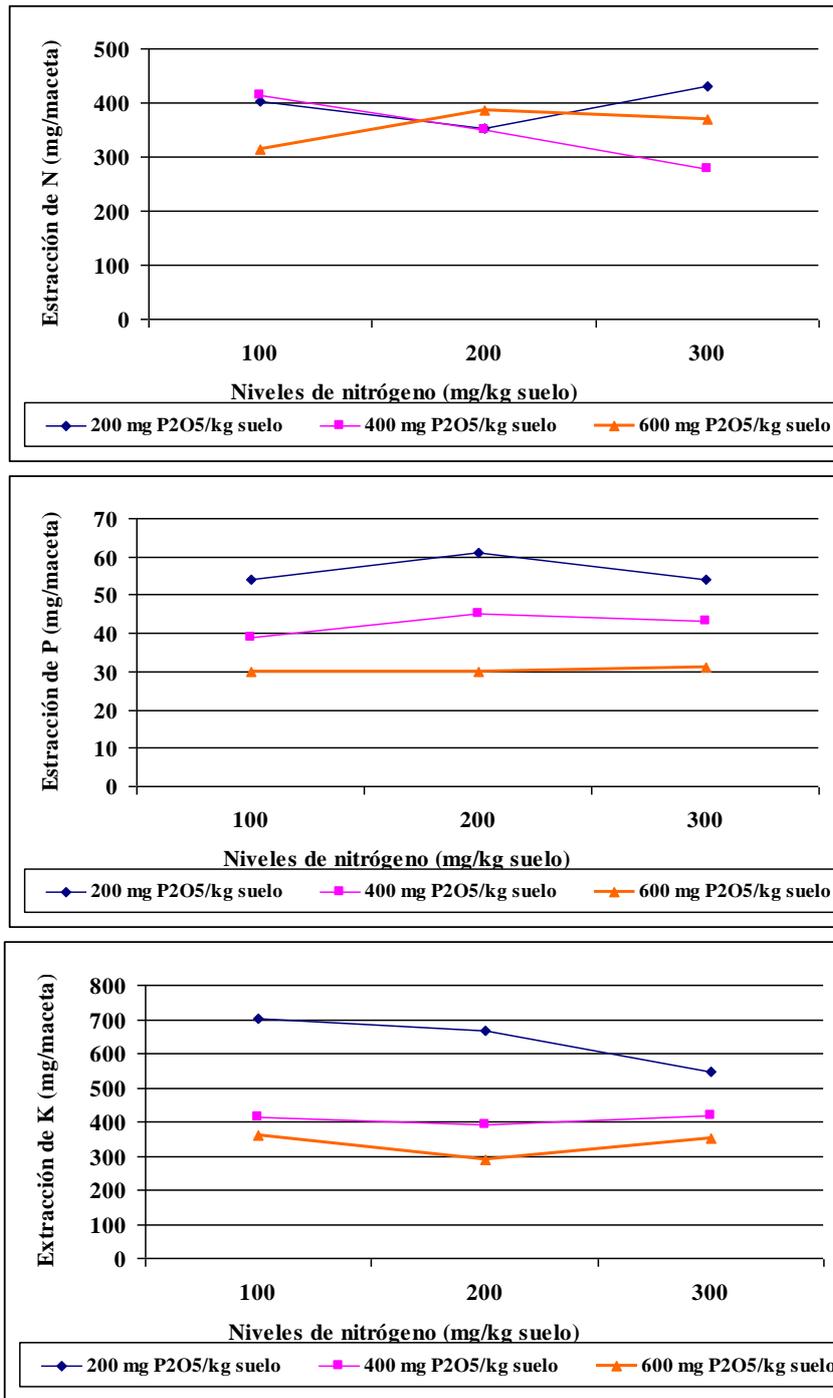


Figura 6. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (HH) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la extracción de N, P y K por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

Respecto al P y K, se mantiene la misma respuesta, que lo expresado en altura de planta y producción de materia seca, pero son notables las diferencias con el tratamiento control, que llegan a incrementar cuantitativamente la extracción del elemento, especialmente con el caso del K, podríamos explicar por el sustrato contiene mucho mineral micáceo que contiene K, y al no constituir parte de ningún compuesto orgánico, este se acumula en la planta, denominándose a este fenómeno como “consumo de lujo”, es decir la absorción adicional mas allá de las propios requerimientos. (Marín y Pérez, 1992). Este efecto también fue encontrado en absorción de Ca en cultivos de melón (Rodríguez y Pire, 2004). Asimismo se debe considerar el aporte indirecto de potasio a través de residuo hidrolizado que en 40 mL aporta 90 mg de K<sub>2</sub>O ó 22 ppm (Tabla 7).

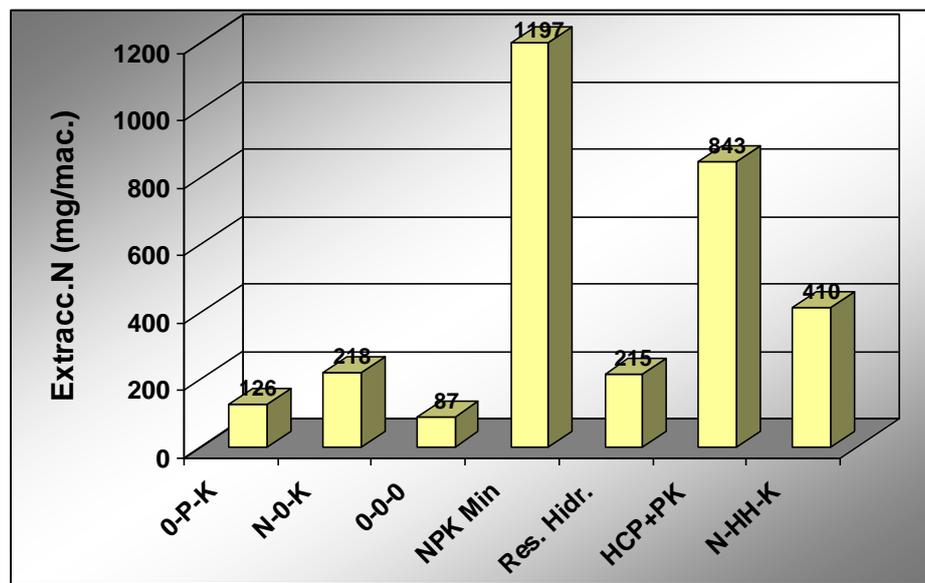


Figura 7. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y residuos hidrolizados en la extracción de nitrógeno por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

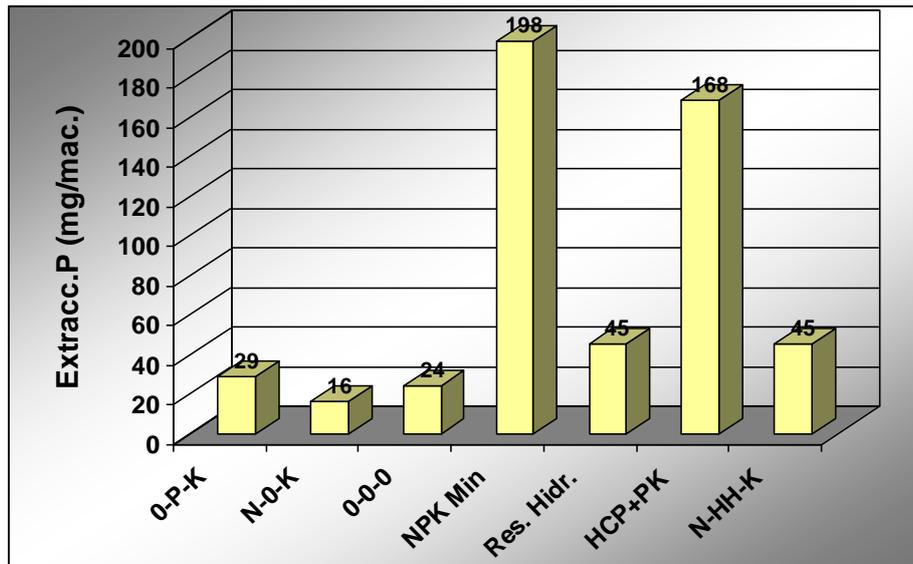


Figura 8. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y residuos hidrolizados en la extracción de fósforo por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

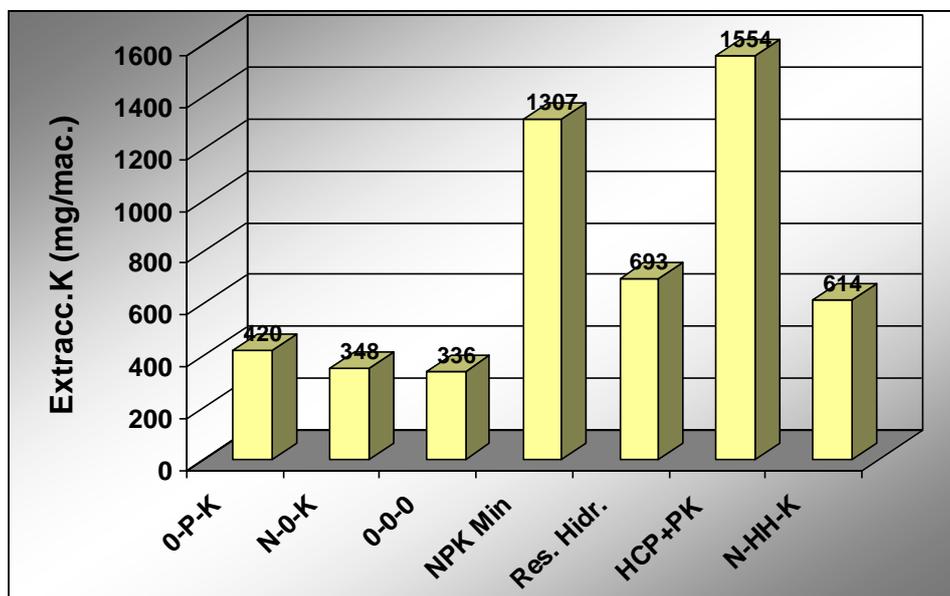


Figura 9. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y residuos hidrolizados en la extracción de potasio por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

Las pequeñas cantidades de elementos extraídos en los tratamientos adicionales guardan correlato con las magnitudes de la biomasa, y sugiriendo la insuficiente posibilidad del uso de la harina de huesos. En cambio la harina de cuernos y pezuñas tiene un desempeño incluso mayor que la fertilización mineral. En todo caso, el uso de harina de huesos debe orientarse a enriquecer el compostaje, como lo recomiendan Pramanika et al. (2009) y Abou-el-Seouda & Abdel-Megeed, (2012).

### **3.4.2 EXPERIMENTO 2: FUENTES NO CONVENCIONALES: RESIDUO HIDROLIZADO, ROCA FOSFATADA, HARINA DE CUERNOS Y PEZUÑAS EN MAÍZ (*Zea mays*) EN CONDICIONES DE INVERNADERO**

#### **a. Altura de planta y producción de materia seca**

Como en el experimento 1, la discusión de resultados se hará por separado, la parte factorial de los adicionales, tomando eventualmente como referencia los datos de los adicionales.

De acuerdo al análisis estadístico, si solamente analizamos las dosis de N y P, a través de las fuentes utilizadas (HCP, y RF con hidrolizado), se concluye que no existe diferencias entre éstos. Pero si comparamos, todo el factorial con el tratamiento testigo (0-0-0), (Fig. 9 y Tabla 18), entonces si se puede concluir que en conjunto la HCP y RF con hidrolizado sí tienen efecto, para lo cual serían suficientes dosis bajas de HH, y quedando las dosis de RF con hidrolizado, para un análisis del efecto residual.

Esta falta de respuesta, entre niveles de N (HCP) y P (RF con hidrolizado), se puede interpretar, como en el caso del anterior experimento 1, por el insuficiente tiempo de incubación (un mes), comparado con lo encontrado por Pramanika et al. (2009), quienes mantuvieron por 60 días de incubación.

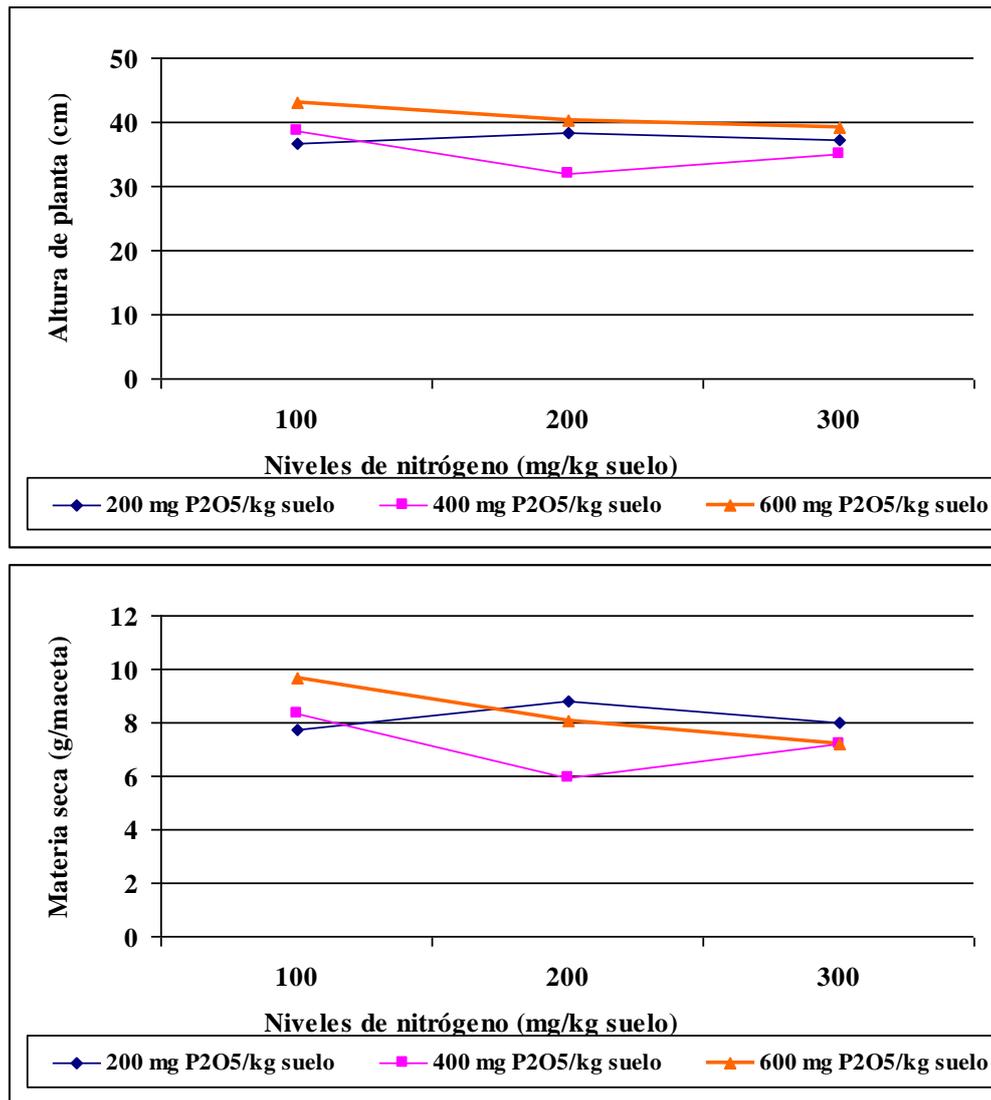


Figura 10. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas no convencionales y roca fosfatada en combinación con residuos hidrolizados en la altura de plantas y producción de biomasa en maíz en condiciones de invernadero.

En los tratamientos adicionales, se resalta el desempeño de la HCP que estadísticamente iguala al tratamiento con fertilización mineral, confirmando la viabilidad de este material (HCP), como proveedor de nutrientes. Asimismo, es destacable, el efecto individual, aplicados por separado, tanto del residuo hidrolizado, la harina de cuernos y pezuñas, logrando incrementar notablemente los rendimientos de materia seca (6.40 vs. 9.35 y 31.69 g/maceta- Tabla 19 y Figuras 11 y 12). La sola aplicación del residuo hidrolizado

también tiene efecto en la producción de materia seca, esto se explicaría por el contenido aunque pequeño de sustancias orgánicas, que son parte de la nutrición vegetal, además del efecto activador biológico del suelo (39.1 cm y 9.35 g respectivamente de altura de planta y producción de materia seca/maceta).

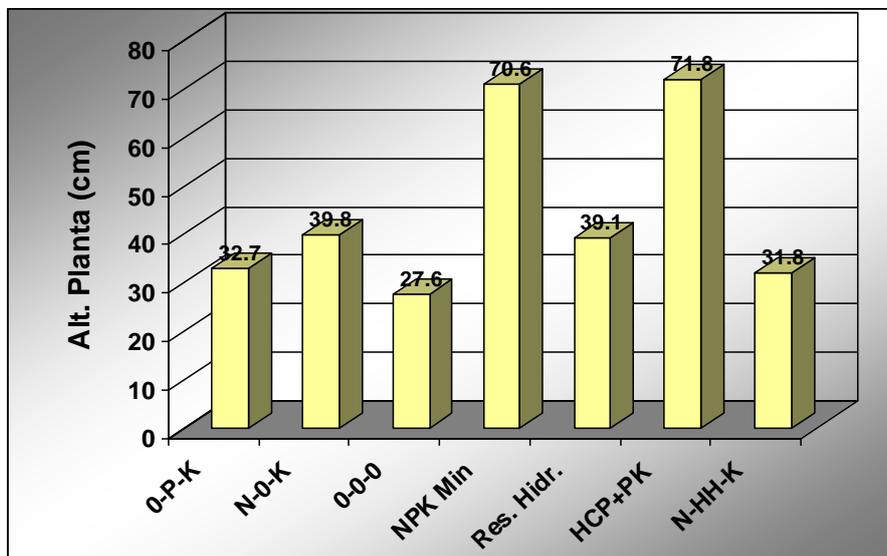
**Tabla 18. Comparación de medias por la prueba  $DLS_{0.05}$  para los distintos parámetros en el efecto del uso “residuos hidrolizados” como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero**

<b>Nro</b>	<b>Tratam.</b>	<b>Alt.plta (cm)</b>	<b>Mat. Seca (g/maceta)</b>	<b>Extrac.N (mg/maceta)</b>	<b>Extrac.P (mg/maceta)</b>	<b>Extrac.K (mg/maceta)</b>
1	HCP <sub>1</sub> – RF <sub>1</sub>	36.8 a*	7.75 a*	247 a*	15.1 ab*	220 a*
2	HCP <sub>1</sub> – RF <sub>2</sub>	38.4 a	8.83 a	267 a	18.6 a	263 a
3	HCP <sub>1</sub> – RF <sub>3</sub>	37.2 a	7.97 a	238 a	15.4 ab	225 a
4	HCP <sub>2</sub> – RF <sub>1</sub>	38.7 a	8.34 a	236 a	15.0 ab	232 a
5	HCP <sub>2</sub> – RF <sub>2</sub>	31.9 a	5.96 a	215 a	16.4 b	166 a
6	HCP <sub>2</sub> – RF <sub>3</sub>	35.1 a	7.20 a	237 a	13.4 ab	225 a
7	HCP <sub>3</sub> – RF <sub>1</sub>	43.1 a	9.70 a	318 a	17.2 ab	193 a
8	HCP <sub>3</sub> – RF <sub>2</sub>	40.4 a	8.09 a	279 a	14.1 ab	165 a
9	HCP <sub>3</sub> – RF <sub>3</sub>	39.2 a	7.18 a	231 a	10.7 b	158 a

\*Promedios que en cada columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades

**Tabla 19. Comparación de medias por la prueba  $DLS_{0.05}$  para los distintos parámetros en el efecto del uso “residuos hidrolizados” como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (adicionales).**

Nro	Tratam.	Alt.plta (cm)	Mat. Seca (g/maceta)	Extrac.N (mg/maceta)	Extrac.P (mg/maceta)	Extrac.K (mg/maceta)
1	ADICIONALES 0 – P – K	32.7 b*	7.46 d*	166 d*	16.0 df	249 b*
2	N – 0 – K	39.8 b	8.37 c	250 c	12.9 f	245 b
3	0-0-0	27.6 b	6.40 d	87 e	14.5 f	122 d
4	NPK Mineral	70.6 a	32.93 a	820 a	120.1 a	431 a
5	RH	39.1 b	9.35 b	182 d	55.0 c	256 b
6	HC+PK	71.8 a	31.69 a	534 b	87.5 b	522 a
7	N-RF-K	31.8 b	5.69 e	163 d	25.0 d	103 d



**Figura 11. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales y de residuos hidrolizados en la altura de plantas de maíz en condiciones de invernadero**

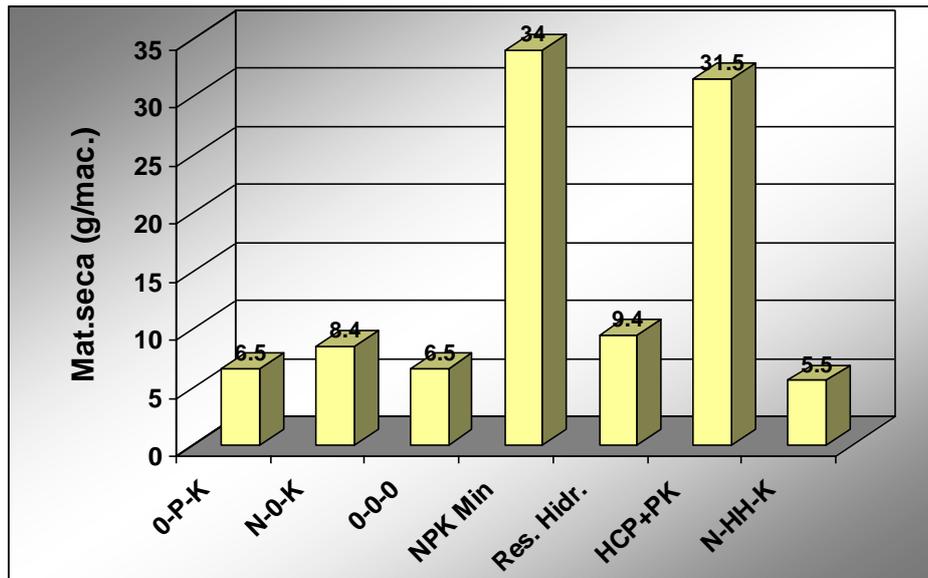


Figura 12. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales y de residuos hidrolizados en la producción de biomasa en maíz en condiciones de invernadero.

### b. Extracción de nutrientes (N, P, K)

Analizando el componente factorial, en la extracción de nutrientes por las plantas (Tabla 18 Fig. 13), se sigue la misma correspondencia que la altura de planta y producción de materia seca, es decir no existen diferencias significativas entre las dosis de N (HCP) y de P (RF). Tan solo en conjunto todo el factorial se observan diferencias con el control 0-0-0 de los adicionales. Esta constatación sugiere que es suficientes dosis bajas para tener un efecto sustantivo.

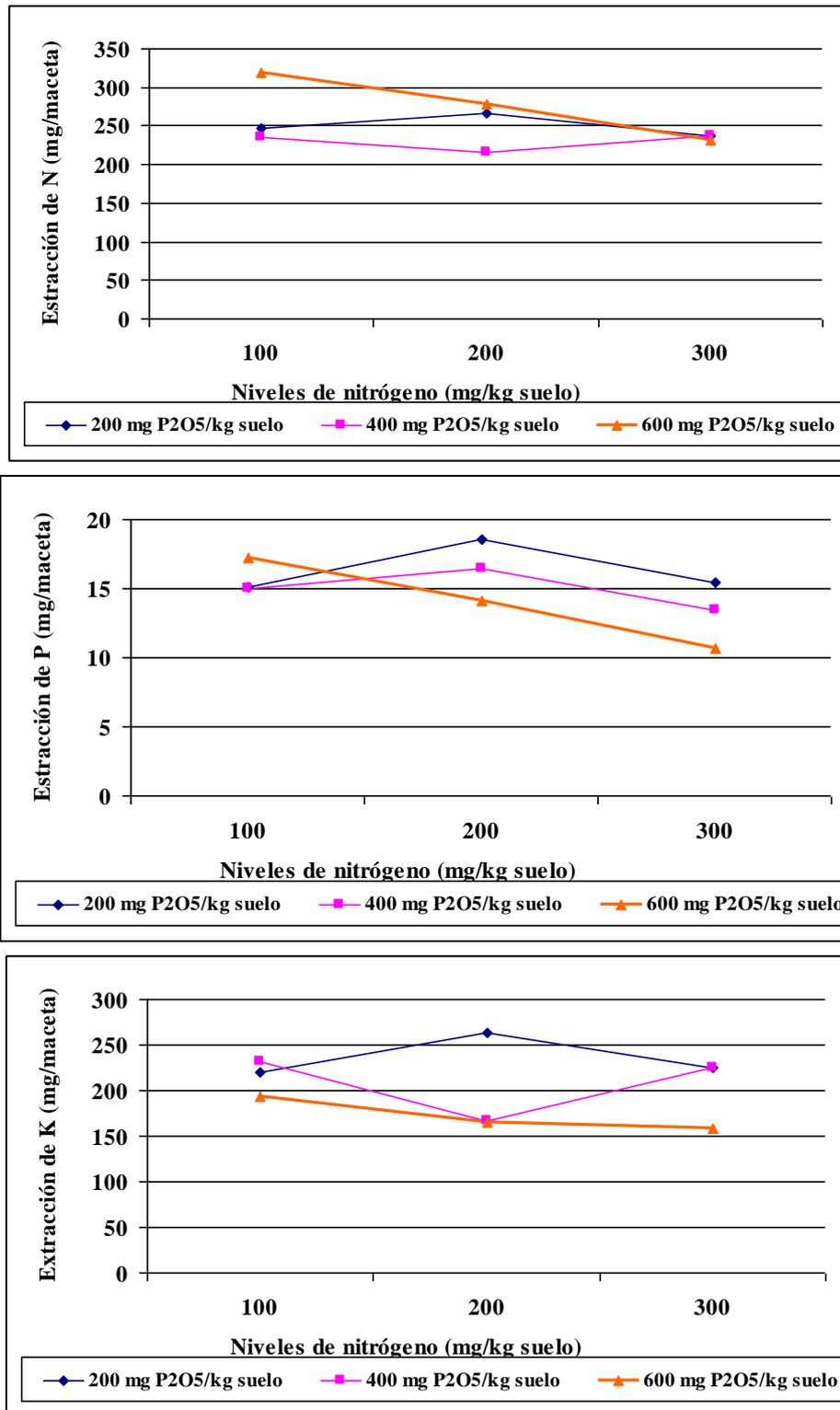


Figura 13. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la extracción de N, P y K por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

Las diferencias que se observan en la extracción de P (Tabla 19), se deben sobre todo a la distinta concentración del nutriente en el material vegetal, que si bien es cierto pueden exhibir similares rendimientos de biomasa, tienen diferentes cantidades de extracción.. Estos resultados son concordantes con lo mencionado por Yanez et al. (2010) y Delgado et al. (2004).

Asimismo, son notorias las diferencias de extracción de N y K comparadas con el testigo 0-0-0 de los adicionales. Respuesta que es congruente con la altura de planta y producción de biomasa.

Asimismo, si analizamos las comparaciones entre los tratamientos de los adicionales, son notables las diferencias con el tratamiento control, que llegan a cuadruplicar cuantitativamente la extracción del elemento (Tabla 19 y Fig. 16) , especialmente con el caso del K, ya que fisiológicamente, al no constituir parte de ningún compuesto orgánico, este se acumula en la planta, denominándose a este fenómeno como “consumo de lujo”, es decir la absorción adicional mas allá de las propias necesidades fisiológicas (Marín & Pérez, 1992; Rodríguez & Pire, 2004).

Asimismo se constata la no diferencia entre los niveles de 400 y 600 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> lo que nos llevaría a sugerir que son estas cantidades de fosfato agregado, pueda expresarse en el efecto residual de la siguiente campaña

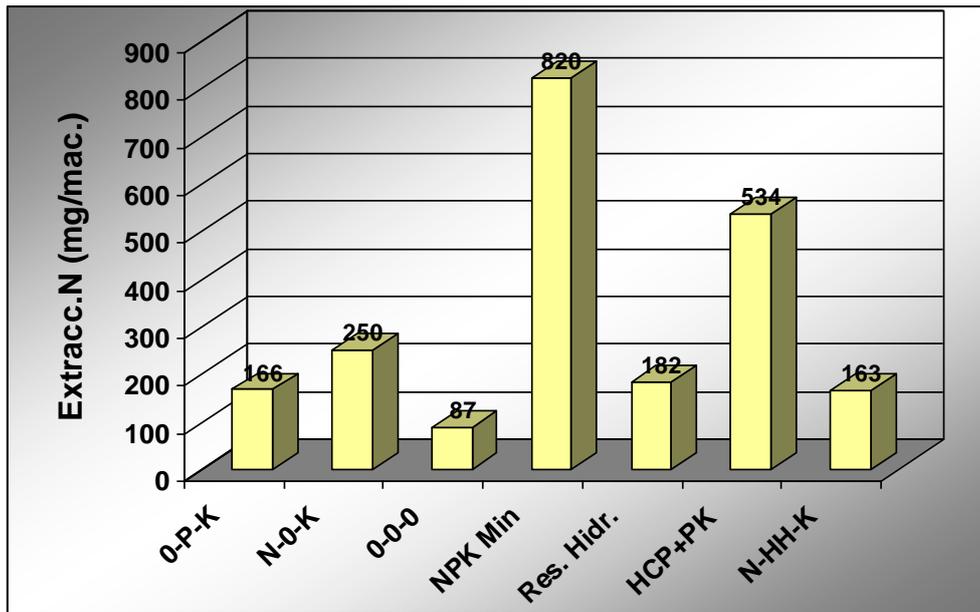


Figura 14. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas no convencionales, roca fosfatada y residuos hidrolizados en la extracción de nitrógeno por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

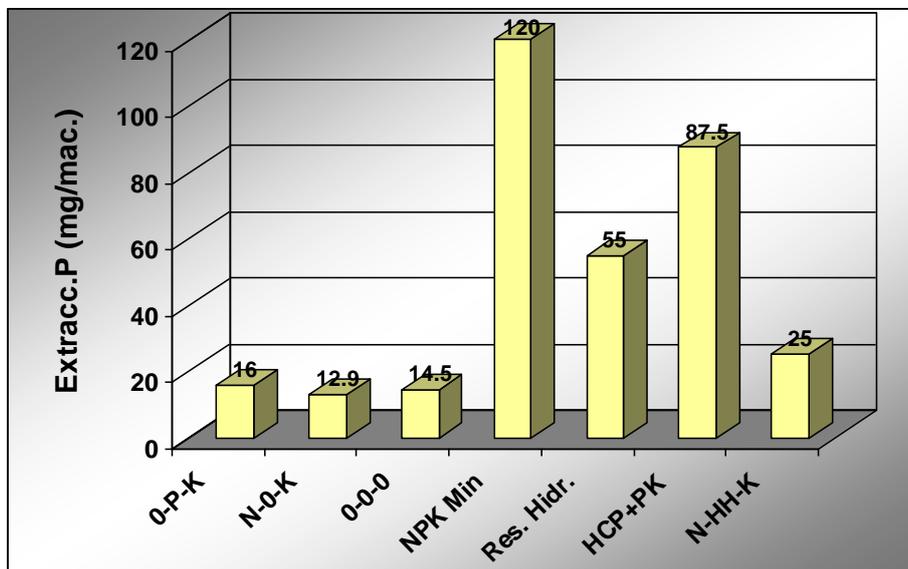


Figura 15. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de fósforo por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

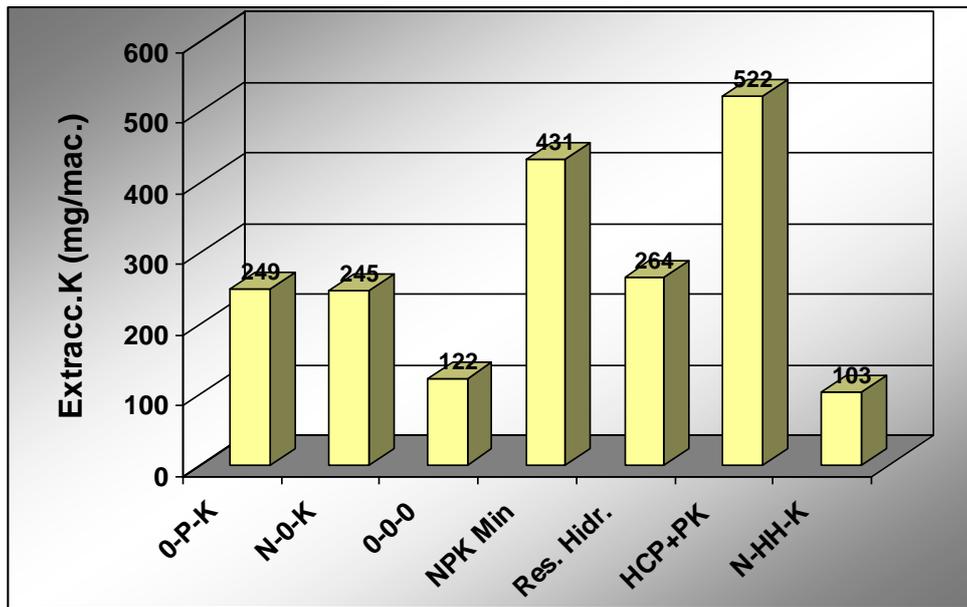


Figura 16. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas (HCP) y fosfatadas (RF) no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de potasio por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

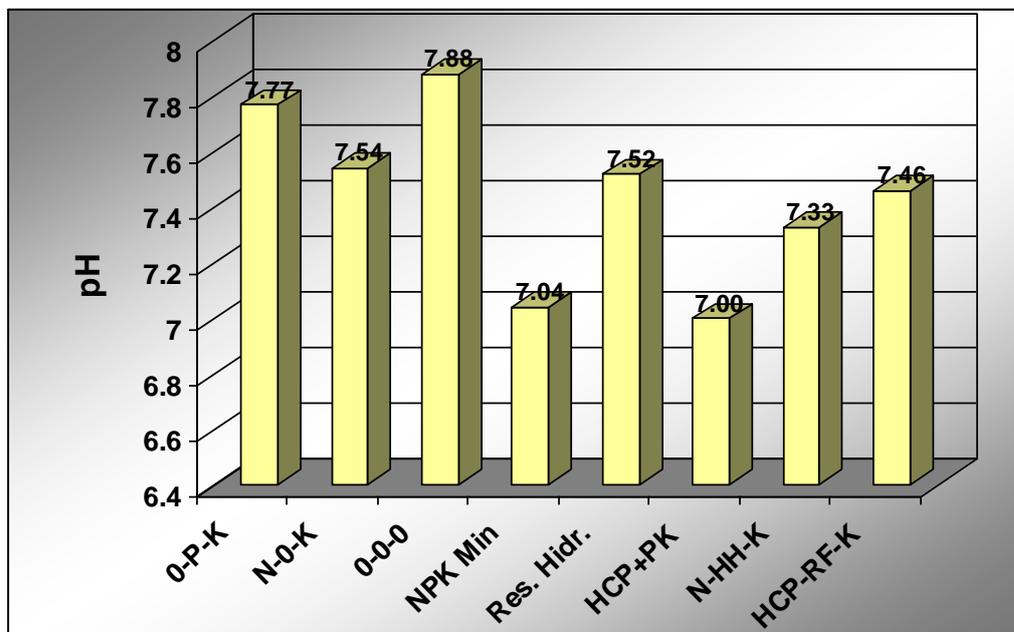


Figura 17. Efecto de la aplicación de fuentes nitrogenadas y fosfatadas no convencionales y residuos hidrolizados en el pH del suelo, después del experimento.

### **c. Reacción final del suelo (pH).**

En todos los casos, al final del ensayo, la aplicación de materiales fertilizantes provoca una acidificación en el suelo, siendo más acentuada en aquellos tratamientos que recibieron la harina de cuernos y pezuñas. El material hidrolizado a pesar de tener una reacción muy ácida (pH 3.6), no altera tanto como la harina de cuernos y pezuñas, debido a la poca cantidad aplicada (1% o su equivalente de 40 mL/maceta).

Las variaciones del pH podemos ver en la Fig.17. A este respecto, no se ha encontrado referencias a la influencia de la aplicación de este tipo de materiales sobre las propiedades de los suelos como el pH.

### **3.4.3 EXPERIMENTO 3: EFECTO RESIDUAL DE FUENTES NO CONVENCIONALES: RESIDUO HIDROLIZADO, HARINA DE HUESOS, ROCA FOSFATADA, HARINA DE CUERNOS Y PEZUÑAS EN MAÍZ (*Zea mays*) EN CONDICIONES DE INVERNADERO**

#### **a. Altura de planta y producción de materia seca (Residual: Harina de huesos y roca fosfatada).**

Tal como lo señalan diversos autores, la residualidad es un concepto que se aplica a la fertilización fosfatada (Berardo & Merino, 2000; Cardone et al., 2013), aunque otros lo extienden a fuentes orgánicas y al nitrógeno (Koepke, 1995). Aunque es necesario señalar que este concepto se deduce de experimentos que llevan hasta 3 años, muy distinto a nuestro caso en el que los experimentos fueron conducidos en invernadero y menor tiempo.

En la parte factorial del experimento, tanto la altura de planta como la producción de materia seca por maceta, son parámetros indicadores, del efecto residual especialmente en los tratamientos tratados con fuentes fosfatadas. Particularmente más notorio son los tratamientos con la harina de huesos, en comparación con la roca fosfatada, (Figs. 18 y 19 ) lo que revelaría una mayor solubilidad que aquella. Tanto Rojas (1981), Arias (1993), y

Pino et al. (s/f), verificaron las limitaciones de la roca fosfatada como fuente directa, cuando no está en medio ácido y/o se acidula parcialmente. La mayor solubilidad de la harina de huesos puede estar relacionada con la obtención del material usado, dado que se somete a calcinación (tratamiento térmico para el fosfato tricálcico), para obtener la forma pulverulenta.

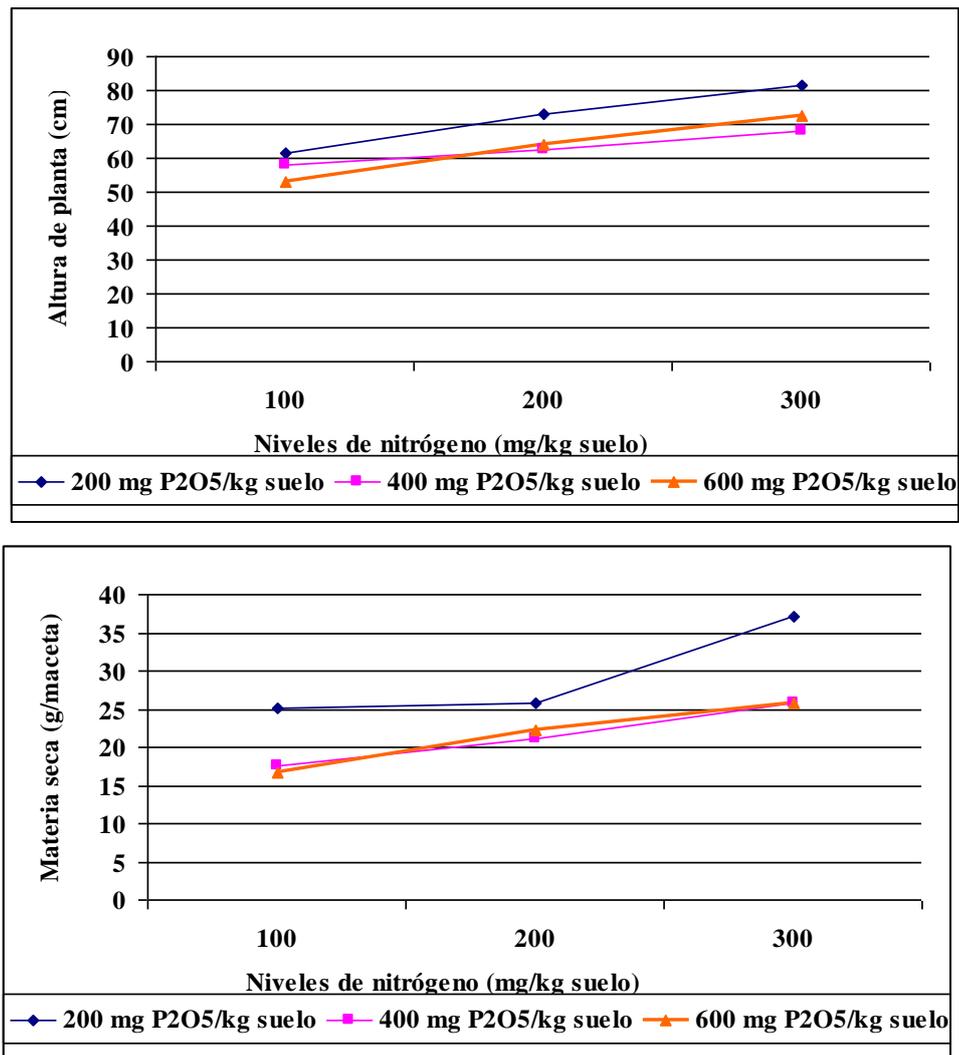


Figura 18. Efecto residual de la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno y fuentes fosfatadas (HH) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la altura de plantas de maíz (cm) y producción de biomasa (g/maceta) en condiciones de invernadero.

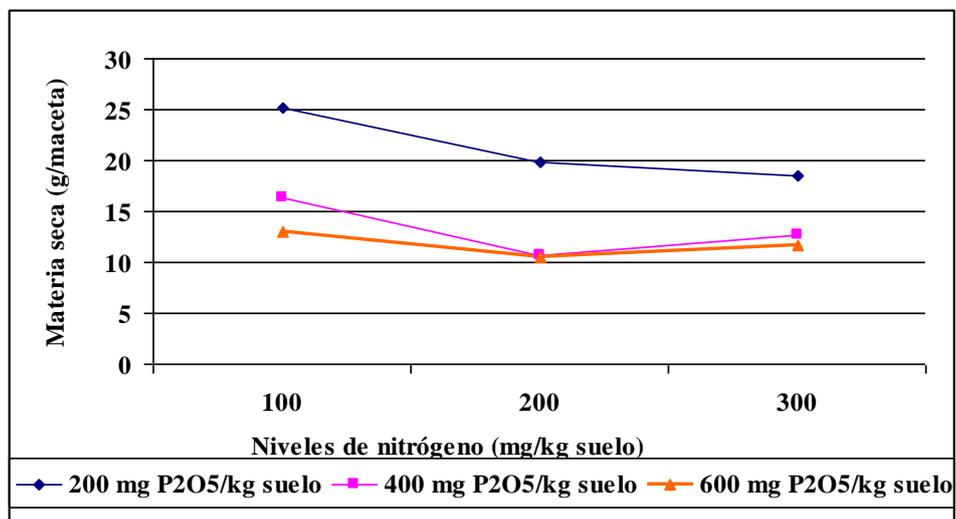
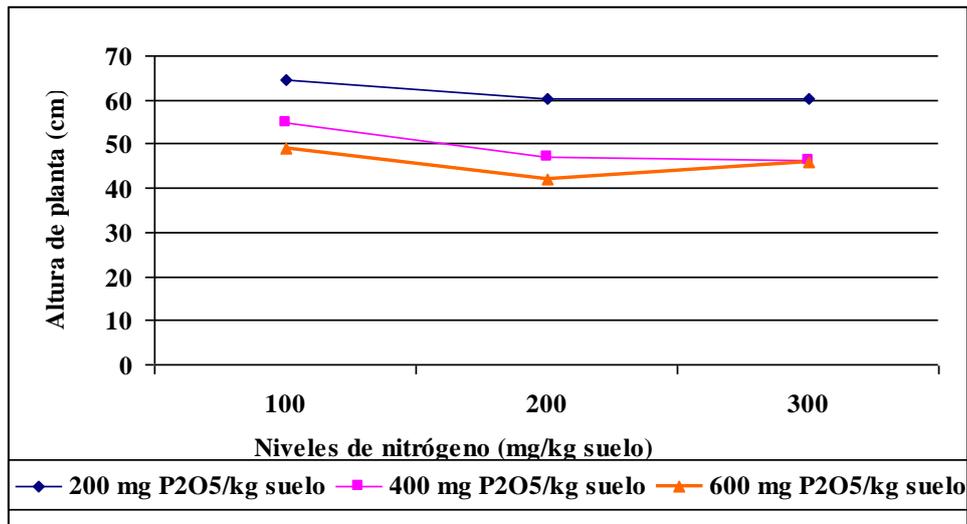


Figura 19. Efecto residual de la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno y fuentes fosfatadas (RF) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la altura (cm) y producción de biomasa de plantas de maíz en condiciones de invernadero (g/maceta).

Lo más destacable del ensayo, radica en los resultados que se obtienen con el tratamiento exclusivo con harina de cuernos y pezuñas (Trat. 6 de adicionales), que supera en promedio al tratamiento con fertilizante mineral, lo que se verifica como una opción válida para su uso en agricultura. Asimismo, este resultado revela una mayor capacidad de reserva del nutriente nitrogenado, lo que se expresa en el efecto residual, confirmando lo mencionado por Koepke (1995).

Si comparamos el efecto residual entre las dos fuentes fosfatadas utilizadas (harina de huesos y roca fosfatada molida), definitivamente mejor desempeño tiene la harina de huesos (Figs. 18 y 19), ratificando lo mencionado por Nuñez (1999) y Castro & Vinuesa (2011). Esta misma respuesta se constata con la extracción de nutrientes (Figs. 22 y 23).

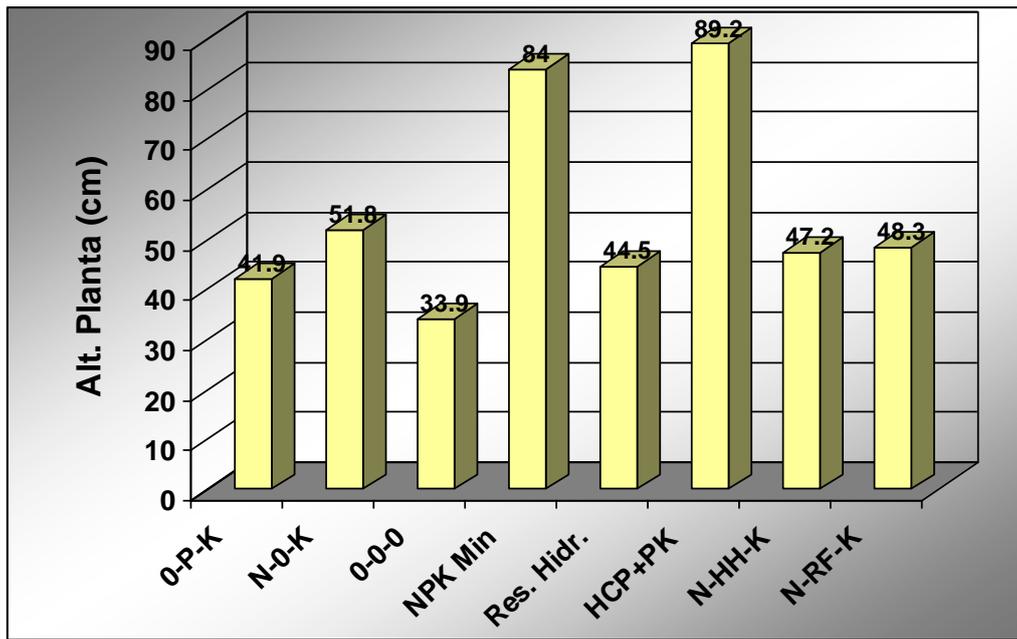


Figura 20. Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la altura de plantas de maíz en condiciones de invernadero (cm)

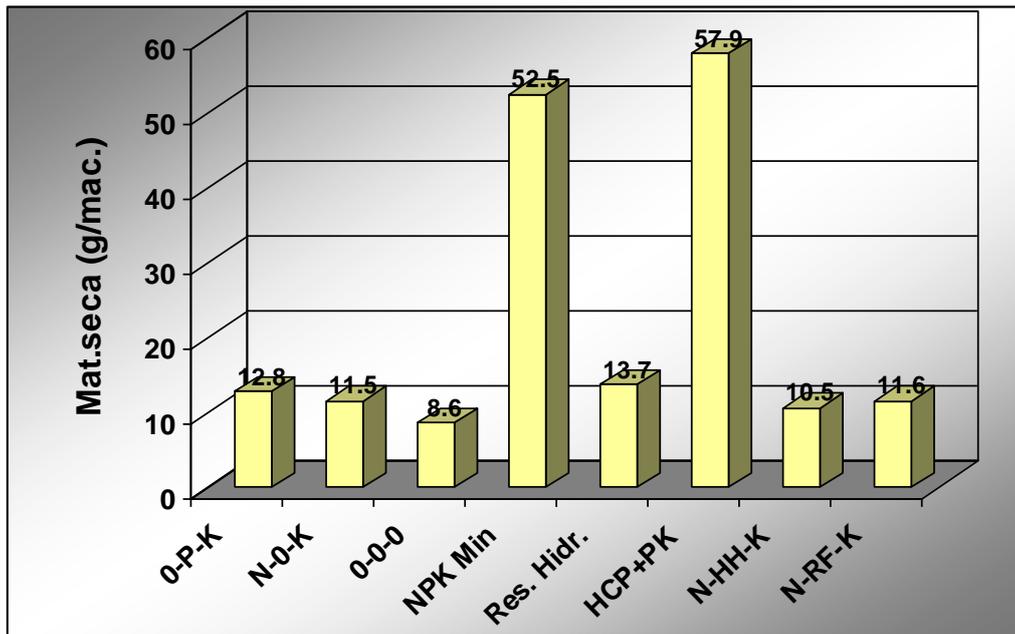


Figura 21. Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la producción de biomasa en plantas de maíz en condiciones de invernadero (g/maceta).

Al comparar el tratamiento testigo con y entre los adicionales, podemos observar, que definitivamente el tratamiento con fertilización mineral y el tratamiento con harina de cuernos y pezuñas, son los que destacan tanto en altura de planta como en producción de materia seca. Asimismo, es destacable, el efecto individual inexistente del residuo hidrolizado, que si tuvo un aceptable desempeño en los primeros ensayos

Asimismo, las diferencias se hacen mas pronunciadas con la producción de materia seca que con la altura de plantas, que se harán más pronunciadas con la extracción de nutrientes.

**Tabla 20. Comparación de medias por la prueba  $DLS_{0.05}$  para los distintos parámetros en el efecto residual del uso de residuos hidrolizados de pescado como acidulante en harina de huesos como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (factorial).**

Nro	Tratam.	Altura planta (cm)	Mat. Seca (g/maceta)	Extrac.N (mg/maceta)	Extrac.P (mg/maceta)	Extrac.K (mg/maceta)
1	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>1</sub>	61.5 bcd*	25.1 ab*	401 b*	36 e*	407 ab*
2	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>2</sub>	73.2 ab	25.8 ab	480 ab	49 de	515 a
3	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>3</sub>	81.3 a	37.1 a	617 a	82 a	554 a
4	HCP <sub>1</sub> – HH <sub>1</sub>	58.0 cd	17.5 cd	383 b	42 de	319 b
5	HCP <sub>2</sub> – HH <sub>2</sub>	62.6 bcd	21.1 bc	477 ab	52 cd	432 ab
6	HCP <sub>2</sub> – HH <sub>3</sub>	68.1 bc	25.7 ab	577 a	74 ab	435 ab
7	HCP <sub>3</sub> – HH <sub>1</sub>	52.8 d	16.7 d	408 b	35 e	332 b
8	HCP <sub>3</sub> – HH <sub>2</sub>	64.2 bcd	22.2 c	495 ab	52 cd	414 ab
9	HCP <sub>3</sub> – HH <sub>3</sub>	72.3 ab	25.7 ab	585 a	63 bc	447 ab

\* Promedios que en cada columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades

**Tabla 21. Comparación de medias por la prueba  $DLS_{0.05}$  para los distintos parámetros en el efecto residual del uso residuos hidrolizados de pescado como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (factorial).**

Nro	Tratam.	Altura de. planta (cm)	Mat. Seca (g/maceta)	Extrac. N (mg/maceta)	Extrac.P (mg/maceta)	Extrac.K (mg/maceta)
1	HCP <sub>1</sub> – RF <sub>1</sub>	64.6 a*	25.2 a*	495 a	47 ab	386 a
2	HCP <sub>1</sub> – RF <sub>2</sub>	60.1 a	19.8 ab	425 abc	48 a	316 ab
3	HCP <sub>1</sub> – RF <sub>3</sub>	60.4 a	18.5 bc	433 ab	46 ab	317 ab
4	HCP <sub>2</sub> – RF <sub>1</sub>	54.8 ab	16.4 bcd	382 abcd	39 abc	277 abc
5	HCP <sub>2</sub> – RF <sub>2</sub>	46.9 bc	10.6 e	268 d	30 bc	196 c
6	HCP <sub>2</sub> – RF <sub>3</sub>	46.2 bc	12.6 de	324 bcd	31 bc	237 bc
7	HCP <sub>3</sub> – RF <sub>1</sub>	49.1 bc	13.0 cde	337 bcd	28 c	244 bc
8	HCP <sub>3</sub> – RF <sub>2</sub>	41.9 c	10.5 e	296 cd	27 c	191 c
9	HCP <sub>3</sub> – RF <sub>3</sub>	45.4 bc	11.7 de	322 bcd	34 abc	213 bc

\* Promedios que en cada columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades.

**Tabla 22. Comparación de medias por la prueba  $DLS_{0.05}$  para los distintos parámetros en el efecto residual del uso de residuos hidrolizados de pescado como acidulante en harina de huesos y roca fosfatada como fuente de fósforo para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero (adicionales).**

Nro	Tratam.	Altura planta (cm)	Mat. Seca (g/maceta)	Extrac.N (mg/maceta)	Extrac.P (mg/maceta)	Extrac.K (mg/maceta)
<b>ADICIONALES</b>						
1	0 – P – K	41.9 bc	12.8 c	181 cd	20 ab	211 b
2	N – 0 – K	51.8 b	11.5 c	260 c	20 a	214 b
3	0-0-0	33.9 c	8.6 c	70 e	14 bcd	134 b
4	NPK Mineral	84.0 a	52.5 b	636 b	129 bcd	498 a
5	RH	44.5 bc	13.7 c	132 de	26 abc	200 b
6	HC+PK	89.2 a	57.9 a	780 a	128 cd	545 a
7	HH+NK	47.2 bc	10.5 c	244 c	18 d	168 b
8	N-RF-K	48.3 bc	11.6 cd	257 c	24.5 b	207 b

\* Promedios que en cada columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades.

**b. Extracción de nutrientes (N,P, K): Efecto residual de harina de huesos y roca fosfatada , mas adicionales.**

Los resultados de la extracción de nutrientes por las plantas, para el componente factorial, se hacen mas pronunciadas que la altura de planta y producción de biomasa, debido a la diferente concentración de cada uno de los nutrientes analizados, tendencia ya señalada por Arrieche & Mora (2005). Como ejemplo, los tratamientos 1, 2 y 3, tienen biomasa semejante, pero se diferencian en cuanto a extracción de nutrientes, por el efecto residual, esta se traduce en una mayor concentración en la planta, y cuando se comparan ambas extracciones totales, ya resultan diferentes estadísticamente. Este hecho puede resultar crucial, por cuanto cuantitativamente las plantas pueden exhibir semejante materia vegetal o biomasa, pero con diferentes concentraciones de nutrientes, como en este caso, con el nitrógeno y el fósforo (Hu et al., 2010; Yanez et al., 2010).

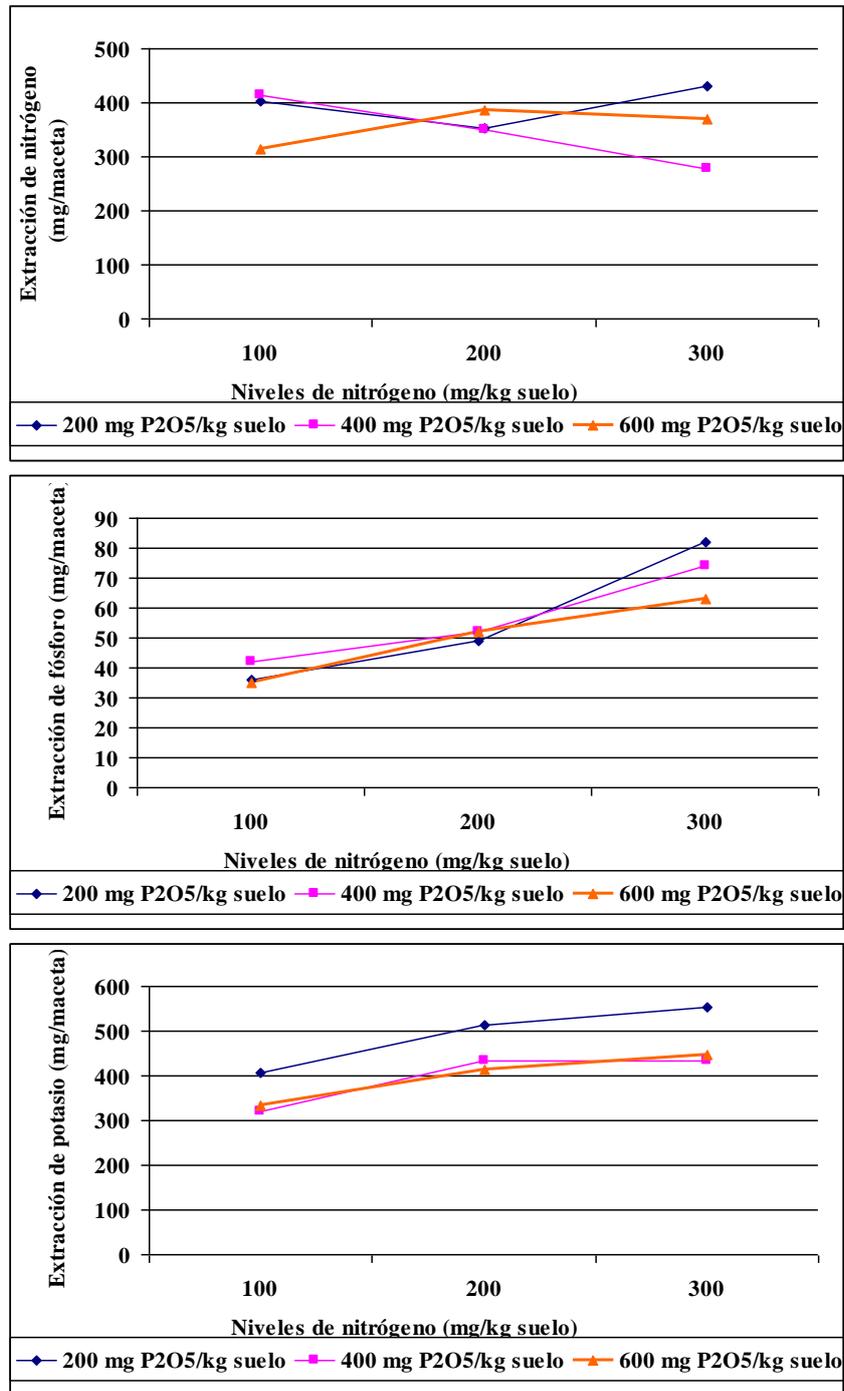


Figura 22. Efectos residuales de la aplicación de niveles de nitrógeno y fuentes fosfatadas (HH) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la extracción de N, P y K por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

Asimismo, el efecto residual es más notorio en todos los niveles, para la harina de huesos, más que para la roca fosfatada, sobre todo en fósforo y potasio. Debemos tomar

en cuenta el aporte indirecto en cada uno de los materiales usados, que van acompañados de una nada despreciable cantidad de N, P y K (Tabla 7).

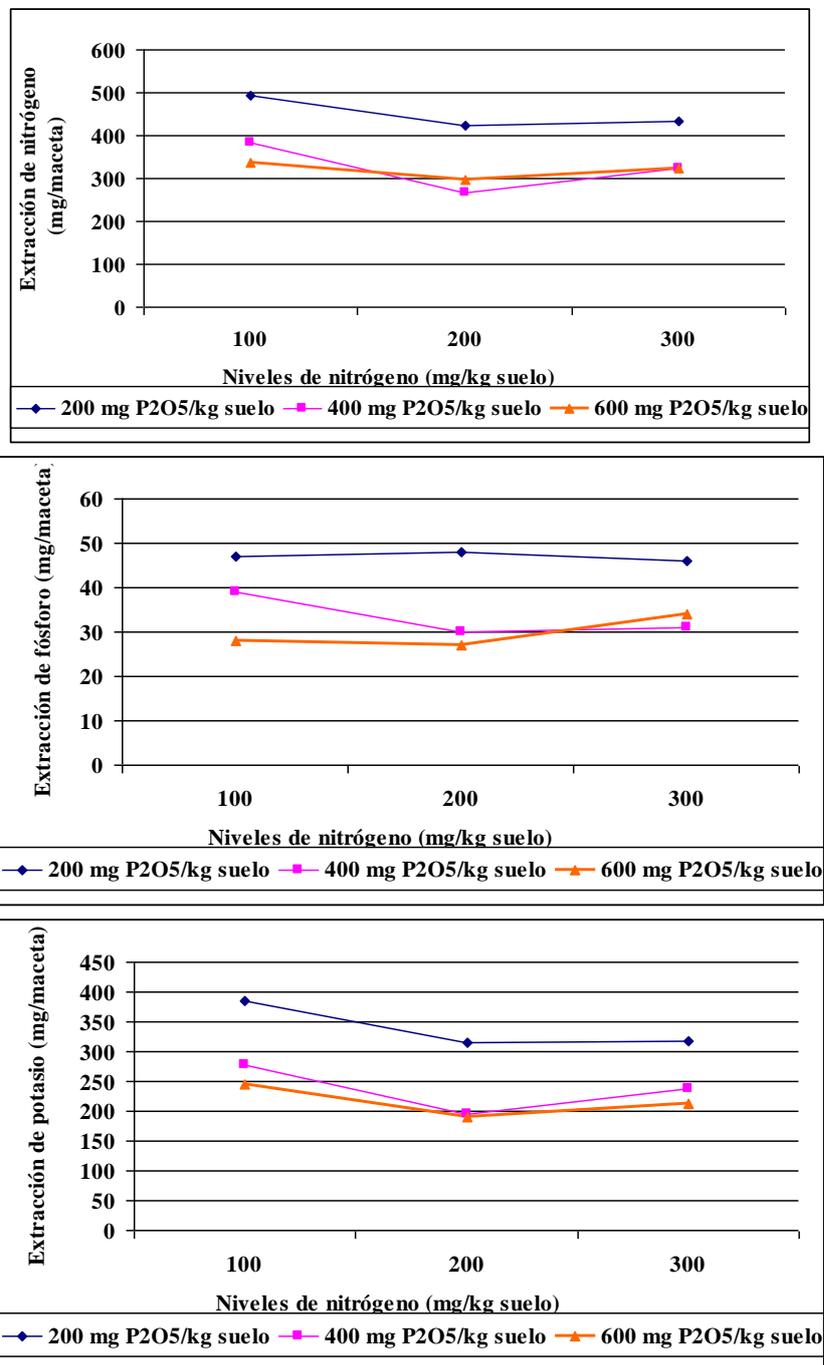


Figura 23. Efectos residuales de la aplicación de niveles de nitrógeno y fuentes fosfatadas (RF) no convencionales en combinación con residuos hidrolizados en la extracción de N, P y K por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta).

Otra constatación es que en ambos casos (Harina de huesos y roca fosfatada), no existen diferencias entre los niveles aplicados (200, 400, 600 ppm de  $P_2O_5$ ), lo que descarta definitivamente la expectativa de un efecto residual para estas condiciones.

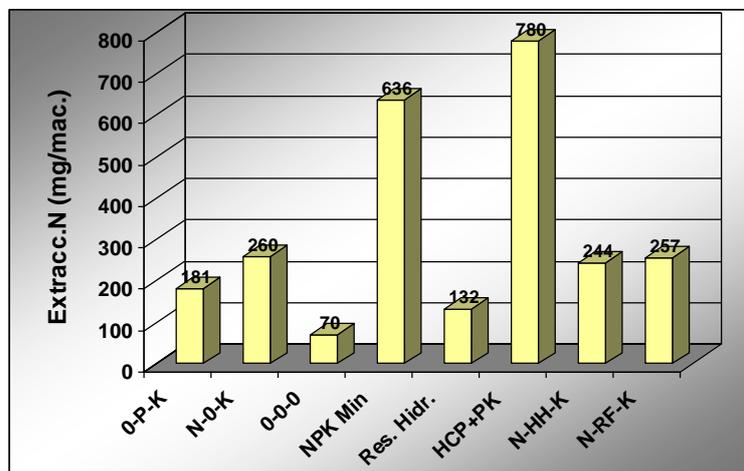


Figura 24. Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de nitrógeno por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta)

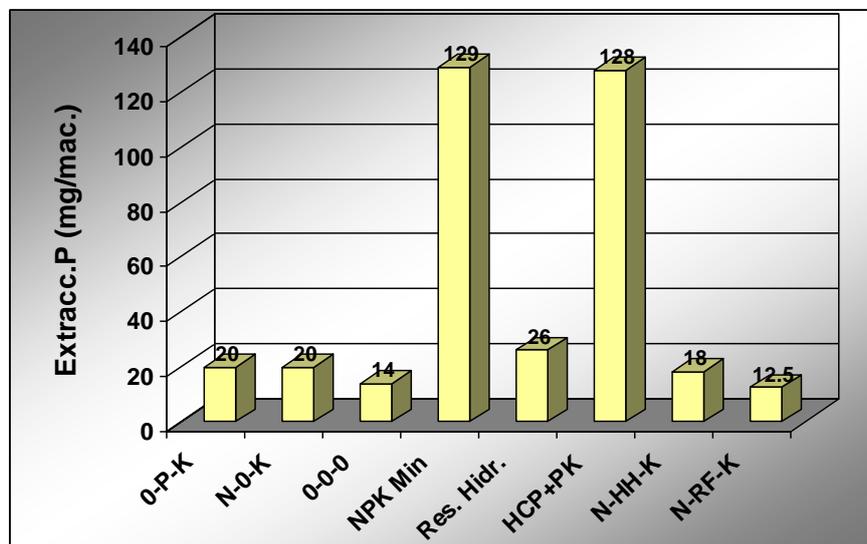


Figura. 25. Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de fósforo por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta)

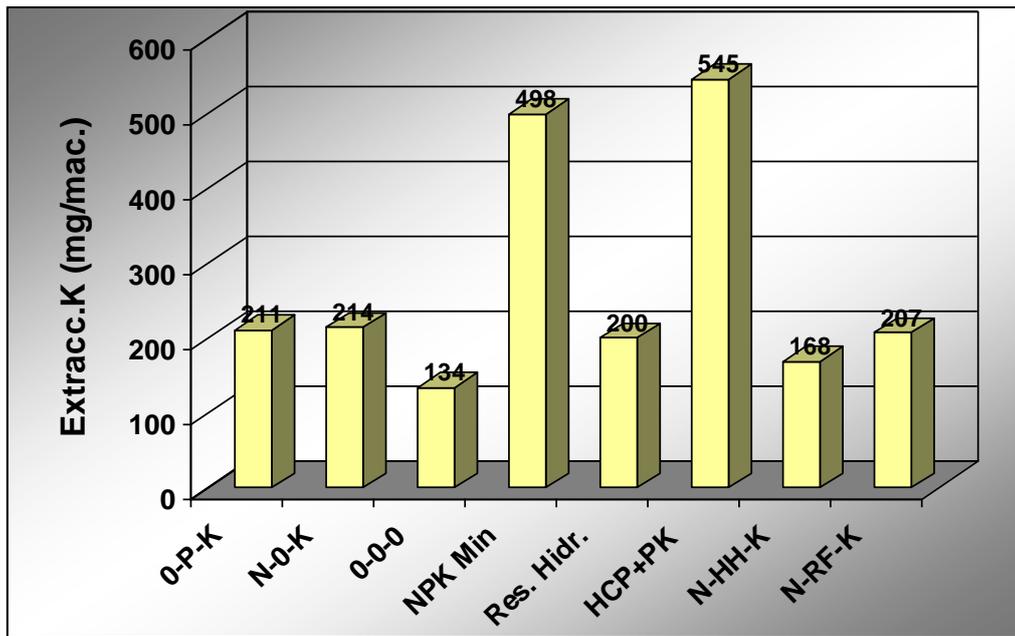


Figura 26. Efecto residual de la aplicación de fuentes de nitrógeno y fuentes fosfatadas no convencionales y de residuos hidrolizados en la extracción de potasio por plantas de maíz en condiciones de invernadero (mg/maceta)

En el grupo de tratamientos adicionales, no solo sobresalen los abonados con NPK mineral y con harina de cuernos y pezuñas, sino que estadísticamente la HCP supera a la fertilización convencional (NPK). La cantidad grande de N extraído también podría explicarse por la aplicación indirecta de la harina de huesos y residuo hidrolizado (324 mg y 75 mg de N/maceta. Tabla 8), asunto que no debe soslayarse dadas las magnitudes de estos aportes.

Respecto al potasio, se mantiene la misma tendencia, que lo expresado en altura de planta y producción de materia seca, pero son notables las diferencias con el tratamiento control, que llegan a multiplicar varias veces cuantitativamente la extracción del elemento, ya que fisiológicamente, al no constituir parte de ningún compuesto orgánico, este se acumula en la planta, denominándose a este fenómeno como “consumo de lujo”, es decir la absorción adicional mas allá de las propias necesidades fisiológicas, como ya se señaló en los anteriores experimentos, así como el aporte micáceo del sustrato arenoso utilizado.

## **IV. ENSAYOS DE CAMPO**

Con la información de los experimentos de invernadero, se desarrollaron los experimentos de campo, haciendo ya uso de tan solamente harina de cuernos y pezuñas y el hidrolizado de pescado como fertilizante foliar.

### **4.1 EXPERIMENTO 4: FUENTES NO CONVENCIONALES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN MAÍZ (*Zea mays*), BAJO CONDICIONES DE COSTA CENTRAL (CAÑETE - PERÚ)**

#### **4.1.1 REVISIÓN DE LITERATURA**

En lo referente a la harina de cuernos y pezuñas y el residuo hidrolizado, referencias bibliográficas en el Cap. 2 sobre caracterización físico-química, y Cap.3 Experimentos de invernadero.

**Sobre la producción de biomasa, rendimientos y extracción de nutrientes por el cultivo de maíz en condiciones de campo.**

Tanto la altura de planta como la producción de biomasa, representada en forma de peso de materia seca, son dos indicadores utilizados en la determinación de la eficacia de tratamientos propuestos, también utilizados en otros trabajos de la misma índole (Serna et al., 2011 , Ospina et al., 2011).

Los análisis de suelos y la cuantificación de la extracción de nutrientes puede ser una herramienta para una adecuada recomendación de fertilización. En el caso del maíz, se han encontrado cifras distintas pero referenciales de extracción, que están en función de

factores como son las especies, variedades, la época de siembra, la expectativa de rendimiento, localidad (Vásquez et al., 2014).

Arrieche y Mora (2005), usando tres fuentes de materia orgánica (estiércol de pollo, estiércol de pollo compostado con enzimas, y cachaza de caña de azúcar compostada con enzimas), encontraron efectos de incremento de la materia orgánica en el suelo, así como incrementos en la concentración de nitrógeno en las hojas, y en el rendimiento de grano comparadas con un testigo sin uso de materia orgánica.

Asimismo, Yanez et al. (2010), en experimentos de dos localidades de la Provincia de Bolívar (Ecuador), aplicando la metodología del elemento faltante, encontraron diferencias significativas para la producción de grano, mas no para tuza y residuos. En cuanto a la concentración y extracción de nutrientes las mayores diferencias que encontraron fueron en cuanto al N.

Delgado et al. (2004), analizan el efecto de modalidades de fraccionamiento de la fertilización nitrogenada, en tres localidades de Venezuela, con muestreos de material vegetal cada veinte días, y encontraron diferencias tanto en el patrón de acumulación de materia seca así como en el patrón de absorción de N, P y K. No encontraron mayor diferencia en la acumulación de materia seca, pero si en cuanto a la tasa de acumulación, siendo en todos los casos, crucial del segundo tercio del período vegetativo.

Silva et al. (2009), al evaluar las características morfológicas y agronómicas en diferentes fechas de siembra del maíz, concluyen que éstas, y su correspondiente respuesta en la producción, son más dependientes de la época de siembra, que de la carga genética, por la oportunidad de la época de floración de las plantas.

Prystupa et al. (2004), en pruebas de combinaciones de niveles de P y S, en combinación con y sin aplicación de K, en siete lugares, no encontraron efectos del K, como si se encontró con las dosis de P y S.

Setiyono et al. (2010), consideran que para la estimación de los requerimientos nutricionales de los cultivos, se pueden usar modelos de simulación como el QUEFTS (QUantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils), con el que establecieron límites máximos y mínimos por Índices de Eficiencia (IE), encontrando en kg de grano por kg de nutriente en la materia seca, para rendimientos de 20 Mg ha<sup>-1</sup>, 40 a 83 kg de grano kg<sup>-1</sup>N, 225 a 726 kg grano kg<sup>-1</sup>P y 29 a 125 kg grano kg<sup>-1</sup>K . Por tanto, el modelo predijo un incremento lineal en rendimiento de grano, de 16.4 kg N, 2.3 kg P y 15.9 kg K por cada tonelada de grano, para alcanzar 60-70 % del rendimiento potencial.

Xu et al. (2013), haciendo uso del mismo modelo que usaron Setiyono et al. (2010), el QUEFTS, para las condiciones de China, establece como relación óptima para la biomasa de planta, de N: P: K en 4.83 : 1 : 4.37 para maíz en primavera, y 4.61 : 1 : 3.61 para maíz en verano, respectivamente.

Hu et al. (2010), analizó el efecto de la aplicación de fertilizantes en la producción de biomasa, conjugando tratamientos con la metodología del elemento excluido, para determinar la distribución de los elementos N, P, K, Cu, Zn, Fe y Mn, de los varios órganos del maíz, concluyendo que el contenido de N siguen el orden de hojas > grano > tallo; para el P grano > hojas > tallos; para el K fue tallo > hojas > grano, y para el Fe el contenido fue hojas > tallo > grano. Para el caso del Cu y Zn los datos fueron similares. Respecto a los rendimientos de biomasa, el tratamiento NPK fue mayor que NP, NK y PK.

Seleiman et al. (2013), al analizar la viabilidad del uso de aguas servidas, y de residuos compostados, en combinación con fertilizantes sintéticos, en la producción de biomasa en tres cultivos, maíz, colza y cáñamo, obtuvo hasta 30 t/ha de biomasa de maíz, con un contenido promedio de 1.4 % de N en las hojas, concluyendo la posibilidad de usar residuos no convencionales que permitan mejorar la sostenibilidad de la agricultura, sin incrementar el uso de fertilizantes sintéticos.

Vásquez et al. (2014), sustenta que el uso de análisis de suelos es la herramienta para hacer mas eficiente el uso de fertilizantes químicos aplicados y recomienda el denominado Método Racional de Fertilización, el cual es un cálculo de requerimientos de fertilización

basado en el análisis químico del suelo, en la extracción de nutrientes del cultivo y en la eficiencia de los fertilizantes. La tasa de extracción o extracción unitaria expresado en kg de nutriente por tonelada de grano cosechado debe ser determinada pro cultivo y por región. En su trabajo determinó la extracción unitaria para maíz, frijol y caña de azúcar. En maíz la extracción fue de 27.3 kg de N, 5.9 de P y 29.1 de K. por tonelada de grano.

#### **4.1.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **a. Ubicación de los experimentos de campo**

La parte correspondiente a pruebas de campo se realizó en los campos experimentales del Instituto Regional de Desarrollo – Costa, pertenecientes a la UNALM, situados en el valle de Cañete, en los fundos de Don Germán y San Martín, en condiciones distintas de semillas, suelo, clima y época de siembra.

Para los ensayos de campo se consideraron los resultados preliminares de invernadero, dado el menor número de unidades experimentales que permitan ser manejables.

##### **b. Equipos y materiales:**

Los requeridos para la preparación del suelo para el muestreo de suelo, la siembra, instalación, conducción del experimento, cosecha y muestreo de plantas (maquinaria agrícola, semillas, cordeles para marcado, cinta métrica, balanzas, regla para medir altura de planta, mochila de aplicación, tijera de podar, bolsas de papel kraft, plumones, etc.).

Para la preparación de muestras vegetales y análisis químicos, los mencionados para los experimentos de invernadero (Cap. 2: molino, estufa, y equipo de laboratorio).

### c. Cultivo o planta indicadora.

Semillas comerciales para los experimentos de campo (“Dekalb 5005” en Don Germán y “Santa Elena 5070” en San Martín)

### d. Suelos

El muestreo de suelos se realizó de la capa arable superficial. Los resultados se muestran en la Tabla 24. La información mostrada indica que ambos suelos de Don Germán y San Martín no exhiben limitaciones que puedan interferir en los experimentos.

Sobre el protocolo de análisis de muestras de suelos, se ha explicado en el Cap. III (acápito 3.3.5 - Pág. 35)

**Tabla 23. Análisis físico-químico de los suelos de los fundos Don Germán y San Martín (Cañete).**

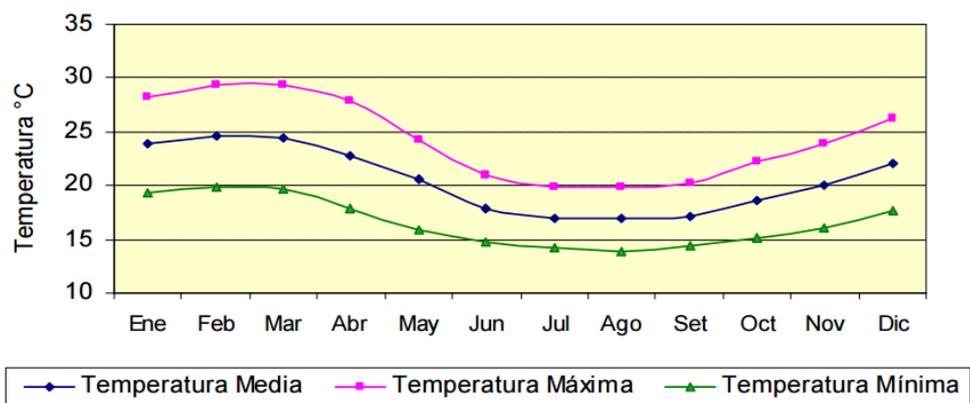
Características	Don Germán	San Martín
Textura	Franco	Franco arcilloso
Arena %	50	42
Limo %	34	32
Arcilla %	16	26
pH	7.14	7.48
CE (1 :1) dS/m	6.26	4.38
% CO <sub>3</sub> Ca	0	0
% Materia orgánica	1.91	1.82
P disp. (ppm)	16.3	21.2
K disp. (ppm)	297	286
CIC (cmol <sub>c</sub> /kg)	12.8	15.2
Ca <sup>2+</sup>	9.63	11.82
Mg <sup>2+</sup>	1.95	2.1
K <sup>+</sup>	0.81	0.72
Na <sup>+</sup>	0.41	0.56
Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup> ((cmol <sub>c</sub> /kg)	0	0
Saturación de bases (%)	100	100

#### **e. Clima**

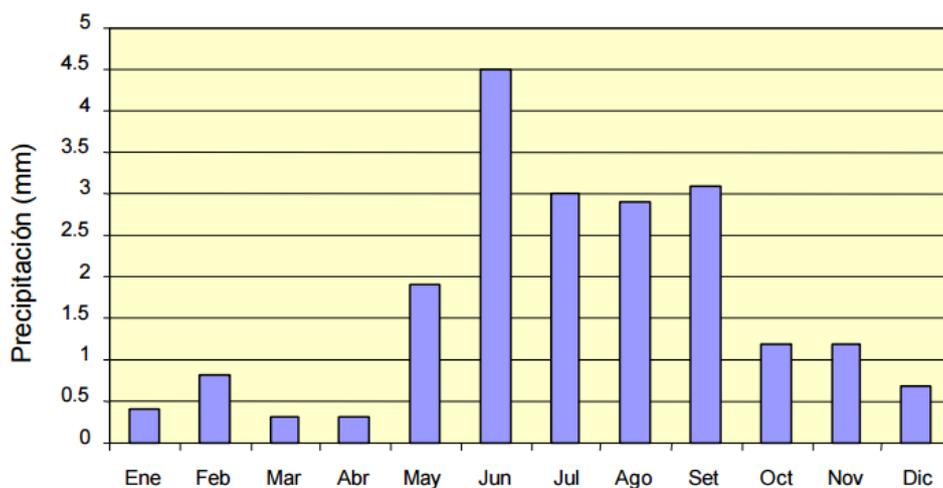
En la Fig. 26, se muestra la información gráfica climática referencial, tanto la variación mensual, como las cifras acumulativas anuales. Los experimentos se desarrollaron entre los meses de octubre a marzo de los años 2010 y 2011, es decir entre las estaciones de primavera a verano, periodo adecuado para el cultivo de maíz en el valle de Cañete.

De acuerdo a la clasificación de Köppen y Geiger, la formación básica corresponde a Desierto subtropical (BWh). La estación meteorológica ubicada en el valle, se encuentra a 104 msnm, precipitación anual promedio 20.3 mm, temperatura máxima media 24.4 °C, temperatura mínima media 16.5 °C, temperatura media 20.5 °C, y humedad relativa media 82 %

### Comportamiento de la Temperatura Estación Cañete



### Comportamiento de la Precipitación Estación Cañete



PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura Media (°C)	23,8	24,6	24,5	22,8	20,5	17,8	17,0	16,90	17,20	18,6	20,0	22,0	20,48
Temperatura Máxima Media (°C)	28,3	29,3	29,3	27,8	24,3	20,9	19,8	19,90	20,2	22,2	23,9	26,3	24,35
Temperatura Mínima Media (°C)	19,3	19,9	19,7	17,8	15,8	14,7	14,2	13,90	14,0	15,1	16,1	17,7	16,54
Precipitación (mm)	0,4	0,8	0,3	0,3	1,9	4,5	3,0	2,90	3,10	1,20	1,20	0,7	20,30
Humedad Relativa Media (%)	81,6	80,4	80,2	79,8	83,2	84,2	83,7	84,5	83,3	82,7	81,0	80,2	82,07
Evaporación (mm)	137,6	133,8	141,7	128,8	90,3	54,4	53,7	59,8	73,4	96,8	109,4	132,1	1211,8

Figura 27. Información climatológica promedial de la Estación Meteorológica de Cañete.

## f. Tratamientos .

**Tabla 24. Descripción de tratamientos, usando harina de cuernos y pezuñas y residuo hidrolizado**

Nro	Tratamientos	Niveles N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O	Fuente	Fuente	Residuos Hidrolizados (L/ha)
			de N HCP ó Urea (kg/ha)	de P y K ST <sup>3</sup> -ClK <sup>4</sup> (kg/ha)	
1	Mineral N P K	200-100-70	Urea (200)	ST (100)	0
2	HCP <sup>1</sup> + PK	200-100-70	HCP (200)	ST (100)	0
3	RH <sup>2</sup> .	0 - 0 - 0	-.-	-.-	50
4	NPK + RH <sup>2</sup>	200-100-70	Urea (200)	ST (100)	50
5	Testigo 0 P K	0 -100 - 70	-.-	ST (100)	0
6	Testigo 0 0 0	0 - 0 - 0	-.-	-.-	0

<sup>1</sup> HCP: Harina de cuernos y pezuñas <sup>2</sup> RH: Residuos hidrolizados

<sup>3</sup> Superfosfato triple de calcio. <sup>4</sup> KCl Cloruro de potasio 70 kg K<sub>2</sub>O/ha a los tratamientos indicados

## g. Desarrollo del experimento de campo

Las unidades experimentales del campo estuvieron constituidas por parcelas de cuatro surcos lineales de 6 m., con separación de 0.90 m y distanciamiento entre golpes de 0.40 m., con 2 y 3 semillas por golpe alternado, aproximadamente. Cada una de las parcelas fueron delimitadas y separadas por calles que definieron el campo experimental con cuatro bloques.

La fórmula de abonamiento correspondió a la que habitualmente se realiza en campo comercial: 200-100-70 unidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente, los fertilizantes empleados fueron urea (46 % N), fosfato diamónico (18-46-0) y cloruro de potasio (60% K<sub>2</sub>O).

El manejo agronómico y elección de semilla, riegos, deshierbos, cultivos, control de plagas, etc. correspondieron al manejo habitual que se realizan para los campos comerciales.

Se evaluaron solamente los surcos centrales para descartar el efecto de borde.

En la cosecha se muestrearon cinco plantas de cada parcela en las que se determinaron los datos de cada una de las partes aéreas de la planta (panoja o espiga, hojas, tallo, grano y tuza de la mazorca, brácteas de la mazorca), para realizar el cálculo de la biomasa total.

Como el contenido de humedad es distinta en cada componente de la planta, así como el contenido o concentración de nutrientes, se realizaron las determinaciones correspondientes, tanto de humedad como los análisis químicos por separado, y así estimar su contribución, y llevar los cálculos a: concentración de nutrientes, extracción total por hectárea y extracción por tonelada de grano producido (ver Fig. 28).

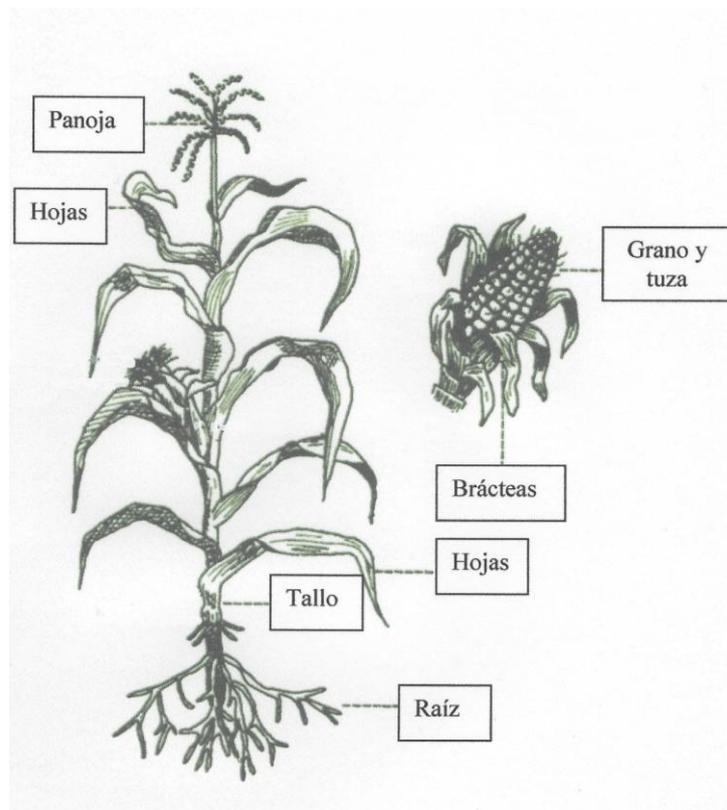


Figura 28. Morfología de la planta de maíz indicando las partes aérea y radicular.

En la preparación de las muestras, las partes por separado fueron sometidas a secado a 65 °C de temperatura, para luego proceder a molienda.

Los análisis químicos del material vegetal se realizaron en el Laboratorio de Fertilidad del Suelo, de la UNALM, determinando:

- N por el método Kjeldahl: 100 mg de muestra vegetal se digesta con 3 mL de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  concentrado durante aproximadamente 30 minutos con una fuente de calor. La muestra enfriada se lleva al balón de destilación, en medio alcalinizado con NaOH al 50 %, se receptiona el amonio desprendido en  $\text{H}_3\text{BO}_3$  al 2 %. Culminada la destilación, se titula con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.2N, con viraje de color verde a lila. Con el gasto de la titulación se calcula el nitrógeno en porcentaje.
- Se preparó el extracto del material vegetal (1 g.) mediante digestión húmeda por solución nitro-perclórica, llevando a un volumen final de 50 mL.
- En el extracto anterior se determinó el P por colorimetría mediante reductor ácido naftol sulfónico (ácido 1-amino 2-naftol 4-sulfónico ANS), y como desarrollador de color el azul de molibdeno y lectura en un espectrofotómetro Spectronic20 a 660 nm de longitud de onda.
- E K, Ca, Mg, y Na por espectrometría de absorción atómica en un equipo Perkin Elmer Mod. Analysis 200.
- B por colorimetría.
- S por turbidimetría: En una muestra de extracto de saturación de 10 mL, se desarrolla color o turbidez, en presencia de gelatina de uso microbiológico y se lee en un colorímetro Thermo Scientific Mod. Génesis 20, a una longitud de onda de 420 nm. Comparando con una recta patrón previamente elaborada.

El análisis de N y la preparación del extracto nitro-perclórico se hicieron en el Laboratorio e Invernadero de Fertilidad del Suelo y las lecturas restantes en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la UNALM.

#### **h. Variables a evaluar:**

##### **En campo:**

- Altura de planta al final del período vegetativo,
- Producción de biomasa o materia seca total y sus componentes, parte aérea (panoja o espiga, hojas, tallos, brácteas, grano y tuza en mazorca).
- Rendimiento o producción de grano total.
- Extracción de nutrientes, N, P y K, en cada uno de sus componentes.
- Extracción de nutrientes N, P, K por hectárea y por tonelada de grano producido.
- Índice de cosecha.

#### **i. Análisis Estadístico.**

Para la evaluación estadística los experimentos se enfocaron bajo un diseño de bloque completamente al azar (BCA) con cuatro repeticiones. Luego de verificar el cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de variancias y normalidad de errores en cada variable, se hizo el análisis de varianza. Para la comparación de medias de los tratamientos, se realizó la prueba de Bonferroni. Los análisis estadísticos se realizaron con la ayuda del paquete Minitab versión 17, de acceso libre.

## Modelo Aditivo Lineal para experimentos de campo

$$Y_{ij} = \mu + B_j + \tau_i + e_{ij}$$

Donde:  $Y_{ij}$  = Unidad experimental  
 $\mu$  = media  
 $B_j$  = efecto del factor bloque  
 $\tau_i$  = efecto de tratamiento  
 $e_{ij}$  = Error experimental

### Análisis de Variancia

Fuente	GL
Tratamiento	5
Bloque	3
Error	15
Total	23

#### 4.1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### **Experimento 4: Evaluación de fuentes no convencionales de fertilización nitrogenada en maíz, en dos localidades del valle de Cañete.**

###### **a. Altura de planta, producción de biomasa y rendimiento de grano**

Reiterando el fundamento expresado para los experimentos 1, 2, y 3, la altura de planta como la producción de biomasa, representada en forma de peso de materia seca, pueden ser indicadores útiles en la evaluación de la eficacia de tratamientos (Serna et al., 2011; Ospina et al., 2011). En este caso, en ambos lugares (Don Germán y San Martín), se observan dos grupos claramente definidos, los abonados integralmente (NPK), resaltando la harina de cuernos y pezuñas, y fertilización mineral y por el otro lado, los testigos (0 0 0 y 0 P K) y el escaso efecto de los residuos hidrolizados, que no alcanzan la consistencia del rigor estadístico. La explicación podría encontrarse en la pequeña cantidad aplicada (50 L/ha), así como en el sistema “drench”, que no asegura una adecuada distribución.

Esta misma tendencia la encontramos, en los rendimientos totales de biomasa y de grano, lo que verificamos en la Tablas 25 y 26. De estos valores también calculamos el índice de cosecha (IC- Tablas 29 y 30), los cuales resultan similares a los valores encontrados por Vásquez et al. (2014), 0.51 para los resultados del experimento en la localidad de Don Germán y 0.58 para San Martín. Estos valores ligeramente superiores a los encontrados por Vásquez et al. (2014), puede interpretarse y justificarse, ya que la medida de biomasa, no se consideró la evaluación de raíces.

Los rendimientos obtenidos en grano en cada experimento, con rendimientos promedio de 8773 kg ha<sup>-1</sup> para Don German (Var. Dekalb 5005), y 8743 kg ha<sup>-1</sup> para San Martín (Var. Santa Elena 5070), están dentro de los rangos esperados para estas variedades, con un rango que va desde 6798 kg ha<sup>-1</sup> a 10271 kg ha<sup>-1</sup> así como los obtenidos por otros autores para el cultivo del maíz (Yanez et al., 2010; Delgado et al. 2004; Prystupa et al. 2004; Xu et al., 2013).

Como puede observarse en las Tablas 25 y 26 y Figuras 29, 30, 31 y 32, el abonamiento con harina de cuernos y pezuñas, en ambas localidades tienen el mismo resultado que los abonados con fertilizante mineral convencional, así como que el efecto de aplicación directa (“drench”) del residuo hidrolizado, no es sustantivo, sea ésta acompañando al fertilizado NPK mineral o aplicado solo. Y mas bien tiene el resultado semejante a los controles 0 P K y 0 0 0. Tal vez la explicación de la escasez de efecto la tengamos en la pequeña cantidad aplicada (50 L ha<sup>-1</sup>).

En la Tabla del Anexo 8 se muestra un resumen del análisis de variancia, en donde observamos que para todas las variables, existen respuestas altamente significativas, así como el coeficiente de variación aceptable para trabajos de campo.

Así como que en las Tablas 25 y 26, se presentan la comparación de medias.

**Tabla 25. Comparación de medias por la prueba de Bonferroni ( $\alpha = 0.05$ ) para las distintas variables en las modalidades de fertilización en el cultivo de maíz en la localidad de Don Germán (Valle de Cañete).**

Tratam	Alt.planta (cm)	Biomasa Total (kg/ha)	Redimiento (kg/ha)	Extracc.N (kg/ha)	Extrac.P (kg/ha)	Extracc. K (kg/ha)
NPK min.	265 a*	17888 a*	9816 a*	226 a*	64 a*	195 a*
HCP + PK	267 a	16235 a	9508 a	212 a	51 b	149 b
Res. Hid. solo	237 b	13082 b	7888 b	161 b	40 c	140 b
NPK + RH	270 a	17132 a	9954 a	215 a	56 b	180 a
0 P K	227 b	13008 b	7717 b	157 b	39 c	124 bc
Test. 0 0 0	233 b	12479 b	7252 b	148 b	28 d	109 c
<b>Media</b>	<b>249</b>	<b>14970</b>	<b>8689</b>	<b>186.5</b>	<b>46.3</b>	<b>149.5</b>
Mínima	227	12479	7252	148	28	109
Máxima	267	17888	9954	226	64	195
Desv. estándar	19.5	2383	1199	34.7	13.1	32.8

\* Promedios que en cada columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades.

**Tabla 26. Comparación de medias por la prueba de Bonferroni ( $\alpha = 0.05$ ) para las distintas variables en las modalidades de fertilización en el cultivo de maíz en la localidad de San Martín (Valle de Cañete).**

Tratam	Alt. planta (cm)	Biomasa Total (kg/ha)	Redimiento (kg/ha)	Extracc.N (kg/ha)	Extrac.P (kg/ha)	Extracc. K (kg/ha)
NPK min.	241 a*	19386 a*	10231 a*	242 a*	63 a*	192 ab*
HCP + PK	241 a	19579 a	10271 a	247 a	53 b	183 ab
Res. Hid. solo	232 ab	15470 b	7375 bc	179 c	39 c	174 bc
NPK + RH	231 ab	19259 a	10050 a	231 a	55 b	196 a
0 P K	229 b	15151 b	7730 b	178 b	44 c	159 c
Test. 0 0 0	225 b	13650 c	6798 c	164 d	30 d	129 d
<b>Media</b>	<b>233</b>	<b>17083</b>	<b>8743</b>	<b>206.8</b>	<b>47.3</b>	<b>172.2</b>
Mínima	225	13650	6798	178	30	129
Máxima	241	19579	10271	247	63	192
Desv. estándar	6.2	2557	1543	33.8	10.9	22.8

\* Promedios que en cada columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades.

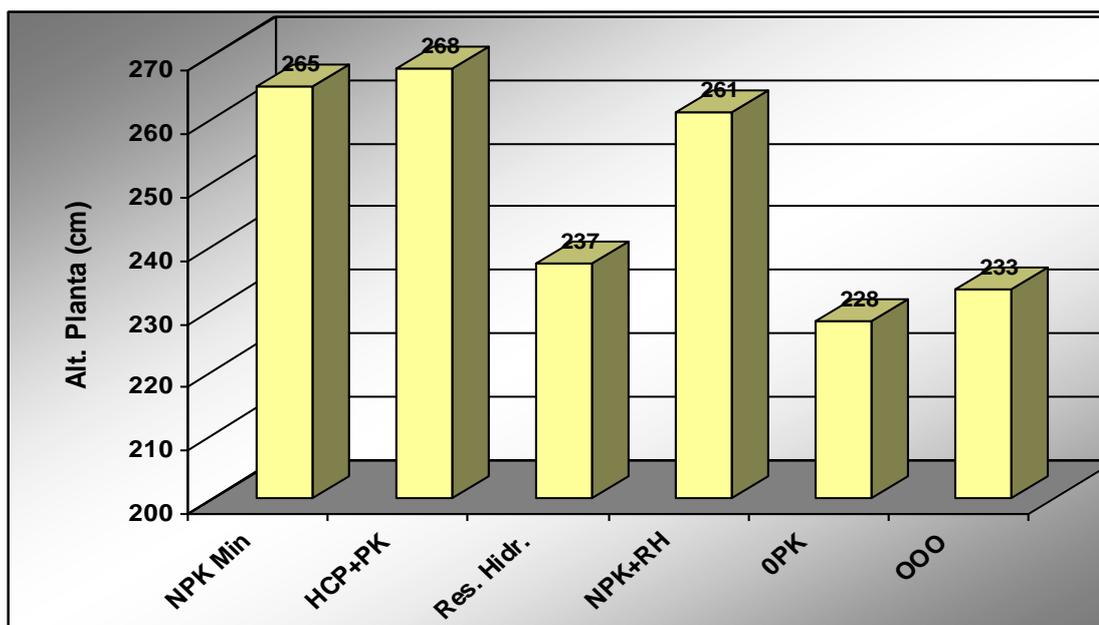


Figura 29. Altura de planta para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete).

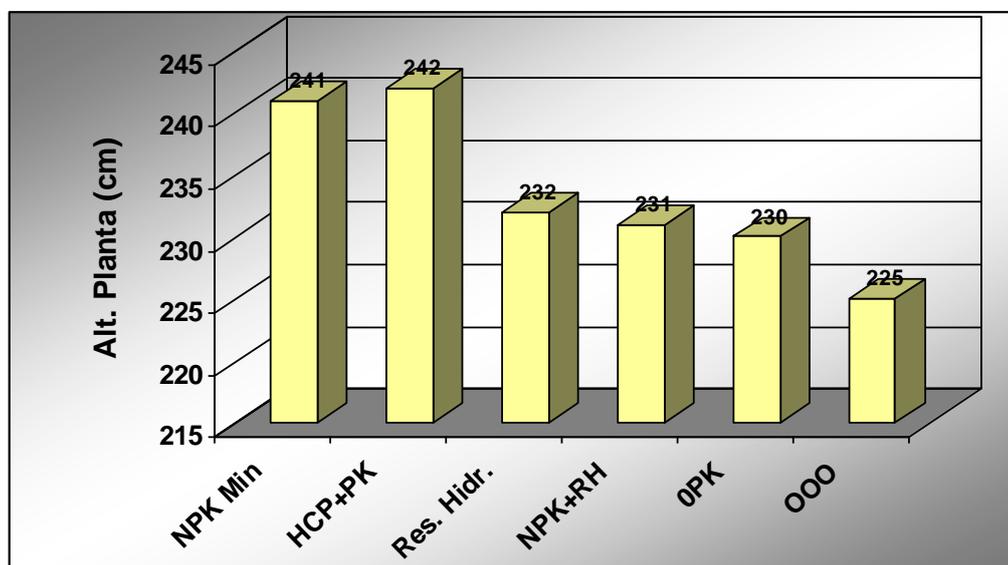


Figura 30. Altura de planta para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete).

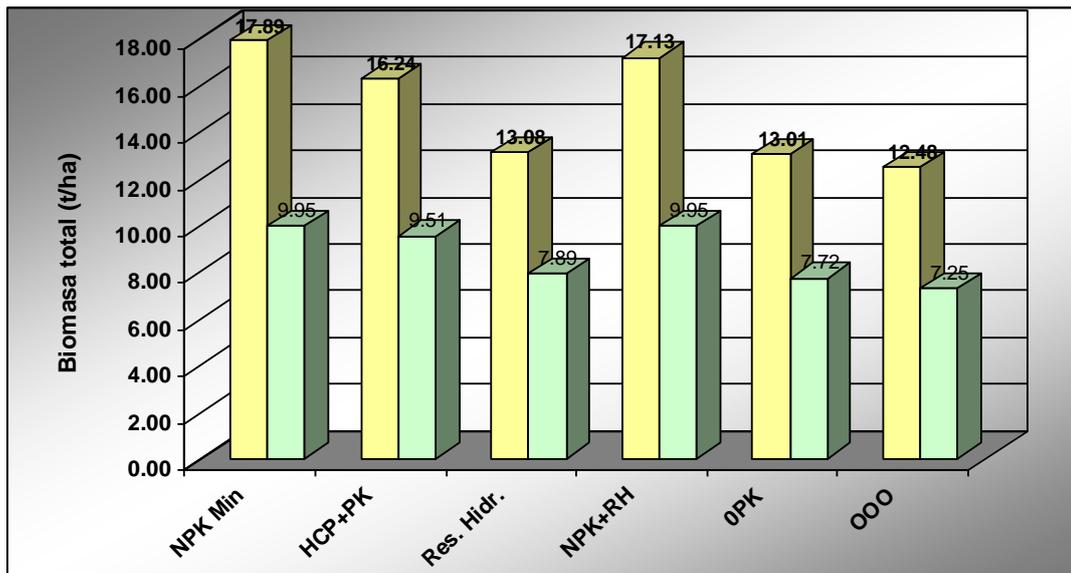


Figura 31. Biomasa total y rendimiento para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete).

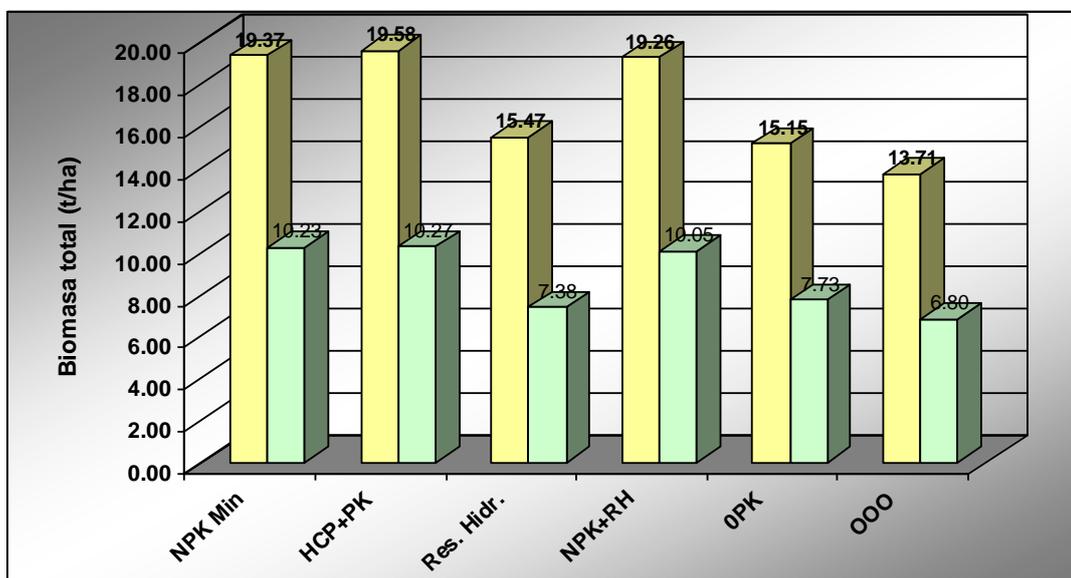


Figura 32. Biomasa total y rendimiento para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete).

### b. Extracción de nutrientes (N,P, K)

En la extracción de nutrientes, observando la Tablas 25 y 26 y Figuras 33, 34, 35, 36, 37 y 38 para las localidades Don Germán y San Martín, para los valores totales, tienen la misma tendencia que los rendimientos totales, y al expresarlos en unidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, por tonelada de grano producido, es semejante a lo encontrado por otros autores (Xu et al., 2010; Hu et al., 2010; Setiyono et al., 2010; Delgado et al. 2004).

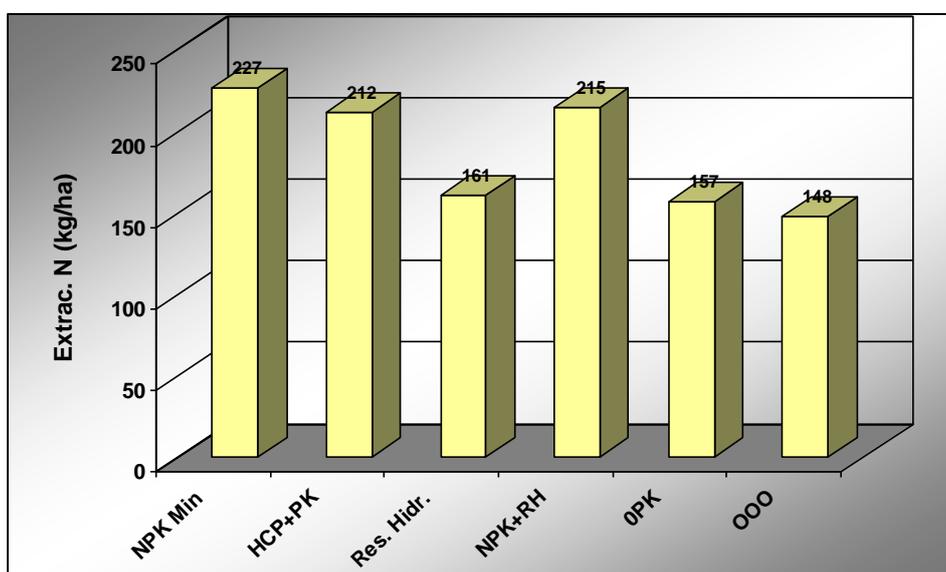


Figura 33. Extracción de nitrógeno total para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete).

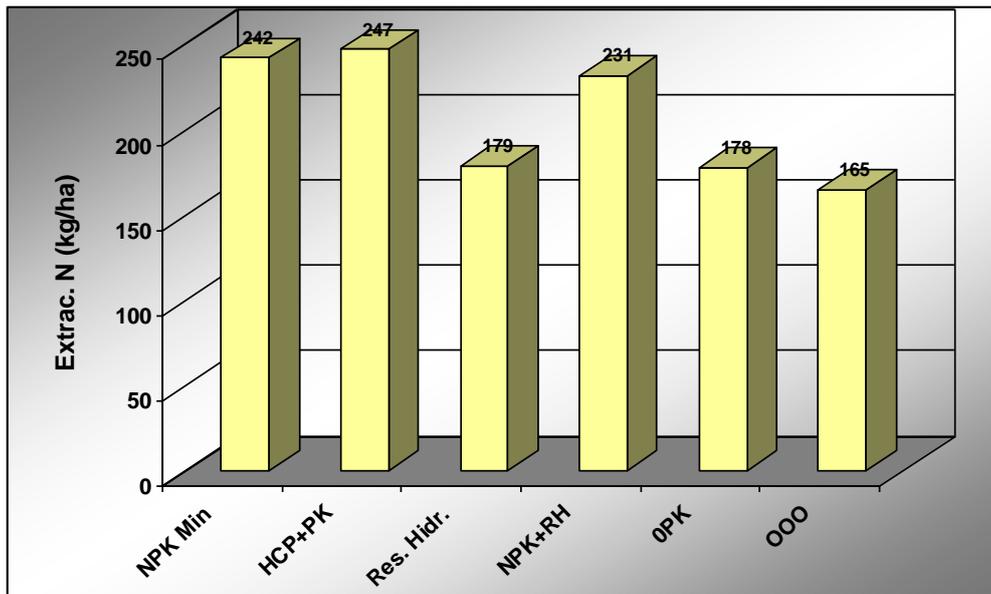


Figura 34. Extracción de nitrógeno total para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete).

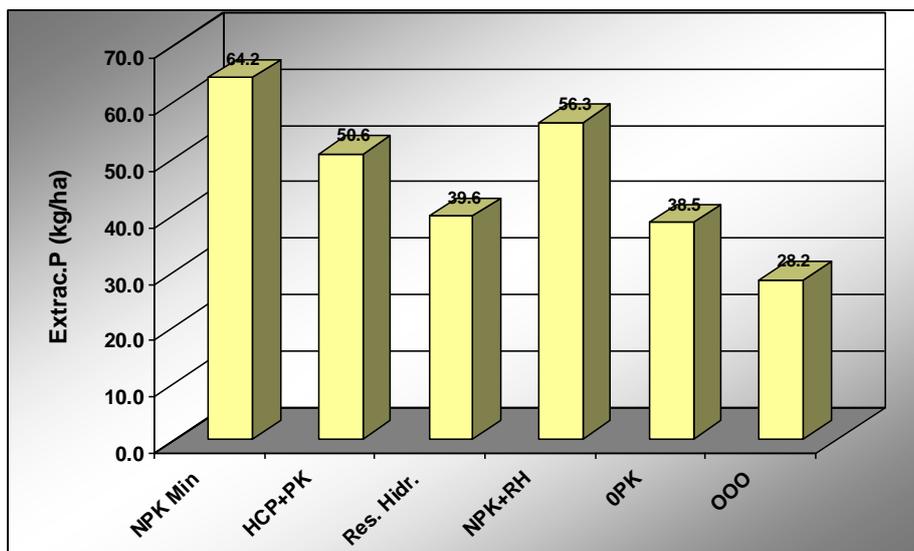


Figura 35. Extracción de fósforo para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete).

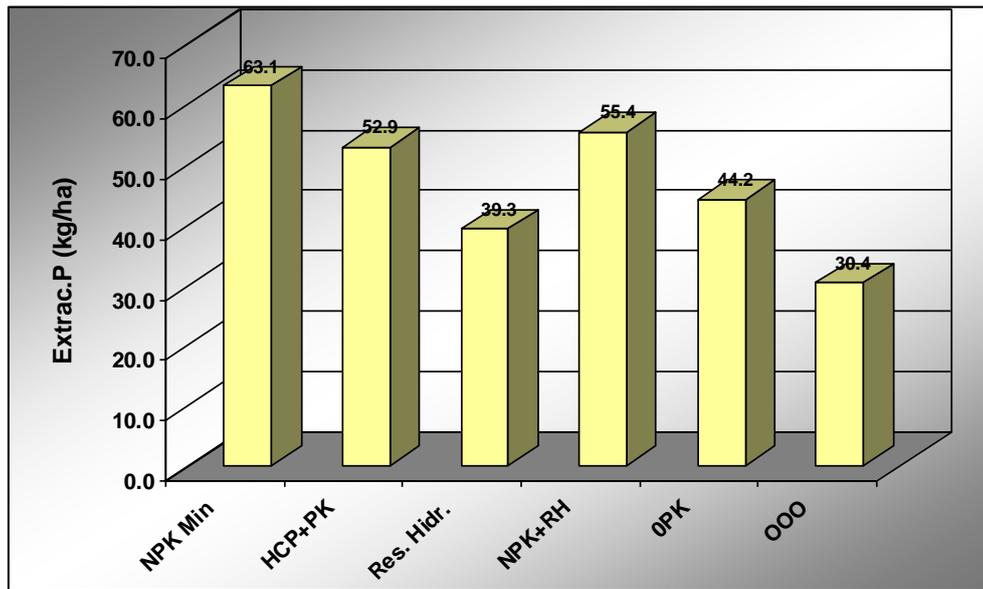


Figura 36. Extracción de fósforo para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete).

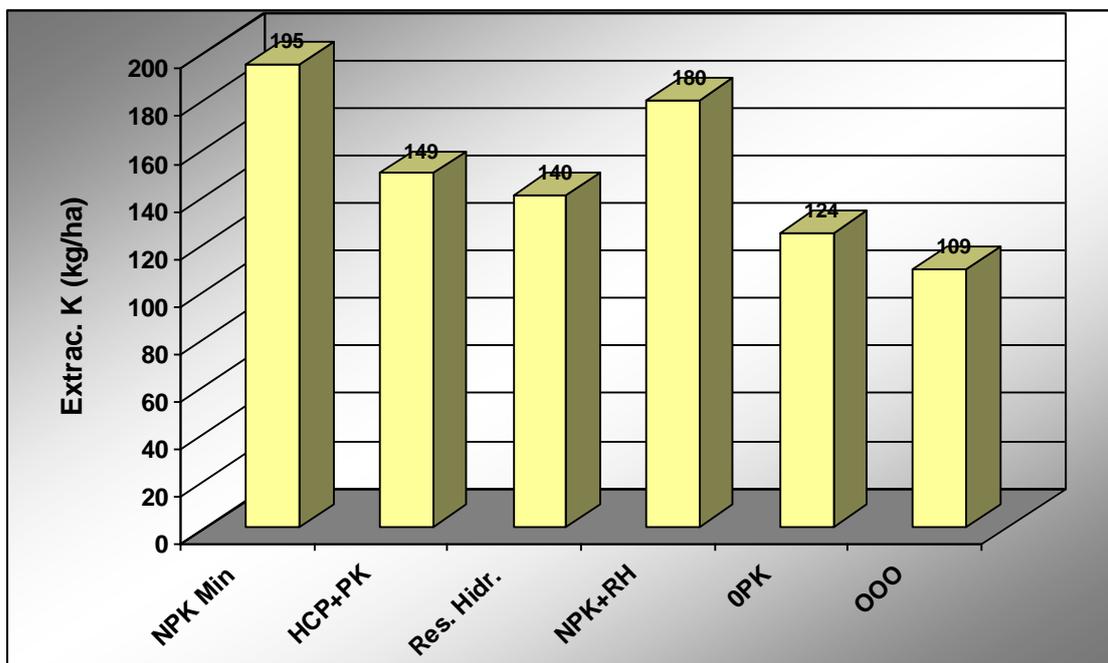


Figura 37. Extracción de potasio para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete).

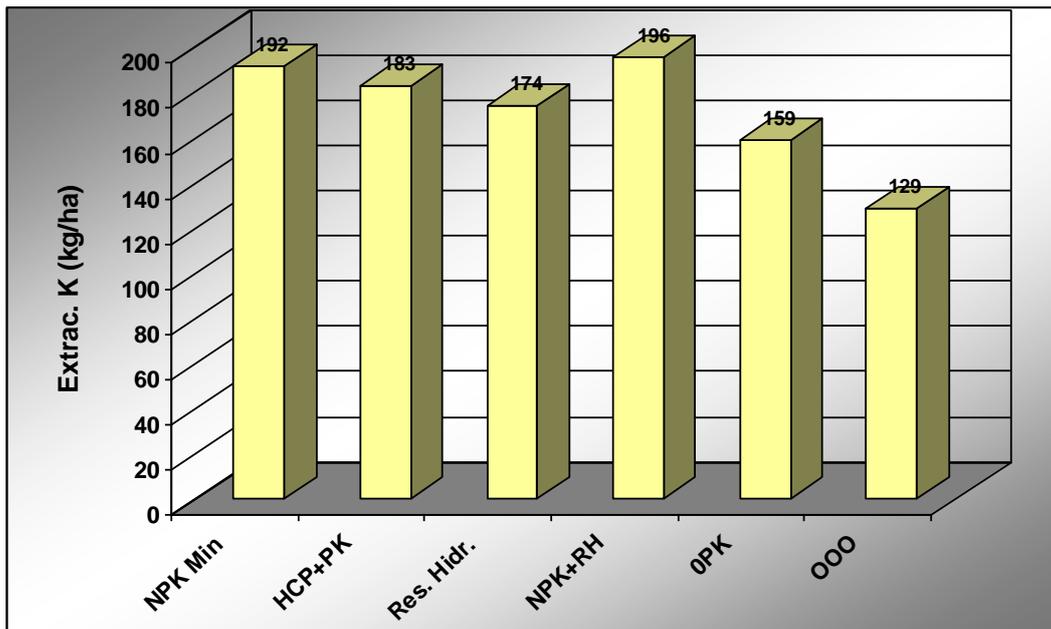


Figura 38. Extracción de potasio para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete).

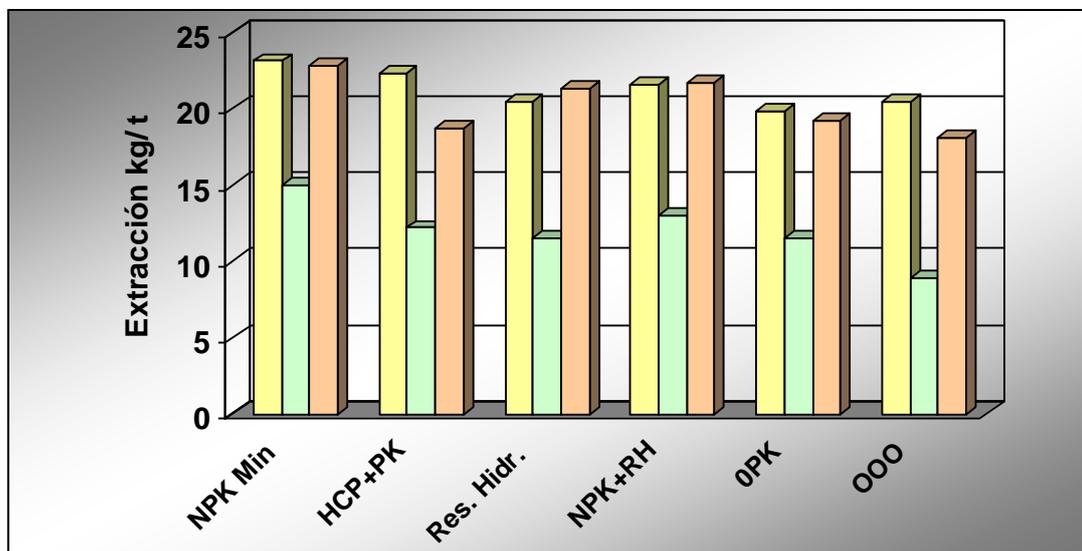


Figura 39. Extracción de N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O por cada tonelada de grano producido, para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en Don Germán (Valle de Cañete)

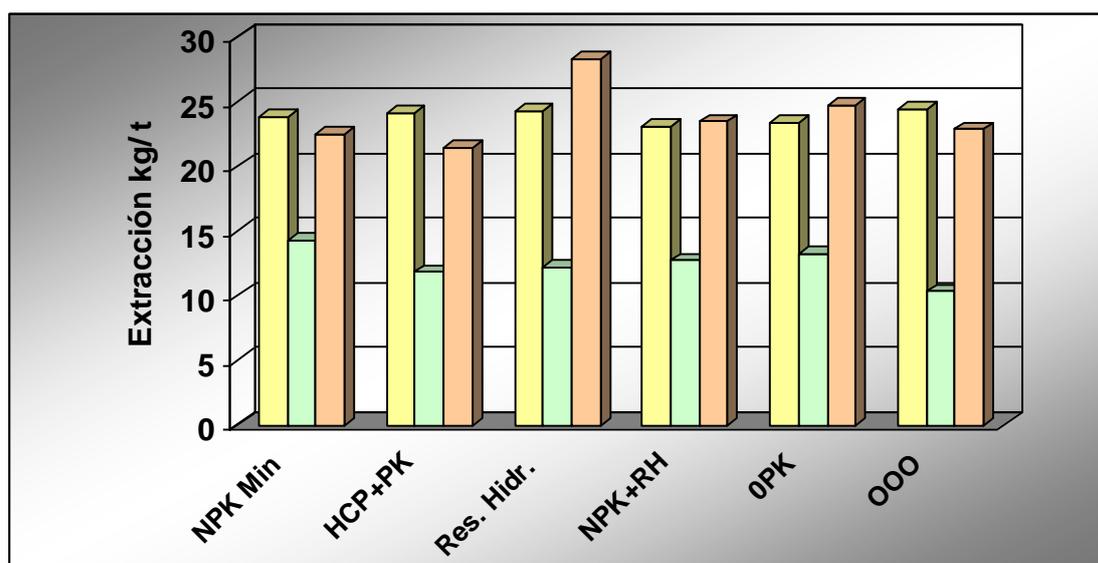


Figura 40. Extracción de N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O por cada tonelada de grano producido, para distintas modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en San Martín (Valle de Cañete).

Otra utilidad de la información obtenida de los análisis químicos para extracción, en ambas localidades (Don Germán y San Martín), nos permite determinar aproximadamente la contribución en materia seca a la biomasa total, de cada una de las partes de la planta de maíz (Tablas 27 y 28), así: la espiga o panoja (inflorescencia masculina), representa entre 0.86 a 1.54 %; las hojas, entre 10.6 y 14.9 %; los tallos, entre 15.6 y 16.9 %; las brácteas que rodean la mazorca, entre 5.4 y 7.5 %; la tuza entre 8.2 y 9.3 %, y finalmente el grano representa entre 51 al 58 %. La no consideración de las raíces se refleja en el alto valor del Índice de cosecha, comparados con los valores obtenidos por Vásquez et al. (2014).

Asimismo, se confirma lo estimado por Hu et al. (2010), respecto a las concentraciones de N en cada una de las partes de la planta: grano (1.54 %) > panoja (1.48 %) > hojas (1.37%) > tuza (0.77 %) > tallo (0.6 %). Para el P sigue la siguiente comparación: grano (0.43 %) > panoja (0.29 %) > hojas (0.13 %) > tallos (0.12 %) > brácteas y tuza (0.11 %). Para el potasio: tallo (2.60 %) > hojas (1.21 %) > brácteas (1.0 %) > tuza y panoja (0.91%) > grano (0.50 %) (Ver Tablas 27 y 28).

En cuanto a las extracciones totales de N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O, tanto en cantidades totales por hectárea, como las extracciones unitarias de los mismos por tonelada de grano, también se confirma lo encontrado por los anteriores autores, esto es, en promedio en 186 y 208 kg de N por hectárea, 45.8 y 46.6 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea, y 148.9 y 172.1 kg de K<sub>2</sub>O por hectárea (Tablas 29 y 30). Respecto a las extracciones de N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O en kg por tonelada de grano, estos valores varían entre 21.4 y 23.8 kg de N, 12.0 a 12.4 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 20.5 y 23.9 kg de K<sub>2</sub>O (Tablas 29 y 30, Figuras 39 y 40). Valores similares a los encontrados por otros autores en otras latitudes (Arrieche & Mora, 2005; Yanez et al., 2010; Setiyono et al., 2010; Xu et al., 2013). Con esta misma información, calculamos el porcentaje del nutriente que va al producto cosechado o sea el grano, resultando que entre el 64.6% y 71.4% representan para el nitrógeno, entre 78.4 % y 82.9 % para el fósforo, y solo entre el 24.8 % y 29.9 % para el potasio (Tablas 27 y 28).

**Tabla 27. Concentración y extracción promedios en las partes de la planta, en diferentes sistemas de abonamiento, Don Germán (Cañete), para biomasa de una hectárea.**

Parte de planta	Biomasa total (kg/ha)	Porcentaje del total	Concentración (%)			Extracción kg ha <sup>-1</sup>		
			%N	%P	%K	N	P	K
Panoja	127.22	(0.86)	1.49	0.29	0.96	1.90	0.37	1.22
Hojas	1596.43	(10.66)	1.37	0.13	1.22	21.92	2.08	19.45
Tallos	2366.65	(15.58)	0.61	0.12	2.64	14.40	2.76	62.44
Brácteas	813.36	(5.41)	0.54	0.11	1.02	4.41	0.92	8.26
Tuza	1377.64	(9.27)	0.76	0.12	0.94	10.49	1.70	12.95
Grano	8689.25	(58.21)	1.53	0.44	0.51	132.66	37.94	44.60
<b>Total (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>14970</b>	<b>(100)</b>				<b>185.77</b>	<b>45.77</b>	<b>148.92</b>
kg t <sup>-1</sup> grano						21.38	5.27	17.14
En N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O						<b>21.4</b>	<b>12.1</b>	<b>20.6</b>
% (grano/biomasa)						71.4	82.9	29.9

**Tabla 28. Concentración y extracción promedios en las partes de la planta, en diferentes sistemas de abonamiento, San Martín (Cañete), para biomasa de una hectárea.**

Parte de planta	Biomasa total (kg/ha)	Porcentaje del total	Concentración (%)			Extracción kg ha <sup>-1</sup>		
			%N	%P	%K	N	P	K
Panoja	260.60	(1.54)	1.48	0.29	0.93	3.85	0.76	2.41
Hojas	2528.62	(14.92)	1.37	0.13	1.19	34.60	3.20	30.01
Tallos	2571.85	(16.90)	0.61	0.11	2.51	17.37	3.02	71.94
Brácteas	1280.12	(7.47)	0.53	0.11	0.97	6.83	1.37	12.37
Tuza	1399.00	(8.19)	0.78	0.12	0.91	10.84	1.68	12.73
Grano	8742.46	(50.98)	1.54	0.42	0.49	134.49	36.57	42.69
<b>Total (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>17083</b>	<b>(100)</b>				<b>207.98</b>	<b>46.60</b>	<b>172.16</b>
kg t <sup>-1</sup> grano						23.79	5.33	19.69
En N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O						<b>23.8</b>	<b>12.3</b>	<b>23.6</b>
% (grano/biomasa)						64.6	78.4	24.8

**Tabla 29. Rendimiento de biomasa, grano, y extracciones unitarias en maíz para distintos tratamientos en Don Germán – Cañete.**

Trat.	M.S.	M.S.	Total Biomasa	IC	Extracción kg t <sup>-1</sup> de grano		
	Rastrojo	grano			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
NPK min.	8071 a*	9817 a	17888 a	0.55	23.1	15.0	23.8
HCP + PK	6726 a	9508 ab	16234 a	0.59	22.3	12.2	18.7
RH solo	5194 b	7888 bc	13082 b	0.60	20.4	11.5	21.3
NPK + RH	7178 a	9954 a	17132 a	0.58	21.6	13.0	21.7
0 P K	5291 b	7717 c	13008 b	0.59	20.3	11.5	19.2
0 0 0	5227 b	7752 c	12479 b	0.58	20.4	8.9	18.1
<b>Media</b>	<b>6281</b>	<b>8773</b>	<b>14971</b>	<b>0.58</b>	<b>21.4</b>	<b>12.0</b>	<b>20.5</b>
Mínima	5227	7717	12479	0.55	20.3	8.9	18.1
Máxima	8071	9954	17888	0.60	23.1	15.0	23.8
Desv. stand.	1283	1092	2384	0.02	1.08	1.83	1.99

\* Promedios que en cada columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades

**Tabla 30. Rendimiento de biomasa, grano, y extracciones unitarias en maíz para distintos tratamientos en San Martín – Cañete.**

Trat.	M.S.		Total Biomasa	IC	Extracción kg t <sup>-1</sup> de grano		
	Rastrojo	grano			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
NPK min.	9155 a*	10231 a	19386 a	0.53	23.8	14.2	22.5
HCP + PK	9308 a	10271 a	19579 a	0.52	24.1	11.8	21.4
RH solo	8095 b	7375 bc	15470 b	0.48	24.3	12.2	28.3
NPK + RH	9209 a	10050 a	19259 a	0.52	23.1	12.7	23.4
0 P K	7422 b	7730 b	15151 b	0.51	23.3	13.1	24.7
0 0 0	6852 c	6798 c	13650 c	0.50	24.4	10.2	22.8
<b>Media</b>	<b>8340</b>	<b>8743</b>	<b>17083</b>	<b>0.51</b>	<b>23.8</b>	<b>12.4</b>	<b>23.9</b>
Mínima	6852	6798	13650	0.48	23.1	10.2	21.4
Máxima	9308	10271	19579	0.53	24.4	14.2	28.3
Desv.estándar	1036	1543	2557	0.02	0.53	1.46	2.62

\* Promedios que en cada columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas al 5% de probabilidades

#### 4.1.5 ENFOQUE SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL. ESTIMACIONES

Cualquier sistema de producción agrícola moderno para que cumpla las condiciones de sustentabilidad, debe conjugar las dimensiones social, económico y ambiental.

En el tema social, las propuestas tecnológicas deben orientarse a solucionar problemas sociales que en el caso de la agricultura, son el uso de insumos locales, abrir un abanico de posibilidades de uso de fuentes orgánicas, para el abastecimiento de alimentos saludables, propiciar precios justos a los productores, para superar los problemas de la desnutrición crónica y desnutrición infantil (UNICEF-INEI, 2011), para asegurar soberanía y seguridad alimentarias.

En el ámbito económico, deben significar prácticas rentables, con el menor uso de insumos para lograr la mayor producción de alimentos.

En el rubro ambiental, se consideran las prácticas limpias, que signifiquen el reciclaje de materiales, la reducción de materiales contaminantes, que expresen sostenibilidad de éstas prácticas en el tiempo, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y captura del CO<sub>2</sub>.

En el caso del presente trabajo se hacen estimaciones cuantitativas que justifiquen la combinación de estas tres dimensiones en la aplicabilidad de los insumos como fertilización orgánica que pueda ser más sustentable que la fertilización inorgánica.

#### **a. Estimación económica**

Siendo la fórmula de abonamiento 200-100-70 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente, y siendo el material alternativo solo la HCP como fuente de nitrógeno, es explicable que nos orientemos solamente para este nutriente en la referida evaluación económica, ya que las otras fuentes, fosfatadas y potásicas son las mismas, para ambas modalidades.

Comparando costos (datos lo más aproximados).

**Costo de tonelada de urea:** US \$ 378/ton (precio CIF\* - Minagri, 2013) + transporte + aplicación + gastos de comercialización (Fig. 41), aproximadamente US \$ 450/ton = US \$ 0.45/kg

Para N: 200 kg de N representan 434.8 kg de urea (46% N)

Costo total del uso del fertilizante químico: 434.8 x 0.45 = **US \$ 195.7/ha.**

**Costo de la tonelada de harina de cuernos y pezuñas (HCP):** Siendo la materia prima, material de desecho de los camales, se puede sugerir que los únicos costos que involucran a este material, serían la elaboración + transporte + aplicación + gastos de comercialización, aproximadamente US \$ 80/ton. = US \$ 0.08 /kg

-----  
(\* Información de la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria-SUNAT y elaborada por MINAGRI-DIGESEP- Dirección de Estadística Agraria.

Para N: 200 kg de N representan 1470.6 kg de HCP (13.6 % de N – Ver Tabla 5, pág. 19).

Costo total del uso de HCP:  $1470.6 \times 0.08 = \text{US \$ } 117.65/\text{ha}$

Ventaja económica, por el uso de HCP, en vez de urea:  $195.7 - 117.7 = \text{US \$ } 78.00/\text{ha}$

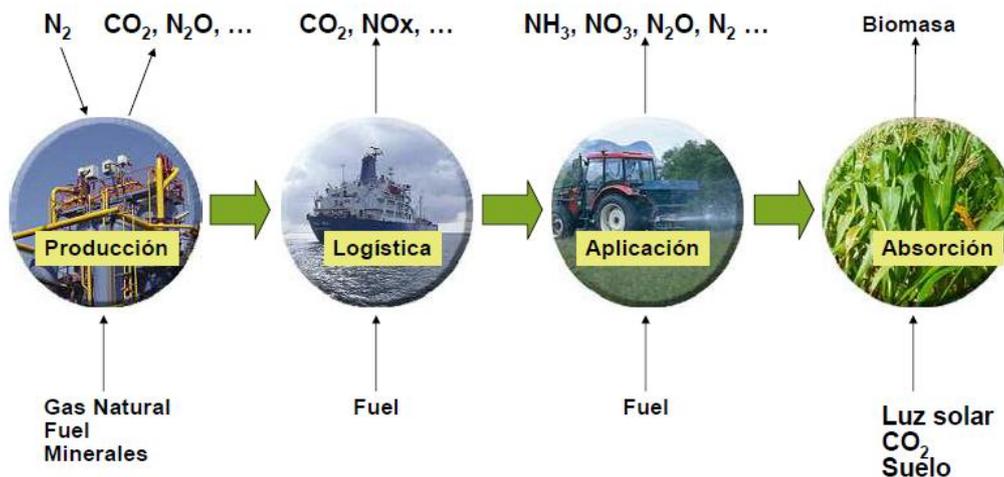


Figura 41. Perspectiva del ciclo de vida del uso de fertilizantes

Se debe agregar que la HCP tiene efecto residual en el suelo, como se confirmó en los ensayos de invernadero, en cambio la urea sufre pérdidas severas por volatilización y percolación y que son fuentes importantes de contaminación tanto terrestre como atmosférica.

Es obvio que se presentan opciones con material particulado y preparado, que podrían asimismo incluirse en compostaje, como lo sugieren autores como Zoccola et al., (2009), Kornilłowicz y Bohacz , (2011).

Como fue probado con este estudio los rendimientos con la fertilización mineral y la HCP, no presentaron diferencias significativas con las pruebas de la evaluación estadística (Tablas 26 y 27, tratamientos 1, 2 y 4).

Debemos tomar en cuenta, que las cifras que se han estimado son aproximaciones pero que tienen mucha razonabilidad. Además, se sabe que la HCP contienen además otros

elementos como el P, K, Ca, Mg, S, y apreciable cantidad de micronutrientes, y que no está sujeta a pérdidas gaseosas como el caso de la urea, y como ventaja importante presenta un efecto residual para los siguientes campañas.

#### **b. Estimación ambiental**

En la Fig. 41 se muestra la composición aproximada de un bovino adulto, antes de ser sacrificado. En el mismo, se estima que las patas representan 2% del peso total. Si consideramos asimismo que el peso de un bovino adulto, en promedio, es de 400 kg., las patas representarían 8 kg. de las cuales un 20 % representan cascos o pezuñas, entonces estamos estimando en 1.6 kg , sin considerar cuernos, que podrían representar al menos 2 kg de cuernos y pezuñas por animal sacrificado.

Asimismo, de acuerdo a información estadística, anualmente se registran 924,249 animales sacrificados (Tabla 3, último año 2010), que con los cálculos anteriores, representarían  $2 \times 924\,249 = 1\,848\,498$  kg ó 1848.5 t. de material potencial, los cuales representan  $1848.5 \times 0.136$  (13.6% de N) = **251.4 t de N**.

Ahora bien, estas 251.4 t de N estimadas de la cantidad potencial existente en la HCP, al mismo tiempo representan: **546.5 t de urea** (46% de N).

Uno de los referentes para estimar la magnitud de contribución a los gases de efecto invernadero es el concepto de Potencial de Calentamiento Global (PCG), así siendo referente el CO<sub>2</sub> atmosférico el PCG para el mismo es de 1, siendo su presencia actual en 365 ppmv (partes por millón en volumen), y el PCG del metano es de 21, es decir tiene 21 veces más de capacidad de calentamiento que el CO<sub>2</sub>, pero la presencia del metano como gas contribuyente es de solo 1.75 ppmv. Otro ejemplo de gas de efecto invernadero es el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), su PCG es de 310, pero su presencia es de 0.31 ppmv.

De acuerdo a estudios diversos, para condiciones y cultivos diversos, por ejemplo, Snyder et al., (2007), estiman el PCG para la fabricación y transporte de fertilizante nitrogenado

para estudios de comparación de sistemas de labranza en Michigan, asignan un valor de 4.51 t de CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> de N. Aplicando este parámetro, el PCG total por el uso de HCP equivalente sería:

251.4 x 4.51 = **1133.8 t de CO<sub>2</sub>** que se evitan emitir, por optar el uso de un compuesto orgánico, que suministra más bien nutrientes al suelo. Si bien es cierto que la materia orgánica también genera CO<sub>2</sub> en su proceso de descomposición en el suelo, ésta es más estable, y constituye uno de los principales sumideros de este gas.

Las estimaciones tanto económicas como ambientales, así como las explicaciones de orden social, demuestran la viabilidad del uso de estos materiales no convencionales (HCP), adquiriendo suficiente sustento para probar y justificar que esta propuesta se inscribe en el esquema de una agricultura sustentable.

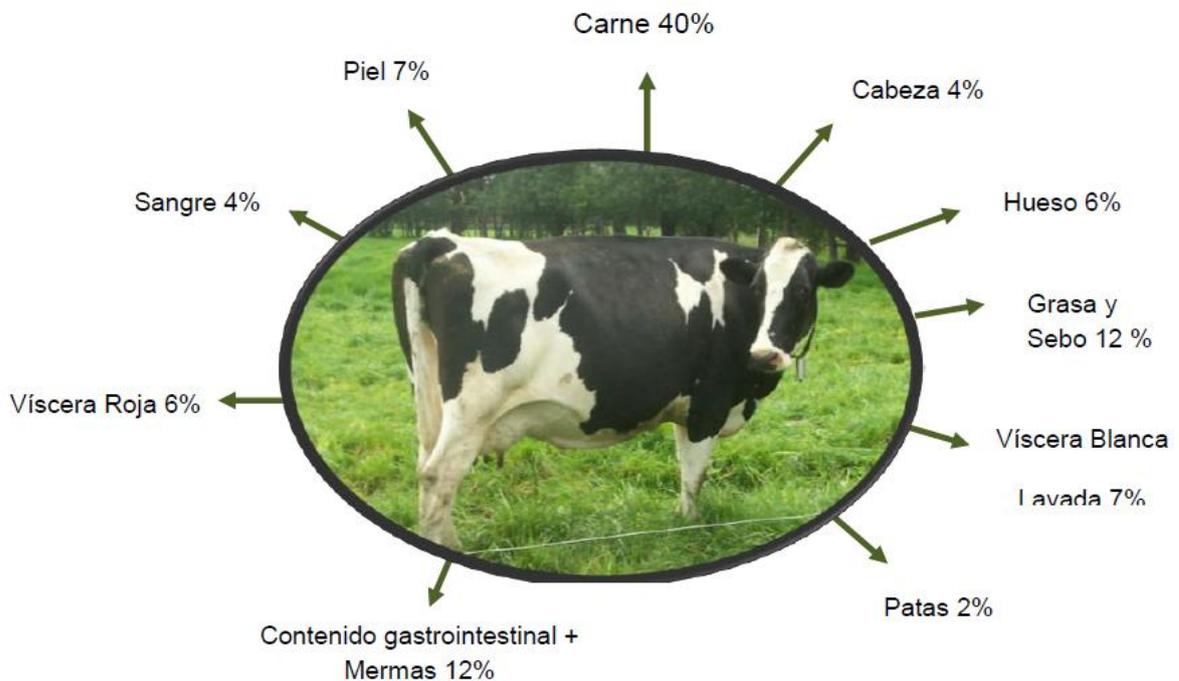


Fig. 42. Rendimientos aproximados de un bovino adulto.

Fuente: Quiroga 2005, citado por García (2012)

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 PARA EL EXPERIMENTO 1**

- Se ha encontrado el efecto de la aplicación de materiales en prueba, como son la harina de cuernos y pezuñas, y harina de huesos en los distintos parámetros, tanto altura de planta, producción de materia seca y extracción de nutrientes, pero tan solo para la dosis mas baja de P. Teniendo como base de comparación el control o testigo.
- No se ha encontrado diferencias entre los niveles de cada uno de los materiales probados, cuando se aplican en combinación, y mezclados con el residuo hidrolizado, en los parámetros evaluados.
- En la extracción de nutrientes N, P y K, sigue la misma tendencia de los parámetros, altura de planta y producción de materia seca. Pero se hace pronunciado la diferencia por las concentraciones mayores de los elementos que recibieron dicho nutriente.
- Se recomienda repetir el experimento, para controlar mejor el efecto acidificante del residuo hidrolizado, fraccionando en mayor número de veces la aplicación de éste y extender el periodo de incubación..

### **5.2 PARA EL EXPERIMENTO 2**

- Se ha encontrado el efecto de la aplicación de materiales en prueba, como son la harina de cuernos y pezuñas, y roca fosfatada en los distintos parámetros, tanto altura de planta, producción de materia seca y extracción de nutrientes. Teniendo como base de comparación el control o testigo.

- No se ha encontrado diferencias entre los niveles de cada uno de los materiales probados, cuando se aplican en combinación, y mezclados con el residuo hidrolizado, en los parámetros evaluados.
- En la extracción de nutrientes N, P y K, sigue la misma tendencia de los parámetros, altura de planta y producción de materia seca. Pero se hace pronunciado la diferencia por las concentraciones mayores de los elementos que recibieron dicho nutriente.

### **5.3 PARA EL EXPERIMENTO 3**

- Se ha encontrado el efecto residual de la aplicación de materiales en prueba (harina de huesos y roca fosfatada), como con la harina de cuernos y pezuñas, en los distintos parámetros, tanto altura de planta, producción de materia seca y extracción de nutrientes. Teniendo como base de comparación el control o testigo.
- No se ha encontrado diferencias entre los niveles más altos de cada uno de los materiales probados, cuando se aplican en combinación, y mezclados con el residuo hidrolizado, en los parámetros evaluados.
- Se encontró efecto residual mas pronunciado con la harina de huesos que con la roca fosfatada. En la extracción de nutrientes N, P y K, sigue la misma tendencia de los parámetros, altura de planta y producción de materia seca.

### **5.4 PARA EL EXPERIMENTO 4**

- La harina de cuernos y pezuñas, en condiciones de campo, tiene el mismo efecto que los fertilizantes minerales convencionales.
- La aplicación del residuo hidrolizado, no tiene el resultado esperado, a los niveles utilizados ( $50 \text{ L ha}^{-1}$ ).
- En cuanto a la concentración de N, los mayores valores se dan en el grano (1.54 %) y la panoja (1.49 %), la misma tendencia para la concentración de P (0.44 % para

grano y 0.29 % panoja). En cambio en K, la mayor concentración se da en el tallo (2.6%) y las hojas (1.2 %), siendo la menor concentración en el grano (0.5 %).

- La extracción unitaria de N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O por tonelada de grano varía entre 21.4 a 23.8 en N, entre 12.1 a 12.3 para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y, entre 20.6 a 23.6 para K<sub>2</sub>O.
- Si nos atenemos a los mayores valores de extracción unitaria, estas serían de 23.8 - 15 y 28.3 kg de N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O respectivamente, por tonelada de grano.
- En la evaluación económica y ambiental se confirma la ventaja del uso de HCP sobre un sistema convencional de uso de fertilizantes químicos.
- Se recomienda incluir el sistema radicular en las evaluaciones, y extender éstas a los demás nutrientes secundarios y micronutrientes.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Abou-el-Seouda, A.& Abdel-Megeed, A. 2012. Impact of rock materials and biofertilizations on P and K availability for maize (*Zea mays*) under calcareous soil conditions. Saudi Journal of Biological Sciences. 19(1): 55-63. doi:10.1016/j.sjbs.2011.09.001.
2. Alegre, J.C.; Chumbimune, R. 1991. Investigaciones y usos de la roca fosfórica en el Perú. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (Maracay) 17 (1 – 4) 217 – 237.
3. Alvarado, A.; Iturriaga, I.; Smyth, J.; Portuguez, E.; Ureña, J.M. 2009. Efecto residual del fertilizante fosfatado adicionado al cultivo de la papa en un andisol de Juan Viñas, Costa Rica. Agronomía Costarricense 33(1): 63-76.
4. Aular, J.; Rojas, E. 1994. Influencia del nitrógeno sobre el crecimiento vegetativo y producción de la Parchita *Passiflora edulis* Sims.F. Flavicarpa Degener. Agronomía Tropical. 44(1): 121-134
5. Arias, A.C. 1993. Eficiencia agronómica de la Roca Fosfatada de Sechura a diferentes niveles y fuentes de acidulación en el cultivo de papa ( *Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de invernadero. Tesis Mg.Sc. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
6. Arrieche,I. & Mora, O. 2005. Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo del maíz en suelos degradados del Estado Yaracuy, Venezuela. Bioagro 17 (3): 155-159.
7. Berardo, A. & Marino, M.A. 2000. Fertilización fosfatada de pasturas en el sudeste bonaerense. 1. Residualidad del P aplicado y efecto de la refertilizaciones anuales. Revista Argentina de Produccion Animal. 20(2): 103-111.
8. Besoain, E.; Montenegro, A.; Rojas, C. 1999. Discusión y Conclusiones. In: Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola en Chile. INIA, Santiago de Chile. p. 312-328

9. Bossio, F. 2007. Obtención de un biofertilizante basado en residuos de pescado y roca fosfatada. Tesis Biólogo. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, 62 p.
10. Castro, M.; Vinueza, M. 2011. Manual para el manejo adecuado de los residuos sólidos generados por el Camal Municipal de Riobamba. Tesis de Grado Licenciatura en Educación Ambiental. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 84 p.
11. Cayuela, M.; Mondini, C.; Insmá, H.; Sinicco, T.; Franke-Whittle, I. 2009. Plant and animal wastes composting: Effects of the N source on process performance. *Bioresource Technology*. 100: 3097-3106. doi:10.1016/j.biortech.2009.01.027.
12. Comese, R.; Gonzáles, M.; Conti, M. 2009. Cambios en las propiedades de suelo de huerta y rendimiento de *Beta vulgaris* var. *cicla* (L) por el uso de enmiendas orgánicas. *Ciencia del Suelo (Argentina)*. 27(2): 271-275.
13. Cordone, G.; Salvagiotti, F.; Martínez, F.; Pedrol, H.; Castellarín, J. y Capurro, J. 2013. Efecto residual del cultivar y tratamiento de fertilización del trigo sobre el rendimiento de la soja de segunda en distintos ambientes del sur de Santa Fe: Disponible en: <http://www.agrositio.com/vertext/vertext.asp?id=33397&se=12>
14. Chávez, C.; Canet, R.; Albiach, M.; Pomares, F. 2006. El fósforo en las harinas de carne: Valor fertilizante y dinámicas de mineralización. VII Congreso SEAE Zaragoza. 74.
15. Chien, S. H.; Hammond L. 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rock for direct application. *Soil Science Society American Journal*, 42: 1758-1760.
16. Delgado, R.; Núñez, M.; Velásquez, L. 2004. Acumulación de materia seca, absorción de nitrógeno, fósforo y potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la fertilización nitrogenada. *Agronomía Tropical*. 54(4): 372 – 389.
17. Documet, L. 2015. Obtención de harina de cuernos y pezuñas de ganado bovino (*Bos taurus*) y evaluación de su aplicación como abono orgánico. Tesis Magister Scientiae en Ciencias Ambientales. Escuela de Posgrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. (Publicación en prensa).
18. Fassbender, H. 1967. Los fosfatos naturales de Sechura – Perú. San José, Costa Rica. *Rev. Turrialba* 17(2): 259-264.

19. Fernández, Sh.; Meza, C. 2004. Efecto residual de la roca fosfórica de Riecito modificada por calcinación o acidulación sobre plantas de maíz en suelos con nivel variable de calcio. *Bioagro* 16(2): 93-98.
20. Fondo para de las Naciones Unidad para la Infancia (UNICEF) – Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2011. Estado de la niñez en el Perú. Lima, Perú. 192 p.
21. Fuentes, J. 1999. *El Suelo y Los Fertilizantes*. Madrid, España. Mundi-Prensa. 352 p.
22. Galantini, J.; Rosell, R.; Iglesias, J. 1994. Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas del suelo. *Ciencia del Suelo*. 12: 81-83.
23. García, I. 2012. Factibilidad técnica y económica de una planta de aprovechamiento de subproductos del beneficio de bovinos en el municipio de Ubaté. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 108 p.: il.
24. García, R. & Rosentrater, K. 2008. Concentration of key elements in North American meat & bone meal. *Biomass and Bioenergy* 32: 887-891. doi:10.1016/j.biombioe.2007.12.011.
25. Garzón, I. 2010. Diagnóstico ambiental del camal municipal de la ciudad de Santo Domingo y mejora de su gestión. Proyecto para la obtención del Título de Ingeniero Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 115 p.
26. Guerrero, J. 1993. Abonos orgánicos. Tecnología para el manejo ecológico del suelo. Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos. Lima, Perú.
27. Higa, T. & Parr, J. 1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. International Nature Farming Research Center. Atami, Japan. Disponible en: <http://www.agriton.nl/higa.html>.
28. Hu, H.; Bai, Y.; Yang, L.; Kong, Q.; Lu, Y.; Wang, L.; Wang, Z. 2010. Response of element distribution of various organs of maize to fertilizer application. *Agricultural Sciences in China*. 9(3): 401- 407.
29. Juscamaita, J. 2014. Comunicación personal. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria La Molina.

30. Kaur, G.; Reddy, M. 2014. Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocal sites. *European Journal of Soil Biology*. 61: 35-40. doi:10.1016/j.ejsobi.2013.12.009.
31. Kopke, U. 1995. Nutrient management in organic farming systems: the case of nitrogen. *Biological Agriculture and Horticulture*. 11(1-4):15-24. doi: 10.1080/01448765.1995.9754690.
32. Kornilłowicz, T.; Bohacz, J. 2011. Biodegradation of keratin waste: Theory and practical aspects. *Waste Management*. 31: 1689-1701. doi:10.1016/j.wasman.2011.03.024.
33. Knuckey, I.; Sinclair, C.; Surapaneni, A.; Ashcroft, W. 2004. Utilization of seafood processing waste. Challenges and opportunities. En: 3<sup>rd</sup> Australian New Zealand Soils Conference.
34. López, R. 1986. Investigación Agrícola sobre Roca Fosfórica en el Perú. Lima, Perú. Misión Universidad Estatal de Carolina del Norte – Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria.
35. López, M.E.; Sainz, M.J. 2011. Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola. Santiago de Compostela : Servizo de Publicacións e Intercambio Científico, Universidade de Santiago de Compostela. 226 p. :il.
36. Marín, M.; Pérez, R. 1992. Importancia del análisis foliar en la evaluación de la fertilidad de suelos en Venezuela. Una revisión. *Revista de Agronomía (LUZ)*. 9:1-15.
37. Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI. 2013. Anuario de Insumos y Servicios Agrarios. Dirección de Estadística Agraria. Lima – Perú.
38. Mohr, V. 1978. Fish protein concentrate production by enzymatic hidrolisis. In: Adler-Nissen, Biochemical aspects of new protein food. Vol. 44 Symposium A3, FEBS Federation of European Biochemical Societies. 11 th Meeting, Copenhagen.
39. Mondini, C.; Cayuela, M.L.; Sinicco, T.; Sánchez-Monedero, M.A.; Bertolone, E.; Bardi, L. 2008. Soil application of meat and bone meal. Short-term effects on mineralization dynamics and soil biochemical and microbiological properties. *Soil Biology & Biochemistry* 40: 462-474. doi:10.1016/j.soilbio.2007.09.010.

40. Nielsen, H & Sarudansky, R. (Editores). 2005. *Minerales para la agricultura en Latinoamérica. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED – Universidad Nacional de San Martín UNSM*. 574 p. ISBN 987-22647-0-8.
41. Novelo, L.; Martínez, N.; Pérezgrovas, V. 1998. Harina de Hueso Adicionada a Suelos de La Zona Cafetalera de los Altos de Chiapas, México. *Terra*. 16(1): 71-77.
42. Núñez, F. 1999. Evaluación biológica comparativa de un fosfato mono y dicálcico comercial y de la harina de huesos en pollos de carne. Tesis Ing. Zootecnista. Facultad de Zootecnia. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 70 p.
43. Ospina, J.; Vanegas, H.; Polanía, F. 2011. Evaluación de la producción de biomasa de maíz en condiciones del trópico Colombiano. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas – FENALCE. Disponible en: [http://www.fenalce.org/arch\\_public/biomasa98.pdf](http://www.fenalce.org/arch_public/biomasa98.pdf).
44. Organización de las Naciones Unidas. (ONU). 2015. *Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2015*. 72 p. Disponible en: [http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015\\_spanish.pdf](http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf).
45. Palacios, V. 1975. Evaluación de la Roca Fosfatada Bayóvar. Proyecto Bayóvar. Minero Perú. Lima, Perú.
46. Paredes, S. 1984. Uso de la harina de cuernos y pezuñas en la alimentación de vacunos en crecimiento. Tesis Médico Veterinario. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú.
47. Pino, I.; Buneder y Parada. s/f . Métodos isotópicos en la evaluación de la Roca Fosfórica en condiciones de invernadero. Serie Carillanca Nro. 29. p. 191-200. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR15357.pdf>
48. Pramanika, P.; Bhattacharya, S.; Bhattacharyya, P.; Banik, P. 2009. Phosphorous solubilization from rock phosphate in presence of vermicomposts in Aqualfs. *Geoderma*. 152: 16-22. doi:10.1016/j.geoderma.2009.05.013.
49. Prystupa, P.; Salvagiotti, F.; Ferraris, G.; Gutierrez, F.; Elisei, J.; Couretod, L. 2004. Efecto de la fertilización con fósforo, azufre y potasio en cultivo de maíz en la pampa ondulada. *Informaciones Agronómicas* Nro. 23 Agosto 2004.
50. Rodríguez, Z.; Pire, R. 2004. Extracción de N, P, K, Ca y Mg por plantas de melón (*Cucumis melo L.*) híbrido Packstar bajo condiciones de Tarabana, Estado Lara. *Revista de Agronomía (LUZ)*. 21: 141-154.

51. Rojas Díaz, J. 1981. Efecto del abonamiento de fondo con cal y materia orgánica en una rotación de cultivos bajo condiciones de invernadero y de campo: San Ramón-Junín, Perú. Tesis Mg Sc. UNA La Molina, Lima, 97 p.
52. Rustad T. 2003. Utilisation of marine by-products. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 2(4): 458-463
53. Seleiman, M.; Santanen, A.; Jaakola, S.; Ekholm, P.; Hartikainen, H.; Stoddart, F.; Mäkelä, P. 2013. Biomass yield and quality of bioenergy crops grown with syntetic and organic fertilizers. *Biomass and Bioenergy*. 59: 477-485.
54. Serna, C.; Trujillo, L.; Urrea, R. 2011. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación edáfica de N-P-K en un andisol de la región centro-occidente de Caldas. *Agron*. 19: 68-76.
55. Setiyono, T.D.; Walters, D.T.; Cassman, K.G.; Witt, C.; Dobermann, A. 2010. Estimating maize nutrient uptake requirements. *Field Crops Research*, 118(2): 158-168.
56. Silva, W.; Alfaro, Y.; Jiménez, R. 2009. Evaluación de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. *Revista Científica UDO Agrícola* 9(4): 743-755.
57. Silva, M.; Rollán, A.; Bachmeier, O. 2006. Biodisponibilidad de fósforo en un suelo del sur de Santa Fe (Argentina). Efectos de dos fuentes fosfatadas y sus mezclas con urea. *Agriscientia*. 23: 91-97.
58. Snyder, C.S.; Bruulsema, T.W.; Hensen, T.L. 2007. Best Management Practices to Minimize Greenhouse Gas Emissions Associated with Fertilizer Use. *Better Crops With Plant Food* 91(4): 16-18.
59. Vásquez, A.; Zetina, R.; Meneses, I. 2014. Extracciones nutrimentales en tres cultivos en Veracruz, México. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2(3): 347-353.
60. Vincenza, F.; Cruz, I.; Ferreira, R.; Malcata, F.X.; Pintado, M.; Castro, P. 2010. Valorisation of natural extracts from marine source focused on marine by-products: A review. Disponible en: <http://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/4897/3/FRIN32751%201%20%282%29.pdf>

61. Vivas, H. S.; Albrecht, R.; Hotian, J.L.; Gastaldi, L. 2006. Residualidad del fósforo y del azufre. Estrategia de fertilización en una secuencia de cultivos. *Informaciones Agronómicas* Nro. 35 p.11-16.
62. Windsor, M.; Barlow, S. 1984 *Introducción a los subproductos de pesquería*. Zaragoza, España. Acribia. 204 p.
63. Xia, Y.; Wang, D.; Kong, Y.; Ungerfeld, E.; Seviour, R.; Massé, D. 2015. Anaerobic digestibility of beef hooves with swine manure or slaughterhouse sludge. *Waste Management*. 38: 443-448. doi:10.1016/j.wasman.2014.12.017
64. Xu, X.; He, P.; Pampolino, M.; Chuan, L. Johnston, A.; Qiu, S.; Zhao, S.; Zhou, W. 2013. Nutrient requirements for maize in China based on QUEFTS analysis. *Field Crop Research*. 150: 115-125.
65. Yanez, D.; Valverde, F.; Cartagena, Y. 2010. Evaluación del elemento faltante en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la Provincia Bolívar. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 17-19 noviembre de 2010. Santo Domingo- Ecuador.
66. Zoccola, M.; Aluigi, A.; Tonin, C. 2009. Characterisation of keratin biomass from butchery and wool industry wastes. *Journal of Molecular Structure*. 938: 35-40. doi: 10.1016/j.molstruc.2009.08.036.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en harina de huesos como fuente de fósforo en combinación con harina de cuernos y pezuñas para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Factorial.

Fuente de Variación	g.l.	CM	Significación	Coef. de variación (%).
<b><u>Altura de planta</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	528.67	**	8.0
Har.de Huesos	2	5.99		
HCP x HH	4	57.64	**	
Error	27	19.08		
Total	35			
<b><u>Materia seca</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	799.62	**	15.1
Har.de Huesos	2	7.74	**	
HCP x HH	2	14.72	**	
Error	4	9.13		
Total	27			
<b><u>Extracción de N</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	8005	**	18.7
Har.de Huesos	2	1133		
HCP x HH	4	14598	**	
Error	27	4713		
Total	35			
<b><u>Extracción de P</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	2046.08	**	15.4
Har.de Huesos	2	56.58	**	
HCP x HH	4	21.54		
Error	27	44.34		
Total	35			
<b><u>Extracción de K</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	309166	**	14.9
Har.de Huesos	2	9624	**	
HCP x HH	4	11727	**	
Error	27	4708		
Total	35			

**Anexo 2.** Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH), harina de huesos(HH) como fuente de fósforo, harina de cuernos y pezuñas (HCP) y fertilización mineral en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Adicionales.

Fuente de Variación	g.l.	CM	Significación	Coef. de variación (%).
<b><u>Altura de planta</u></b>				
Tratamientos	6	1204.2	**	7.2
Error	21	22.8		
Total	27			
<b><u>Materia seca</u></b>				
Tratamientos	6	2806	**	10.1
Error	21	15		
Total	27			
<b><u>Extracción de N</u></b>				
Tratamientos	6	534459	**	17.9
Error	21	5662		
Total	27			
<b><u>Extracción de P</u></b>				
Tratamientos	6	20943	**	9.6
Error	21	61		
Total	27			
<b><u>Extracción de K</u></b>				
Tratamientos	6	860945	**	11.3
Error	21	8394		
Total	27			

**Anexo 3.** Análisis de variancia para las distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo en combinación con harina de cuernos y pezuñas para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Factorial.

Fuente de Variación	g.l.	CM	Significación	Coef. de variación (%).
<b><u>Altura de planta</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	97.51	**	12.8
Har.de Huesos	2	24.80	**	
HCP x HH	4	19.90		
Error	27	23.69		
Total	35			
<b><u>Materia seca</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	4.776	**	20.0
Har.de Huesos	2	4.578	**	
HCP x HH	4	4.451	**	
Error	27	2.498		
Total	35			
<b><u>Extracción de N</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	6651	**	19.0
Har.de Huesos	2	2998	**	
HCP x HH	4	3050	**	
Error	27	2303		
Total	35			
<b><u>Extracción de P</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	18.545	**	21.7
Har.de Huesos	2	8.078	**	
HCP x HH	4	49.231	**	
Error	27	9.399		
Total	35			
<b><u>Extracción de K</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	12913	**	21.6
Har.de Huesos	2	1022		
HCP x HH	4	3828	**	
Error	27	1083		
Total	35			

**Anexo 4.** Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH), roca fosfatada (RF) como fuente de fósforo, harina de cuernos y pezuñas (HCP) y fertilización mineral en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Adicionales.

Fuente de Variación	g.l.	CM	Significación	Coef. de variación (%).
<b><u>Altura de planta</u></b>				
Tratamientos	6	1374.5	**	11.4
Error	21	26.4		
Total	27			
<b><u>Materia seca</u></b>				
Tratamientos	6	(Nota abajo)		
Error	21			
Total	27			
<b><u>Extracción de N</u></b>				
Tratamientos	6	idem		
Error	21			
Total	27			
<b><u>Extracción de P</u></b>				
Tratamientos	6	idem		
Error	21			
Total	27			
<b><u>Extracción de K</u></b>				
Tratamientos	6	idem		
Error	21			
Total	27			

**Nota:** La data de estas variables no cumple los requisitos de análisis de varianza (distribución normal y homogeneidad de varianza), por tanto se aplica la metodología de Kruskal-Wallis, que permite utilizar los rangos de datos y asignarles valores codificados, usando pruebas no paramétricas de análisis estadístico.

**Anexo 5.** Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en harina de huesos como fuente de fósforo en combinación con harina de cuernos y pezuñas para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Efecto residual - Factorial.

Fuente de Variación	g.l.	CM	Significación	Coef. de variación (%).
<b><u>Altura de planta</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	323.23	**	7.4
Har.de Huesos	2	818.90	**	
HCP x HH	4	32.17	**	
Error	27	24.20		
Total	35			
<b><u>Materia seca</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	186.09	**	10.8
Har.de Huesos	2	351.03	**	
HCP x HH	4	22.02	**	
Error	27	6.59		
Total	35			
<b><u>Extracción de N</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2			13.5
Har.de Huesos	2	1416		
HCP x HH	4	115340	**	
Error	27	696		
Total	35	4416		
<b><u>Extracción de P</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	125.0	**	10.4
Har.de Huesos	2	3807.2	**	
HCP x HH	4	148.5	**	
Error	27	31.8		
Total	35			
<b><u>Extracción de K</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	36403	**	15.9
Har.de Huesos	2	53253	**	
HCP x HH	4	665		
Error	27	4649		
Total	35			

**Anexo 6.** Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH) como acidulante en roca fosfatada como fuente de fósforo en combinación con harina de cuernos y pezuñas para la fertilización de cultivos en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Efecto Residual - Factorial.

Fuente de Variación	g.l.	CM	Significación	Coef. de variación (%).
<b><u>Altura de planta</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	864.24	**	8.2
Har.de Huesos	2	146.40	**	
HCP x HH	4	10.10		
Error	27	18.47		
Total	35			
<b><u>Materia seca</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	309.61	**	14.5
Har.de Huesos	2	72.12	**	
HCP x HH	4	8.93	**	
Error	27	4.96		
Total	35			
<b><u>Extracción de N</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	67514	**	14.4
Har.de Huesos	2	17030	**	
HCP x HH	4	1721		
Error	27	2777		
Total	35			
<b><u>Extracción de P</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	1022.6	**	17.7
Har.de Huesos	2	22.33		
HCP x HH	4	59.42	**	
Error	27	42.05		
Total	35			
<b><u>Extracción de K</u></b>				
Har.C. y Pezuñas	2	52453	**	17.8
Har.de Huesos	2	14514	**	
HCP x HH	4	649		
Error	27	2207		
Total	35			

**Anexo 7.** Análisis de variancia para los distintas variables en el efecto de residuos hidrolizados (RH), roca fosfatada (RF) como fuente de fósforo, harina de cuernos y pezuñas (HCP) y fertilización mineral en plantas de maíz en condiciones de invernadero. Efecto Residual - Adicionales.

Fuente de Variación	g.l.	CM	Significación	Coef. de variación (%).
<b><u>Altura de planta</u></b>				
Tratamientos	6	1866.0	**	12.1
Error	21	46.3		
Total	27			
<b><u>Materia seca</u></b>				
Tratamientos	6	1845.3	**	8.3
Error	21	15		
Total	27			
<b><u>Extracción de N</u></b>				
Tratamientos	6	291565	**	11.0
Error	21	1315		
Total	27			
<b><u>Extracción de P</u></b>				
Tratamientos	6	Prueba de Kruskal-Wallis *		
Error	21			
Total	27			
<b><u>Extracción de K</u></b>				
Tratamientos	6	113323	**	12.9
Error	21	1306		
Total	27			

(\*) Ver nota de Tabla Anexo 4.

**Anexo 8.** Análisis de variancia para las distintas variables en comparativo de modalidades de fertilización en el cultivo de maíz, en dos lugares, en el Valle de Cañete.

Fuente de Variación	GL	DON GERMAN			SAN MARTIN		
		CM	Significac	Coef. de variación (%)	CM	Significac	Coef. de variación (%)
<b><u>Altura de planta</u></b>							
Tratamientos	5	1537.74	**	2.68	174.04	**	1.78
Bloques	3	33.93			79.37		
Error	15	44.90			19.04		
Total	23						
<b><u>Biomasa</u></b>							
Tratamientos	5	22725398	**	5.18	27130438	**	3.2
Bloques	3	416575			345871		
Error	15	600542			299157		
Total	23						
<b><u>Rendimiento</u></b>							
Tratamientos	5	5756110	**	7.17	10351552	**	4.26
Bloques	3	277472	**		68329		
Error	15	388345			138740		
Total	23						
<b><u>Extracción de N</u></b>							
Tratamientos	5	4895.8	**	6.19	5459.6	**	4.29
Bloques	3	92.1	**		41.7		
Error	15	133.3			78.9		
Total	23						
<b><u>Extracción de P</u></b>							
Tratamientos	5	697.46	**	6.59	566.15	**	5.09
Bloques	3	25.44	**		82.04		
Error	15	9.27			5.86		
Total	23						
<b><u>Extracción de K</u></b>							
Tratamientos	5	4279.5	**	6.78	2484.2	**	5.31
Bloques	3	8.1			62.8		
Error	15	102..5			83.7		
Total	23						