

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

FACULTAD DE AGRONOMIA

Departamento Académico de Ciencias Agrarias



**"EFECTO RESIDUAL DEL HUMUS Y ROCA FOSFORICA
EN LA ABSORCION DE NUTRIENTES Y RENDIMIENTO
DEL ARROZ (*Oryza sativa* L.) DE SECANO EN UN
DYSTROPEPT"**

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO AGRONOMO

Mario Valencia Hernández

PROMOCION I - 1997

"Unasinos forjadores del desarrollo sostenible"

TINGO MARIA - PERU

2001

DEDICATORIA

A Dios Padre Nuestro: único poseedor de la verdad y la vida

A mis esforzados padres

GILBERTO e IRENE

con profundo amor y gratitud

A ESTHER y PAULA,
compañera e hija; por su gran
fuerza motivadora.

A mis hermanos:

LILIANA, JULIA y LUIS; por el constante

apoyo y comprensión brindados.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han colaborado en la culminación del presente trabajo, entre ellos:

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Al Ing. LUIS MANSILLA MINAYA, patrocinador de la presente tesis.

Al Ing. Agr. MSc. WILFREDO ZAVALA SOLORZANO, Ing. Agr. HUGO HUAMANI YUPANQUI e Ing. Agr. MSc. DAVID GUARDA SOTELO; por sus acertadas orientaciones, durante la ejecución y redacción, las cuales reflejan su gran profesionalismo alcanzado.

Al Sr. ZOCIMO PUJAY CAMPO, CONCEPCION ARIZA ESPINOZA y GLELIA RIOS SALDAÑA; por su apoyo desinteresado y orientación oportuna en la ejecución de los análisis de suelo y foliares.

Al Ing. Zoot. JUAN LAO GONZALES, por su apoyo desinteresado en la lectura de muestras.

Al Ing. Agr. MOISES MAMANI SANCA, por su orientación previa a la ejecución.

A mis amigos: EDDIE MUÑOZ CARBAJAL, JOHN REMUZGO FORONDA, ROBERTO GOMEZ ALIAGA, ALFONSO ARICA MELENDEZ y TOMAS MELGAREJO GUTIERREZ; por su invaluable apoyo, amistad y respeto.

INDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	11
II. REVISION DE LITERATURA	13
2.1 CARACTERISTICAS DEL ARROZ DE SECANO	13
2.1.1 Factores que limitan el crecimiento y rendimiento del arroz de secano	13
2.1.2 Rendimiento potencial y estabilidad	15
2.1.3 Absorción de nutrientes por el arroz	16
2.1.4 Concentración de nutrientes	18
2.1.5 Nivel crítico	19
2.1.6 Nutrición mineral de las plantas de arroz bajo condiciones de inundación y de secano	20
2.1.7 Respuesta al Nitrógeno, Fósforo y Potasio	21
2.2 RESPUESTA DEL ARROZ A LA FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO	22
2.2.1 Variedades de arroz	22
2.2.2 Fuentes de fósforo	23
2.2.3 Época de aplicación y efecto residual	24
2.2.4 Métodos de aplicación	26

2.3	FACTORES ESTUDIADOS EN EL USO DE ROCAS FOSFORICAS	27
2.3.1	Encalado	27
2.3.2	El pH del suelo y el calcio y aluminio intercambiables	28
2.3.3	Efectividad agronómica relativa	29
2.3.4	Composición química y mineralógica	30
2.3.5	Reactividad química	30
2.4	EL HUMUS Y LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO	31
2.4.1	Influencia del humus sobre el fósforo	31
2.4.2	La mineralización del humus	32
2.5	FUENTES DE ROCA FOSFORICA	33
2.5.1	Localización	33
III.	MATERIALES Y METODOS	34
3.1	CAMPO EXPERIMENTAL	34
3.2	MATERIALES	37
3.3	MÉTODOS	38
3.4	EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO	42
3.5	DETERMINACIÓN DE LAS OBSERVACIONES REGISTRADAS	45

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1 DEL RENDIMIENTO DE GRANO EN CÁSCARA	47
4.2 DE LA ABSORCIÓN DE NUTRIENTES POR EL ARROZ	56
4.3 DE LOS CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO	62
V. CONCLUSIONES	71
VI. RECOMENDACIONES	73
VII. RESUMEN	74
VIII. BIBLIOGRAFÍA	76
IX. ANEXO	79

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pag.
1. Extracción de nutrientes por el arroz según diversos autores	17
2. Variación en el tenor de elementos de la variedad de arroz IAC 25	18
3. Concentraciones de varios nutrientes en el tejido foliar de arroz en diferentes etapas de crecimiento	19
4. Niveles críticos de nutrientes en varias partes de la planta y estados de crecimiento del arroz	20
5. Peso seco y contenido de elementos totales de la variedad de arroz PI215936 crecida bajo condiciones de secano e inundación	21
6. Efecto de niveles óptimos de N, P y K en el rendimiento del arroz en Japón	22
7. Longitud del eje a y escala de reactividad por varios métodos	31
8. Depósitos de roca fosfórica en América Latina	33
9. Rendimientos alcanzados en los cultivos secuenciales de arroz y soya por Mamani (1997)	35
10. Resultados de los análisis de suelo efectuados por Mamani (1997) a los 240 días de la aplicación del humus y Roca Bayóvar	36
11. Datos meteorológicos durante la ejecución del experimento (Abril 1998 - Julio 1998)	37
12. Análisis de variancia	40

13. Análisis químico del suelo	43
14. Prueba de Duncan para el efecto residual de los niveles de Roca Bayóvar en el rendimiento de grano de arroz a 17 meses de su aplicación	48
15. Prueba de Duncan para el efecto residual de los niveles de humus en el rendimiento de grano de arroz variedad "Chanca Banco" a 17 meses de su aplicación	49
16. Prueba de Duncan de los efectos simples del humus en cada nivel de Roca Bayóvar para el rendimiento de arroz	51
17. Prueba de Duncan de los efectos simple de la Roca Bayóvar en cada nivel humus para el rendimiento de arroz	54
18. Concentración promedio de nutrientes en las diferentes partes del arroz de secano al estado de madurez	57
19. Cantidad de nutrientes necesarios para la producción de 1 t de grano de arroz bajo condiciones de secano	60
20. Índice de cosecha en el cultivo de arroz de secano	61
21. Reacción del suelo (pH) al inicio, 8 y 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus de lombriz en una secuencia de cultivos en un suelo Dystropept	63
22. Contenido de fósforo disponible (ppm) al inicio, 8 y 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus de lombriz en una secuencia de cultivos en un suelo Dystropept	66

23. Contenido de materia orgánica (%) del suelo al inicio, 8 y 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus de lombriz en una secuencia de cultivos en un Dystropept	67
24. CIC efectiva (meq/100 g suelo), porcentaje de saturación de aluminio y calcio - magnesio del suelo; al inicio, 8 y 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus en la rotación de cultivos	69

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Efecto de las dosis de humus en cada nivel de Roca Bayóvar aplicados hace 17 meses en el rendimiento de arroz de secano	53
2. Efecto de las dosis de Roca Bayóvar en cada nivel de humus aplicados hace 17 meses en el rendimiento de arroz de secano	55
3. Efecto de las dosis de humus sobre cada nivel de Roca Bayóvar aplicados hace 17 meses en el contenido de fósforo disponible del suelo	65
4. Efecto de las dosis de humus sobre cada nivel de Roca Bayóvar aplicados hace 17 meses en el porcentaje de saturación de aluminio del suelo	70

I. INTRODUCCION

El arroz de secano es ampliamente cultivado en su mayoría por agricultores pequeños ó de subsistencia en las regiones más pobres del mundo. Los rendimientos en grano bajo la modalidad de secano son generalmente bajos variando desde 0.5 a 1.5 t/ha en Asia, cerca de 0.5 t/ha en Africa y de 1 a 4 t/ha en Latinoamérica.

Mucha de la futura expansión de la superficie arrocera mundial estará constituida probablemente por el arroz de secano, debido a que la mayor parte de la superficie dedicada al arroz bajo riego está ya ocupada. Si vastas áreas factibles para el arroz entraran en producción, se podría ayudar a cubrir la futura demanda mundial, pero el panorama presente de la producción de arroz no es particularmente bueno, los rendimientos promedios de grano sólo alcanzan 1.3 t/ha.

Uno de los factores clave que limita la producción del sistema de secano es la deficiencia de P, a menudo asociada con la alta fijación de P y severa acidez del suelo; aunque las variedades de arroz de secano nativas parecen bien adaptadas a estas condiciones en relación a otros cereales, el continuado cultivo sin aplicación de fertilizantes sólo puede ser sostenido mediante la rotación de cultivos y con largos períodos de barbecho, sistema conocido como de "bajos insumos".

Sin embargo "bajos insumos" también significa la administración correcta de los fertilizantes y mejoradores del suelo. En tal sentido están ampliamente reconocidas las bondades del humus y de la roca fosfatada como fuentes de materia orgánica y fósforo respectivamente actuando bajo condiciones de suelos ácidos.

El presente estudio pretende averiguar la fertilidad de un Dystropept luego de una secuencia arroz - soya, teniendo como principal indicador una nueva instalación de arroz. Es importante señalar que ésta secuencia de cultivos recibió al inicio de su ejecución dosis crecientes y combinadas de humus y roca fosfórica.

De acuerdo con lo anterior se plantean los siguientes objetivos:

1. Evaluar el efecto residual del humus y roca fosfórica en el rendimiento del cultivo de arroz en condiciones de secano
2. Determinar el efecto del humus y la roca fosfórica en la absorción de nutrientes por el arroz.
3. Evaluar los cambios producidos en las características químicas del suelo después de tres campañas agrícolas.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 CARACTERISTICAS DEL ARROZ DE SECANO.

2.1.1 Factores que limitan el crecimiento y rendimiento del arroz de secano.

Características del desarrollo.

El crecimiento de la planta de arroz desarrollada bajo condiciones de secano es generalmente bajo ya que posee menos macollos y menos área foliar. Así mismo la esterilidad es más alta dado a que el porcentaje de macollos efectivos o la relación del número de panículas con el máximo número de macollos es más baja. Comparativamente el arroz de secano florea más tarde, produce menos materia seca y tiene un índice de cosecha o relación grano/paja más bajos. Estos factores o la combinación de ellos contribuyen, entre otras características comunes al arroz de secano, a obtener más bajos rendimientos en grano (25).

Efecto de las malezas.

Los suelos de secano casi siempre presentan más competencia debido a las malezas en comparación con los suelos inundados. Es reconocido el hecho que la inundación significa una forma efectiva de controlar las malezas. Sin embargo, evidencias posteriores indican que las malezas no son un factor preponderante que limita el desarrollo del arroz de secano, ya que incluso en condiciones libres de malezas, el arroz crece mejor bajo condiciones inundadas que bajo condiciones de secano (25).

La alta o baja disponibilidad de nutrientes.

Muchos científicos han afirmado que el arroz bajo riego crece mejor debido a que las condiciones de suelo sumergido incrementa la disponibilidad de varios elementos incluyendo el silicio, hierro, fósforo, etc.

Existe poca duda que el incremento de la disponibilidad de ciertos nutrientes tales como el fierro, fósforo y manganeso tiene un efecto benéfico sobre el crecimiento del arroz bajo condiciones inundadas. Si asumimos que la escasez de nutrientes es la principal causa del pobre crecimiento del arroz de secano, luego de corregir estas deficiencias es de esperar una mejora en el crecimiento y en el rendimiento hasta un nivel comparable con los del arroz bajo riego; sin embargo, incluso cuando un suelo neutro deficiente en fósforo, fierro y silicio recibe estos nutrientes con un nivel de humedad equivalente a capacidad de campo, el crecimiento y desarrollo del arroz de secano siguen siendo más bajos (24).

Ni la deficiencia de fósforo ni la de silicio parecen ser la causa de la alta esterilidad. El superfosfato aplicado a una tasa de 1.12 t/ha de P_2O_5 a un suelo húmedo, llevó el contenido de fósforo foliar al mismo nivel como el arroz cultivado bajo inundación, sin embargo esto no adelantó la fecha de floración (25).

Estrés hídrico.

Matsushima demostró mediante un trabajo hecho en Japón, que la planta de arroz es más sensible a la sequía desde el estado de división celular hasta el estado de floración. Tres días de sequía cerca del período crítico de floración redujo

el rendimiento por provocar un alto porcentaje de esterilidad. Agronómicamente, una gran cantidad de evidencias indican que el crecimiento y rendimiento del arroz de secano están altamente correlacionados con la cantidad y duración del riego (25).

En 1966, Wu encontró que con un nivel de humedad adecuado, el rendimiento en grano es mayor conforme se incrementó el nivel de nitrógeno; sin embargo, bajo condiciones de riego con lluvias los rendimientos fueron extremadamente bajos y el arroz no respondió a las aplicaciones de nitrógeno. El estrés hídrico fue claramente el factor más limitante del crecimiento.

En otro experimento usando sombra, el mismo investigador demostró que la sombra redujo el rendimiento en grano cuando la humedad del suelo fue adecuada; pero bajo condiciones de secano con riego deficiente, la sombra mejoró el crecimiento e incrementó el rendimiento en grano concluyendo que la sombra conserva el agua de las plantas, así estas puedan mantener una mayor actividad fisiológica bajo una menor intensidad luminosa.

En conclusión, el estrés hídrico es el factor limitante primario del crecimiento y desarrollo bajo condiciones de secano. Si el problema del riego es superado, entonces el nitrógeno pasa a ser el principal factor limitante del rendimiento (25).

2.1.2 Rendimiento potencial y estabilidad.

En Filipinas, Jana y De Datta en 1971 y De Datta y Beachell en 1972, encontraron que bajo las más favorables condiciones climáticas y de suelo, el

rendimiento máximo en grano es de 4 t/ha para la mayoría de las variedades tradicionales de secano; mientras que las variedades desarrolladas por el IRRI pueden rendir casi 7 t/ha con altas dosis de nitrógeno. En 1972, Kawano y otros, usando variedades semi enanas y bajo condiciones de secano produjeron más de 6 t/ha en épocas de fuertes precipitaciones y usando altas dosis de fertilizantes. De acuerdo con sus reportes, estos autores afirman que bajo un severo estrés de humedad, todas las variedades de arroz producen bajos rendimientos a pesar de usar altos niveles de fertilización y practicar un efectivo control de malezas. Por lo tanto el rendimiento absoluto de grano refleja el grado de escape a la sequía más que su tolerancia, particularmente si el cultivo es cosechado antes que finalice el estrés de humedad; pero cuando la sequía termina antes de la cosecha, el rendimiento en grano depende más de su habilidad para recuperarse (5).

2.1.3 Absorción de nutrientes por el arroz.

De acuerdo a los datos del cuadro 1 se observa que el arroz es relativamente exigente en elementos minerales, en él se tiene que el grano de arroz consume cerca de $1/3$ y $3/4$ del total de nitrógeno y fósforo absorbidos respectivamente, sólo el 20% del potasio total, cerca del 15% del calcio y 5% del magnesio (14).

CUADRO 1. Extracción de nutrientes por el arroz según diversos autores.

Autor	Producción (kg/ha)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
		kg/ha						
NOVELLI (1928) (Italia)								
Total	7500	122.0	52.7	78.0	45.6	--	--	--
GARBOUA (1954)(Egipto)								
Granos	3200	71.0	7.40	10.8	1.3	0.3	--	--
Paja	5500	21.0	2.70	48.1	7.4	6.6	--	--
Total	8700	92.0	10.0	58.9	8.6	6.9	--	--
JACK (Malasia)								
Total	3250	77.10	5.0	67.4	--	--	--	--
SHARSABUDHI (India)								
Total	----	32.4	10.1	57.7	23.2	--	--	--
VAN ROSSEN (1917) (Java)								
Granos	1900	23.0	5.2	10.0	1.4	2.4	--	--
Paja	4900	22.0	6.1	41.5	9.3	3.6	--	--
Total	6800	45.0	10.0	51.4	10.7	6.0	--	--
GARDANTINI Y BLANCO (1965) (Brasil)								
Granos	4300	18.0	11.70	1.0	1.5	5.5	--	--
Paja (mat. verde)	39350	97.0	6.90	122.5	33.5	36.4	--	--
Total	43650	115.0	18.0	123.5	34.5	41.9	--	--
FURLANI et. al (1965) (Brasil)								
Granos	4155	48.50	8.2	19.9	4.3	4.2	--	--
Paja (mat. verde)	5191	34.30	6.3	101.2	18.2	3.4	--	--
Total	9341	82.8	14.50	119.1	22.5	7.6	--	--
OCHSE et. al (1961)								
Granos	2430	23.3	12.1	12.2	1.5	4.4	--	--
Paja	4930	22.0	11.4	51.6	13.5	5.6	--	--
Raíces	2000	4.8	2.50	7.5	3.0	1.5	--	--
Total	9360	50.1	26.0	71.3	18.5	11.5	--	--
MALAVOLTA (1981) (Brasil)								
Granos	1197.5	24.5	4.90	7.7	1.8	3.0	0.05	0.05
Raquis	35.0	--	0.1	0.5	0.2	0.2	6 x 10 ⁻³	9x10 ⁻⁴
Hojas	800	23.0	2.3	12.5	13.5	7.1	0.22	0.24
Tallos	1095.0	20.4	3.9	56.2	2.9	5.5	0.15	0.035
Raíces	435	7.80	2.1	10.1	1.3	1.0	0.26	0.02
Total	3562.50	75.70	13.3	87.0	19.7	16.8	0.69	0.34

Fuente : Malavolta (14).

Una cosecha de arroz remueve del suelo una gran cantidad de nutrientes, dependiendo ésta en gran parte de la variedad de arroz, su rendimiento, período de maduración, fertilidad del suelo y de la cantidad de abono que se le aplique (11).

Por lo general no se toma en cuenta el valor de la paja como fertilizante, siendo una práctica común en muchos países quemarla junto con el rastrojo, principalmente debido a la dificultad de incorporarla al suelo en grandes cantidades. Con la remoción de la paja se sacan del terreno grandes cantidades de nutrientes incluyendo de 150 a 200 kilos de potasio por hectárea.

2.1.4 Concentración de nutrientes.

El cuadro 2 muestra cómo varían las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Mn entre los diferentes partes de una misma planta; se observa que la concentración de N, Ca, Mg y Mn es mayor en las hojas, el K está más concentrado en los tallos mientras que el P está en las raíces.

CUADRO 2. Variación en el tenor de elementos de la variedad de arroz IAC 25.

Parte de la planta	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
Raíz	1.79	0.49	2.32	0.29	0.23	588	46
Tallo	1.86	0.36	5.13	0.27	0.50	139	32
Hojas	2.87	0.29	1.56	1.69	0.89	281	296
Raquis	---	0.28	1.53	0.51	0.67	171	27
Grano	2.05	0.41	0.64	0.15	0.25	44	42

Fuente: Malavolta (14).

El cuadro 3 también indica que el contenido de los nutrientes en un mismo tejido cambia con la edad de la planta, los contenidos de N, P, K, Mg y S disminuyeron mientras que el contenido de Ca aumentó durante el ciclo de crecimiento del arroz.

CUADRO 3. Concentraciones de varios nutrientes en el tejido foliar de arroz en diferentes etapas de crecimiento.

Días después de la siembra	Concentración (%) de nutrientes en base seca					
	N	P	K	Ca	Mg	S
30 (macollamiento)	3.06	0.27	1.95	0.44	0.19	0.28
75 (inic. Panícula)	2.38	0.23	1.64	0.38	0.14	0.18
105 (floración)	2.14	0.18	1.02	0.32	0.11	0.10
140 (maduración) *	1.67	0.18	0.65	0.57	0.13	0.10

*: paja

Fuente: Perdomo y otros. citado por Howeler (9).

2.1.5 Nivel Crítico.

El nivel crítico de deficiencia (Cuadro 4) es el contenido de un elemento en cierto tejido indicador por debajo del cual se espera una respuesta significativa a la aplicación de este elemento, y por encima del cual no se espera una respuesta; de la misma forma, el nivel crítico de toxicidad es el contenido del elemento por encima del cual la planta sufre intoxicación por exceso de este elemento (9).

CUADRO 4. Niveles críticos de nutrientes en varias partes de la planta y estados de crecimiento del arroz.

Elemento	Estado nutricional de la planta		Parte de la planta	Estado de crecimiento
	Deficiencia	Toxicidad		
N (%)	2.5	-*	Lámina foliar	Macollamiento
P (%)	0.1	-	Lámina foliar	Macollamiento
K (%)	1.0	-	Lámina foliar	Macollamiento
Ca (%)	0.15	-	Paja	Madurez
Mg (%)	0.10	-	Paja	Madurez
S (%)	0.10	-	Paja	Madurez
Si (%)	5.00	-	Paja	Madurez
B (ppm)	3.40	100	Paja	Madurez
Mn (ppm)	20	2500	Parte aérea	Macollamiento
Fe (ppm)	70	300	Lámina foliar	Macollamiento
Cu (ppm)	6	30	Paja	Madurez
Zn (ppm)	10	1500	Parte aérea y paja	Macollam. y madurez
Al (ppm)	-	300	Parte aérea	Macollamiento

* : no se obtuvieron datos.

Fuente: Tanaka y Yoshida, citados por Howeler (9).

2.1.6 Nutrición mineral de las plantas de arroz bajo condiciones de inundación y de secano.

De acuerdo con el cuadro 5, el porcentaje de todos los nutrientes esenciales fue hallado más bajo para el arroz de secano. Así mismo el arroz de secano presentó un mayor porcentaje de materia seca lo que indica un menor contenido de humedad.

CUADRO 5. Peso seco y contenido de elementos totales de la variedad de arroz PI215936 crecida bajo condiciones de secano e inundación.

Días después de la inundación	Cultivo	Peso Seco (kg/m ²)	Materia Seca (% paja)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	SiO ₂ (%)	Fe ppm	Mn ppm
21	Secano	0.1	17.3	3.0	0.2	3.4	0.4	0.6	11.1	150	63
	Inundación	0.2	15.3	2.9	0.2	4.0	0.4	0.5	11.8	259	1044
42	Secano	0.3	26.1	1.5	0.2	2.7	0.4	0.4	11.9	210	150
	Inundación	0.9	21.3	1.6	0.2	2.9	0.5	0.5	12.9	343	1469
63	Secano	0.5	-	1.1	0.1	2.3	0.5	0.3	12.7	147	282
	Inundación	1.0	25.1	1.5	0.2	2.3	0.5	0.3	14.3	294	1575
84	Secano	0.8	21.4	0.9	0.0	2.2	0.4	0.2	14.8	84	469
	Inundación	1.3	19.1	1.1	0.1	2.4	0.5	0.3	15.8	291	1419

Fuente: Yoshida (25).

Se observó también que, aún dentro de los rangos normales, los contenidos de hierro y manganeso en el cultivo de secano fueron mucho menores. Los niveles de deficiencia y toxicidad publicados por Tanaka y Yoshida en 1970 pueden ser usados como guía sólo en los estados iniciales del cultivo ya que el nivel de humedad de la planta afecta el nivel crítico de los nutrientes (22).

2.1.7 Respuesta al Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

En 1964, Mitsui demostró que la fertilización es más importante para el arroz de secano que para el arroz cultivado bajo inundación (Cuadro 6). El fósforo resulta más vital en el sistema de secano debido en parte a que cuando es aplicado

está menos disponible bajo condiciones aeróbicas y ácidas y en parte debido a la alta fijación de los suelos de secano (5).

CUADRO 6. Efecto de niveles óptimos de N, P y K en el rendimiento del arroz en Japón.

Tratamiento	Respuesta (% Rendimiento)	
	Arroz bajo riego	Arroz de secano
NPK	100	100
PK	75	46
NK	97	66
NP	94	90
Ninguno	69	39

Fuente: Mitsuí, citado por Chang y Vergara (5).

2.2 RESPUESTA DEL ARROZ A LA FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO.

Entre los principales factores que afectan la respuesta del arroz al fósforo aplicado tenemos: el sistema de cultivo, tipo de suelo, variedad, fuente de fósforo, época de aplicación y método de aplicación del fertilizante fosforado.

2.2.1 Variedades de arroz.

En Colombia se estudiaron 4 variedades: 2 altas (Bluebonnet 50 y Monolaya) y 2 enanas (IR8 y CICA 4) a las que aplicaron dosis de 0, 50 y 100 kg/ha de P_2O_5 en dos terrenos, en uno de los cuales se había hecho una aplicación

de 600 kg/ha de P_2O_5 un año antes. Los resultados permitieron concluir que las variedades altas producen más que las enanas y que sólo la variedad Bluebonnet 50 respondió a la fertilización con 50 kg de P_2O_5 . Por otra parte el ensayo permitió comprobar la alta fijación ocurrida, pues no se observó diferencia entre el terreno con fósforo aplicado un semestre antes y el terreno nuevo (9).

2.2.2 Fuentes de fósforo.

En un ensayo de macetas se midió el contenido de P en las hojas de arroz secano de 1 mes y 3 meses de edad a las cuales se les incorporó el equivalente a 200 kg/ha de P_2O_5 en forma de superfosfato triple y roca fosfórica. Los resultados demostraron que aunque al principio el superfosfato fue un poco mejor, debido probablemente a su mayor solubilidad, no existieron diferencias significativas entre las fuentes (9).

En otro ensayo se encontró que la roca fosfórica con algo de superfosfato triple dio rendimientos tan buenos como el superfosfato triple, alcanzando rendimientos superiores a las 5 t/ha de arroz (11).

En 1982, Villagarcía comprobó el excelente comportamiento de la roca fosfórica proveniente de Sechura tanto en un suelo Ultisol (Yurimaguas) como en un Alfisol (Chanchamayo) en el cultivo de papa con un período vegetativo de entre 3 a 4 meses y bajo condiciones de clima tropical (9).

Las rocas fosfóricas están constituidas principalmente por apatitas, las cuales varían ampliamente en sus propiedades físicas, químicas y cristalográficas.

Se ha demostrado que el factor determinante en la reactividad química de las rocas fosfóricas es el grado de sustituciones isomórficas de los carbonatos por los fosfatos. Lehr y McClellan en 1973, encontraron que entre los factores químicos que afectan la calidad de las rocas fosfóricas ya sea para uso directo o para producción de fosfatos concentrados, figura la relación $\text{CaO}:\text{P}_2\text{O}_5$, a medida que aumente esta relación menor es la reactividad y por lo tanto menor es la solubilidad de estas. Desde el punto de vista agronómico, las rocas fosfóricas con relación $\text{CaO}:\text{P}_2\text{O}_5$ mayor a 1.6 resultan antieconómicas para la producción de fosfatos concentrados recomendándose su uso directo en suelos ácidos (19).

2.2.3 Época de aplicación y efecto residual.

La roca fosfórica (RF) se puede aplicar mucho tiempo antes de la siembra, para que esta reaccione con el suelo y se encuentre disponible para el arroz al momento del establecimiento del cultivo.

Para estudiar la efectividad agronómica de tres rocas fosfóricas colombianas, solas y combinadas con superfosfato triple (SFT), se instaló un experimento en un Ultisol cultivando arroz (CICA 8) con maní (Tatuí 76) en rotación. En la primera cosecha de arroz, los rendimientos aumentaron con cada incremento de la cantidad de fósforo aplicado como roca fosfórica. Se observó también que aún con las rocas fosfóricas menos activas, las mezclas 1:1 de RF:SFT en las dosis más bajas de fósforo (50 y 100 kg/ha), dieron generalmente rendimientos más altos que las mismas rocas solas, lo que demuestra la

conveniencia de una fertilización inicial con una forma soluble de fósforo cuando se aplican dosis bajas de este elemento. Los rendimientos de maní no reflejaron ventaja para las rocas o las mezclas de ellas. En la segunda cosecha de arroz, se incrementaron considerablemente los rendimientos en grano con todas las dosis y combinaciones del fósforo aplicado, demostrando mayor disponibilidad de éste elemento, tanto en el SFT como en la roca fosfórica (11).

Las diferentes rocas tienden a invertir sus patrones de liberación de P, Pérez y otros en 1995, diferencian dos grupos de rocas por su solubilidad (%P₂O₅ liberado), determinando que las de alta solubilidad liberan el 50% de su contenido de P en los primeros cinco minutos, para luego mantener una tasa de liberación de P casi constante y hasta menor que algunas de las rocas de menor solubilidad, en contraste, las de menor solubilidad presentan una tasa de solubilización creciente superando en el tiempo a las de mayor solubilidad.

La eficacia de los métodos químicos para predecir el potencial agronómico de las rocas fosfóricas generalmente decrece a medida que aumenta el efecto residual de estas debido a la influencia de las reacciones de estos fosfatos en el suelo, la cual no es medida en la extracción química inicial, por lo que se recomienda determinar la solubilidad de las rocas fosfóricas en extracciones secuenciales (por lo menos 4 extracciones) con el fin de tratar de predecir el efecto residual de estas, lo cual puede contribuir a establecer los programas de refertilización cuando se emplean estas fuentes de fósforo (19).

2.2.4 Métodos de aplicación.

Las sustancias orgánicas del suelo liberan fosfatos de la roca fosfatada. Desde que se supo que el ácido húmico posee propiedades de quelación, el efecto del ácido húmico en la liberación del fósforo de la roca fosfatada comenzó a investigarse. En el citado estudio, dos extractos de 10 ml cada uno conteniendo 16.2 y 14.8 mg de ácido húmico liberaron 37.5 y 27.5 ug. de P/gr de roca fosfatada respectivamente, concluyendo que los ácidos húmicos ayudaron muy significativamente en la liberación del fósforo de la roca fosfatada. Dados estos resultados, se propone mezclar roca fosfórica con los restos orgánicos antes de ser aplicados al suelo, debido a que durante la descomposición, la actividad microbiana es alta y varios tipos de sustancias orgánicas son producidas lográndose así una mejor fuente de fósforo: el fosfocompost. Sin embargo, al evaluar los efectos de la materia orgánica a un nivel de 10 t sobre la disponibilidad del fósforo procedentes de dos rocas fosfóricas, encontró que los incrementos del rendimiento de materia seca de algunos pastos debieron al fósforo adicional a la materia orgánica más que a su efecto benéfico sobre la disponibilidad de la roca fosfórica (16, 21).

A manera de resumen puede concluirse que para el cultivo de arroz el empleo de rocas fosfóricas con o sin acidulación, ofrecen una buena alternativa de sustitución a los superfosfatos. Sin embargo cuando se emplean dosis menores de fosfato, parece que es conveniente mezclar las rocas con una fuente más soluble de fósforo. En un experimento en rotación frijol-maíz para estudiar dos tipos de aplicación, al voleo con incorporación y en hoyos, en su efecto en la eficacia de los

materiales fosforados se pudo observar que con excepción de la R.F. Florida en aplicación en hoyos, no se encontraron grandes diferencias entre los dos tipos de aplicación estudiados, lo cual es muy importante en el caso de pequeños agricultores que en su mayoría hacen la aplicación de fertilizantes en hoyos (20).

2.3 FACTORES ESTUDIADOS EN EL USO DE ROCAS FOSFORICAS.

2.3.1 Encalado.

Uno de los efectos colaterales de las rocas fosfóricas aparte de suministrar fósforo, es su efecto encalador y el de proveer algunos elementos menores, especialmente el zinc. Tal acción encaladora hace a estos materiales adecuados para corregir suelos ácidos. Sin embargo, en algunos casos el efecto encalador de las rocas fosfóricas no basta y es necesario aplicar cantidades moderadas de cal para obtener rendimientos satisfactorios .

En un experimento usando roca fosfórica Gafsa con adición complementaria de carbonato de calcio, en un Ultisol del norte de Costa Rica, se pudo observar claramente el efecto positivo de la cal en las distintas dosis y cómo en la dosis de 480 kg/ha de P_2O_5 , el efecto encalador de la roca fosfórica Gafsa llega a ser autosuficiente, pues ya no se obtiene un incremento extra por la aplicación de 3 t/ha de $CaCO_3$. Poniéndose de manifiesto que cuando se hacen comparaciones entre la eficacia de una roca fosfórica y un fertilizante fosfórico convencional, además del componente fósforo de ambos, en el caso de la roca fosfórica, también va implícito el efecto encalador a su favor.

Los resultados de las investigaciones en Costa Rica indican la conveniencia de efectuar un encalado moderado con una anticipación mínima de seis meses antes de aplicar las rocas fosfóricas, en período lluvioso, para que la cal pueda reaccionar adecuadamente en el suelo (20).

Según el mismo autor, la dosis de cal dependerá de la acidez de cada suelo. Se debe tener mucho cuidado en no usar una dosis excesiva que pueda afectar la eficacia de las rocas fosfóricas, mediante reacciones desfavorables entre el fósforo liberado y la cal aplicada, que lleven a inmovilizar el fósforo.

2.3.2 El pH del suelo y el calcio y aluminio intercambiables.

El efecto de las rocas fosfóricas en el pH del suelo varía entre sin efecto hasta un ligero aumento en el pH de 0.2 a 0.4 unidades, dependiendo de la tasa de adición de fósforo y de la reactividad de la roca fosfórica. En un trabajo de incubación con un Oxisol de Colombia, se encontró que 90 días después de la aplicación de roca fosfórica de Bayóvar, el pH del suelo aumentó de 4.63 a 4.97 cuando se adicionaron 400 ppm de fósforo. Rocas fosfóricas menos reactivas (Pesca de Colombia) y SFT parece no tener efecto sobre el pH del suelo.

A pesar de que la roca fosfórica de Bayóvar sólo aumenta el pH del suelo ligeramente, parece que tiene un efecto significativo en el calcio y el aluminio intercambiables. Tanto la roca Pesca, menos reactiva, como el SFT, también aumentan el calcio intercambiable, pero no modifican el aluminio. Debido al aumento en el calcio intercambiable el grado de saturación de aluminio en el suelo

disminuyó con el uso de todos los fertilizantes fosfatados. El efecto en la saturación de aluminio fue más pronunciado con el tratamiento de la Roca Bayóvar que con el SFT. En consecuencia, se debe considerar un posible efecto benéfico en cuanto al calcio y aluminio intercambiables cuando se usan rocas fosfóricas relativamente reactivas para aplicación directa en suelos ácidos tropicales para la producción de cultivos (12).

2.3.3 Efectividad agronómica relativa.

La efectividad agronómica relativa (EAR) de una roca fosfórica para aplicación directa es función de factores que afectan el sistema roca – suelo - prácticas culturales. Un ejemplo fueron las diferencias en la respuesta de un cultivo a las aplicaciones de varias rocas fosfóricas reportadas por Fenster y León en 1979. Fuera de la alta capacidad de retención de fósforo del suelo, la deficiencia de calcio como nutrimento y la toxicidad del aluminio pueden ser los responsables del pobre rendimiento del SFT comparado con los de las rocas fosfóricas de Bayóvar y Carolina del Norte.

El efecto de solubilidad de citratos y el tipo de cultivo en la EAR inicial en experimentos en suelos colombianos, indican que el factor que exhibe una influencia primaria es la reactividad de la roca fosfórica. En estos experimentos las rocas fosfóricas de alta solubilidad en citratos son casi tan efectivas como el SFT, especialmente en el caso de la producción de frijoles. En el segundo y tercer cultivo de frijoles las rocas altamente reactivas fueron más efectivas que el SFT.

Mejoramiento en la eficiencia se observó con rocas de media y baja solubilidad en citratos en el período extendido del cultivo. Debido a este mejoramiento con el tiempo, se puede ver que la calificación de efectividad basada en una primera cosecha no es suficiente. Otro experimento a largo plazo conducido en Colombia, mostró que los rendimientos acumulados de 13 cortes de *Brachiaria decumbens* hechos en un período de 44 meses, obtenidos con rocas fosfóricas, fueron comparables con el del SFT, aún con rocas de baja reactividad como Pesca de Colombia (12).

2.3.4 Composición química y mineralógica.

En 1967 se reporta que el principal mineral fosfatado que se encuentra en la mayoría de las rocas fosfóricas es el apatito, pero éste varía enormemente en sus propiedades físicas, químicas y cristalográficas. En 1979 se indica que actualmente se puede caracterizar una roca fosfórica mediante análisis químico, difracción en polvo por rayos X, microscopía petrográfica, espectroscopía infrarroja y microscopía de electrones (12).

2.3.5 Reactividad química.

En el cuadro 7 se muestra la escala de reactividad de la Roca Bayóvar medida por tres de los extractores químicos más comúnmente usados en el mundo.

En general la solubilidad aumenta cuando la sustitución de fosfatos por carbonatos en la estructura del apatito aumenta. Por esto, el grado de sustituciones isomórficas en la estructura del apatito es un factor clave para

determinar la reactividad química de las rocas fosfóricas que contienen carbonato apatito (12).

CUADRO 7. Longitud del eje a y escala de reactividad por varios métodos.

Roca	Longitud del eje a (A°)	Reactividad		
		Acido cítrico 2%	Citrato de amonio neutro	Acido fórmico
Bayóvar	9.337	6.6	2.3	9.5

Fuente: Chien, 1977 citado por León (12).

2.4 EL HUMUS Y LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO.

2.4.1 Influencia del humus sobre el fósforo.

Fernández y Gerretsen mencionan que el humus es un compuesto orgánico estable que sirve de nutrición a los microorganismos del suelo, los cuales “solubilizan” los nutrientes. Al respecto se encontró que el fósforo absorbido por las plantas en crecimiento a partir de minerales insolubles con suelos estériles es muy pequeño en comparación al fósforo absorbido con condiciones idénticas de fertilización pero en un suelo conteniendo microorganismos (22).

La mayor asimilabilidad de los fosfatos es debida a la acción de ácidos orgánicos que aparte de modificar el pH, forman quelatos o complejos estables (8, 15).

Los microorganismos ocasionan un gran número de transformaciones al fósforo a través de los siguientes mecanismos:

- a) Alteran la solubilidad de sus compuestos orgánicos.
- b) Mineralizan los compuestos orgánicos, con separación de ortofosfatos.
- c) Convierten el anión inorgánico, asimilable, en protoplasma celular.
- d) Oxidan o reducen compuestos inorgánicos fosfatados.

2.4.2 La mineralización del humus.

El humus ejerce un aporte gradual de nutrientes particularmente nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes los cuales son liberados a través de su mineralización.

La pérdida de la materia orgánica existente en el suelo, se produce por repetidas labores de labranza que airean el suelo y activan la mineralización; asimismo las altas temperaturas superiores a 25°C favorecen la destrucción de la materia orgánica (18).

El pH del suelo influye en el contenido de materia orgánica. En suelos ácidos ($\text{pH} < 5$) se produce su acumulación debido a que la cantidad y variedad de microorganismos del suelo es limitada generando una menor eficiencia en la mineralización y humificación. Por otro lado, el bajo pH al determinar la saturación del complejo de cambio con aluminio provoca deficiencias de calcio y magnesio provocando igualmente la acumulación de carbono (23).

Eid, Black y Kempthorne, encontraron que a 20°C las plantas absorbían fósforo disponible de forma inorgánica, sin embargo a 35°C hubo un significativo

aumento de la fracción orgánica del fósforo debido a la relativa rápida mineralización de las fuentes orgánicas las que gracias a la acción microbiana se hacían disponibles para el cultivo (21).

2.5 FUENTES DE ROCA FOSFORICA.

2.5.1 Localización.

Según el cuadro 8, muchos países en Latinoamérica tienen depósitos de fosfatos. Se han reportado también depósitos en otros países que no figuran en dicho cuadro. En el programa de investigación de rocas fosfóricas del Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes a la vez se incluyen rocas de depósitos que no están en América Latina, con el fin de estudiar un rango amplio de propiedades de las rocas fosfóricas y compararlas con las rocas locales (20).

CUADRO 8. Depósitos de roca fosfórica en América Latina.

PAIS	Número de yacimientos	Contenido P ₂ O ₅ (promedio)	Reservas (millones de t)
Argentina	1	36.0	---
Bolivia	6	24.0	22.8
Brasil	9	14.4	1865.5
Chile	5	14.0	60.5
Colombia	7	15.0	163.7
Ecuador	1	30.0	166 - 205
México	10	19.0	6115.1
Perú	1	25.0	10250
Venezuela	9	20.0	2069.7

Fuente: Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes, citado por Ramírez (20).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 CAMPO EXPERIMENTAL.

3.1.1 Ubicación.

El presente estudio se desarrolló en el terreno de propiedad de la familia Cavero, ubicado en la margen derecha de la carretera Tingo María - Pucallpa, a la altura del kilómetro 20. Fisiográficamente es una colina baja con una pendiente de 23%, geográficamente está ubicado a 9°09' latitud sur, y 75°57' longitud occidental y a una altitud de 641 m.s.n.m.

3.1.2 Historia del campo.

El campo comenzó a ser explotado desde el año 1965 así como sigue:

1965 - 1985	Cultivo de coca.
1985 - 1993	Cultivo de achiote.
1993 - 1997	Sin cultivo, abandonado.
Enero 97 - Agosto 97	Rotación de cultivos Arroz – Soya
Abril 98 - Julio 98	Arroz en estudio.

3.1.3 Características del campo experimental.

El experimento iniciado por Mamani en 1977 fue hecho en un Dystropept (suelos Inceptisoles ácidos de regiones tropicales y subtropicales con menos del 50% de saturación de bases y alta saturación de aluminio), el cual estuvo empurmado; a continuación se cortó y se retiró la purma sin practicar la quema;

seguidamente el suelo fue arado superficialmente aplicando dosis crecientes y combinadas de humus y roca bayóvar (Cuadro 9). A los 15 días fue sembrado el arroz, variedad "Chanca Banco", el que fue fertilizado con una dosis de 80 - 120 kg/ha de nitrógeno (úrea) y potasio (cloruro de potasio) respectivamente; al completar el ciclo del arroz, se procedió a la siembra del cultivo de soya el cual no recibió fertilización adicional (13).

CUADRO 9. Rendimientos alcanzados en los cultivos secuenciales de arroz y soya por Mamani (1997).

Tratamiento.	Roca Bayovar (kg/ha)	Humus (t/ha)	FERTILIZACION (kg/ha)		RENDIMIENTO (kg/ha)	
			Nitrógeno	Potasio	Arroz	Soya
1	0	0	80	120	2,132	390
2	0	2	80	120	2,266	677
3	0	4	80	120	2,462	654
4	500	0	80	120	1,523	930
5	500	2	80	120	1,836	947
6	500	4	80	120	2,724	1023
7	1000	0	80	120	1,743	682
8	1000	2	80	120	1,980	769
9	1000	4	80	120	2,356	996
10	1500	0	80	120	1,755	1108
11	1500	2	80	120	1,942	975
12	1500	4	80	120	1,612	1096
13	2000	0	80	120	2,064	1128
14	2000	2	80	120	2,014	1193
15	2000	4	80	120	1,747	930
16 (Test.)	-	-	-	-	643	506

3.1.4 Análisis químico del suelo.

El suelo fue analizado por Mamani (13), el cuadro 10 muestra los resultados obtenidos al final de los cultivos secuenciales de arroz y soya.

CUADRO 10. Resultados de los análisis de suelo efectuados por Mamani (1997) a los 240 días de la aplicación del humus y Roca Bayóvar.

Tratamiento	Descripción		pH	M.O. (%)	P (ppm)	CIC _e (meq/100 g suelo)	Saturación Al (%)
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)					
1	0	0	3.1	5.5	23.6	5.9	56
2	0	2	3.2	5.5	40.0	6.9	45
3	0	4	3.1	5.5	20.0	6.4	51
4	500	0	3.2	5.5	26.0	6.3	49
5	500	2	3.1	5.5	28.0	6.7	56
6	500	4	3.1	4.5	26.0	6.4	58
7	1000	0	3.2	5.9	56.0	2.7	40
8	1000	2	3.2	6.7	61.0	7.1	44
9	1000	4	3.4	5.7	60.0	7.0	52
10	1500	0	3.3	5.9	48.0	6.9	38
11	1500	2	3.4	6.3	74.0	7.6	39
12	1500	4	3.2	4.2	76.0	9.9	33
13	2000	0	3.3	6.4	79.0	7.9	48
14	2000	2	3.4	6.2	60.0	10.8	36
15	2000	4	3.6	6.2	74.0	9.6	23
16	-----	-----	3.2	6.0	57.0	7.1	52

3.1.5 Registro del clima.

En el Cuadro 11 se presentan algunos parámetros climáticos correspondientes a los meses de ejecución del presente trabajo de tesis.

CUADRO 11. Datos meteorológicos durante la ejecución del experimento (Abril 1998 - Julio 1998).

Meses	Temperatura Media (°C)	Precipitación Pluvial (mm)	Humedad Relativa (%)
Abril	25.9	450.8	79
Mayo	26.0	297.9	78
Junio	25.5	156.9	76
Julio	25.5	59.1	76

FUENTE: Estación Meteorológica de "CORPAC S.A." - Tingo María.

3.2 MATERIALES.

3.2.1 Material genético.

Semilla, de arroz variedad "Chanca Banco", la cual fue utilizada por Mamani en 1977. Su centro de origen es el CIAT. Sus principales características de acuerdo al Ministerio de Agricultura, son:

- Período vegetativo de 90 a 100 días.
- Porte medio de 100 a 120 cm. de altura.
- Color de glumela: amarillo claro.
- Susceptible al tumbado.
- Calidad molinera: aceptable.

- Tolerante a enfermedades (quemado de la hoja y mancha carmelita).
- Resistente al desgrane.
- Baja respuesta al nitrógeno.
- Macollaje pobre.
- Pobre rendimiento (1000 - 2500 kg/ha) (4).

3.2.2 Fertilizantes.

- Urea (46% N), a un nivel de 80 kg de N/ha.
- Cloruro de potasio (60% K₂O): a un nivel de 120 kg de K₂O/ha.
- Roca Bayóvar y humus aplicados en el experimento anterior (13).
No se volvió a aplicar.

3.3 METODOS.

3.3.1 Factores en estudio.

Factor A: Roca Bayóvar (kg/ha).

- $a_1 = 0$
- $a_2 = 500$
- $a_3 = 1000$
- $a_4 = 1500$
- $a_5 = 2000$

Factor B: Humus de lombriz (t/ha).

- $b_1 = 0$

- $b_2 = 2$

- $b_3 = 4$

Testigo adicional: Sin Roca Bayóvar, sin humus y sin abonos sintéticos.

3.3.2 Tratamientos en estudio.

Debido a que se estudió el efecto residual del humus y Roca Bayóvar aplicados por Mamani (13), los tratamientos fueron los presentados en el Cuadro 9.

3.3.3 Diseño experimental.

Se usó el diseño Bloque Completo Randomizado con arreglo factorial de $5 \times 3 + 1$ testigo adicional, con tres repeticiones.

3.3.4 Modelo estadístico.

Modelo aditivo lineal.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Respuesta obtenida en la unidad experimental correspondiente a la K -ésima repetición en la cual se aplicó el i -ésimo nivel de Roca Bayóvar con el j -ésimo nivel de humus.

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto del i -ésimo nivel de Roca Bayóvar

β_j = Efecto del j -ésimo nivel de humus.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de Roca Bayóvar con el j-ésimo nivel de humus.

δ_k = Efecto de la k-ésima repetición.

ϵ_{ijk} = Efecto aleatorio del error experimental asociada a dicha observación Y_{ijk} para:

$i = 1, 2, 3, 4, 5$ niveles de Roca Bayóvar.

$j = 1, 2, 3$ niveles de humus.

$k = 1, 2, 3$ repeticiones

3.3.5 Análisis de variancia

El esquema es el siguiente (Cuadro 12):

CUADRO 12. Análisis de variancia.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD
Bloques	2
Tratamientos	15
Factorial	14
A (Roca Bayóvar)	4
B (Humus)	2
AB	8
Factorial vs. testigo	1
Error experimental	30
TOTAL	47

3.3.6 Disposición experimental.

Características de los bloques:

- Número de bloques	3
- Largo de bloques	64 m
- Ancho de bloques	4 m
- Distancia entre bloques	1 m.
- Área de cada bloque	256 m ²
- Área total de bloque	768 m ²

Características de las parcelas:

- Número de parcelas por bloques	16
- Largo de parcela	4 m
- Ancho de parcela	4 m
- Area de parcela	16 m ²
- Area neta	5 m ²

Características de las hileras:

- Distancia entre hileras	0.25 m
- Distancia entre golpes	0.25 m
- Número de golpes por hilera	17
- Número de golpes por parcela	255
- Número de semillas por golpe	8 - 10
- Modalidad de siembra	golpes

Dimensiones del campo experimental:

- Largo	66 m
- Ancho	18 m
- Area total del experimento	1188 m ²

3.3.7 Croquis del campo experimental y disposición de parcelas.

Estos se presentan en las figuras 1-A y 2-A del anexo.

3.4 EJECUCION DEL EXPERIMENTO.

3.4.1 Elección, limpieza y demarcación del terreno.

El terreno fue exactamente el mismo que utilizó Mamani en 1977 en el experimento anterior (13).

Manualmente se cortaron y retiraron las malezas. No se practicó la quema. A continuación se hizo un reconocimiento de las estacas provenientes de dicho experimento y se renovaron, quedando el campo con la misma disposición experimental la cual se presenta en la figura 1-A del anexo.

3.4.2 Muestreo y Análisis de suelo.

Usando el tubo muestreador (profundidad 0 - 20 cm) cada parcela del experimento fue muestreada después de la cosecha del arroz.

La metodología empleada en los análisis de suelos fue la que tradicionalmente emplea el Laboratorio de Suelos de la UNAS (Cuadro 13).

CUADRO 13. Análisis químico del suelo.

ELEMENTO	MÉTODO
pH : Agua (1:1)	Potenciómetro
Materia orgánica (%)	Walkley y Black
CIC (meq/100 g suelo)	Suma de cationes
Ca + Mg (meq/100 g suelo)	Verseno
Al (meq/100 g suelo)	Yuan
Saturación Al (%)	-----
Fósforo (ppm)	Olsen modificado
Al + H (meq/100 g suelo)	Yuan

FUENTE : Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.4.3 Preparación del terreno.

Se hizo la remoción del suelo en forma manual utilizando azadón hasta una profundidad aproximada de 15 cm.

3.4.4 Siembra.

Las semillas procedentes del Ministerio de Agricultura - Ucayali, fueron remojadas en una solución al 2 por mil de Furadan (Carbofuran 4 F), luego se abrigó y en el momento de la siembra se mezcló la semilla con dosis mínimas de Curater 5G y Antracol.

La siembra fue hecha con tacarpo, con un distanciamiento de 25 x 25 cm, a una profundidad de 5 cm, con 8 a 10 semillas por golpe. El gasto de semilla fue de 3 kg, lo que corresponde a 39 kg/ha (Figura 2-A del anexo).

3.4.5 Fertilización.

Se empleó úrea (46%N) y cloruro de potasio (60% K₂O) de acuerdo a la fórmula 80 - 0 - 120 kg de N, P y K por hectárea. Las aplicaciones fueron fraccionadas, la primera fue a los 15 días de la siembra en forma localizada, la segunda aplicación fue a los 45 días.

3.4.6 Control de malezas.

Un solo deshierbo fue requerido, que se efectuó a los 40 días de la siembra. Las malezas más comunes fueron: macorilla (*Pteridium* sp), rabo de zorro (*Andropogon* sp), y remolina (*Paspalum virgatum*).

3.4.7 Control de plagas y enfermedades.

Aún cuando no hubieron daños de consideración en lo que a plagas se refiere se hizo una aplicación de Tamarón para combatir a los grillos cortadores, cuya población aumentó después de la siembra y en el momento de la floración. El daño provocado fue el corte transversal al nivel del cuello en las plántulas; en el caso de flores resultaron afectadas las anteras.

La dosis usada en ambos casos fue de 2 ml de producto comercial por litro de agua más adherente.

Para controlar la enfermedad "Mancha Carmelita" y "Quemado de la hoja" se hicieron dos aplicaciones preventivas del fungicida Kasugamicina a la dosis de 1 ml de producto comercial por litro de agua más adherente. Estas fueron hechas a los 40 y 60 días después de la siembra.

3.4.8 Cosecha.

Se realizó cuando la totalidad de los granos mostraron una coloración amarillo pajiza, se cortaron las plantas con hoz y se amontonaron en sus respectivas parcelas. La trilla fue hecha manualmente.

3.4.9 Secado, venteado y pesado.

El secado del grano tomó aproximadamente 10 horas de sol. Las impurezas fueron separadas usando ventilador, los granos limpios fueron pesados y su porcentaje de humedad determinado en laboratorio para finalmente ajustar dicho peso al 14% de humedad de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Peso corregido} = \frac{100 - \% \text{ humedad inicial}}{100 - 14} (\text{Peso inicial})$$

3.5 DETERMINACIÓN DE LAS OBSERVACIONES REGISTRADAS.

3.5.1 Rendimiento en grano.

Se determinó pesando el rendimiento del área neta cuyo valor final fue reajustado al 14% de humedad para finalmente convertir las unidades de g/m² a kg/ha.

3.5.2 Análisis de suelo.

Los análisis fueron efectuados por el presente tesista, de acuerdo a la metodología que emplea el Laboratorios de Suelos de la UNAS (Cuadro 13).

3.5.3 Análisis de tejidos.

Se muestrearon 3 golpes por parcela las cuales incluyeron granos, hojas y raíces. Dichas muestras fueron cuidadosamente lavadas primero con agua de caño y luego con agua destilada y acidulada antes de ser secadas y molidas separando granos, hojas y tallos (parte aérea) y raíces. La metodología de análisis para los elementos Ca, Mg, K, Fe y Mn, corresponde al "Método del espectrofotómetro de absorción atómica" descrito por la Association of Official Analytical Chemist (2).

El fósforo fue determinado según el "Método del color amarillo del Vanado - molibdo fosfórico modificado". El nitrógeno se analizó por el método MicroKjeldahl modificado (10).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 DEL RENDIMIENTO DE GRANO EN CASCARA.

En el Cuadro 2-A del anexo se presenta el análisis de variancia donde se aprecia alta significación estadística tanto para el efecto principal Roca Bayóvar y la interacción. Asimismo se aprecia significación para el efecto principal humus así como para el factorial versus el testigo.

Efecto residual de la Roca Bayóvar.

El análisis de los efectos principales para el factor Roca Bayóvar (Cuadro 14) nos indica que los niveles correspondientes a 2000 y 1500 kg/ha de Roca Bayóvar resultaron estadísticamente iguales con rendimientos de 2321 y 2289 kg/ha respectivamente. Los niveles 1000 y 500 kg/ha de Roca Bayóvar muestran rendimientos estadísticamente iguales de 1890 y 1585 kg/ha. El nivel 0 kg/ha de Roca Bayóvar rindió 1258 kg/ha ubicándose en último lugar de acuerdo a la prueba Duncan para efectos principales.

Resulta interesante notar que en el cultivo de arroz de la campaña anterior (Cuadro 6-A del anexo) todos los niveles de Roca Bayóvar resultaron con rendimientos estadísticamente iguales, mientras que a 17 meses de su incorporación se observa que los rendimientos aumentaron con cada incremento de la cantidad de fósforo aplicado lo que indicaría la mayor disponibilidad de fósforo, elemento que limita la productividad de los cultivos desarrollados en condiciones de suelos

ácidos. Así mismo en esta segunda cosecha se incrementaron ligeramente los rendimientos en grano en los niveles mayores de 1000 kg/ha de Roca Bayóvar, lo cual demuestra la mayor disponibilidad de este elemento conforme transcurre el tiempo tal como se demostrará en base a los cambios positivos en algunas propiedades químicas del suelo. Aparentemente, con menos de 1000 kg de Roca Bayóvar no se puede esperar un efecto residual importante.

CUADRO 14. Prueba de Duncan para el efecto residual de los niveles de Roca Bayóvar en el rendimiento de grano de arroz a 17 meses de su aplicación.

Nivel de Roca Bayóvar (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Significación* ($\alpha=0.05$)
a ₅ (2000)	2321.1	a
a ₄ (1500)	2289.6	a
a ₃ (1000)	1890.2	a b
a ₂ (500)	1585.8	b c
a ₁ (0)	1258.7	c

* : Los rendimientos con igual letra en la columna no difieren estadísticamente.

Efecto residual del humus.

El factor humus (Cuadro 15) por el contrario no mostró evidencias claras de su efecto residual como mejorador del suelo ya que de acuerdo a la prueba de Duncan para el efecto principal humus, el nivel b₁ (sin humus) mostró el

rendimiento más alto (2050 kg/ha) el cual a pesar de esto resultó estadísticamente igual al rendimiento del nivel b_3 equivalente a 4 t/ha (1885 kg/ha).

CUADRO 15. Prueba de Duncan para el efecto residual de los niveles de humus en el rendimiento de grano de arroz variedad "Chanca Banco" a 17 meses de su aplicación.

Nivel de humus (t/ha)	Promedio (kg/ha)	Significación* ($\alpha=0.05$)
b_1 (0)	2050.3	a
b_3 (4)	1885.9	a b
b_2 (2)	1671.1	b

* : Los rendimientos con igual letra en la columna no difieren estadísticamente

Así mismo el rendimiento con el nivel 2 t/ha resultó estadísticamente similar al rendimiento del nivel 4 t/ha. Estos resultados contrastan con los de Mamani (13), (Cuadro 7-A del anexo), quien no obtuvo diferencias entre los niveles de humus aplicado; esto sugiere que la variedad de arroz "Chanca Banco" no respondió positivamente a las aplicaciones de humus ni en un comienzo ni 17 meses después debido a los altos valores iniciales de materia orgánica del suelo (Cuadro 23).

Efecto de interacción.

Debido a que el efecto de la interacción entre los factores en estudio resultó altamente significativo (Cuadros 3-A y 4-A del anexo), fue necesario realizar el análisis de variancia de efectos simples así como las pruebas de Duncan.

Humus sobre Roca Bayóvar.

Cuando analizamos los efectos simples del humus (Cuadro 16 y Figura 1) en cada nivel de Roca Bayóvar, observamos que en el nivel a_1 (0 kg/ha de Roca Bayóvar) el nivel b_3 (4 t/ha humus) resultó superior a los niveles b_2 y b_1 (2 y 0 t/ha humus respectivamente); es decir el rendimiento del cultivo de arroz se vio favorecido por el humus residual cuando no se aplicó Roca Bayóvar. En contraste Mamani (13) (Cuadro 8-A del anexo) para este mismo nivel de Roca Bayóvar obtuvo rendimientos mucho mayores, los cuales son atribuibles a las mayores precipitaciones registradas durante las fases de floración y llenado de granos (aproximadamente 500 mm versus 350 mm en el actual experimento); los tres niveles de humus fueron estadísticamente similares al inicio del experimento debido a las altas reservas de materia orgánica del suelo antes de la aplicación del humus.

Pero cuando los niveles de fósforo aplicado fueron de 500, 1000 y 1500 kg/ha de Roca Bayóvar, los rendimientos en los 3 niveles de humus en estudio fueron estadísticamente similares lo que muestra que el efecto residual del humus, con estos niveles de fertilización fosfórica, resultó inapreciable a 17 meses de su aplicación; sin embargo con un nivel de fósforo de 2000 kg/ha de Roca Bayóvar, esta tendencia se acentúa ya que observamos que el nivel equivalente a 0 t/ha de humus tuvo un rendimiento estadísticamente superior a los niveles de 2 y 4 t/ha los cuales resultaron estadísticamente similares; nuevamente el efecto mejorador del humus resultó inapreciable a 17 meses de haber sido aplicado, debido probablemente a las altas reservas de materia orgánica del suelo (Cuadro 23).

CUADRO 16. Prueba de Duncan de los efectos simples del humus en cada nivel de Roca Bayóvar para el rendimiento de arroz.

Nivel de humus (t/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Significación* ($\alpha=0.05$)
Prueba de efectos simples para B en a ₁ (0 kg de Roca Bayóvar)		
b ₃ (4)	1794.0	a
b ₂ (2)	1000.0	b
b ₁ (0)	982.0	b
Prueba de efectos simples para B en a ₂ (500 kg de Roca Bayóvar)		
b ₁ (0)	1882.7	a
b ₂ (2)	1544.7	a
b ₃ (4)	1330.0	a
Prueba de efectos simples para B en a ₃ (1000 kg de Roca Bayóvar)		
b ₃ (4)	2032.7	a
b ₁ (0)	1924.7	a
b ₂ (2)	1713.3	a
Prueba de efectos simples para B en a ₄ (1500 kg de Roca Bayóvar)		
b ₃ (4)	2402.0	a
b ₁ (0)	2372.0	a
b ₂ (2)	2094.7	a
Prueba de efectos simples para B en a ₅ (2000 kg de Roca Bayóvar)		
b ₁ (0)	3090.0	a
b ₂ (2)	2002.7	b
b ₃ (4)	1870.7	b

* : Los rendimientos con igual letra en la columna no difieren estadísticamente.

En contraposición, Mamani (13), sí obtiene el esperado efecto benéfico del humus sólo con los niveles de 500 y 1000 kg/ha de Roca Bayóvar (Cuadro 8-A del anexo) donde claramente se observa que el nivel 4 t/ha de humus resultó ser superior a los niveles 2 y 0 t/ha.

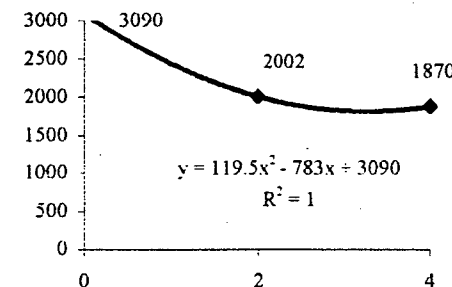
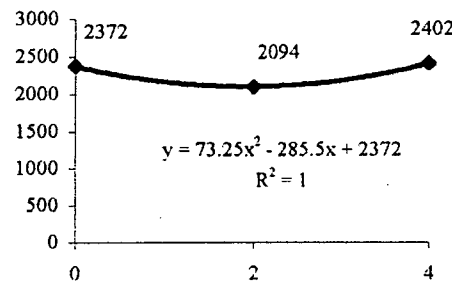
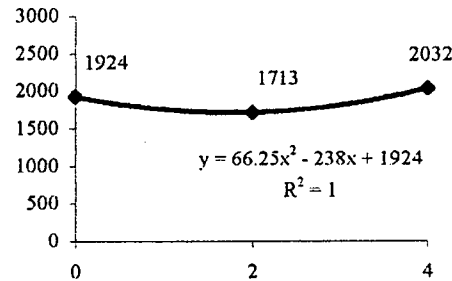
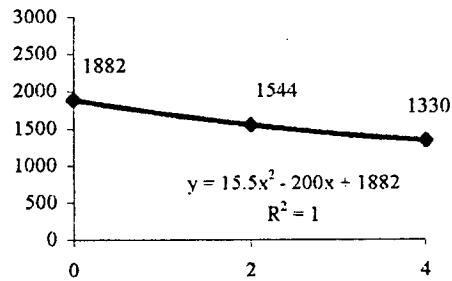
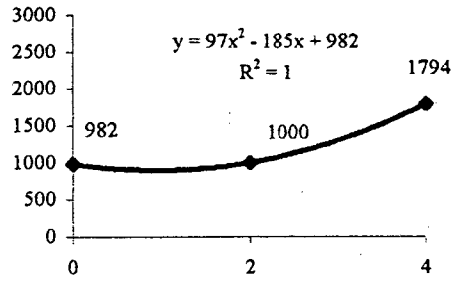
Estos resultados sugieren que el efecto residual del humus es sólo perceptible en ausencia de Roca Bayóvar, el cual al ser aplicado a niveles de 500, 1000, 1500 y 2000 kg/ha oculta la residualidad del humus aplicado hasta un nivel de 4 t/ha.

Roca Bayóvar sobre humus

Cuando analizamos los efectos simples de la Roca Bayóvar sobre el humus (Cuadro 17 y Figura 2) tenemos que para el primer nivel de humus (0 t/ha), los rendimientos fueron estadísticamente superiores para los niveles de 2000 y 1500 kg/ha de Roca Bayóvar, seguidos por los niveles de 1000 y 500 que rindieron en forma similar; el rendimiento más bajo obviamente fue dado por el nivel 0 kg/ha de Roca Bayóvar. Podemos notar que la ausencia de humus provoca que el efecto residual de la Roca Bayóvar sea mucho más evidente en comparación a lo obtenido por Mamani (13), (Cuadro 9-A del anexo).

Igualmente para el segundo nivel de humus (2 t/ha) se observan rendimientos estadísticamente similares para los niveles 1500, 2000, 1000 y 500 kg/ha de Roca Bayóvar; así mismo el rendimiento más bajo se obtuvo con el nivel 0 kg/ha de Roca Bayóvar, el cual resultó estadísticamente similar a los niveles 500 y 1000 kg/ha de Roca Bayóvar.

Rendimiento
(kg/ha)



Humus (t/ha)

FIGURA 1. Efecto de las dosis de humus en cada nivel de Roca Bayóvar aplicados hace 17 meses en el rendimiento de arroz de secano.

CUADRO 17. Prueba de Duncan de los efectos simples de la Roca Bayóvar en cada nivel humus para el rendimiento de arroz.

Nivel de Roca Bayóvar (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Significación* ($\alpha=0.05$)
Prueba de efectos simples para A en b_1 (0 t/ha humus)		
a_5 (2000)	3090.0	a
a_4 (1500)	2372.0	a b
a_3 (1000)	1924.7	b
a_2 (500)	1882.7	b
a_1 (0)	982.0	c
Prueba de efectos simples para A en b_2 (2 t/ha humus)		
a_4 (1500)	2094.7	a
a_5 (2000)	2002.7	a
a_3 (1000)	1713.3	a b
a_2 (500)	1544.7	a b
a_1 (0)	1000.0	b
Prueba de efectos simples para A en b_3 (4 t/ha humus)		
a_4 (1500)	2402.0	a
a_5 (2000)	2032.7	a b
a_3 (1000)	1870.7	a b
a_2 (500)	1794.0	a b
a_1 (0)	1330.0	b

* : Los rendimientos con igual letra en la columna no difieren estadísticamente.

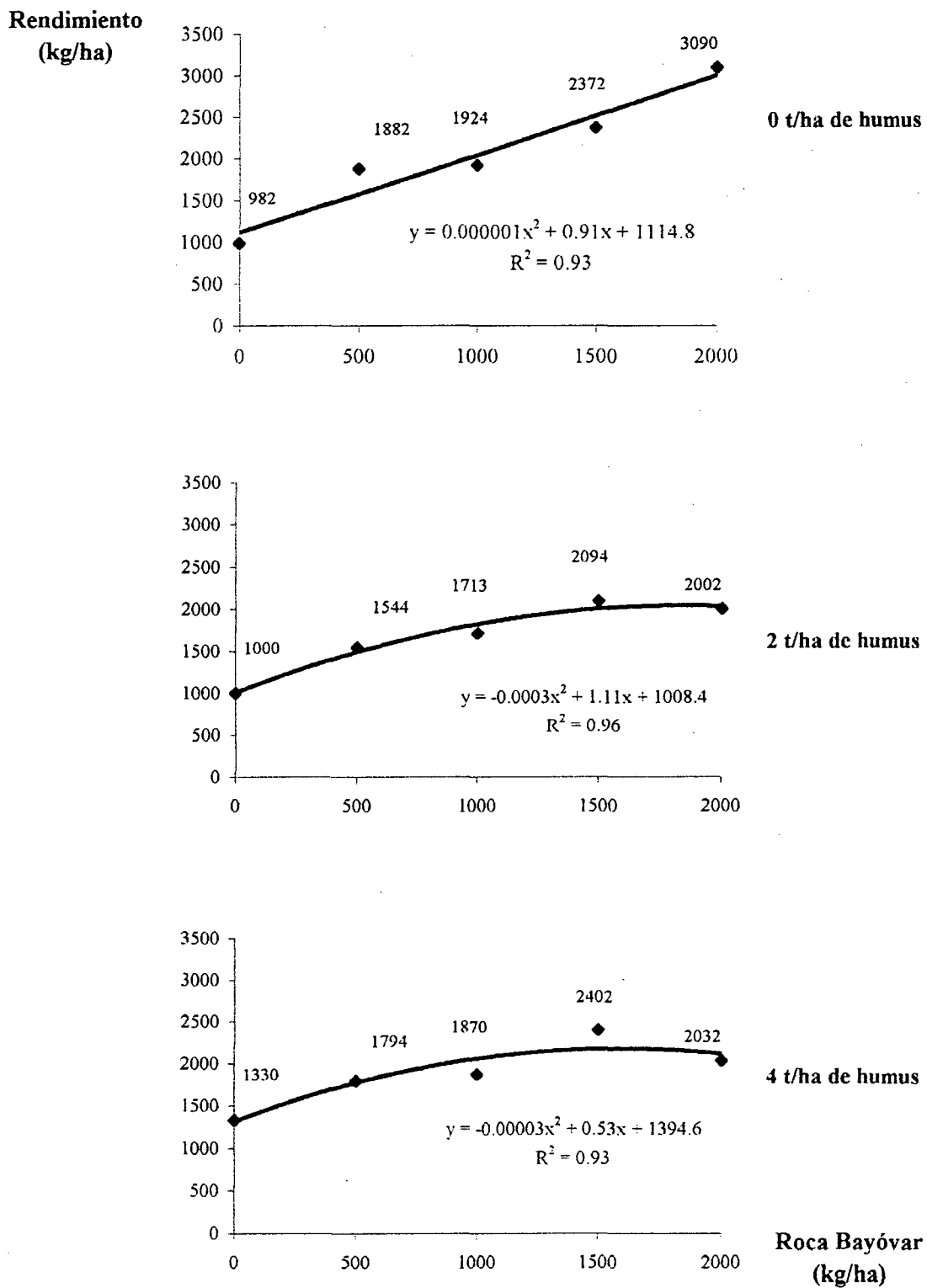


FIGURA 2. Efecto de las dosis de Roca Bayóvar en cada nivel de humus aplicados hace 17 meses en el rendimiento de arroz de secano.

En los dos efectos simples anteriores se observó que la Roca Bayóvar ejerció mayor influencia en el rendimiento del arroz cuando fue aplicado sin humus, mostrando 3 grupos Duncan. A medida que el nivel de humus se incrementó a 2 t/ha se observó una menor diferencia estadística (2 grupos Duncan). Ya en el tercer nivel de humus (4 t/ha) tenemos que casi todos los niveles de Roca Bayóvar resultan igualados. Este hecho sugiere que a 17 meses de haber sido aplicados, la Roca Bayóvar tuvo un mayor efecto residual conforme la cantidad de humus disminuyó lo que hace suponer que el efecto solubilizante del humus, sobre la Roca Bayóvar aplicados por Mamani (13), bien tuvo una duración muy corta o bien no llegó a obtenerse una respuesta significativa debido principalmente a la fuerte acidez del suelo tal como lo reportaron quienes probaron la Roca Bayóvar parcialmente acidulada en suelos ácidos de Yurimaguas (3).

4.2 DE LA ABSORCION DE NUTRIENTES POR EL ARROZ.

La cantidad de nutrientes removidos del suelo por las plantas de arroz depende de la cantidad de materia seca producida (kg/ha) y su concentración de nutrientes, lo que a su vez varía según el contenido de nutrientes disponibles en el suelo (18).

En el cuadro 18 se presentan las concentraciones promedio de 7 nutrientes. Los valores de paja comparados con los de Yoshida (25) (arroz de secano) y Howeler (9) (arroz bajo riego) (Cuadros 5 y 3) son intermedios con excepción del calcio. Las concentraciones de grano y de raíz presentan una mayor coherencia con los valores encontrados por Malavolta (14) (Cuadro 2).

CUADRO 18. Concentración promedio de nutrientes en las diferentes partes del arroz de secano al estado de madurez.*

Parte de la planta**	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
Grano	1.51	0.19	0.84	0.34	0.35	35	17
Paja	1.18	0.10	1.56	0.99	0.20	354	275
Raíz	1.45	0.14	1.85	1.01	0.30	3165	93

* Promedio de 6 observaciones

** En base seca

La escasa información sobre concentración de nutrientes en el arroz de secano imposibilita realizar más comparaciones; obviamente las diferencias encontradas se deben a las distintas condiciones de suelo, variedad cultivada y principalmente al clima, específicamente a la disminución de las lluvias, lo cual pudo modificar el nivel de humedad de los tejidos de las plantas afectando el nivel crítico de los nutrientes (25).

Los datos del cuadro 18 permitieron calcular las exigencias y la exportación de nutrientes de todos los tratamientos los cuales se muestran en los cuadros 10-A, 11-A, 12- A y 13- A del anexo.

Debido a que el rendimiento es una función de la absorción, los análisis de variancia de los nutrientes absorbidos por los granos en todos los tratamientos mostraron la misma tendencia que tuvo el rendimiento, esto significa que hubo alta significación estadística para la interacción entre el humus y la Roca Bayóvar (Cuadro 14-A del anexo).

La absorción de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Mn estuvo más influenciada por los efectos de la Roca Bayóvar sobre el humus (Cuadros 18- A y 20- A del anexo): En ausencia de humus los niveles de 2000 y 1500 kg/ha de Roca Bayóvar fueron estadísticamente superiores a los niveles 1000 y 500 kg/ha, los que a su vez son superiores al nivel 0 kg/ha. Con un nivel de 2 t/ha de humus los niveles de 1500, 2000, 1000 y 500 kg/ha de Roca Bayóvar resultaron ser similares, así mismo los niveles 1000, 500 y 0 kg de Roca Bayóvar resultaron ser iguales estadísticamente. Por último, con 4 t/ha de humus, la Roca Bayóvar no muestra un efecto coherente ya que los niveles 1500, 1000, 2000 y 0 resultaron iguales; la tendencia mostrada nos indica que a 17 meses de haber sido aplicados, la Roca Bayóvar tuvo un mayor efecto residual, sobre la absorción de los 7 elementos en estudio, conforme la cantidad de humus disminuyó.

Cuando analizamos el efecto contrario; es decir el que ejerce el humus sobre la Roca Bayóvar encontramos que el humus tuvo el esperado efecto residual sobre la absorción de nutrientes sólo en ausencia de Roca Bayóvar (Cuadros 17- A y 19- A del anexo), ejerciendo un efecto nulo con niveles de 500, 1000, 1500 y 2000 kg/ha de Roca Bayóvar.

Al final del ciclo biológico los contenidos de P y Mg del grano respecto a la paja (hojas y tallos) resultaron casi iguales; mientras que, los contenidos de N, K, Ca, Fe y Mn son mucho más altos en la paja (Cuadros 10-A y 11- A del anexo).

Los datos de los Cuadros 11-A y 13-A del anexo, fueron usados para preparar el cuadro 19, el cual muestra la exigencia de nutrientes de cada tratamiento para la producción de 1 t de grano de arroz. . Se observa que los tratamientos con mayor rendimiento fueron menos exigentes en nutrientes.

Independientemente de la diferencia en rendimiento, la remoción de N, P y K es bastante similar entre las variedades de alto y moderado rendimiento. La diferencia en la cantidad de nutrientes absorbidos se explica por el índice de cosecha. Un cultivo de alto índice de cosecha requiere menos nutrientes porque menores cantidades de estos son “retenidos” por la paja (25).

Esto explicaría la diferencia en los rendimientos, así como la mayor cantidad de nutrientes encontrados en los granos en aquellos tratamientos en los que se aplicaron mayores cantidades de Roca Bayóvar (tratamientos 13, 12 y 10). En comparación con aquellos tratamientos sin fertilización fosfórica, el índice de cosecha fue notablemente mas alto (Cuadro 20), lo que confirma que en términos de absorción de nutrientes existentes un favorable y significativo efecto residual de la Roca Bayóvar.

CUADRO 19. Cantidad de nutrientes necesarios para la producción de 1 t de grano arroz bajo condiciones de secano.

Tratamiento	Descripción		Rendimiento de grano (kg/ha)	Nutrientes absorbidos (kg/ha)						
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
13	2000	0	3090.0	36.3	3.6	36.1	20.4	7.3	1.71	0.41
12	1500	4	2402.0	42.4	4.3	44.3	25.6	8.3	1.90	0.55
10	1500	0	2372.0	39.5	4.2	40.3	23.1	7.8	1.60	0.50
11	1500	2	2094.7	41.9	4.0	43.6	25.2	8.2	1.70	0.55
9	1000	4	2032.7	46.6	4.4	49.7	29.0	9.0	2.10	0.60
14	2000	2	2002.7	42.3	4.0	44.1	25.5	8.3	1.80	0.56
7	1000	0	1924.7	43.7	4.2	45.9	26.6	8.5	1.90	0.58
4	500	0	1882.7	43.7	4.2	46.0	26.7	8.5	1.90	0.50
15	2000	4	1870.7	45.6	4.3	48.4	28.1	8.9	2.20	0.60
3	0	4	1794.0	41.0	3.9	42.4	24.4	8.1	1.70	0.53
8	1000	2	1713.3	47.7	4.5	51.2	29.8	9.2	2.20	0.66
5	500	2	1544.7	48.1	4.5	51.7	30.2	9.3	2.20	0.60
Testigo	---	...	1455.3	54.8	5.1	60.6	35.8	10.5	2.60	0.81
6	500	4	1330.0	58.5	5.3	65.4	38.6	11.1	2.90	0.87
2	0	2	1000.0	71.8	6.4	72.9	49.5	13.5	3.80	1.16
1	0	0	982.0	69.4	6.2	78.2	46.6	12.9	3.50	1.07
Promedio de tratamientos			1843.2	48.3	4.6	51.3	30.3	9.3	2.23	0.66
Desviación estándar			532.59	10.27	0.79	11.93	8.25	1.78	0.65	0.21

CUADRO 20. Índice de cosecha en el cultivo de arroz de secano.

Tratamiento	Descripción		Rendimiento de grano (kg/ha)	Rendimiento de paja (kg/ha)	Índice de Cosecha (grano/paja)
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)			
13	2000	0	3090.0	4097.0	0.75
12	1500	4	2402.0	4376.0	0.55
10	1500	0	2372.0	3932.0	0.60
11	1500	2	2094.7	3909.0	0.54
9	1000	4	2032.7	4398.0	0.46
14	2000	2	2002.7	3753.0	0.53
7	1000	0	1924.7	3719.0	0.52
4	500	0	1882.7	3690.0	0.51
15	2000	4	1870.7	3797.0	0.49
3	0	4	1794.0	3161.0	0.57
8	1000	2	1713.3	3791.0	0.45
5	500	2	1544.7	3479.0	0.44
Testigo	---	---	1455.3	4012.0	0.36
6	500	4	1330.0	3935.0	0.34
2	0	2	1000.0	3880.0	0.26
1	0	0	982.0	3562.0	0.28

4.3 DE LOS CAMBIOS EN LAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL SUELO.

4.3.1 Reacción del suelo.

La reacción del suelo refleja muchas características que influyen sobre el rendimiento del cultivo principalmente el porcentaje de saturación de aluminio y la fijación del fósforo. El exceso de aluminio provoca disminución en la absorción de P,K,Ca y Mg. También interfiere en la formación de las paredes celulares y en las reacciones de fosforilación (14).

A 17 meses de haberse aplicado las combinaciones de humus y roca fosfórica no se registraron cambios notables. El valor de pH inicial medido por Mamani (13), fue de 3.4 mientras que el rango de pH obtenido al final del experimento fluctuó entre 3.2 y 3.4 (Cuadro 21).

Este mismo cuadro muestra la evolución del pH del suelo: durante los primeros 8 meses (luego de los cultivos de arroz y soya), se observa que los valores de pH disminuyen lo cual es atribuible al efecto acidificante de la mineralización del humus aplicado (6).

Sin embargo al final del tercer cultivo (arroz), el pH del suelo tiende a retornar a su valor original conforme la cantidad de Roca Bayóvar aplicada fue mayor lo cual nos demuestra que su acción neutralizante es lenta y mínima.

CUADRO 21. Reacción del suelo (pH) al inicio, 8 y 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus de lombriz en una secuencia de cultivos en un suelo Dystropept.

Tratamiento	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	Tiempo (meses)			Promedio**
			0*	8*	17	
1	0	0	3.4	3.1	3.2	
2	0	2	3.4	3.2	3.3	3.2
3	0	4	3.4	3.1	3.2	
4	500	0	3.4	3.2	3.2	
5	500	2	3.4	3.1	3.3	3.3
6	500	4	3.4	3.1	3.3	
7	1000	0	3.4	3.2	3.3	
8	1000	2	3.4	3.2	3.4	3.3
9	1000	4	3.4	3.4	3.3	
10	1500	0	3.4	3.3	3.4	
11	1500	2	3.4	3.4	3.3	3.4
12	1500	4	3.4	3.2	3.4	
13	2000	0	3.4	3.3	3.4	
14	2000	2	3.4	3.4	3.4	3.4
15	2000	4	3.4	3.6	3.4	
16	----	--	3.4	3.2	3.4	3.4

* Valores medidos por Mamani (13).

** Promedio de la Reacción del suelo (pH) a 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus de lombriz.

4.3.2 Fósforo.

El valor de fósforo disponible inicial establecido por Mamani (13), fue de 13.57 ppm, y después de la aplicación de roca fosfórica los valores aumentaron en gran proporción (Cuadro 22). En promedio los valores de fósforo disponible

aumentaron con cada incremento en la cantidad de Roca Bayóvar aplicada, dichos valores fluctuaron entre 81 ppm y 120 ppm con tasas de aplicación de 500 y 1500 kg/ha de Roca Bayóvar. respectivamente, mostrando una ligera disminución (109 ppm P) frente a la máxima tasa de aplicación (2000 kg/ha de Roca Bayóvar), lo cual nos podría indicar un punto de equilibrio entre la cantidad de fósforo aplicado al suelo y su disponibilidad para la planta de arroz cultivada en secano. También es de esperar que el gran incremento del fósforo disponible en el suelo provenga en parte del fósforo adicional de la mineralización del humus, proceso favorecido por las prácticas de labranza así como por las altas temperaturas del suelo tal como lo indican Eid, Black y Kempthorne (21).

Así mismo se observa (Figura 3) el efecto positivo del humus sobre la disponibilidad del fósforo con niveles mayores de 1000 kg/ha de Roca Bayóvar. Esto nos permite suponer la presencia de complejos fosfohúmicos formados gracias a las aplicaciones de humus, quedando así demostrado el efecto benéfico indirecto que tuvo el humus sobre el rendimiento del arroz de secano. Resaltan además los altos valores de fósforo disponible en el suelo, incluso en aquellos tratamientos sin Roca Bayóvar, favorecidos seguramente por la topografía del suelo en estudio y la cercanía de las parcelas.

El fósforo es particularmente importante para el arroz de secano debido a que mejora la eficiencia de uso del agua por parte del cultivo según mencionan Fageria y Barbosa (14).

P disponible
(ppm)

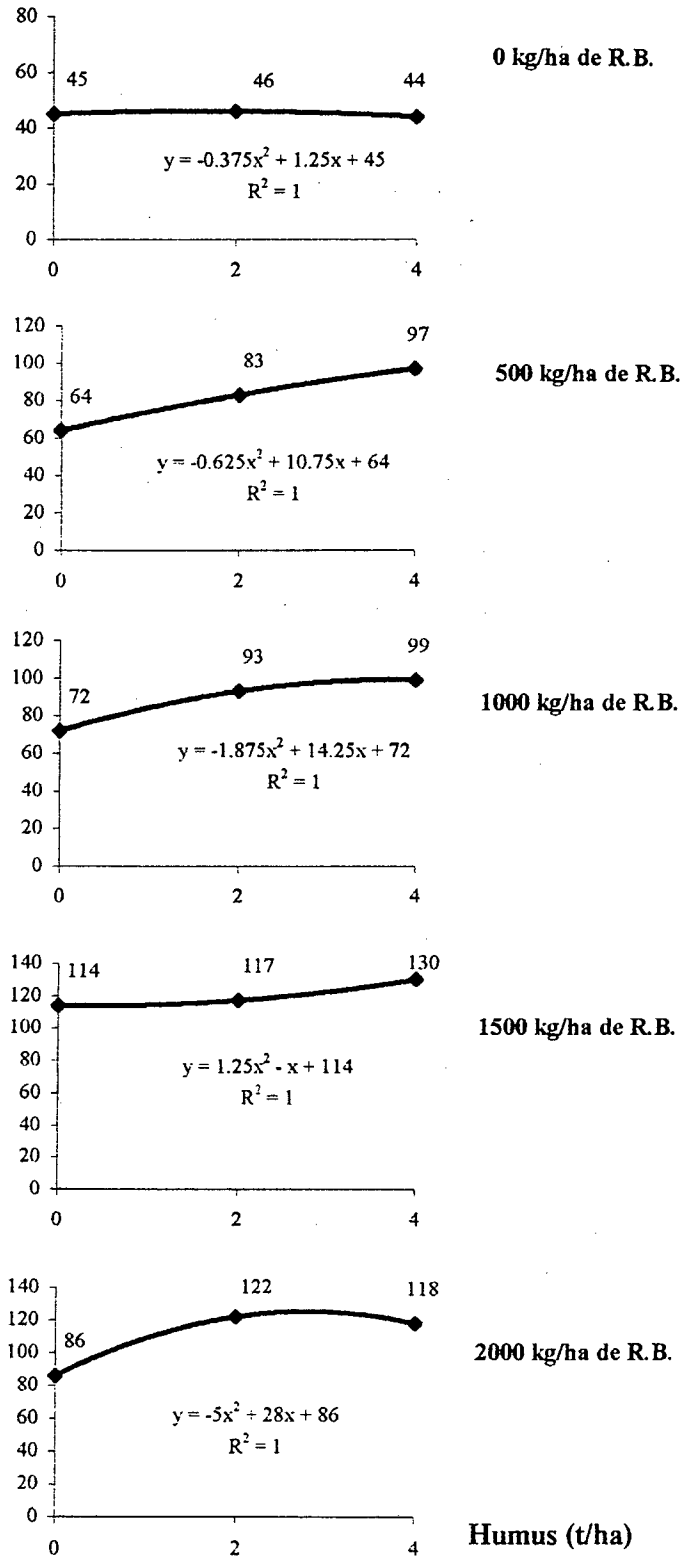


FIGURA 3. Efecto de las dosis de humus sobre cada nivel de Roca Bayóvar aplicados hace 17 meses en el contenido de fósforo disponible del suelo.

CUADRO 22. Contenido de fósforo disponible (ppm) al inicio, 8 y 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus de lombriz en una secuencia de cultivos en un suelo Dystropept.

Tratam.	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	Tiempo (meses)			Promedio**
			0*	8*	17	
1	0	0	13.57	23.60	45	
2	0	2	13.57	40.42	46	45
3	0	4	13.57	20.80	44	
4	500	0	13.57	26.45	64	
5	500	2	13.57	28.01	83	81
6	500	4	13.57	26.45	97	
7	1000	0	13.57	56.13	72	
8	1000	2	13.57	61.09	93	88
9	1000	4	13.57	60.12	99	
10	1500	0	13.57	48.30	114	
11	1500	2	13.57	74.72	117	120
12	1500	4	13.57	76.36	130	
13	2000	0	13.57	79.64	86	
14	2000	2	13.57	60.94	122	109
15	2000	4	13.57	74.72	118	
16	----	--	13.57	57.65	124	

* Valores medidos por Mamani (13).

** Promedio del contenido de fósforo disponible (ppm) a 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus de lombriz

4.3.3 Materia orgánica.

Los valores de porcentaje de materia orgánica (Cuadro 23) en general han disminuido debido a pérdidas atribuibles al efecto de la erosión y en menor medida debido al proceso de mineralización. Las altas precipitaciones así como las

altas temperaturas diurnas (>25°C) unidas al proceso de labranza activan el proceso de mineralización (7).

CUADRO 23. Contenido de materia orgánica (%) del suelo al inicio, 8 y 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus de lombriz en una secuencia de cultivos en un Dystropept.

Tratamiento	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	Tiempo (meses)		
			0*	8*	17
1	0	0	5.58	5.58	4.09
2	0	2	5.58	5.72	4.70
3	0	4	5.58	5.51	4.29
4	500	0	5.58	5.58	4.29
5	500	2	5.58	5.59	4.65
6	500	4	5.58	4.55	4.27
7	1000	0	5.58	5.93	5.17
8	1000	2	5.58	6.77	4.62
9	1000	4	5.58	5.72	4.96
10	1500	0	5.58	5.99	5.80
11	1500	2	5.58	6.34	4.70
12	1500	4	5.58	4.20	4.91
13	2000	0	5.58	6.41	4.92
14	2000	2	5.58	6.20	5.32
15	2000	4	5.58	6.20	5.10
16	----	--	5.58	6.03	5.70

* : Valores medidos por Mamani (13).

Sin embargo los porcentajes de materia orgánica aún se mantienen en un nivel mayor de 4% considerado como alto debido al pH del suelo, lo que se

traduce en una menor eficiencia en los procesos de humificación y mineralización produciéndose la acumulación de materia orgánica (23).

4.3.4 Capacidad de intercambio catiónico (CIC efectiva) - Porcentaje de saturación de aluminio y calcio - magnesio.

Hasta los primeros ocho meses se observó (Cuadro 24) el efecto positivo que tuvo tanto el humus como la Roca Bayóvar, luego de esto, los valores de CIC efectiva (CIC_e) alcanzaron en promedio los 10 meq/100 g suelo para todos los tratamientos. Ni el efecto del humus ni el de la Roca Bayóvar, salvo para los niveles de 4 t/ha de humus y 2000 kg/ha de Roca Bayóvar, provocaron este incremento, recayendo este efecto en la mineralización del alto contenido inicial de materia orgánica del suelo. Sin embargo el porcentaje de saturación de aluminio no disminuyó notablemente a pesar de las fuertes aplicaciones de Roca Bayóvar: de 67.16% de saturación de aluminio se redujo hasta, 65% en promedio, para un nivel de 500 kg/ha de Roca Bayóvar y 61% para los niveles 1000, 1500 y 2000 kg/ha de Roca Bayóvar, lo cual demuestra los pocos atributos que esta tiene cuando actúa sola como enmienda controladora de la toxicidad alumínica (1).

El efecto del humus si resulto ser positivo ya que gracias a sus propiedades solubilizantes logró incrementar la efectividad en calante de la Roca Bayóvar (Figura 4). Aún cuando no se pueden establecer comparaciones ya que no se reportaron valores iniciales, el porcentaje de saturación de calcio más magnesio subió en promedio de 22% hasta 30% (Cuadro 24).

CUADRO 24. CIC efectiva (meq/100 g suelo), porcentaje de saturación de aluminio y calcio-magnesio del suelo; al inicio, 8 y 17 meses después de la aplicación de Roca Bayóvar y humus en la rotación de cultivos.

Trat.	Descripción		TIEMPO (MESES)						
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	CIC _e			% Sat. Al			%Sat.Ca+Mg
			0*	8*	17	0*	8*	17	17
1	0	0	6.7	5.95	10.2	67.16	55.85	66	25
2	0	2	6.7	6.90	10.6	67.16	44.93	66	23
3	0	4	6.7	6.45	10.2	67.16	51.16	66	23
4	500	0	6.7	6.30	10.6	67.16	49.21	68	22
5	500	2	6.7	6.70	10.5	67.16	56.71	65	25
6	500	4	6.7	6.40	9.8	67.16	58.60	64	26
7	1000	0	6.7	2.75	10.0	67.16	40.41	65	25
8	1000	2	6.7	7.10	9.8	67.16	44.37	60	30
9	1000	4	6.7	7.00	10.2	67.16	52.14	60	30
10	1500	0	6.7	6.95	10.3	67.16	38.84	63	27
11	1500	2	6.7	7.65	10.5	67.16	39.17	62	28
12	1500	4	6.7	9.90	10.5	67.16	33.97	60	29
13	2000	0	6.7	7.90	9.8	67.16	48.10	62	27
14	2000	2	6.7	10.85	10.4	67.16	36.87	61	29
15	2000	4	6.7	9.65	10.5	67.16	23.63	60	30
16	----	--	6.7	7.18	10.9	67.16	52.28	64	26

* : Valores medidos por Mamani (13).

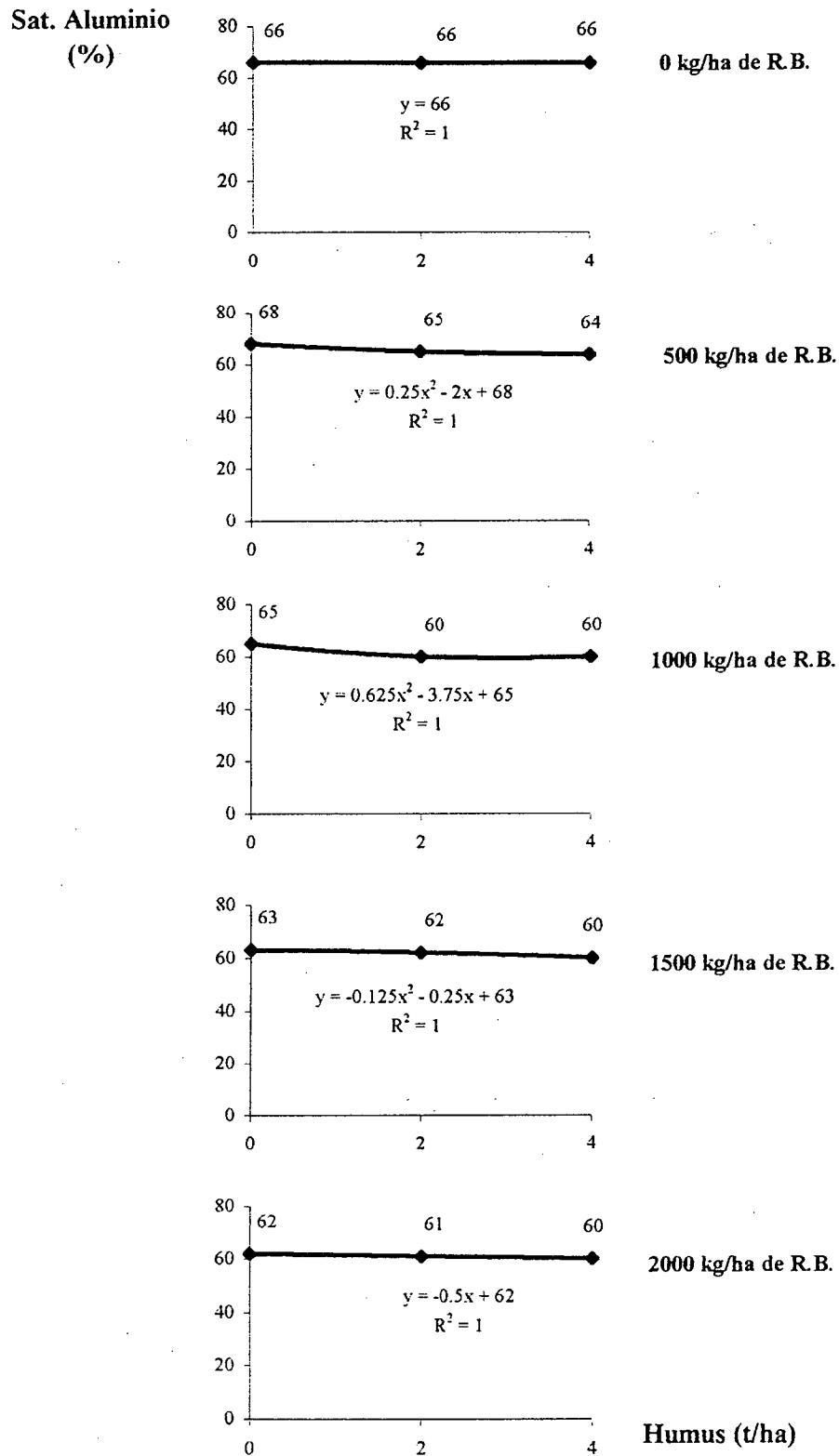


FIGURA 4. Efecto de las dosis de humus sobre cada nivel de Roca Bayóvar aplicados hace 17 meses en el porcentaje de saturación de aluminio del suelo.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos; se puede concluir en lo siguiente:

5.1 DEL RENDIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES.

- A 17 meses de su aplicación el humus no mostró un efecto residual directo sobre el rendimiento.
- La Roca Bayóvar, por el contrario, aplicada a niveles mayores de 1000 kg/ha mostró alta residualidad.
- El esperado efecto positivo de la interacción resultó nulo. En términos prácticos para obtener cosechas aceptables (> 2000 kg/ha) siempre fue necesaria la Roca Bayóvar con un nivel mínimo de 1000 kg/ha.
- Los contenidos de N, K, Ca, Fe y Mn fueron mucho más altos en la paja; mientras que, el P y Mg en promedio fueron equitativamente compartidos entre el grano y la paja.
- El orden decreciente en las cantidades de nutrientes absorbidos (raíces, paja y granos) fue: $N=K>Ca>Mg>P>Fe>Mn$; mientras que para los nutrientes exportados (granos en cáscara) el orden varió: $N>K>Ca=Mg>P>Fe=Mn$. Así mismo las altas aplicaciones de Roca Bayóvar permitieron obtener mayores índices de cosecha, es decir menor cantidad de los nutrientes absorbidos quedaron retenidos en la paja.

5.2 DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO.

- El contenido de materia orgánica casi no se vio afectado por la aplicación del humus, debido probablemente a la alta tasa de erosión de los suelos con estas características topográficas. Por otro lado, debido al bajo pH del suelo, predomina la acumulación de materia orgánica provocando valores altos en el suelo (> 4%).
- El pH fue levemente afectado, a pesar de esto, la CIC efectiva si aumentó considerablemente gracias sobre todo al aporte de óxidos de calcio y magnesio provenientes de la Roca Bayóvar lo cual a su vez significó una leve reducción del porcentaje de saturación de aluminio.
- Los niveles de fósforo disponible aumentaron grandemente, gracias no sólo a las aplicaciones de Roca Bayóvar sino también al humus aplicado, el cual actuó como un agente solubilizante, por lo que podemos afirmar que nuestro suelo en estudio posee grandes reservas de fósforo, las cuales podrían continuar siendo explotadas preferiblemente por ciertos cultivos permanentes; es decir que los cultivos anuales representan sólo un período de transición recomendándose luego de 2 o 3 campañas su no utilización por el alto riesgo de erosión que implica su siembra en suelos de alta pendiente.

VI. RECOMENDACIONES

1. El uso del humus en suelos de características similares al del presente experimento, merece una consideración especial debido a su costo relativamente elevado.
2. La aplicación de estos niveles de fertilización fosfórica sólo se justificará para sistemas de producción con cultivos asociados teniendo como objetivo final el establecimiento de cultivos permanentes. Los cultivos anuales como el arroz sólo cubrirán en el mejor de los casos, los costos de instalación de los cultivos permanentes.
3. Continuar la evaluación del efecto de la Roca Bayóvar debido a los altos valores de fósforo disponible en el suelo al final del experimento.

VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en un terreno de propiedad de la familia Cavero, ubicado en la margen derecha de la carretera Tingo María – Pucallpa, a la altura del kilómetro 20, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, Región Andrés Avelino Cáceres; teniendo como objetivos: Evaluar el efecto residual del humus y roca fosfórica en el rendimiento del cultivo de arroz en condiciones de secano, determinar el efecto del humus y la roca fosfórica en la absorción de nutrientes por el arroz y evaluar los cambios producidos en las características químicas del suelo después de tres campañas agrícolas.

Los componentes en estudio estuvieron representados por el factor A como niveles de Roca Bayóvar (kg/ha) : $a_1 = 0$, $a_2 = 500$, $a_3 = 1000$, $a_4 = 1500$ y $a_5 = 2000$; y como Factor B los niveles de humus de lombriz (t/ha) : $b_1 = 0$, $b_2 = 2$ y $b_3 = 4$; más un testigo sin aplicación de Roca Bayóvar, humus y abonos sintéticos. El diseño experimental empleado fue el de Bloque Completo Randomizado con arreglo factorial de $5 \times 3 + 1$ testigo con tres repeticiones, utilizándose la Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para la comparación de medias.

Los resultados obtenidos indican que el humus no mostró efecto residual directo sobre el rendimiento a los 17 meses de su aplicación, por el contrario, la Roca Bayóvar, aplicada a niveles mayores de 1000 kg/ha mostró alta reisdualidad, y el esperado efecto de la interacción de los dos factores resultó nulo.

Así mismo las altas aplicaciones de Roca Bayóvar permitieron obtener mayores índices de cosecha, es decir menor cantidad de los nutrientes absorbidos quedaron retenidos en la paja. Los contenidos de N, K, Ca, Fe y Mn resultaron ser más altos en la paja; mientras que el P y Mg en promedio fueron equitativamente compartidos entre el grano y la paja.

En lo que respecta a los cambios producidos en las propiedades químicas del suelo, se pudo determinar que el contenido de materia orgánica no se vio afectado por la aplicación del humus debido a la alta erosión del suelo (alta pendiente); el pH fue levemente afectado, la CIC efectiva se incrementó considerablemente debido al aporte de óxidos de calcio y magnesio provenientes de la Roca Bayóvar significando una leve reducción del porcentaje de saturación de aluminio. Los niveles de fósforo disponible aumentaron significativamente, debido a las aplicaciones de Roca Bayóvar y humus de lombriz, pudiendo ser explotadas preferiblemente por ciertos cultivos permanentes; mientras que para cultivos anuales luego de 2 ó 3 campañas se recomienda su no utilización por el alto riesgo de erosión que implica su siembra en suelos de alta pendiente.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ACOSTA, V. R. 1983. Evaluación del efecto de enmiendas controladoras de la acidez y fuentes de fósforo en suelos ácidos. Tesis Ing. Agr. UNAS - Tingo María. 77 p.
2. AOAC. 1975. Official Methods of Analysis International. 16 th Edition. 62 p.
3. BANDY, E. y LEON, L. 1983. Rock phosphate utilization. Agronomic Economic Research on Soils of the Tropics. 1980-1981. Technical report of North Caroline State University. Soil Science Department NC, Raleigh. 256 p.
4. CERNA, P. M. 1991. Comparativo de tres líneas promisorias y tres variedades comerciales de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones de secano en Pucallpa. Tesis Ing. Agr. UNAS – Tingo María. 89 p.
5. CHANG, T. y VERGARA, B. 1975. Varietal diversity and morpho - agronomic characteristics of upland rice; Major Research in upland rice. IRRI. Filipinas. Pp: 72 - 90.
6. FASSBENDER, H. W. 1980. Química de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Costa Rica, 398 p.
7. GARCIA, J. 1982. Edafología y fertilización agrícola. Edit. Aedos. 240p.
8. GROS, A. 1986. Abonos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España. 123 p.
9. HOWELER, R. 1986. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales. CIAT. Cali-Colombia. 28 p.

10. INIPA. 1984. Análisis de suelos, tejido vegetal, aguas y fertilizantes. Manual Técnico N° 3. Lima - Perú. 57 p.
11. LEON L. 1991. La experiencia del Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes en el uso de rocas fosfóricas en América Latina. Revista Facultad de Agronomía (Maracay) 17: 49 – 66.
12. LEON L. y O. ARREGOCES. 1985. El fósforo y la fertilización fosfórica en los suelos arroceros de la América Latina. El Arroz, CIAT. Cali - Colombia. Pp: 341 - 366.
13. MAMANI M. 1997. Niveles de roca fosfórica y humus en una secuencia de cultivos en un Dystropept de Tingo María. Tesis Ing. Agr. UNAS - Tingo María. 128 p.
14. MALAVOLTA E. Y D. FORNASIERI. 1982. Nutrição mineral da cultura do arroz. Cultura do arroz de sequeiro, Instituto da fósforo y potasa; Brasil. Pp: 95 – 135.
15. MENDEZ J. y M. LOJO. 1972. Humus. Universidad de Salamanca. España. Pp: 149 –157.
16. MISHRA, G. 1991. Nutrient management in upland rice, Indian Farmer's Digest. India. Pp: 11 - 13.
17. PAREDES R. 1990. Efecto de la dolomita, fuente de fósforo y micorriza en la nutrición y crecimiento de la soya (*Glycine max* L. Merrill) en un suelo ácido. Tesis Ing. Agr. UNAS – Tingo María. Pp: 25 - 26.

18. PERDOMO M., GONZALES J., DE GALVIS Y., GARCIA E. y ARREGOCES. 1985. Los macronutrientes en la nutrición de la planta de arroz. El arroz, CIAT. Cali - Colombia. Pp: 103 - 132.
19. PEREZ M. 1995. Solubilidad y eficiencia agronómica de algunas rocas fosfóricas venezolanas mediante el uso de técnicas isotópicas. Rev.Fac.Agron.(Maracay) 45 (4) : 483 – 505.
20. RAMIREZ G. 1991. Uso potencial de rocas fosfóricas en la agricultura de Costa Rica. Rev.Fac.Agron.(Maracay) 17: 167 – 179.
21. SEATZ W., STERGES, A. And KRAMER, J. 1959. The influence of organic matter additions on rock phosphate availability to crops. American Soil Science. 23(5): 374-376.
22. SIFUENTES M. 1997. Evaluación de fertilizantes fosfatados mezclados con humus y determinación del coeficiente aparente de uso en un suelo ácido en el cultivo de maíz en Tingo María. Tesis Ing. Agr. UNAS-Tingo María. Pp 24-27.
23. SOMBROEK G. 1966. Amazon Soils. Wagenigen, Center for agriculture. Publications and Documentation. 292 p.
24. STELLA M. y A. FERREIRA. 1987. Efecto del manejo del agua en la absorción del Fe, Mn y Zn por el arroz; Cienc. Pract. Lavras, 11 (2) : 111 - 119, jul/dez.
25. YOSHIDA S. 1975. Factors that limit the growth and yields of upland rice; Major research in Upland rice. IRRI Filipinas. Pp: 46 - 71.

IX. ANEXO

CUADRO 1-A. Prueba de Duncan para el rendimiento de granos en cáscara (14% H°).

Tratamiento	Descripción		Rendimiento (kg/ha)	Significación ($\alpha=0.05$)
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)		
T13	2000	0	3090.0	a
T12	1500	4	2402.0	b
T10	1500	0	2372.0	b
T11	1500	2	2094.7	b c
T9	1000	4	2032.7	b c
T14	2000	2	2002.7	b c
T7	1000	0	1924.7	b c d
T4	500	0	1882.7	b c d
T15	2000	4	1870.7	b c d
T3	0	4	1794.0	b c d
T8	1000		1713.3	c d
T5	500	2	1544.7	c d e
Testigo	--	--	1455.3	c d e
T6	500	4	1330.0	d e
T2	0	2	1000.0	e
T1	0	0	982.0	e

* : Los rendimientos con igual letra en la columna no difieren estadísticamente

CUADRO 2-A. Análisis de variancia para rendimiento de grano en cáscara ajustado al 14% de humedad.

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS
Bloque	2	1612573.0 **
Tratamiento	15	850957.0 **
Factorial	14	877351.0 **
A (R. Bayóvar)	4	1877497.6 **
B (Humus)	2	542397.6 *
A x B	8	461016.7 **
Factorial vs Testigo	1	481431.0 *
Error	30	108445.0
Total	47	

Coefficiente de Variabilidad (%) : 17.86612

* : Significación estadística al 5% de Probabilidad

** : Significación estadística al 1% de Probabilidad

CUADRO 3-A. Análisis de variancia de efectos simples de la interacción AB para el carácter rendimiento de arroz.

FV	GL	CUADROS MEDIOS
A en b ₁	4	1777212.4 **
A en b ₂	4	568117.1 **
A en b ₃	4	454201.6 **
Error	30	108445.0

* : Significación estadística al 5% de Probabilidad

** : Significación estadística al 1% de Probabilidad

CUADRO 4-A. Análisis de variancia de efectos simples de la interacción BA para el carácter rendimiento.

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS
B en a ₁	2	645052.00 *
B en a ₂	2	232883.11 NS
B en a ₃	2	79149.78 NS
B en a ₄	2	86133.78 NS
B en a ₅	2	1343245.80 **
Error	30	108445.00

* : Significación estadística al 5% de Probabilidad

** : Significación estadística al 1% de Probabilidad

NS : No significativo

CUADRO 5-A. Prueba de Duncan para el rendimiento de granos en cáscara (14% H°).

Mamani (1997)		
Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Significación* ($\alpha=0.05$)
T6	2724.2	a
T3	2461.9	a b
T9	2356.2	a b
T2	2265.7	a b
T1	2132.0	a b
T13	2064.3	a b
T14	2013.5	a b
T8	1979.7	a b
T11	1941.6	a b
T5	1835.9	a b
T10	1755.5	a b
T15	1747.0	a b
T7	1742.8	b
T12	1611.7	b c
T4	1522.8	c
T16	643.0	c

*: Los rendimientos con igual letra en la columna no difieren estadísticamente

CUADRO 6-A. Prueba de Duncan para el efecto residual de los niveles de Roca Bayóvar en el rendimiento de grano de arroz Var. Chanca Banco.

Mamani 1997		
Nivel Roca Bayóvar (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Significación* ($\alpha=0.05$)
a ₁ (0)	2286.5	a
a ₂ (500)	2033.6	a
a ₃ (1000)	2026.2	a
a ₅ (2000)	1941.6	a
a ₄ (1500)	1769.6	a

* : Los rendimientos con igual letra en la columna no difieren estadísticamente.

CUADRO 7-A. Prueba de Duncan para el efecto residual de los niveles de humus en el rendimiento de grano de arroz Var. Chanca Banco.

Mamani, 1997		
Nivel Humus (t/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Significación* ($\alpha=0.05$)
b ₃ (4)	2180.2	a
b ₂ (2)	2007.3	a
b ₁ (0)	1843.4	a

* : Los rendimientos con igual letra en la columna no difieren estadísticamente.

CUADRO 8-A. Prueba de Duncan de los efectos simples del humus en cada nivel de Roca Bayóvar para el rendimiento de grano de arroz.

Mamani (1997)		
Nivel de Humus (t/ha)	Promedios (kg/ha)	Significación* ($\alpha=0.05$)
Prueba de efectos simples para B en a₁ (0 kg/ha de Roca Bayóvar)		
b ₃ (4)	2461.9	a
b ₂ (2)	2265.7	a
b ₁ (0)	2132.0	a
Prueba de efectos simples para B en a₂ (500 kg/ha de Roca Bayóvar)		
b ₃ (4)	2724.2	a
b ₂ (2)	1835.9	b
b ₁ (0)	1522.8	b
Prueba de efectos simples para B en a₃ (1000 kg/ha de Roca Bayóvar)		
b ₃ (4)	2356.2	a
b ₂ (2)	1979.7	a b
b ₁ (0)	1742.8	b
Prueba de efectos simples para B en a₄ (1500 kg/ha de Roca Bayóvar)		
b ₂ (2)	1941.6	a
b ₁ (0)	1755.5	a
b ₃ (4)	1611.7	a
Prueba de efectos simples para B en a₅ (2000 kg/ha de Roca Bayóvar)		
b ₁ (0)	2064.3	a
b ₂ (2)	2013.5	a
b ₃ (4)	1747.0	a

* : Los rendimientos con igual letra en la columna no difieren estadísticamente

CUADRO 9-A. Prueba de Duncan de los efectos simples de la Roca Bayóvar en el nivel de humus para el rendimiento de grano de arroz.

Mamani (1997)	
Nivel de Roca Bayóvar (kg/ha)	Promedios (kg/ha)
Prueba de efectos simples para A en b₁ (0 t/ha humus)	
a ₁ (0)	2132.0
a ₅ (2000)	2064.3
a ₄ (1500)	1755.5
a ₃ (1000)	1742.8
a ₂ (500)	1522.8
Prueba de efectos simples para A en b₂ (2 t/ha humus)	
a ₁ (0)	2265.7
a ₅ (2000)	2013.5
a ₃ (1000)	1979.7
a ₄ (1500)	1941.6
a ₂ (500)	1835.9
Prueba de efectos simples para A en b₃ (4 t/ha humus)	
a ₂ (500)	2724.2
a ₁ (0)	2461.9
a ₃ (1000)	2356.2
a ₅ (2000)	1747.0
a ₄ (1500)	1611.7

Cuadro 10-A : Nutrientes absorbidos por los granos del cultivo de arroz de secano.

Tratamiento	Descripción		Rendimiento de grano (kg/ha)	Nutrientes absorbidos (kg/ha)						
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
13	2000	0	3090,0	46,7	5,9	26,0	10,5	10,8	0,11	0,05
12	1500	4	2402,0	36,3	4,6	20,2	8,2	8,4	0,08	0,04
10	1500	0	2372,0	35,8	4,5	19,9	8,1	8,3	0,08	0,04
11	1500	2	2094,7	31,6	4,0	17,6	7,1	7,3	0,07	0,03
9	1000	4	2032,7	30,7	3,9	17,1	6,9	7,1	0,07	0,03
14	2000	2	2002,7	30,2	3,8	16,8	6,8	7,0	0,07	0,03
7	1000	0	1924,7	29,1	3,7	16,2	6,5	6,7	0,07	0,03
4	500	0	1882,7	28,4	3,6	15,8	6,4	6,6	0,07	0,03
15	2000	4	1870,7	28,3	3,6	15,7	6,4	6,6	0,07	0,03
3	0	4	1794,0	27,1	3,4	15,0	6,1	6,3	0,06	0,03
8	1000	2	1713,3	25,9	3,3	14,4	5,8	6,0	0,06	0,03
5	500	2	1544,7	23,3	2,9	13,0	5,3	5,4	0,05	0,03
Testigo	---	...	1455,3	22,0	2,9	12,2	5,0	5,1	0,05	0,02
6	500	4	1330,0	20,1	2,5	11,2	4,5	4,7	0,05	0,02
2	0	2	1000,0	15,1	1,9	8,4	3,4	3,5	0,04	0,02
1	0	0	982,0	14,8	1,9	8,3	3,3	3,4	0,03	0,02
Promedio de tratamientos			1843,2	27,8	3,5	15,5	6,3	6,5	0,06	0,03
Desviación estándar			532,59	8,04	1,00	4,47	1,81	1,86	0,01	0,01

Cuadro 11-A : Nutrientes absorbidos por la paja del cultivo de arroz de secano.

Tratamiento	Descripción		Rendimiento de paja (kg/ha)	Nutrientes absorbidos (kg/ha)						
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
13	2000	0	4097,0	48,34	3,69	63,91	40,56	8,19	1,45	1,13
12	1500	4	4376,0	51,63	4,38	68,27	43,32	8,75	1,55	1,20
10	1500	0	3932,0	46,63	4,44	61,34	38,93	7,86	1,39	1,08
11	1500	2	3909,0	46,12	3,52	60,98	38,70	7,82	1,38	1,07
9	1000	4	4398,0	51,90	3,96	68,61	43,54	8,80	1,56	1,21
14	2000	2	3753,0	44,29	3,38	58,55	37,15	7,51	1,33	1,03
7	1000	0	3719,0	43,88	3,35	58,02	36,82	7,44	1,32	1,02
4	500	0	3690,0	43,54	3,32	57,56	36,53	7,38	1,30	1,01
15	2000	4	3797,0	44,80	3,42	59,23	37,52	7,59	1,34	1,04
3	0	4	3161,0	37,30	2,84	49,31	31,29	6,32	1,12	0,87
8	1000	2	3791,0	44,73	3,41	59,14	37,52	7,58	1,34	1,04
5	500	2	3479,0	41,05	3,13	54,27	34,44	6,96	1,23	0,96
Testigo	---	...	4012,0	47,34	3,61	62,59	39,72	8,02	1,42	1,10
6	500	4	3935,0	46,43	3,54	61,39	38,96	7,87	1,39	1,08
2	0	2	3880,0	45,78	3,49	50,53	38,41	7,76	1,37	1,07
1	0	0	3562,0	43,10	3,21	55,57	35,26	7,12	1,26	0,98
Promedio de tratamientos			3843,19	45,43	3,54	59,33	38,04	7,69	1,36	1,06
Desviación estándar			309,36	3,60	0,42	5,36	3,06	0,62	0,11	0,08

Cuadro 12- A : Nutrientes absorbidos por las raíces del cultivo de arroz de secano.

Tratamiento	Descripción		Rendimiento de raíz (kg/ha)	Nutrientes absorbidos (kg/ha)						
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
13	2000	0	1178,0	17,08	1,65	21,79	12,02	3,53	3,73	0,11
12	1500	4	976,0	14,15	1,37	18,06	9,96	2,93	3,09	0,09
10	1500	0	780,0	11,31	1,09	14,43	7,96	2,34	2,47	0,07
11	1500	2	695,0	10,08	0,97	12,86	7,09	2,09	2,20	0,06
9	1000	4	839,0	12,17	1,17	15,52	8,56	2,52	2,65	0,08
14	2000	2	700,0	10,15	0,98	12,95	7,14	2,10	2,21	0,07
7	1000	0	772,0	11,19	1,08	14,28	7,87	2,32	2,44	0,07
4	500	0	721,0	10,45	1,01	13,34	7,35	2,16	2,28	0,07
15	2000	4	850,0	12,33	1,19	15,73	8,67	2,55	2,69	0,08
3	0	4	639,0	9,27	0,89	11,82	6,52	1,92	2,02	0,06
8	1000	2	769,0	11,15	1,08	14,23	7,84	2,31	2,43	0,07
5	500	2	685,0	9,93	0,96	12,67	6,99	2,06	2,17	0,06
Testigo	---	...	725,0	10,51	1,01	13,41	7,40	2,18	2,29	0,07
6	500	4	780,0	11,31	1,09	14,43	7,96	2,34	2,47	0,07
2	0	2	756,0	10,96	1,06	13,99	7,71	2,27	2,39	0,07
1	0	0	704,0	10,21	0,99	13,02	7,18	2,11	2,23	0,06
Promedio de tratamientos			785,6	11,39	1,10	14,53	8,01	2,36	2,49	0,07
Desviación estándar			134,5	1,95	0,19	2,49	1,37	0,40	0,43	0,01

Cuadro 13-A : Total de nutrientes absorbidos por el cultivo de arroz de secano.

Tratamiento	Descripción		Rendimiento	Nutrientes absorbidos (kg/ha)						
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	Mat. seca (kg/ha)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
13	2000	0	8365,0	112,08	11,21	111,66	63,09	22,54	5,29	1,29
12	1500	4	7754,0	102,05	10,31	106,51	61,45	20,09	4,72	1,33
10	1500	0	7084,0	93,76	10,04	95,69	54,95	18,50	3,94	1,19
11	1500	2	6698,7	87,83	8,47	91,44	52,91	17,24	3,65	1,16
9	1000	4	7269,7	94,76	8,99	101,20	59,01	18,43	4,28	1,32
14	2000	2	6455,7	84,68	8,17	88,32	51,10	16,62	3,61	1,13
7	1000	0	6415,7	84,13	8,09	88,47	51,23	16,50	3,83	1,12
4	500	0	6293,7	82,42	7,91	86,71	50,28	16,13	3,65	1,11
15	2000	4	6517,7	85,38	8,16	90,67	52,55	16,69	4,10	1,15
3	0	4	5594,0	73,66	7,14	76,13	43,91	14,52	3,20	0,96
8	1000	2	6273,3	81,75	7,75	87,76	51,19	15,89	3,83	1,14
5	500	2	5708,7	74,30	7,02	79,92	46,68	14,43	3,45	1,05
Testigo	---	...	6192,3	79,83	7,47	88,22	52,07	15,29	3,76	1,19
6	500	4	6045,0	77,82	7,16	86,99	51,44	14,87	3,91	1,17
2	0	2	5636,0	71,84	6,45	72,95	49,52	13,53	3,80	1,16
1	0	0	5248,0	68,14	6,07	76,84	45,78	12,67	3,52	1,06
Promedio de tratamientos			6472,0	84,70	8,20	89,30	52,30	16,50	3,90	1,20
Desviación estándar			768,5	10,74	1,28	9,61	5,24	2,28	0,53	0,10

CUADRO 14-A. Análisis de variancia del contenido de nutrientes en el grano de arroz.

F.V.	G.L	Absorción						
		CUADRADOS MEDIOS						
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
Bloque	2	367.70 **	5.80 **	113.80 **	18.70 **	19.80 **	0.00210 **	0.00050 **
Tratamiento	15	194.00 **	3.10 **	60.00 **	9.80 **	10.40 **	0.00100 **	0.00020 **
Factorial	14	200.00 **	3.20 **	61.90 **	10.10 **	10.80 **	0.00100 **	0.00020 **
A	4	427.90 **	6.80 **	132.50 **	21.70 **	23.00 **	0.00220 **	0.00050 **
B	2	123.70 *	1.90 *	38.20 *	6.30 *	6.60 *	0.00050 *	0.00010 NS
A x B	8	105.10 **	1.60 **	32.50 **	5.30 **	5.70 **	0.00050 **	0.00020 **
Fact. vs testigo	1	109.80 **	1.80 *	34.00 *	5.60 *	5.90 **	0.00100 *	0.00010 NS
Error experim	30	24.70	0.40	7.60	1.25	1.33	0.00014	0.00014
Total	47							
Coef. de Variab. (%)		17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	18.1	20.5

* : Significación estadística al 5% de probabilidad

** : Significación estadística al 1% de probabilidad

NS : No significativo

CUADRO 15-A. Prueba de Duncan para efecto residual de los niveles de Roca Bayóvar a 17 meses de su aplicación en la absorción de nutrientes por el grano de arroz ($\alpha=0.05$).

Nivel de Roca Bayóvar (kg/ha)	N		P		K		Ca		Mg		Fe		Mn	
	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*
2000	35.00	a	4.41	a	19.50	a	7.90	a	8.10	a	0.080	a	0.040	a
1500	34.60	a	4.35	a	19.20	a	7.80	a	8.00	a	0.080	a	0.038	a
1000	28.50	a b	3.59	a b	15.90	a b	6.40	a b	6.60	a b	0.070	a b	0.033	a b
500	23.90	b c	3.00	b c	13.30	b c	5.40	b c	5.60	b c	0.060	b c	0.027	b c
0	19.00	c	2.40	c	10.60	c	4.30	c	4.40	c	0.040	c	0.023	c

*: Los promedios con igual letra en la columna no difieren estadísticamente.

CUADRO 16-A. Prueba de Duncan para el efecto residual de los niveles de humus a 17 meses de su aplicación en la absorción de nutrientes por el grano de arroz ($\alpha=0.05$).

Nivel de Humus (kg/ha)	N		P		K		Ca		Mg		Fe		Mn	
	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*
0	31.00	a	3.90	a	17.20	a	7.00	a	7.20	a	0.070	a	0.035	a
4	28.50	a b	3.60	a b	15.80	a b	6.40	a b	6.60	a b	0.066	a	0.032	a
2	25.20	b	3.20	b	14.00	b	5.70	b	5.90	b	0.059	a	0.030	a

*: Los promedios con igual letra en la columna no difieren estadísticamente

CUADRO 17-A. Análisis de variancia de efectos del humus en cada nivel de Roca Bayóvar aplicados hace 17 meses en la absorción de nutrientes por el grano de arroz.

		Absorción de nutrientes						
		CUADRADOS MEDIOS						
F.V.	G.L	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
B en a ₁	2	147.20 **	2.30 **	45.50 **	7.50 **	7.90 **	0.00081 **	0.00023 **
B en a ₂	2	53.10 NS	0.90 NS	16.40 NS	2.70 NS	2.90 NS	0.00030 NS	0.00008 NS
B en a ₃	2	18.10 NS	0.30 NS	5.60 NS	0.91 NS	1.00 NS	0.00010 NS	0.00003 NS
B en a ₄	2	19.60 NS	0.30 NS	6.10 NS	0.99 NS	1.10 NS	0.00010 NS	0.00001 NS
B en a ₅	2	306.30 **	4.80 **	94.80 **	15.50 **	16.50 **	0.00150 **	0.00043 **
Error	30	24.70	0.39	7.70	1.25	1.33	0.00014	0.00004

** : Significación estadística al 1% de probabilidad.

NS: No significativo

CUADRO 18-A. Análisis de variancia del efecto de la Roca Bayóvar en cada nivel de humus aplicados hace 17 meses en la absorción de nutrientes por el grano de arroz.

		Absorción de nutrientes						
		CUADRADOS MEDIOS						
F.V.	G.L	N	K	P	Ca	Mg	Fe	Mn
A en b ₁	4	405.3 **	6.4 **	125.4 **	20.6 **	21.8 **	0.00220 **	0.00053 **
A en b ₂	4	129.5 **	2.1 **	40.1 **	6.6 **	7.0 **	0.00060 **	0.00015 *
A en b ₃	4	103.5 **	1.6 **	32.1 **	5.3 *	5.6 **	0.00055 *	0.00012 *
Error	30	24.7	0.4	7.7	1.3	1.3	0.00014	0.00004

* : Significación estadística al 5% de probabilidad

** : Significación estadística al 1% de probabilidad

CUADRO 19-A: Prueba de Duncan del efectos del humus en cada nivel de Roca Bayóvar aplicados hace 17 meses en la absorción de nutrientes por los granos de arroz ($\alpha=0.05$).

Nivel de Roca bayovar (Kg/ha)	N		P		K		Ca		Mg		Fe		Mn	
	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*
Prueba de efectos simples para B en a ₁ (0 kg/ha de Roca Bayóvar)														
4	27.1	a	3.4	a	15.1	a	6.1	a	6.3	a	0.063	a	0.033	a
2	15.1	b	1.9	b	8.9	b	3.4	b	3.5	b	0.037	b	0.020	a b
0	14.8	b	1.9	b	8.3	b	3.3	b	3.4	b	0.033	b	0.016	b
Prueba de efectos simples para B en a ₂ (500 kg/ha de Roca Bayóvar)														
0	28.4	a	3.6	a	15.8	a	6.4	a	6.6	a	0.067	a	0.033	a
2	23.3	a	2.0	a	12.0	a	5.3	a	5.4	a	0.057	a b	0.027	a
4	20.1	a	2.5	a	11.2	a	4.5	a	4.7	a	0.047	b	0.023	a
Prueba de efectos simples para B en a ₃ (1000 kg/ha de Roca Bayóvar)														
4	30.7	a	3.9	a	17.1	a	6.9	a	7.1	a	0.073	a	0.037	a
0	29.1	a	3.7	a	16.2	a	6.5	a	6.7	a	0.067	a	0.033	a
2	25.9	a	3.3	a	14.4	a	5.8	a	6.0	a	0.060	a	0.030	a
Prueba de efectos simples para B en a ₄ (1500 kg/ha de Roca Bayóvar)														
4	36.3	a	4.6	a	20.2	a	8.2	a	8.4	a	0.083	a	0.040	a
0	35.8	a	4.5	a	20.0	a	8.1	a	8.3	a	0.083	a	0.040	a
2	31.6	a	4.0	a	17.0	a	7.1	a	7.3	a	0.073	a	0.037	a
Prueba de efectos simples para B en a ₅ (2000 kg/ha de Roca Bayóvar)														
0	46.7	a	5.9	a	26.0	a	10.5	a	10.8	a	0.107	a	0.053	a
2	30.2	b	3.8	b	16.8	b	6.8	b	7.0	b	0.070	a	0.037	b
4	28.3	b	3.6	b	15.7	b	6.4	b	6.6	b	0.067	a	0.030	b

*: Los promedios con igual letra en la columna no difieren estadísticamente

CUADRO 20-A: Prueba de Duncan del efecto de la Roca Bayóvar en cada nivel de humus aplicados hace 17 meses en la absorción de nutrientes por los granos de arroz ($\alpha=0.05$).

Nivel de Roca Bayóvar (kg/ha)	N		P		K		Ca		Mg		Fe		Mn	
	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*	Prom. (kg/ha)	Sig.*
Prueba de efectos simples para A en b ₁ (0 t/ha humus)														
2000	46.7	a	5.9	a	26.0	a	10.5	a	10.8	a	0.107	a	0.053	a
1500	35.8	a b	4.5	a b	20.0	a b	8.1	a b	8.3	a b	0.083	b	0.040	a b
1000	29.1	b	3.7	b	16.2	b	6.5	b	6.7	b	0.067	b	0.033	b
500	28.4	b	3.6	b	15.8	b	6.4	b	6.6	b	0.067	b	0.033	b
0	14.8	c	1.9	c	8.3	c	3.3	c	3.4	c	0.033	c	0.017	
Prueba de efectos simples para A en b ₂ (2 t/ha humus)														
1500	31.6	a	4.0	a	17.6	a	7.1	a	7.3	a	0.073	a	0.037	a
2000	30.2	a	3.8	a	16.8	a	6.8	a	7.0	a	0.070	a	0.037	a
1000	25.9	a b	3.3	a b	14.4	a b	5.8	a b	6.0	a b	0.060	a	0.030	a
500	23.3	a b	2.9	a b	12.0	a b	5.2	a b	5.4	a b	0.057	a	0.027	a
0	15.1	b	1.9	b	8.4	b	3.4	b	3.5	b	0.037	a	0.020	a
Prueba de efectos simples para A en b ₃ (4 t/ha humus)														
1500	36.3	a	4.6	a	20.2	a	8.2	a	8.4	a	0.083	a	0.040	a
1000	30.7	a b	3.9	a b	17.1	a b	6.9	a b	7.1	a b	0.073	a b	0.037	a b
2000	28.3	a b	3.6	a b	15.7	a b	6.4	a b	6.6	a b	0.067	a b	0.033	a b
0	27.1	a b	3.4	a b	15.1	a b	6.1	a b	6.3	a b	0.063	a b	0.030	a b
500	20.1	b	2.5	b	11.2	b	4.5	b	4.7	b	0.047	b	0.023	b

*: Los promedios con igual letra en la columna no difieren estadísticamente.

CUADRO 21-A. Rendimiento de materia seca del arroz de secano en diferentes fracciones vegetativas.

Tratam.	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	Rendimiento promedio (kg/ha)		
			Raíz	Paja	Grano
1	0	0	704	3562	982
2	0	2	756	3880	1000
3	0	4	639	3161	1794
4	500	0	721	3690	1882
5	500	2	685	3479	1544
6	500	4	780	3935	1330
7	1000	0	772	3719	1924
8	1000	2	769	3791	1713
9	1000	4	839	4398	2032
10	1500	0	780	3932	2372
11	1500	2	695	3909	2094
12	1500	4	976	-----	2402
13	2000	0	1178	4097	3090
14	2000	2	700	3753	2002
15	2000	4	850	3797	1870
16	---	--	725	4012	1455

CUADRO 22- A. Porcentaje de saturación de aluminio del suelo a 17 meses de la incorporación de Roca Bayóvar y humus de lombriz.

Tratam.	Descripción		Bloques			Total tratam.	Promedios	
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	I	II	III		\bar{X}_1	\bar{X}_2
1	0	0	68	70	59	197	66	
2	0	2	69	69	61	199	66	66
3	0	4	68	68	62	198	66	
4	500	0	69	68	66	203	68	
5	500	2	63	69	64	196	65	66
6	500	4	67	67	58	192	64	
7	1000	0	69	61	65	195	65	
8	1000	2	66	55	59	180	60	62
9	1000	4	64	54	62	180	60	
10	1500	0	65	62	62	189	63	
11	1500	2	63	60	63	186	62	62
12	1500	4	62	54	64	180	60	
13	2000	0	64	60	62	186	62	
14	2000	2	61	65	57	183	61	61
15	2000	4	60	62	58	180	60	
16	---	---	64	66	62	192	64	
Promedio de bloques			65	63	62			

\bar{X}_1 : Promedio de tratamientos

\bar{X}_2 : Promedio de un mismo nivel de Roca Bayóvar

CUADRO 23-A. Reacción del suelo a 17 meses de la aplicación de Roca Bayóvar y humus de lombriz.

Tratam.	Descripción		Bloques			Total tratam.	Promedios	
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	I	II	III		\bar{X}_1	\bar{X}_2
1	0	0	3.2	3.2	3.2	9.6	3.2	
2	0	2	3.4	3.2	3.3	9.9	3.3	3.2
3	0	4	3.2	3.1	3.3	9.6	3.2	
4	500	0	3.2	3.3	3.2	9.7	3.3	
5	500	2	3.3	3.2	3.4	9.9	3.3	3.3
6	500	4	3.3	3.4	3.3	10.0	3.3	
7	1000	0	3.2	3.3	3.3	9.8	3.3	
8	1000	2	3.3	3.6	3.4	10.3	3.4	3.3
9	1000	4	3.4	3.4	3.2	10.0	3.3	
10	1500	0	3.3	3.4	3.4	10.1	3.4	
11	1500	2	3.3	3.4	3.3	10.0	3.3	3.4
12	1500	4	3.4	3.6	3.2	10.2	3.4	
13	2000	0	3.4	3.5	3.4	10.3	3.4	
14	2000	2	3.3	3.4	3.4	10.1	3.4	3.4
15	2000	4	3.4	3.4	3.4	10.2	3.4	
16	-	-	3.4	3.4	3.3	10.1	3.4	
Promedio de bloques			3.3	3.4	3.3			

\bar{X}_1 : Promedio de tratamientos

\bar{X}_2 : Promedio de un mismo nivel de Roca Bayóvar

CUADRO 24-A. Capacidad de intercambio catiónico del suelo (meq/100 g) a 17 meses de la incorporación de Roca Bayóvar y humus de lombriz.

Tratam.	Descripción		Bloques			Total tratam.	Promedios	
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	I	II	III		\bar{X}_1	\bar{X}_2
1	0	0	9.6	10.4	10.6	30.6	10.2	
2	0	2	10.9	10.2	10.7	31.8	10.6	10.3
3	0	4	10.1	10.3	10.2	30.6	10.2	
4	500	0	10.9	10.6	10.3	31.8	10.6	
5	500	2	10.4	10.1	11.0	31.5	10.5	10.3
6	500	4	10.2	10.1	9.1	29.4	9.8	
7	1000	0	10.6	10.1	9.3	30.0	10.0	
8	1000	2	9.6	10.3	9.5	29.4	9.8	10.0
9	1000	4	10.5	10.1	10.1	30.6	10.2	
10	1500	0	10.3	10.2	10.4	30.9	10.3	
11	1500	2	11.1	9.8	10.6	31.5	10.5	10.4
12	1500	4	10.7	10.3	10.5	31.5	10.5	
13	2000	0	10.0	10.6	8.8	29.4	9.8	
14	2000	2	10.4	10.9	9.8	31.1	10.4	10.2
15	2000	4	10.6	10.1	10.9	31.6	10.5	
16	---	---	10.8	10.9	11	32.7	10.9	
Promedio de bloques			10.4	10.3	10.2			

\bar{X}_1 : Promedio de tratamientos

\bar{X}_2 : Promedio de un mismo nivel de Roca Bayóvar

CUADRO 25-A. Cationes cambiabales (Meq. Ca + Mg/100g suelo) encontrados en el suelo a 17 meses de la incorporación de Roca Bayóvar y humus de lombriz.

Tratam.	Descripción		Bloques			Total tratam.	Promedios	
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	I	II	III		\bar{X}_1	\bar{X}_2
1	0	0	1.9	2.9	3.3	8.1	2.7	
2	0	2	2.4	2.2	3.1	7.7	2.6	2.6
3	0	4	2.4	2.3	2.6	7.3	2.4	
4	500	0	2.5	2.5	2.3	7.3	2.4	
5	500	2	3.0	2.2	2.9	8.1	2.7	2.6
6	500	4	2.5	2.5	2.7	7.7	2.6	
7	1000	0	2.4	3.1	2.3	7.8	2.6	
8	1000	2	2.6	3.8	3.0	9.4	3.1	3.0
9	1000	4	2.9	3.7	2.9	9.5	3.2	
10	1500	0	2.8	3.0	2.9	8.7	2.9	
11	1500	2	3.1	3.0	2.9	9.0	3.0	3.0
12	1500	4	3.0	3.8	2.5	9.3	3.1	
13	2000	0	2.7	3.5	2.2	8.4	2.8	
14	2000	2	3.2	2.8	3.2	9.2	3.1	3.0
15	2000	4	3.3	3.0	3.4	9.7	3.2	
16	---	---	2.9	2.7	3.1	8.7	2.9	
Promedio de bloques			2.7	2.9	2.8			

\bar{X}_1 : Promedio de tratamientos

\bar{X}_2 : Promedio de un mismo nivel de Roca Bayóvar

CUADRO 26-A. Porcentaje de materia orgánica del suelo a 17 meses de la incorporación de Roca Bayóvar y humus de lombriz.

Tratam.	Descripción		Bloques			Total tratam.	Promedios	
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	I	II	III		\bar{X}_1	\bar{X}_2
1	0	0	3.80	4.33	4.14	12.27	4.09	
2	0	2	4.70	3.99	5.41	14.10	4.70	4.36
3	0	4	3.80	4.28	4.79	12.87	4.29	
4	500	0	4.40	4.70	3.77	12.87	4.29	
5	500	2	4.60	4.20	5.15	13.95	4.65	4.40
6	500	4	4.40	4.20	4.21	12.81	4.27	
7	1000	0	4.60	6.58	4.33	15.51	5.17	
8	1000	2	3.77	5.88	4.21	13.86	4.62	4.92
9	1000	4	4.19	4.20	6.49	14.88	4.96	
10	1500	0	5.19	6.60	5.60	17.39	5.80	
11	1500	2	6.09	3.92	4.10	14.11	4.70	5.14
12	1500	4	5.83	4.70	4.20	14.73	4.91	
13	2000	0	5.26	6.10	3.40	14.76	4.92	
14	2000	2	4.26	6.30	5.40	15.96	5.32	5.11
15	2000	4	4.98	4.30	6.02	15.30	5.10	
16	---	---	4.70	6.20	6.20	17.10	5.70	
Promedio de bloques			4.66	5.03	4.84			

\bar{X}_1 : Promedio de tratamientos

\bar{X}_2 : Promedio de un mismo nivel de Roca Bayóvar

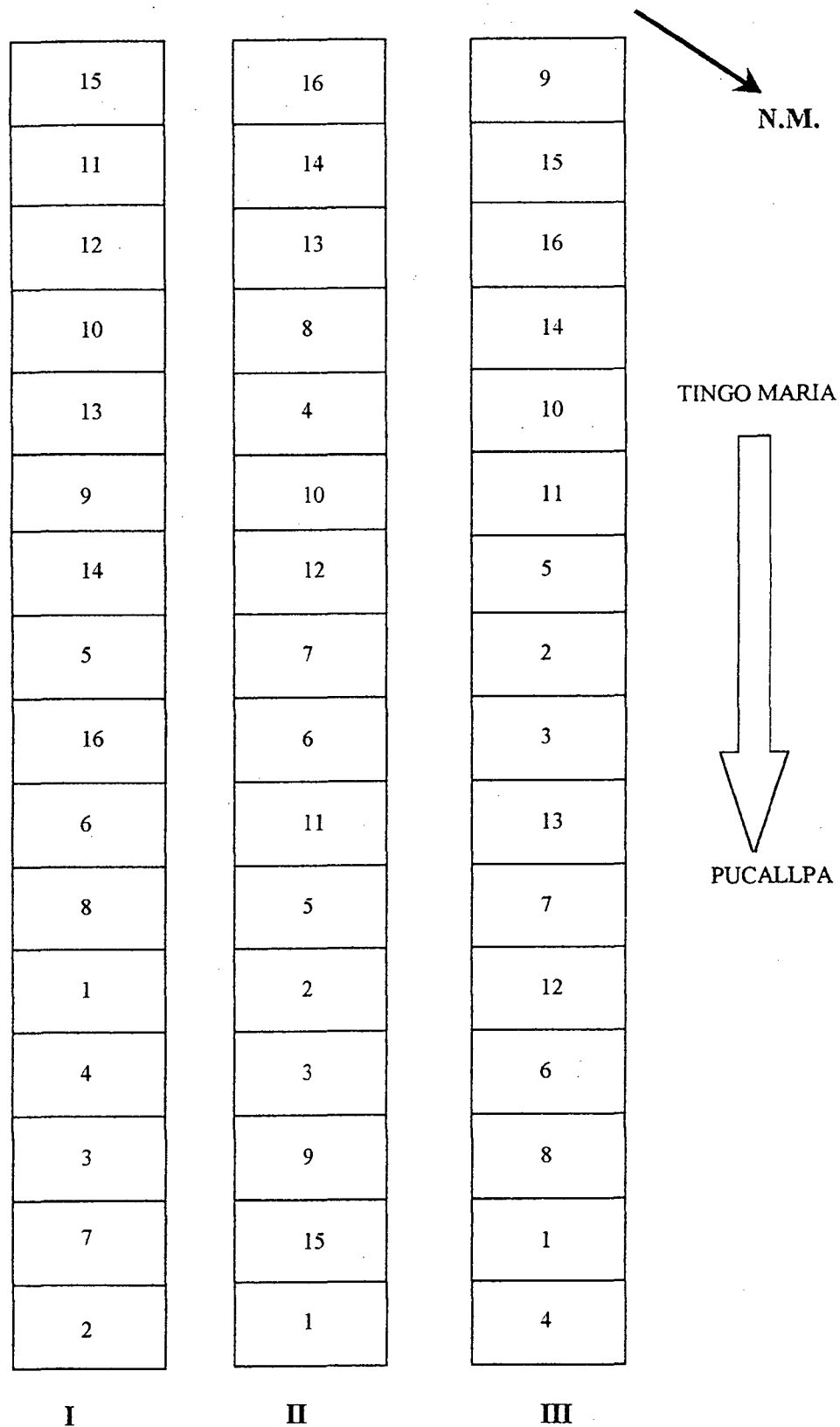
CUADRO 27- A. Contenido de fósforo disponible del suelo (ppm P) a 17 meses de la incorporación de Roca Bayóvar y humus de lombriz.

Tratam.	Descripción		Bloques			Total tratam.	Promedios	
	Roca Bayóvar (kg/ha)	Humus (t/ha)	I	II	III		$\overline{X_1}$	$\overline{X_2}$
1	0	0	60	35	40	135	45	
2	0	2	28	64	46	138	46	45
3	0	4	32	45	55	132	44	
4	500	0	54	92	46	192	64	
5	500	2	76	52	121	249	83	81
6	500	4	78	58	155	291	97	
7	1000	0	45	99	72	216	72	
8	1000	2	65	166	48	279	93	88
9	1000	4	104	44	149	297	99	
10	1500	0	107	105	120	342	104	
11	1500	2	134	96	121	351	117	120
12	1500	4	124	135	131	390	130	
13	2000	0	85	132	41	258	86	
14	2000	2	80	154	132	366	122	109
15	2000	4	133	46	175	354	118	
16	---	---	104	127	140	371	124	
Promedio de bloques			82	91	100			

$\overline{X_1}$: Promedio de tratamientos

$\overline{X_2}$: Promedio de un mismo nivel de Roca Bayóvar

FIGURA 1- A. Distribución de los 16 tratamientos.



Ejemplo de cálculo de la ecuación polinomial del tercer caso de la figura 1 (pag 53).

	X (t/ha humus)	Y (Rdto.)	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
	0	1924	0	0	0	0	0
	2	1713	4	16	3426	3426	6852
	4	2032	16	256	8128	8128	32512
Σ	6	5669	20	272	11554	11554	39364
Promedio	2	1889.6	6.7	90.7	13121.3	3851.3	13121.3

A continuación construiremos los siguientes sistemas de ecuaciones

$$5669 = 3a + 6b_1 + 20b_2 \dots\dots\dots 1$$

$$11554 = 6a + 20b_1 + 72b_2 \dots\dots\dots 2$$

$$39364 = 20a + 72b_1 + 272b_2 \dots\dots\dots 3$$

Resolviendo 1 y 2 : multiplicando 1 por (-2) tenemos.....

$$-11338 = -6a - 12b_1 - 40b_2$$

$$11554 = 6a + 20b_1 + 72b_2$$

$$216 = 8b_1 + 32b_2 \dots\dots\dots 4 \quad \text{despejando } b_1: b_1 = \frac{126 - 32b_2}{8} \dots\dots\dots 5$$

8

Resolviendo 1 y 3: multiplicando 1 por (-20) y 3 por (3) tenemos.....

$$-113380 = -60a - 120b_1 - 40b_2$$

$$118092 = 60a + 216b_1 + 816b_2$$

$$4712 = 96b_1 + 416b_2 \dots\dots\dots 6 \quad \text{despejando } b_1: b_1 = \frac{4712 - 416b_2}{96} \dots\dots\dots 7$$

igualando 5 y 7

$$216 - 32b_2 = 4712 - 416$$

8

96

de donde: $b_2 = 66.25$; reemplazando este valor en 7

tenemos $b_1 = -238$

Sustituyendo estos valores en la ecuación general: $b_0 = Y - b_1X_1 - b_2X^2$

tenemos : $b_0 = 1899.6 - (-238 \times 2) - (66.25 \times 6.67)$

de donde : $b_0 = 1924$

Reemplazando en la ecuación general tenemos:

$$Y = 66.25X^2 - 238X + 1924$$

