

EFICIENCIA DEL NITROGENO APLICADO COMO FERTILIZANTE, EN RELACION AL INCREMENTO MAXIMO DE RENDIMIENTO, EN UN GRUPO DE 31 ENSAYOS DE TRIGO, EFECTUADOS EN LA VIII REGION DE CHILE¹

Efficiency of fertilizer nitrogen, in relation to maximum increment of wheat yield, in a set of 31 trials made in the VIII Region of Chile

Elías Letelier A.²

SUMMARY

The efficiency of fertilizer nitrogen is analysed in a set of 31 trials on wheat, made in "trumao" soil (Andept) in the VIII Region of Chile.

When maximum increments of yield are high the response curves tend to follow the "two rectes" model (law of the minimum), the first part of the curve reaching an efficiency of absorption near a 100%.

When maximum increment is lower, the efficiencies are also lower and some of the response curves tend to follow the "decreasing increments" model.

It is suggested that, in order to diagnose the probable effect of the nitrogen fertilizer, an estimation of maximum increment in relation to rates of application, should be useful. Efficiency is a function of these two parameters and is much variable; so it is not advisable to estimate an average efficiency to diagnose the effect of fertilizer nitrogen.

Key words: fertilizer efficiency, nitrogen, wheat.

INTRODUCCION

La eficiencia de un fertilizante nitrogenado se define como:

$$E = \frac{N_c - N_t}{N_f} \times 100$$

donde:

E = eficiencia;

N_c = nitrógeno recuperado en el cultivo fertilizado;

N_t = nitrógeno recuperado en el cultivo sin fertilización;

N_f = cantidad de nitrógeno aplicada como fertilizante.

Esta es la llamada eficiencia de absorción. En la práctica agronómica se reemplaza frecuentemente N_c y N_t por los pesos de productos cosechados en el cultivo fertilizado y sin fertilización, respectivamente (eficiencia agronómica).

De acuerdo con la fórmula anterior, la eficiencia es proporcional al incremento obtenido y a la dosis de N aplicada como fertilizante y puede, por lo tanto, variar entre muy amplios límites. Sin embargo, varios autores, para determinar las necesidades de fertilización utilizando el "balance de nitrógeno", suponen una determinada eficiencia media. En Suiza, se fija un objetivo de rendimiento, el cual se expresa en nitrógeno, al que se agrega el N que se estima queda en el suelo en el momento de la cosecha; la suma de ambos valores constituye la necesidad de N. A este valor se restan los aportes de N efectuados por los residuos orgánicos del sistema y por el N mineralizado de la materia orgánica. La diferencia es el N que debe aportarse como fertilizante (Neyroun y Vez, 1981). Se supone, implícitamente, que este aporte es aprovechado por el cultivo con una eficiencia máxima (100%). Puede observarse que esta eficiencia no es la misma definida en la fórmula anteriormente citada, ya que N_c es reemplazado por el N retenido en la cosecha, sumado al N no aprovechado; este hecho, además de los altos rendimientos que se obtienen en ese país, justifican la citada eficiencia de 100%.

Otros modelos (Prado y Rodríguez, 1978; Goh y Haynes, 1986; Novoa, 1989), también se basan en un balance entre las necesidades del cultivo y los aportes

¹Recepción de originales: 21 de marzo de 1990.

²Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

del suelo (N mineralizable), y estiman una eficiencia media o posible del fertilizante nitrogenado.

Prado y Rodríguez (1978), sugieren utilizar un valor de eficiencia de recuperación del N de 50 a 60%. Ellos se basan en una serie de ensayos cuyo rendimiento máximo fue de 39,3 qqm/ha, el cual es bajo para la tecnología actual.

Reconocida la importancia de la eficiencia del fertilizante nitrogenado, se ha estimado interesante estudiar este parámetro en un grupo de 31 ensayos de fertilizantes en trigo, efectuados en suelos trumaos (Andepts) en la precordillera de la VIII Región, en los años 1968 y 1969, relacionándolos con el incremento máximo obtenido en cada ensayo (FAO, 1973).

La idea de estudiar esta relación, en esta antigua serie experimental, se basa en que ella constituye un grupo numeroso de ensayos efectuados en condiciones similares de clima, suelo y manejo del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos se verificaron bajo un esquema "factorial incompleto". Las dosis de nitrógeno utilizadas fueron 0, 75, 150, 225 y 300 kg/ha, en forma de nitrato sódico, aplicadas en dos dosis. Las dosis de fósforo fueron 0,44, 87, 131 y 175 kg/ha (0, 100, 200, 300 y 400 kg de P_2O_5 /ha), a la forma de superfosfato triple.

Para los efectos del presente estudio, se refundieron los resultados de las dosis 131 y 175 kg de P/ha, ya que un examen de los resultados indica que no hubo diferencias importantes entre los rendimientos producidos por estas dosis.

En el presente trabajo sólo se consideran los tratamientos con la dosis máxima de fósforo. Debido a la fusión de las dosis 131 y 175 kg de P, es posible obtener curvas completas con todas las dosis de nitrógeno.

Para cada uno de los ensayos se graficó la respuesta al nitrógeno (Figura 1). En estos gráficos se indica también la respuesta que se obtendría si la eficiencia fuera la máxima teórica hasta alcanzar el rendimiento máximo (RM). Si se considera que en las variedades modernas el contenido de N en la paja y en el grano es aproximadamente de 0,8 y 1,8%, respectivamente y el índice de cosecha es de 0,4, entonces cada kilogramo de grano cosechado, representa 0,03 kg de N ó 33 kg de grano/kg de N. Por ésto, si de una fertilización nitrogenada se obtienen 33 kg de grano de incremento por cada kg de N aplicado, ello representa una eficiencia de absorción de 100%. Esta es una estimación basada en datos que son relativamente constantes dentro de las variedades modernas.

Se relacionó el incremento máximo (IM) obtenido en cada uno de los ensayos, con las eficiencias (E) respectivas obtenidas al aplicar 75 y 150 kg/ha de N (Cuadro 1).

Los ensayos se distribuyeron en grupos de ocho, según sus incrementos máximos y se graficaron los incrementos medios obtenidos en relación a las dosis de N (Figura 2).

Se calcularon las eficiencias del fertilizante nitrogenado para cada uno de los grupos mencionados anteriormente (Cuadro 2).

RESULTADOS Y DISCUSION

No es extraño que la E del fertilizante esté relacionada con el IM que es posible obtener. Si se considera una serie de curvas de respuesta que parten de un mismo punto (o sea, con igual rendimiento del testigo), pero que alcanzan diversos rendimientos debido a niveles variables de limitantes ambientales, ellas divergerán en forma de abanico y, por lo tanto, aquellas con menos limitaciones alcanzarán una mayor eficiencia a igualdad de dosis de fertilizante. Misterlich, citado por Demolon (1950), estima que la curva de respuesta a un fertilizante está totalmente determinada por la dosis aplicada y por el incremento de rendimiento que falta por obtener con esa dosis. Sin embargo, algunos modelos, entre otros el clásico de Liebig (ley del mínimo o de los factores limitantes) postulan que la eficiencia no cambia hasta alcanzar una dosis determinada sobre la cual la pendiente de la curva se hace igual a cero.

Según Cooke (1972), es posible que las curvas de "incrementos decrecientes" sean sólo debidas a que son promedios de varios ensayos, cada uno de los cuales presentaría una respuesta caracterizada por dos rectas. Por este motivo, en el presente trabajo el análisis de los resultados se efectúa para cada ensayo individualmente.

En el Cuadro 1 se puede apreciar la alta eficiencia obtenida en los ensayos que mostraron un elevado incremento máximo; en algunos casos, ésta fue superior a la que aquí se ha considerado como la máxima teórica (33 kg de grano/kg N).

Los gráficos de la Figura 1 están ordenados según el IM de los ensayos, siendo los primeros los correspondientes a ensayos que tuvieron el máximo incremento, debido a las aplicaciones de N.

Los ocho ensayos de mayor incremento máximo se caracterizan por una alta eficiencia con la dosis de 75 kg de N por hectárea. En algunos de ellos (7, 10 y 11) esta eficiencia se acerca mucho o supera a la

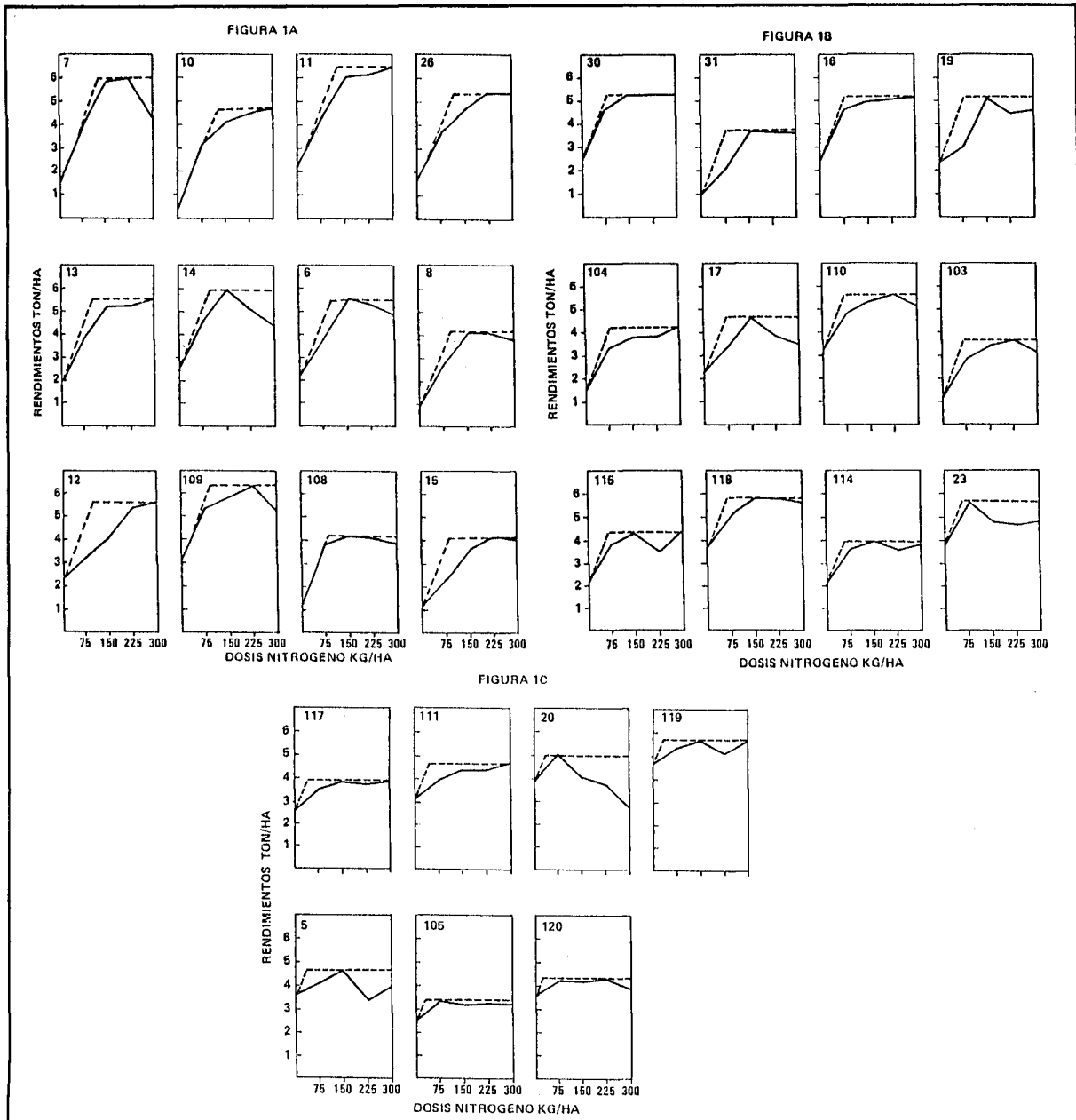


FIGURA 1. Respuesta a la aplicación de nitrógeno. Abscisas: kg de N/ha. Ordenadas: rendimiento, ton/ha. Línea de puntos horizontales indica rendimiento máximo obtenido en cada ensayo. Línea de puntos oblicua indica rendimientos que se habrían obtenido si la eficiencia del fertilizante hubiera sido máxima (33 kg grano/kg N) hasta alcanzar el rendimiento máximo. Todos los tratamientos de estos ensayos recibieron una alta dosis de P. El número en el ángulo superior izquierdo es el número de cada ensayo.

FIGURE 1. Responses to application of nitrogen. Abscises: kg N/ha. Ordenates: yields, ton/ha. Horizontal pointed line indicates maximum yield obtained in each trial. Sloped pointed line indicates the yields that should be obtained if the efficiency of the fertilizer had been maximum (33 kg grain/kg N) till reach maximum yield. All the treatments in the trials were fertilized with a high rate of P. Number in the upper left is the number of each trial.

considerada como máxima (33 kg de grano/kg N ó 100% de N recuperado en la cosecha). En seis ensayos de este grupo se mantiene una alta eficiencia hasta la dosis de 150 kg N/ha.

En algunos de los otros ensayos también existe una tendencia a mantenerse la E hasta alcanzar el IM (ensayos 5, 12, 15, 17, 19, 20, 23, 31, 105, 108, 118, 119 y 120), si bien la E es menor que en el grupo anterior.

CUADRO 1. Incremento máximo y eficiencia del N fertilizante con diversas dosis de N aplicado y con 131 y 175 kg P/ha

TABLE 1. Maximum increment and efficiency of N as fertilizer at different amount of N applied and with 131 and 175 kg P/ha

| Ensayo Nº | Rendimiento Máximo kg/ha | Incremento Máximo kg/ha | Dosis N kg/ha | |
|-----------|--------------------------|-------------------------|---------------|------|
| | | | 75 | 150 |
| 7 | 5.970 | 4.360 | 31,9 | 27,7 |
| 10 | 4.720 | 4.210 | 35,3 | 24,1 |
| 11 | 6.480 | 4.140 | 28,1 | 25,3 |
| 26 | 5.450 | 3.920 | 29,6 | 21,1 |
| 13 | 5.430 | 3.690 | 27,5 | 22,7 |
| 14 | 6.000 | 3.510 | 27,7 | 23,4 |
| 6 | 5.470 | 3.400 | 23,5 | 22,7 |
| 8 | 4.230 | 3.310 | 25,3 | 22,1 |
| 12 | 5.640 | 3.190 | 11,1 | 10,7 |
| 109 | 6.350 | 3.160 | 30,0 | 17,8 |
| 108 | 4.230 | 2.890 | 34,7 | 19,3 |
| 15 | 4.070 | 2.810 | 15,1 | 15,9 |
| 30 | 5.330 | 2.780 | 26,9 | 18,1 |
| 31 | 3.750 | 2.680 | 14,3 | 17,3 |
| 16 | 5.100 | 2.640 | 28,1 | 16,9 |
| 19 | 5.070 | 2.620 | 8,0 | 17,5 |
| 104 | 4.260 | 2.610 | 22,9 | 14,3 |
| 17 | 4.750 | 2.430 | 20,8 | 16,2 |
| 110 | 5.630 | 2.310 | 20,1 | 13,7 |
| 103 | 3.640 | 2.250 | 18,4 | 14,6 |
| 115 | 4.300 | 2.120 | 22,7 | 14,1 |
| 118 | 5.780 | 2.020 | 18,9 | 13,5 |
| 114 | 4.000 | 1.740 | 18,7 | 11,6 |
| 23 | 5.620 | 1.710 | 22,8 | 9,4 |
| 117 | 3.890 | 1.410 | 13,3 | 8,7 |
| 111 | 4.560 | 1.330 | 10,5 | 7,7 |
| 20 | 5.030 | 1.180 | 15,7 | -0,8 |
| 119 | 5.750 | 1.050 | 8,3 | 7,0 |
| 5 | 4.620 | 1.030 | 6,7 | 6,9 |
| 105 | 3.450 | 970 | 12,9 | 4,7 |
| 120 | 4.280 | 660 | 8,1 | 3,7 |

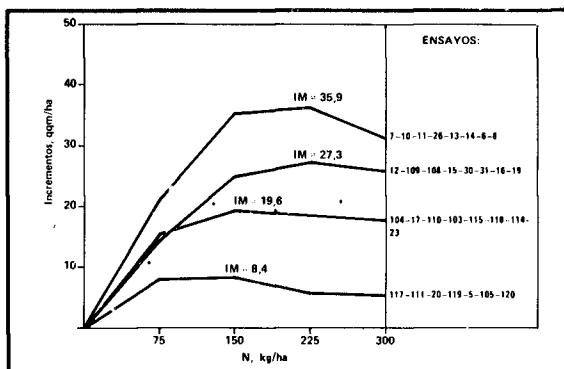


FIGURA 2. Respuestas al N aplicado como fertilizante en relación a los incrementos máximos (IM). Los puntos, son los valores de incrementos correspondientes a los promedios de cinco ensayos efectuados por Prado y Rodríguez (1978) con un IM promedio de 2.206 kg/ha.

FIGURE 2. Responses to fertilizer N in relation with maximum increments (MI). Points are the average increments obtained in five trials made by Prado and Rodríguez (1978), with an average MI of 2.206 kg/ha.

Estos ensayos y los seis indicados anteriormente, se ajustan con bastante aproximación al modelo presentado por la ley del mínimo. En algunos de ellos (23, 20 y 105), esta aseveración podría ser errada, debido a la falta de información con dosis menores a 75 kg/ha de N.

Fuera de los ocho ensayos con más alto IM, sólo excepcionalmente la eficiencia obtenida alcanza a ser semejante a la máxima posible en el tramo 0 a 75 kg N/ha (ensayos 16, 23, 30 y 108).

En otros ensayos (10, 16, 26, 30, 103, 104, 110, 111, 114, 115 y 117), la respuesta al nitrógeno se ajusta en mayor o menor grado a la ley de los incrementos decrecientes.

CUADRO 2. Relación entre incremento máximo y eficiencia del nitrógeno

TABLE 2. Relationship between maximum increment and nitrogen efficiency

| Incremento máximo kg/ha (promedio de grupos) | Eficiencia agronómica kg grano/kg N Dosis N, kg/ha | | | | Eficiencia de absorción estimada ¹ Dosis N, kg/ha | | | |
|--|--|------|------|------|--|------|------|------|
| | 75 | 150 | 225 | 300 | 75 | 150 | 225 | 300 |
| 3.590 | 28,5 | 23,6 | 16,0 | 10,8 | 0,85 | 0,71 | 0,48 | 0,32 |
| 2.730 | 19,5 | 16,7 | 12,1 | 8,6 | 0,58 | 0,50 | 0,36 | 0,26 |
| 1.960 | 20,7 | 13,1 | 8,2 | 6,1 | 0,62 | 0,39 | 0,25 | 0,18 |
| 840 | 10,8 | 5,6 | 2,6 | 1,8 | 0,32 | 0,17 | 0,08 | 0,05 |

¹La eficiencia de absorción se estimó multiplicando la eficiencia agronómica por 0,03.

En los ensayos 15, 26, 30, 31, 105, 108, 117 y 118, se observa que el rendimiento se mantiene con dosis superiores a aquellas en las que se obtuvo el RM. En cambio, en los ensayos 5, 7, 14, 17, 20, 23 y 109, se nota una brusca caída del rendimiento con dosis superiores a aquellas necesarias para alcanzar el RM. Esta disminución del rendimiento con dosis altas, en ensayos que no parecen tener un error experimental elevado, se podría interpretar como un desequilibrio producido por un exceso de N en presencia de otro factor que puede ser nutriente, humedad, etc.

Con el objeto de tener una visión más global de la relación entre E e IM se agruparon los ensayos de acuerdo a este último, promediándose los valores de E e IM para cada grupo (Figura 2 y Cuadro 2).

Aunque el Cuadro 2 y la Figura 2 están influenciados por representar promedios (Cooke, 1972), el hecho de haber agrupado los ensayos de acuerdo al incremento máximo producido por el fertilizante nitrogenado, clarifica bien las relaciones obtenidas entre IM, dosis de nitrógeno y eficiencia del fertilizante.

Una conclusión importante de los datos presentados anteriormente, es la posibilidad de obtener eficiencia de absorción del nitrógeno aplicado, cercanas o iguales al 100%, siempre que el incremento esperado sea alto; ésto significa un alto rendimiento y un nivel bajo de nitrógeno aprovechable en el suelo.

Otra conclusión de carácter práctico es que si se dispone de información válida sobre el RM que es posible obtener en un caso específico, y si en la zona respectiva existe una buena estimación del N aprovechable del suelo (y por lo tanto, del rendimiento sin fertilizante nitrogenado), entonces es posible, utilizando gráficos como los de la Figura 2 o tablas como el Cuadro 2, hacer un pronóstico apropiado de la probable respuesta al fertilizante nitrogenado.

No existe certeza de parte del autor de esta investigación, que los valores indicados en la Figura 2 o en el Cuadro 2, sean extrapolables razonablemente a diversas condiciones de clima o suelo.

Como un ejercicio, en la Figura 2 se incluyen valores de incremento correspondientes a los promedios de cinco ensayos efectuados por Prado y Rodríguez (1978), en la zona Metropolitana, con un IM promedio de 2.206 kg/ha. Estos valores sugieren la posibilidad que tablas de eficiencia que relacionen los incrementos, las dosis de N y los IM esperados, tengan una universalidad aceptable. Esto sería muy útil en la práctica agronómica, ya que no se necesitaría suponer una E media para calcular la dosis de fertilizante, pues esta E es muy variable y está determinada precisamente por el IM esperado y por la dosis a aplicar.

RESUMEN

Se analiza la eficiencia del fertilizante nitrogenado en un grupo de 31 ensayos en trigo efectuados en un suelo "trumao" (Andept), en la VIII Región de Chile.

Cuando el incremento máximo (IM) de rendimiento es alto, las curvas de respuesta tienden a seguir el modelo de "dos rectas" (ley del mínimo), alcanzándose en la primera parte de la curva una eficiencia (E) de absorción cercana al 100%.

Cuando el IM es más bajo, las E son menores y algunas curvas de respuesta tienden a seguir el modelo de "incrementos decrecientes".

Se sugiere que, para diagnosticar el probable efecto del fertilizante nitrogenado es útil estimar el IM posible y relacionarlo con las dosis a utilizar. La eficiencia es una consecuencia de estos dos parámetros y es muy variable, de modo que no sería recomendable suponer una eficiencia media con propósitos de diagnóstico del efecto del fertilizante nitrogenado.

Palabras claves: eficiencia de fertilización, nitrógeno, trigo.

LITERATURA CITADA

COOKE, G.W. 1972. Fertilizing for Maximum yield. Edit: Crosby Lockwood and Son Ltda. p.: 119-125.

DEMOLON, A. 1950. Croissance des vegetaux cultivés. Dunod. 342 p.

FAO. 1973. Proyecto AGL-SF/CHI, 18. Informe Técnico 2. p.: 47-63.

GOH, K.M. and HAYNES, R.F. 1986. Nitrogen and Agronomic Practice en "Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System". T.T. Kolzlowoski (ed.). Univ. of Wisconsin. p.: 426-427.

NEYROUD, J-A et VEZ, A. 1981. La fumure azotée doublée; Essai de prevision des doses. *Revue Suisse Agric.* 13(1): 7-13.

NOVOA, R. 1989. Fertilización según balance nutricional. *Investigación y Progreso Agropecuario, La Platina* 54: 38-42.

PRADO, O. y RODRIGUEZ, J. 1978. Estimación de las necesidades de fertilización nitrogenada en trigo. *Cienc. Invest. Agron.* 5: 29-40.