

"CALIBRACION DE 7 METODOS DE ANALISIS DE FOSFORO DEL SUELO
PARA LA COSTA DE HERMOSILLO"



EL SABER DE MIS MAJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE LA
ESCUELA DE AGRICULTURA
Y GANADERIA

TESIS

Sometida a la consideración de la
Escuela de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

por

Paulino Fontes Campillo

Como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

Febrero de 1976

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
LITERATURA REVISADA.....	3
MATERIAL Y METODOS.....	15
RESULTADOS.....	20
DISCUSION.....	23
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	26
BIBLIOGRAFIA.....	31
APENDICE.....	34

INDICE DE CUADROS Y GRAFICAS

		Pág.
Cuadro 1.	Comparación de rendimiento y costo de producción con y sin aplicación de fósforo.....	35
Cuadro 2.	Resultados del método solución 2 ppm de P utilizando suelos de 3 distintos campos agrícolas.....	35
Cuadro 3.	Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método Bray p-1.....	36
Cuadro 4.	Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método solución 2 ppm de P agitado 30 minutos.....	37
Cuadro 5.	Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método solución 5 ppm de P agitado 18 horas.....	38
Cuadro 6.	Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método solución 5 ppm de P agitado 30 minutos.....	39
Cuadro 7.	Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método Oxalato de Sodio.....	40
Cuadro 8.	Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método solución 2 ppm de P agitado 18 horas.....	41

Cuadro 9.	Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método del Bióxido de Carbono.....	42
Cuadro 10.	Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método Bray P-1 agitado 30 minutos.....	43
Cuadro 11.	Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método de Olsen.....	44
Gráfica 1.	Curva de regresión logarítmica del método solución 2 ppm de P.....	45
Gráfica 2.	Curva de regresión logarítmica del método Bray P-1.....	46
Gráfica 3.	Curva de regresión logarítmica del método solución 5 ppm de P agitado 18 horas.....	47
Gráfica 4.	Curva de regresión logarítmica del método solución 5 ppm de P agitado 30 minutos.....	48
Gráfica 5.	Curva de regresión logarítmica del método Oxalato de Sodio.....	49
Gráfica 6.	Curva de regresión logarítmica del método solución 2 ppm de P agitado 18 horas.....	50
Gráfica 7.	Curva de regresión logarítmica del método Bióxido de Carbono.....	51
Gráfica 8.	Curva de regresión logarítmica del método Bray P-1 agitado 18 horas.....	52
Gráfica 9.	Curva de regresión logarítmica del método Olsen.....	53
Gráfica 10.	Curva de regresión lineal, al correlacionar los métodos: Bray P-1 y solución 2 ppm de P agitado 30 minutos.....	54

INTRODUCCION

Los análisis de suelo para determinar la cantidad de elementos nutritivos aprovechables en un suelo son algo complicados. Las grandes diferencias **existentes** en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos han hecho imposible desarrollar métodos uniformes y rápidos que pudieran aplicarse a todas las secciones del país. En consecuencia, es necesario desarrollar métodos apropiados para cada tipo de suelo de acuerdo con sus características particulares.

Cuando se ha desarrollado un método químico y ha demostrado ser aceptable, el problema de interpretar los resultados y convertirlos a cantidad de fertilizante necesario para asegurar un buen desarrollo vegetativo es difícil; sin embargo, este problema puede resolverse con cooperación de los centros agrícolas experimentales y de los mismos agricultores, quienes a través de las recomendaciones de un laboratorio de suelos correlacionarán los resultados del análisis con los resultados de campo (10).

Como resultado de la explotación continua del suelo y la insolubilidad del fósforo, se han empezado a obtener respuestas a las aplicaciones de fertilizantes fosfatos, en algunas áreas que anteriormente no tenían problemas de deficiencia de fósforo.

Actualmente no hay publicaciones que traten lo referente a análisis de suelos en la Costa de Hermosillo y los métodos de análisis que se han estado utilizando has-

ta la fecha no han sido corroborados con resultados de campo.

En Hermosillo, Sonora, existen laboratorios que efectúan análisis de suelos los cuales utilizan para la determinación de Fósforo diferentes métodos como el de Bioxido de Carbono, Acetato de Sodio y Bray P-1. Esto origina controversias que confunden tanto a los agricultores como a los técnicos que interpretan los resultados. Las controversias resultan por no coincidir los resultados de las diferentes formas de extracción, debido a que las formas de fósforo que disuelve cada método son diferentes. De esta manera nuestro trabajo lleva el objetivo de determinar el método de análisis más aceptable para nuestra región y poderlo recomendar a los diferentes Laboratorios de Suelos.

LITERATURA REVISADA

Debido a las condiciones de las regiones áridas el suelo tiene reacción alcalina y por lo tanto, hay acumulación de Carbonato de Calcio que va desde 4 a 70%. A esto se atribuye las diferentes formas de fósforo en el suelo, siendo variable para cada región. Esto se comprueba con la incubación de iguales concentraciones de fósforo en suelos nativos y en suelos nativos que han sido acidificados con HCl. Al final de la incubación se observa que el suelo no acidificado fija más fósforo mientras que el suelo acidificado lo libera. Este fósforo proviene de las fracciones insolubles de compuestos a base de CaCO_3 , lo cual indica que el pH del suelo es determinante en la solubilidad o insolubilidad del fósforo, ya que a medida que varía el pH, se van formando diferentes formas de fósforo en el suelo (28).

Al igual que el nitrógeno y el potasio, el fósforo se clasifica como macroelemento aunque en la planta se encuentra en menor concentración que los anteriores. En suelos ácidos las plantas toman el fósforo en forma de H_2PO_4^- y en suelos alcalinos como HPO_4^- llamados ortofosfato primario y secundario respectivamente. Un buen suministro de fósforo activa la madurez de las plantas y la paja de los cereales adquieren mayor solidez. Al haber deficiencia de este elemento, es transportado de los tejidos viejos a los tejidos jóvenes de la planta.

En general, el fósforo interviene en la transferencia de energía (27).

Shukla (25), en Guayana comparó cinco niveles de N y tres de fósforo sobre producción, propiedades del suelo y absorción de nutrientes en dos estaciones experimentales. La producción de maíz dió respuesta significativa hasta 180 Kg. de N/Ha. en las dos primeras estaciones. El fósforo dió aumento de producción solo en una estación.

En el Valle de Mexicali se realizó un experimento que estuvo distribuido en todo el Valle, usando diferentes dosis de fósforo y una dosis de Nitrógeno de 200 Kg. por Ha. ya que previamente se determinó que a este nivel se manifiesta mejor la respuesta a aplicación fosfata. Los niveles de P que se experimentaron variaron de 40 a 80 Kg. de P_2O_5 por Ha. obteniéndose los mejores resultados a un nivel de 50 Kg. de P_2O_5 Ha. que es lo que se recomienda para el cultivo del trigo en ese Valle (7).

De acuerdo con las necesidades de un aumento en la producción en trigo se planeó un trabajo que se realizó en dos ciclos probándose tres fuentes de P; a). Fosfato Diamónico (16-46-0), b). Superfosfato Triple (0-45-0) y c). Superfosfato Simple (0-19.5-0). No se encontró diferencia entre fuentes mientras que el nivel óptimo de P fue de 60 Kg. de P_2O_5 /Ha. La época de aplicación dió los mismos resultados probándose antes de la

siembra que antes del primer riego, esto solamente para la siembra en seco, ya que el riego de germinación da como consecuencia la formación de grietas, que es por donde se va a introducir el fertilizantes fosfatado (5).

Abbott y Tucker (1), confirmaron que el estiércol es una fuente efectiva de P, para suelos calcareos. El análisis de correlación demostró que los beneficios del estiércol en algodón y sorgo, se debían principalmente a la capacidad de abastecer fósforo asimilable. Se midió el efecto residual después de cultivar algodón durante 4 ciclos y 1 ciclo de cebada, haciendo una aplicación inicial de 22 Ton. estiércol/Ha. obteniéndose mejores resultados que con el testigo. Las aplicaciones de 22 Ton./Ha. de estiércol parecen abastecer la suficiente cantidad de P mientras que la misma cantidad de P en forma de fertilizante sintético, no parece dar el mismo resultado.

Norvell (17), investigó la insolubilización de fosfato en sedimentos en lagos libres de oxígeno. Después de un tiempo de reacción de 3-4 semanas, encontró que el P disminuyó junto con la concentración en solución de los principales cationes. Los iones de Ca, Fe y Mn disminuyeron de la forma en solución e intercambiable. Los iones Mg, Na, K y NH_4 ; disminuyeron de la forma soluble debido a que ocuparon los sitios de intercambio anteriormente ocupados por Ca, Fe y Mn.

Isao y Lehr (11), hicieron aplicaciones de P en la superficie del suelo en columnas utilizando las siguien

tes formas: Ortho-, Piro-, Tripoli-, Tetrapoli-, fosfato de amonio y polifosfato cíclicos de amonic. Después de 1, 2 y 4 semanas, las columnas fueron cortadas en secciones de 1 mm analizando la distribución del P en éstas como P total y P en forma de ortofosfato. Tanto en su forma soluble en agua, como la inmovilizada (soluble en NaOH). Los patrones de distribución se notaron durante la primera semana y después el movimiento del P decreció aumentando lentamente la concentración de P inmovilizado.

La distancia total recorrida y los patrones de distribución de P soluble fue igual para todas las fuentes, pero los polifosfatos, tuvieron diferentes grados de inmovilización y profundidad de retención.

Munn y otros (16) estudiaron 3 suelos que fueron tratados con 25, 125 y 650 ppm de P y sujetos a lluvias simuladas. El experimento consistió de 5 intensidades de lluvia, 5 duraciones de lluvia y 5 diferentes pendientes. Se encontró una alta correlación ($r=0.997$) entre el total de P en el agua de escurrimiento de las parcelas y la cantidad de suelo erosionado. Cuando las plantas crecieron y cubrieron el suelo de las parcelas, redujeron el volúmen de agua de escurrimiento y la erosión del suelo, pero aumentó la precolación; el de percolación incrementó la lixiviación de P.

Logan y Mclean (14), estudiaron el movimiento de ^{32}P del fosfato monocálcico en columnas de suelo con diferentes niveles de P, la capacidad de fijación y el modo de intensidad e intensidad de lixiviado. La lixiviación del P aumentó con la dosis de aplicación e intensidad de lixiviado. La lixiviación con tirante hidráulico constante resultó en un mayor movimiento de ^{32}P , desde la capa superficial de mayor acumulación en lixiviado en comparación con el método de lixiviado intermitente. En general el P en el lixiviado no era de naturaleza iónica excepto en los casos de lixiviación máxima. Se recuperaron cantidades significativas de ^{32}P solo en los francos arenosos y a dosis altas de aplicación.

Phillips, Place y Brown (22), investigaron el coeficiente de difusión de ^{32}P en caolinita, montmorilonita, illita, migajón limoso, y arcillas. El P fue agregado en forma de superfosfato concentrado, siendo los niveles usados: 10, 20, 40, 80, 160 y 320 ppm. Las arcillas y los suelos fueron mantenidos cerca del pH neutro y el contenido de agua se mantuvo a una tensión de 173 mbar. Fue medida la fracción soluble en agua de Ca, Fe y la fracción ocluida de Fe y Al. El coeficiente de difusión de cada arcilla y del suelo fueron linealmente y positivamente correlacionados; el coeficiente de difusión caolinita y montmorilonita, fue aproximadamente 40 veces más grande que en illita, migajón limoso y la arcilla. No hubo relación entre el coeficiente de difu-

sión y las varias fracciones de P en el suelo.

Griffin y Jurimak (9), evaluaron las isotérmicas de adsorción de fosfato en calcita y demostraron estar sujetas a la ecuación de Langmuir, en dos regiones con pendientes diferentes, pero lineales. La discontinuidad de la pendiente, (motivo de las dos pendientes lineales), se debe a la división entre fosfato ortocalcico e hidroxiapatita, en los diagramas de solubilidad de fosfato de calcio. Se concluyó que solo el 5% del área de la calcita estaba cubierto de iones fosfato.

Kuo y Lotse (12), investigaron la adsorción y liberación, la energía de P en sedimentos de lagos y evaluaron la influencia de los sedimentos en la concentración de P en agua de los mismos lagos. La adsorción fue mejor descrita por la ecuación de Freundlich en todo el rango de concentración de P, mientras que la de Langmuir, fue útil solo a bajas concentraciones.

Lonerogan y Asher (15), estudiaron la adsorción de P y el crecimiento de 8 especies de pastos anuales, en soluciones nutrientes durante 4 semanas, con una concentración de P que fue de 0.04 M a .24 M. Para concentraciones de 5 a 24 M de P el % de P absorbido varió de 8 a 21 grs. atomos/Gr. raices frescas/día. Para 0.04, 0.2 y 1 M de P varió de 0.1 a 10 grs./Gr. raices frescas/día, al aumentar la absorción de P de 1 a 10 grs. atomo/Gr. raices frescas/día, incrementó el crecimiento de todas las especies. La absorción de P a niveles mayores que

los anteriores, incrementó el crecimiento de algunas especies, pero el P causó toxicidad en otras especies.

Se investigó el fraccionamiento en secuencia de ^{32}P absorbido junto con los cambios de concentración de P en equilibrio a diferentes profundidades en un experimento de lixiviación utilizando columnas de suelos. Se encontró que el % de P extraído con NH_4 y Cl, disminuyó considerablemente con la profundidad, mientras que el P extraído con NH_4 y F, disminuyó rápidamente en los primeros 2 cms. de suelo y de allí para abajo, se mantuvo relativamente constante. El porcentaje de P extraído con NaOH, varió inversamente al extraído con NH_4 F y el soluble en H_2SO_4 , aumentó con la profundidad (13).

En un estudio se agregó $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en 5 niveles y $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$, H_2O en 4 niveles y sus diferentes combinaciones a muestras de un migajón arenoso ácido deficiente de P. Se analizó la solución del suelo después del equilibrio y se extrajo el P con 0.1 MCl a Cl_2 y 0.025 $\text{NH}_2\text{SO}_4 + 0.05\text{N HCl}$. Se estableció un cultivo de sorgo, todas las soluciones extractoras y el P en solución se correlacionaron con el rendimiento (26).

Ballard y Fiskell (5), estudiaron la capacidad de retención de P en el horizonte superficial de 42 suelos forestales. Hicieron uso del máximo de adsorción, la isotérmica de Langmuir y la saturación del suelo con 2,500 $\mu\text{g}/\text{suelo}$. Ambos índices se correlacionaron ($r=0.986$), aunque el método de saturación dió capacida

des de retención 2 a 3 veces más grandes que las derivadas de la ecuación de Langmuir. La capacidad de retención varió desde 0 hasta 1288 gp/suelo. Encontraron que el Al y Fe extractable eran las mejores bases para predecir la retención de P. Las soluciones extractoras más confiables fueron para Al IN $\text{NH}_4 \text{OAc}$ a pH 4.8 ($r=0.934$) y 0.3 M $(\text{NH}_4)_2 \text{C}_2\text{O}_4$ a pH 3.2 ($r=0.903$) para Fe.

Chang y Jackson citados por Baker (3), han ideado métodos utilizando soluciones extractoras con $\text{NH}_4 \text{Cl}$ que disuelve las formas de AlPO_4 . Posteriormente los suelos se tratan con NaOH para disolver el FePO_4 y finalmente con H_2SO_4 para disolver $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$ y no al P orgánico, ya que esta forma necesita un tratamiento especial. Como el AlPO_4 es el ion determinante en la absorción de P por las raíces de la planta, ellos recomendaron utilizar solución extractora a base de $\text{NH}_4 \text{F}$.

Se han realizado varios experimentos para encontrar una nueva tendencia en análisis de suelos que consiste en que las soluciones extractoras contenga el mismo elemento que se quiere analizar. Los resultados comprueban que el equilibrio de adsorción puede ser utilizado eficazmente en el análisis de varios elementos. Se da la fórmula para calcular los requisitos de P en forma de requerido en $\text{ppm} = (10 - \text{ppm en el suelo}) \times 3$ requisitos cultivo. Se menciona que aún cuando esta innovación es prometedora, se necesita más trabajo de calibración, antes de utilizarse en rutina (3).

Se estudió la conversión de P aplicado en 2 suelos con alta concentración de Al y Fe, utilizando los métodos de Chang y Jackson para determinar las fracciones de P soluble en forma de Ca-P y Fe-P y Al-P. Se hicieron aplicaciones de superfosfato concentrado y roca fosfórica en dosis de 175 y 349 Kg. de P/Ha. Solo una pequeña parte del incremento en el P total, fue debido a la aplicación inicial de P. Aparentemente mucho del P se convirtió en P ocluido y esto puede sumarse para la necesidad de aplicación de P (23).

Peterson y Corey (21), han ideado un método para el fraccionamiento rutinario de los fosfatos del suelo. El uso de pipetas automáticas, 2 reductores del ácido molibdofosfórico con diferentes sensibilidades y la extracción alcohol isobutílico de la extracción de P soluble, en soluciones reductoras han aumentado la rapidez del análisis.

Chang, Chu y Ert (6), demostraron que se puede determinar los fosfatos solubles en soluciones reductoras de extracciones hechas con ditionito-citrato-bicarbonato, al tratar el extracto con FeCl_3 y NaOH , para oxidar el exceso de ditionito y precipitar al citrato antes de la formación del color azul con ácido cloromolibdico y SnCl_2 .

Griffin (8), comprobó cambios en el P extractable al adicionar Ca(OH)_2 a 13 muestras de suelos ácidos variando el P extractable con el tipo de suelo y con la

solución extractora. El promedio de incremento en pH fue 5.3 a 7.7; cambiando también el P extractable debido a los cambios de pH: los cambios en el P extractable fueron los siguientes: Modificación de Morgan, +123% norte de Carolina +27%, Bray P-1-23%. Los cambios de P extractable por Bray P-1 fueron menos afectados para los diferentes suelos, que cambiaron en el P extractante con respecto a otros 2 métodos anteriores.

Peck, Kurtz y Tandon (20), evaluaron los incrementos en P extraído por la solución Bray P-1, debido a las aplicaciones de fertilizantes durante 3 años en 6 experimentos de campo. El P extraído aumentó 1 ppm por cada 4 aplicados en forma de fertilizante.

En un estudio realizado sobre el rendimiento del maíz y extracción de P asimilable, se utilizaron los métodos de Peech, Englich y Bray P-1. Las dosis de fertilización fueron (80-0-0) y (90-60-0). Los coeficientes de correlación fueron 0.51 y 0.72 respectivamente. El P extraído por el Bray P-1 indicó lo siguiente: menor de 11 Kg. de P por Ha. la probabilidad a una respuesta a la aplicación de P es de 81.25%, de 11.1 a 20 Kg. de P por Ha. la probabilidad de respuesta a una aplicación de P son de 28.57%, 21.1 a 35 Kg. de P por Ha. la probabilidad de respuesta a una aplicación de P es de 33.3%, a mayor de 35.1 Kg. de P por Ha. la probabilidad de una aplicación de P es de 0% (19).

Se llevó a cabo un experimento para comparar los rendimientos del cultivo con el resultado de los análisis correspondientes para cada método de extracción de fósforo aprovechable por la planta. Los métodos utilizados fueron los siguientes:

1. Peech-Solución extractora Acetato de Sodio y Acido acético, amortiguado a $\text{pH}=4.8$.

2. H_2SO_4) 00.002 N Amortiguado con Sulfato de Amonio $\text{pH}=3$.

3. Bray P-2 NH_4F 0.03 N y HCl 0.01 N.

4. Bray P-1 NH_4F 0.03 N y HCl 0.025 N.

5. Olsen-Bicarbonato de Sodio 0.05 N ajustado con NaOH 0.05 $\text{NapH}=8.5$.

Los resultados fueron: Bray P-1, $r=0.74$; Peech, $r=0.54$; Troug, $r=0.24$; Bray P-2, $r=0.52$ y Olsen, $r=0.60$. Los límites de respuesta para Bray P-1 fueron de; 0-11 Kg. por Ha. un gran incremento en rendimiento y 11.5-20 Kg. sin incremento en rendimiento (18).

La determinación de fósforo aprovechable por el método Bray P-1 consiste en determinar las formas solubles de fosfato de Aluminio y fosfato ferroso por la solución extractora formada por fluoruro de amonio 1N y ácido clorhídrico, 0.5 N. El método de Olsen no ha sido muy utilizado en la Región del Noroeste de México, a pesar de ser diseñado exclusivamente para usarse en suelos de pH alcalino ya que su solución extractora es Bicarbonato de Sodio 0.5 M ajustada a un pH de 8.5 con solución

de Hidróxido de Sodio 1 M. El método de Oxalato de Sodio está en fase experimental y lleva los principios al método de Olsen y se basa en mantener el Calcio, Magnesio, Aluminio y Fierro, en forma soluble y sin precipitación de fosfatos y la solución extractora es Oxalato de Sodio, 0.1 M. Un método que últimamente ha dado mucha significancia, es el que utiliza como solución extractora una concentración de fósforo conocida para satisfacer la necesidad de fijación y retención de fósforo en el suelo; las concentraciones que se han utilizado y han dado buen resultado son 2 ppm y 5 ppm de fósforo. El método de Acetato de Sodio consiste en determinar el fósforo total, con la solución extractora de Acetato de Sodio. La determinación de fósforo por el método de Bioxido de Carbono, consiste en hacer pasar una corriente de CO_2 por veinte minutos a un volúmen dado de agua destilada, y aun peso conocido de la muestra.

MATERIAL Y METODOS

Como se querían obtener datos representativos para la Costa de Hermosillo, este trabajo comprendió cuatro experimentos los cuales se establecieron en varios campos agrícolas, buscando diferencias en sus propiedades físicas y químicas. Un experimento se llevó a cabo en el Campo Santa Carmen, localizado en la Región del Sahuaral. El segundo en el Campo Sahuaripa 2, ubicado en la calle 36 norte y el tercero y cuarto en el Campo Experimental de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, localizado a la altura del Km. 21 de la Carretera a Bahía Kino.

Todo lo concerniente a los análisis de suelo se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora.

Todos los experimentos se establecieron durante el invierno 1972-1973 y se escogió al cultivo de trigo por su importancia en la región de la Costa de Hermosillo y del Noroeste de México.

Se realizaron análisis de suelo antes de la aplicación del fósforo, tomándose 3 muestras por cada par de parcelas, para después homogenizarlas y obtener una sola muestra que serviría para el análisis, por los diferentes métodos de extracción.

Los tratamientos consistieron en N y N+P agrupados en parejas. La dosis que se usó fue de 100 Kg. de N y 100 Kg. de P_2O_5 /Ha. utilizando como fuentes: Urea

(46-0-0) y Superfosfato Triple (0-46-0).

Cada experimento consistió de 4^a m. de largo por 16 m. de ancho, habiendo un total de 16 parcelas, de las cuales 8 fueron de N y 8 de N+P. Cada parcela consistió de 8x5 m. para obtenerse una parcela útil de 4x2 m. o sea 8 m². La aplicación de los fertilizantes se llevó a cabo incorporándolos con 2 pasos de rastra para después efectuarse la siembra en la primera quincena de Diciembre y a tierra venida. Se sembró la variedad Cajeme en el experimento No. 1; en el experimento No. 2 se sembró la variedad 7 Cerros y en los experimentos 3 y 4 que se sembraron en seco, se utilizó la variedad Inia 66.

Los experimentos 1, 2 y 4, se llevarón según las indicaciones previstas. En el experimento No. 2, las primeras 3 parejas de parcelas se tuvieron que desechar, debido a que en las primeras fases del cultivo se observó un desarrollo raquítico por compactación del suelo y un ataque de araña café (Petrobia latens Muller) teniéndose que hacer una aplicación a base de Paration etílico 90% en dosis de medio litro por Ha. de material comercial. Este desecho se llevó a cabo en el análisis estadístico, ya que no entraron a la curva de datos.

El experimento 3, se tuvo que desechar debido a una fuerte invasión de malezas, principalmente Correhuela (Convolvulus arvensis L), Girasol (Helianthus annus L) y Chual (Chenopodium spp.)

La cosecha se llevó a cabo por parcela útil efectuándose el corte a mano con hoz, la trilla con máquina estacionaria y pesándose la producción con balanza granataria. Una vez que se tuvieron los resultados, se sometieron a análisis estadístico.

Las muestras de suelo se analizaron utilizando los siguientes métodos: a) Bray P-1, b) Olsen, c) Oxalato de Sodio, d) Solución 2 ppm de Fósforo, e) Solución 5 ppm de Fósforo, f) Acetato de Sodio y g) Bioxido de Carbono.

Para solución de 2 ppm y 5 ppm de P se utilizó una relación 5:1 (solución suelo), tomando un volumen del extracto de 2 ml, para después proseguir con los reactivos del Bray P-1 hasta llevar a un volumen de 10 ml; el tiempo de agitación varió de 30 minutos a 18 horas no habiendo diferencia significativa en los cambios de valores de los resultados de los análisis.

También para el método Bray P-1 se utilizaron 2 diferentes tiempos, siendo 1 y 30 minutos. Al no haber diferencia significativa se escogió el método agitado 1 minuto por ser más práctico (el valor de t también fue mayor).

Para la agitación se utilizó el agitador mecánico excepto el Bray P-1 agitado un minuto el cual fue en forma manual.

Durante el proceso de los análisis se tuvo problemas con el método de Oxalato de Sodio y Olsen, teniendo que hacer una repetición en el proceso del análisis de las

muestras, encontrando después, de una minuciosa revisión de los reactivos, que el Molibdato de Amonio no había sido preparado como lo indica el manual reformado (2); volviéndose a correr las muestras antes previa curva de calibración, no teniéndose problemas con los resultados. Con respecto al Método de Olsen se tuvo problemas con el cambio de pH en la solución extractora; repitiéndose cuidadosamente los análisis sin problema, ya que no hubo interferencia en método de los análisis. Una vez repetidos los análisis, se pudo confiar en los resultados y así pasarse a las gráficas para los análisis respectivos expresados en por ciento.

Con respecto a los Métodos Bray P-1, solución 2 ppm y 5 ppm de P no se tuvo ningún problema, ya que para el uso de estos reactivos se tiene la suficiente experiencia, siendo el Bray P-1, el método que se utiliza para la extracción de P en el Laboratorio de Suelos de esta Escuela de Agricultura. Igualmente se utilizaron otros tiempos de agitación para observar los cambios que se presentan en la determinación utilizándose 1 a 30 minutos para el Bray P-1 y media hora y 18 horas para sol 2 ppm y 5 ppm de P, no observándose diferencia significativa en el tiempo de agitación.

Todos los resultados de cada método se graficaron comparados con los rendimientos relativos y sometiéndose a un análisis de regresión. Aquí en este proceso se descharon algunos de los datos del experimento por salir-

se de la tendencia de los demás puntos debidos a problemas de deficiencias en riego de las parcelas pares.

El análisis estadístico al que se sometieron los resultados constó de un análisis de Regresión Lineal en la que la variable dependiente era el método de análisis de fósforo y se situo en la coordenada del eje de las XX, mientras que la variable independiente era el rendimiento relativo del cultivo (trigo) expresado en por ciento y se colocó en las coordenadas del eje de las YY. La tendencia del rendimiento fue en sentido ascendente.

La ecuación de regresión utilizada fue $Y = b_0 + b_1 X$, donde Y es el rendimiento relativo expresado en por ciento, b_0 es el coeficiente de Regresión o sea el valor de Y, cuando $X=0$; b_1 es una constante que determina la pendiente de la línea que une los puntos de la observación; X es el valor del fósforo extraído transformado a la expresión logarítmica.

RESULTADOS

El propósito de este trabajo fué encontrar un método de análisis de fósforo que puede ser utilizado en los laboratorios de suelos de nuestra región aun ya está establecido que para que una aplicación de fósforo al cultivo sea costeable el aumento en rendimiento debe ser igual o mayor al 10 % y así poder usar un método que nos diga lo anterior debe estar previamente experimentado y sus resultados deben de ser significativamente confiables.

Para encontrar la significancia de cada método se utilizó la Regresión lineal donde los resultados de los análisis se identifican con la letra X, y representando los resultados en ppm de fósforo en el suelo, para posteriormente obtenerse el logaritmo; con la letra Y, se representó el rendimiento relativo expresado en porciento.

Esto se puede observar en los Cuadros (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11) que representan los datos que se obtuvieron en la Regresión logarítmica de los siguientes métodos; Bray P-1, 2 ppm agitado media hora, 5 ppm agitado 18 horas, 5 ppm agitado 30 min., Oxalato de Sodio, 2 ppm agitado 18 horas, Bioxido de Carbono, Bray P-1 agitado 30 min., y Olsen.

Los resultados obtenidos indican que los métodos: Bray P-1 agitado 1 y 30 min., solución 2 ppm de fósforo agitado 30 min., y 18 horas, 5 ppm de fósforo agitado 30

min., y 18 horas y Oxalato de Sodio fueron altamente significativos para $t_{0.995}$; el método Bióxido de Carbono para $t_{0.975}$; el método de Olsen no fué significativo.

Debido a que los métodos Bray P-1 agitado 1 minuto, solución 2 ppm de fósforo agitado 30 min., fueron altamente significativos se graficaron los resultados de los análisis para obtener una pendiente que nos relacionarán los resultados del método Bray P-1 con los resultados de los métodos solución 2 ppm de fósforo y así relacionar la capacidad de retención de fósforo por el suelo, haciendo la curva de regresión lineal encontramos que fué significativa para $r=0.944$, indicando la relación tan estrecha que existe al extraer fósforo por el método Bray P-1, con la retención de fósforo por el suelo (Gráfica 10).

La regresión log. que se obtuvo de cada método (Gráficas 1 al 11) demuestran que al haber cero fósforo en el suelo y haciendo una aplicación del mismo hay un gran incremento en producción; sin embargo al ir obteniendo más fósforo en el suelo el incremento en rendimiento va siendo menor hasta el grado de haber una baja en rendimiento en vez de un incremento.

Para encontrar los valores de respuesta del trigo a la aplicación de fósforo, se tomó en cuenta la redituabilidad del cultivo, siendo los índices de respuesta cuando la aplicación de P incrementó un 10 % la producción.

Así tenemos que el contenido de Fósforo en el suelo, que corresponden al incremento en producción del 10 %

son los siguientes: Bray P-1 3.5 ppm, Solución 2 ppm de P 10 ppm, Solución 5 ppm de P 17 ppm, Oxalato de Sodio 85 ppm, Bióxido de Carbono 2 ppm de Fósforo en el suelo respectivamente.

DISCUSION

Los resultados de este experimento fueron significativos y nos sirvieron para encontrar los métodos de análisis de fósforo, aunque pueden ser utilizados con entera confianza para la región de la Costa de Hermosillo.

Chang y Jackson (3), encontraron que soluciones extractoras a base de NH_4F disuelve los AlPO_4 , las soluciones extractoras a base de NaOH disuelven FePO_4 y finalmente el H_2SO_4 los $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Siendo el ion AlPO_4 determinante en la adsorción de P por la raíz, ellos recomiendan que las soluciones extractoras sean a base de NH_4F , tal como se usa en el método Bray P-1. También Peck, Hurtz y Tandon (20) utilizaron el método de Bray P-1 para encontrar los cambios de fósforo en el suelo debido a aplicaciones de fertilizante fosfatado por 3 años, encontrando que por cada 4 ppm de P que se aplicó al suelo el fósforo extraído por el método Bray P-1 incrementó en 1 ppm. También se estudió el fósforo extractable utilizando los métodos Peck, English y Bray P-1 con el cultivo de maíz, encontrando que los coeficientes de correlación fueron 0.51 y 0.72 para los 2 primeros. El P extraído por el Bray P-1 indicó lo siguiente: menor de 11 Kg. de P/Ha. la probabilidad a una respuesta a la aplicación de P fué de 81.25 %, de 11.1 a 20 de P por Ha. de 28.57 %, 21.1 a 35 Kg. de P por Ha. de 33.3 %, a mayor de 35.1 Kg. de P por Ha. la probabilidad fué 0 %. También se llevó

a cabo un experimento para comparar el rendimiento relativo utilizando los métodos de extracción, a) Peesch, b) Troug, c) Bray P-2, d) Bray P-1 y e) Olsen, encontrando que el método Bray P-1 fué el que dió la correlación mas alta.

Debido a que en los diferentes trabajos en que se ha comparado el método Bray P-1, ha sido el que ha dado mejor resultado, al igual que en este trabajo puede considerarse un método recomendable para los laboratorios que se dediquen a análisis de suelo.

En este trabajo al comparar los nuevos métodos de análisis de P, o sea obtener fósforo con fósforo, se tuvo como resultado que en aquellas parcelas donde no hubo respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfatado, no hubo fijación del P de la solución y entonces el P del suelo pasó a la solución de fósforo conocido. Sin embargo, en los suelos que si respondieron a fertilización fosfatada hubo fijación de grandes cantidades de P, siendo mayor la capacidad de fijación en lugares donde el contenido de arcilla fué alto. De esta manera, puede predecirse una posible respuesta a la aplicación de fertilizante fosfatado en el cultivo del trigo, al someter las muestras a análisis de P por el método de solución de P conocido.

Por lo anterior, se puede recomendar que para aclarar dudas sobre la aplicación de fertilizante fosfatado

en el cultivo de trigo, se recomienda el análisis de suelo y hacer determinación de P por los métodos Bray P-1 o solución 2 ppm de P. A valores menores de 3.5 ppm de P en el suelo y menores de 9.5 ppm de P para los métodos Bray P-1 y solución 2 ppm respectivamente, puede asegurarse una respuesta en producción de trigo en la aplicación de fósforo. La aplicación de P debe hacerse de acuerdo a las necesidades del trigo y tomando en cuenta las condiciones físicas y químicas del suelo.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Parte de este trabajo se realizó en varios campos agrícolas para que fuera representativo de la Costa de Hermosillo, complementándose de un 50 % en campo y un 50 % en laboratorio. Este trabajo se planeó debido a que en los laboratorios de suelos de nuestra región se usan diferentes métodos de extracción de fósforo. Concientes de la importancia que tiene para la fertilidad del suelo este elemento, se trató de obtener el mejor método de análisis para su determinación comparándose los siguientes métodos: a) Bray P-1, b) Olsen, c) Oxalato de Sodio, d) Solución 2 ppm de Fósforo, e) Solución 5 ppm de Fósforo, f) Acetato de Sodio y g) Bioxido de Carbono.

El trabajo de campo comprendió 4 experimentos los cuales se establecieron en varios campos agrícolas, para buscar diferencias en propiedades físicas y químicas del suelo. Todos los experimentos se establecieron durante el invierno 1972-1973, y se escogio el cultivo del trigo por su importancia en la Región de la Costa de Hermosillo y del Noroeste de México. Un experimento se llevó a cabo en el campo Santa Carmen, localizado en la región del Sahuaral. El segundo en el campo Sahuaripa 2 y el tercero y cuarto en el Campo Experimental de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora.

Cada experimento consistió de 40 m. de largo por 16 m. de ancho, habiendo un total de 16 parcelas, de las

cuales 8 fueron de N y 8 de N+P alineándose en parejas. Cada parcela consistió de 8 x 5 m., para obtener una parcela útil de 4 x 2 m. ó sea 8 m².

Se realizó un muestreo de suelo antes de la aplicación de fósforo, tomándose 3 muestras por cada par de parcelas para después homogenizarse y obtener una sola muestra que nos serviría para el análisis de P por los diferentes métodos.

Los resultados de cada método se gratificaron comparándolos con el rendimiento relativo del trigo obteniéndose la curva de Regresión logarítmica.

Los tratamientos consistieron en N y N + P agrupados en parejas y la dosis que se usó fué 100 Kg. de P₂O₅ por Ha. utilizando como fuentes: Urea (46-0-0) y Superfosfato Triple (0-46-0).

Los experimentos 1, 2 y 4, se llevaron según las indicaciones previstas. En el experimento 2, las primeras 3 parejas de parcelas se tuvieron que desechar, debido a que en las primeras fases del cultivo se observó un desarrollo raquítico, por compactación del suelo y ataque de araña café (Petrobia latens Muller) teniéndose que hacer una aplicación a base de Paration etílico 90 % en dosis de medio litro por Ha. de material comercial. Este desecho se llevó a cabo en el análisis estadístico por lo que no entraron a la curva de datos.

El experimento 3, se tuvo que desechar debido a una fuerte invasión de malezas, principalmente: Correhuela

(Convolvulus arvensis L.), girasol (Helianthus annuus L.) y chual (Chenopodium spp).

La cosecha se llevó a cabo por parcela útil efectuándose el corte a mano con hoz, la trilla con máquina estacionaria y pesándose la producción con balanza granataria.

Con la producción de grano se compararon los rendimientos de las parejas de parcelas (con y sin fósforo). Las producciones de todas las parcelas no fertilizadas con fósforo, y las fertilizadas con fósforo se sumaron para encontrar el rendimiento que se obtuvo de cada campo y así comparar el incremento en rendimiento con el costo de la fertilización fosfatada (Gráfica 1).

Las muestras de las parcelas parejas se homogenizaron para enseguida secarse, tamizarse y quedar listas para los análisis. Previamente a la determinación se prepararon los reactivos de cada método y se comprobaron los mismos, corriendo los standares de fósforo conocido con el blanco de reactivo y obtener la curva de calibración.

Todas las lecturas para los análisis de suelo se tomaron con el Klett-Sumerson usando filtro rojo. Una vez comprobada la efectividad de los reactivos, se prosiguió correr las muestras de suelo conforme lo indican cada marcha de los métodos que se compararon en este trabajo.

Una vez que se obtuvieron las ppm de fósforo de cada

método se prosiguió a ser el análisis estadístico, para poder valorar los resultados de los análisis con el rendimiento relativo expresado en por ciento.

Para el análisis estadístico se utilizó la fórmula $Y = b_0 + b_1 X$ donde Y representa el rendimiento relativo, X representa el valor logarítmico de ppm de fósforo siendo ésta una variable de la forma común de regresión lineal. Se obtuvo el valor del coeficiente de correlación r, y a través de este valor de t para probar el nivel de significación.

De acuerdo con los análisis estadísticos se obtuvieron los siguientes resultados.

Hubo correlación del rendimiento relativo con el nivel de fósforo extraído por los métodos de análisis, pero no para el método de Olsen y también con el rendimiento que se obtuvo al comparar el rendimiento de las parcelas que se fertilizaron con fósforo con las parcelas que no recibieron la aplicación fosfórica.

En conclusión podemos confiar en el análisis de fósforo del suelo, utilizando los métodos que mostraron alta significancia; de esta manera el método Bray P-1, puede recomendarse como un método rutinario para un laboratorio de análisis de suelo por ser mas económico y también estadísticamente mas confiable que cualquier otro método.

Para encontrar los valores de respuesta del trigo a la aplicación de fósforo, se tomó en cuenta la redituabi

lidad del cultivo, siendo los índices de respuesta cuando la aplicación de P incrementó un 10 % la producción.

Así tenemos que el contenido de fósforo en el suelo que corresponden al incremento en producción del 10 % son los siguientes: Bray P-1 3.5 ppm, Solución 2 ppm de P 10 ppm, Solución 5 ppm de P 17 ppm, Oxalato de Sodio 85 ppm, Bióxido de Carbono 2 ppm de fósforo en el suelo respectivamente.

Es recomendable también, se siga trabajando con estos métodos, cuando menos un ciclo más y se efectúen para varios cultivos de la región, porque para cada especie de planta puede variar la respuesta a una deficiencia o exceso de fósforo en el suelo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ABBOTT, J. L. and T. C. TUCKER. Persistence of manure phosphorus availability in calcareous Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 37:60-63. 1973.
- 2) ACUÑA, A. C. Evaluación de un método para la determinación de Fósforo aprovechable del suelo usando como solución extractora el Oxalato de Sodio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$). Escuela de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Hermosillo, Son. p. 14. 1974. (Tesis mimeografiada).
- 3) BAKER, E. D. A new approach to soil testing: Ionic equilibria involving, H, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Na, P and S. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:537-541. 1973.
- 4) BALDOVINOS, DE LA F. F. Efectos de las fracciones de P del suelo en el desarrollo de las plantas. Memorias del II congreso de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Tomo I. p. 89-99. 1975.
- 5) BALLARD, R. and G. A. FISHELL. Phosphorus retention in coastal plain forest Soils: I relations hip to soil properties. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38:350-255. 1974.
- 6) CHANG, S. C., W. K. CHU and K. T. ERH. Determination of reductant soluble phosphate in soil. Soil Science, 102 (1):44-45. 1966.
- 7) DE ANDA, R. V. y E. T. ORTEGA. Respuestas del trigo a las aplicaciones de fertilizantes fosfóricos en el Valle de Mexicali, B. C. Memorias del IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Tomo I. p. 82-89. 1969.
- 8) GRIFFIN, G. F. Effect of liming on the soil test level of phosphorus as Determined By three methods. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35:540-542. 1971.
- 9) GRIFFIN, R. A. and J. J. JURINAK. The interaction of phosphate with Calcite. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:847-859. 1973.
- 10) HUERTA, M. R. Manual de Laboratorio para fertilidad de suelos. Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. p. 21. 1966. (Apuntes mimeografiados).

- 11) ISAO, H. and J. R. LEHR. Mobility of poly phosphates with Calcite. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:36-41. 1973.
- 12) KUO, S. and E. G. LOTSE. Kinetics of phosphate adsorption and desorption by lake sediments. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 38:50-54. 1974.
- 13) LOGAN, T. L. and E. O. MCLEAN. Effects of Phosphorus rate, soil properties and leaching mode on P movement in soil columns. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:371-374. 1973.
- 14) LOGAN, T. L. and E. O. MCLEAN. Nature of phosphorus retention and adsorption with depth in soil Columns. Soil Sci. Amer. Proc. 37:351-355. 1973.
- 15) LONERAGAN, J. F. and ASHER. Response of plants to phosphate concentration in solution culture: II rate of phosphate absorption and relation to growth. Soil Science. 103 No. 5 311-318. 1966.
- 16) MUNN, D. A., E. O. MCLEAN, A. RAMIREZ and L. T. LOGAN. Effect of soil, cover slope, and rainfall factors on soil and phosphorus movement under simulated rainfall conditions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:428-431. 1973.
- 17) NORVELL, W. A. Insolubilization of Inorganic phosphate by anoxic lake Sediment. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38:441-445. 1974.
- 18) ORTEGA, T. E. Estudio de correlación entre métodos de análisis químicos para determinar P aprovechable por las plantas en los suelos y rendimiento relativo de maíz obtenido en campo. Memorias del Primer Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. p. 149-157. 1963.
- 19) ORTEGA, T. E. Estudio de correlación del método Bray P-1 para la determinación de P asimilable con rendimientos de campo para maíz de temporal de suelos del Bajío. Memorias del Segundo Congreso de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Tomo II. p. 59-60. 1975.
- 20) PECK, T. R., L. T. KURTZ and H. L. S. TANDON. Changes in Bray P-1 soil phosphorus test values resulting from applications of phosphorus fertilizer. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 35:595-598. 1971.

- 21) PETERSEN, G. W. and R. B. COREY. A modified Chang and Jackson for routine fractionation of inorganic soil phosphates Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 563-565. 1966.
- 22) PHILLIPS, R. E., G. A. PLACE and D. A. BROWN. Self-diffusion of phosphorus in clays: I, the effect of phosphorus rate. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32: 41-44. 1968.
- 23) ROBERTSON, W. K., L. G. THOMPSON Jr. and C. E. HUTTON. Availability and fractionation of residual phosphorus in soils high in Aluminum and Iron. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:446-450. 1966.
- 24) ROJAS, B. A. y R. C. CANO. Efecto de niveles, fuentes y épocas de aplicación de fertilizante fosfata do sobre el rendimiento de trigo en la Costa de Hermosillo. Memorias del IV Congreso de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Tomo I. p. 25-33. 1965.
- 25) SHUKLA, G. C. Effect of different levels of nitrogen and phosphorus in yield, soil properties and nutrients of corn. Agronomy Journal. 64:136-139. 1973.
- 26) SOLTANPOUR, P. N., F. ADAMS and A. C. BENNETT. Soil phosphorus availability as Measured by Displaced Soil Solutions, Calcium-Chloride Extracts, Dilute and Extracts, and labile phosphorus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38:225-228. 1974.
- 27) TISDALE, S. L. and W. L. NELSON. Fertilidad de los suelos y fertilizantes Montaner y Simen S. A. p. 83-88. 1970.
- 28) VELASCO, M. H. A. Influencia del pH y el CaCO_3 en la fijación de fosfatos en algunos suelos del Norte de México. Memorias del IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Tomo I. p. 347-358.

A P E N D I C E

Cuadro 1. Comparación de rendimiento y costo de producción con y sin aplicación de fósforo.

Campo	Kg./Ha.		en Rend.	Fertilización con P		Ganancia por Ha.
	N	N + P		Ingreso	Costo	
Sta. Carmen	5,422	5,400	-	-	-	-
Sahuaripa # 2	5,860	6,440	580	1,015.00	493.70	522.30
Campo Exp. UNISON.	4,804	5,304	500	875.00	493.70	381.30

Cuadro 2. Resultados del método solución 2 ppm de P utilizando suelos de 3 distintos campos agrícolas.

No. de M	P Agregado	P Extraído	P Absorbido			P Liberado a la solución		
	grs. por ml.	grs. por ml.	grs. por ml.	grs. por 5 gr.	Kg. por Ha.	grs. por ml.	grs. por 5 gr.	Kg. por Ha.
1	0.40	0.46	-	-	-	0.06	15	12
3	0.40	0.44	-	-	-	0.04	10	8
4	0.40	0.46	-	-	-	0.06	15	12
5	0.40	0.44	-	-	-	0.04	10	8
6	0.40	0.46	-	-	-	0.06	15	12
8	0.40	0.40	-	-	-	-	-	-
13	0.40	0.14	0.26	65	52	-	-	-
14	0.40	0.16	0.24	60	48	-	-	-
15	0.40	0.14	0.26	65	52	-	-	-
16	0.40	0.14	0.26	65	52	-	-	-
26	0.40	0.26	0.14	35	28	-	-	-
28	0.40	0.20	0.20	50	40	-	-	-
29	0.40	0.20	0.20	50	40	-	-	-

Cuadro 3. Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método Bray P-1.

M	ppm de P X	log x	Rend. relativo en % Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	16	1.204	101	0.334	-2.6	-0.913	0.111	6.76
3	16	1.204	92	0.334	-11.6	-3.874	0.111	134.56
4	17	1.230	91	0.360	-12.6	-4.536	0.129	158.76
5	16	1.204	100	0.334	-3.6	-1.202	0.111	12.96
6	16	1.204	98	0.334	-5.6	-1.870	0.111	31.36
8	18	1.255	95	0.385	-8.6	-3.311	0.148	73.96
13	2	0.301	112	-0.569	8.4	-4.779	0.324	70.56
14	2	0.301	108	-0.569	4.4	-2.503	0.324	19.36
15	3	0.477	115	-0.393	11.4	-4.480	0.154	129.96
16	6	0.778	104	-0.92	0.4	-0.036	0.008	0.16
26	8	0.903	105	0.033	1.4	0.046	0.001	1.96
28	9	0.954	107	0.084	3.4	0.285	0.007	11.56
29	2	0.301	119	-0.569	15.4	-8.762	0.324	237.16
		11.316	1,347	0.006	0.2	-35.935	1.863	889.08

Cuadro 4. Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método solución 2 ppm de P agitado 30 minutos.

M	ppm de P X	log x	Rend. relativo en % Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	23	1.362	101	0.237	-2.6	-0.516	0.056	6.76
3	22	1.342	92	0.217	-11.6	-2.517	0.047	134.56
4	23	1.362	91	0.237	-12.6	-3.186	0.056	158.76
5	22	1.342	100	0.217	-3.6	-0.781	0.047	12.96
6	23	1.362	98	0.237	-5.6	-1.327	0.056	31.36
8	20	1.301	95	0.176	-8.6	-1.513	0.030	93.96
13	7	0.845	112	-0.280	8.4	-2.352	0.078	70.56
14	8	0.903	108	-0.212	4.4	-0.932	0.025	19.36
15	7	0.845	115	-0.280	11.4	-3.192	0.078	129.96
16	7	0.845	104	-0.280	0.4	-0.112	0.078	0.16
26	13	1.114	105	-0.011	1.4	-0.015	0.000	1.96
28	10	1.000	107	-0.125	3.4	-0.425	0.015	11.56
29	10	1.000	119	-0.125	15.4	-1.925	0.015	237.16
	195	14.623	1,347	0.008	0.2	18.793	0.581	389.08

Cuadro 5. Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método solución 5 ppm de P agitado 18 horas.

M	ppm de P X	log x	Rend. relativo en % Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	37	1.568	101	0.140	-2.6	-0.364	0.019	6.76
3	41	1.613	92	0.185	-11.6	-2.146	0.034	134.56
4	45	1.653	91	0.225	-12.6	-2.835	0.050	158.76
5	40	1.602	100	0.179	-3.6	-0.626	0.030	12.96
6	36	1.556	98	0.128	-5.6	-0.716	0.016	31.36
8	45	1.653	95	0.225	-8.6	-1.935	0.050	73.96
13	17	1.230	112	-0.198	8.4	-1.663	0.039	70.56
14	18	1.255	108	-0.173	4.4	-0.761	0.029	19.36
15	11	1.041	115	-0.387	11.4	-4.411	0.149	129.96
16	11	1.041	104	-0.387	0.4	-0.154	0.149	0.16
26	31	1.491	105	0.063	1.4	0.088	0.003	1.96
28	27	1.431	107	0.003	3.4	0.010	0.000	11.56
29	27	1.431	119	0.003	15.4	0.046	0.000	237.16
	349	18.565	1,347	0.001	0.2	15.467	0.568	889.08

Cuadro 6. Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método solución 5 ppm de P agitado 30 minutos.

M	ppm de P X	log x	Rend. relativo en % Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	28	1.447	101	0.103	-2.6	-0.268	0.010	6.76
3	28	1.447	92	0.103	-11.6	-1.195	0.010	134.56
4	30	1.447	91	0.133	-12.6	-1.676	0.017	158.76
5	29.4	1.468	100	0.128	-3.6	-0.461	0.016	12.96
6	28	1.447	98	0.103	-5.6	-0.578	0.010	31.36
8	31.8	1.502	95	0.168	-8.6	-1.444	0.028	73.96
13	12.9	1.111	112	-0.233	8.4	-1.957	0.054	70.56
14	14.0	1.146	108	-0.198	4.4	-0.871	0.039	19.36
15	157	1.196	115	-0.148	11.4	-1.687	0.022	129.96
16	16.4	1.215	104	-0.129	0.4	-0.042	0.016	0.16
26	24.5	1.389	105	0.045	1.4	0.063	0.002	1.96
28	10.3	1.307	107	-0.037	3.4	-0.126	0.001	11.56
29	21.3	1.328	119	-0.016	15.4	-0.246	0.000	237.16
	17.480		1,347		0.2	-10.488	0.225	889.08

Cuadro 7. Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método Oxalato de Sodio.

M	ppm de P X	log x	Rend. relativo en % Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	365	2.562	101	0.384	-2.6	-1.018	0.147	6.76
3	288	2.459	92	0.281	-11.6	-3.260	0.079	134.56
4	250	2.398	91	0.220	-12.6	-2.772	0.048	158.76
5	152	2.182	100	0.004	-3.6	-0.014	0.000	12.96
6	165	2.217	98	0.039	-5.6	-0.218	0.001	31.36
8	282	2.450	95	0.272	-8.6	-2.339	0.074	73.96
13	130	2.114	112	-0.064	8.4	-0.539	0.004	70.56
14	121	2.083	108	0.095	4.4	-0.418	0.009	19.36
15	112	2.089	115	-0.089	11.4	-1.084	0.008	129.96
16	139	2.143	104	0.035	0.4	0.014	0.001	0.16
26	84	1.924	105	-0.254	1.4	-0.350	0.064	1.96
28	56	1.748	107	-0.430	3.4	-1.462	0.185	11.56
29	89	1.949	119	-0.229	15.4	-3.526	0.052	237.16
		28.318	1,347			-16.982	0.672	889.09

Cuadro 8. Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método solución 2 ppm de P agitado 18 horas.

M	ppm de P X	log x	Rend. relativo en % Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	16.4	1.215	101	1.310	-2.6	-0.806	0.096	6.76
3	16.8	1.225	92	0.320	-11.6	-3.712	0.102	134.56
4	19.7	1.294	91	0.389	-12.6	-4.901	0.151	158.76
5	17.1	1.233	100	0.328	-3.6	-1.180	0.107	12.96
6	24.1	1.382	98	0.477	-5.6	-2.671	0.227	31.36
8	15.8	1.199	95	0.294	-8.6	-2.528	0.086	73.96
13	5.4	0.732	112	-0.173	8.4	-1.453	0.030	70.56
14	4.9	0.690	108	-0.215	4.4	-0.946	0.046	19.36
15	5.6	0.748	115	-0.157	11.4	-1.789	0.025	129.96
16	4.9	0.690	104	-0.215	0.4	-0.086	0.046	0.16
26	7.3	0.863	105	-0.042	1.4	-0.059	0.002	1.96
28	5.8	0.763	107	-0.142	3.4	-0.483	0.020	11.56
29	5.4	0.732	119	-0.173	15.4	-2.664	0.030	237.16
		0.905	1,347			-23278	1.008	889.08

Cuadro 9. Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método del Bióxido de Carbono.

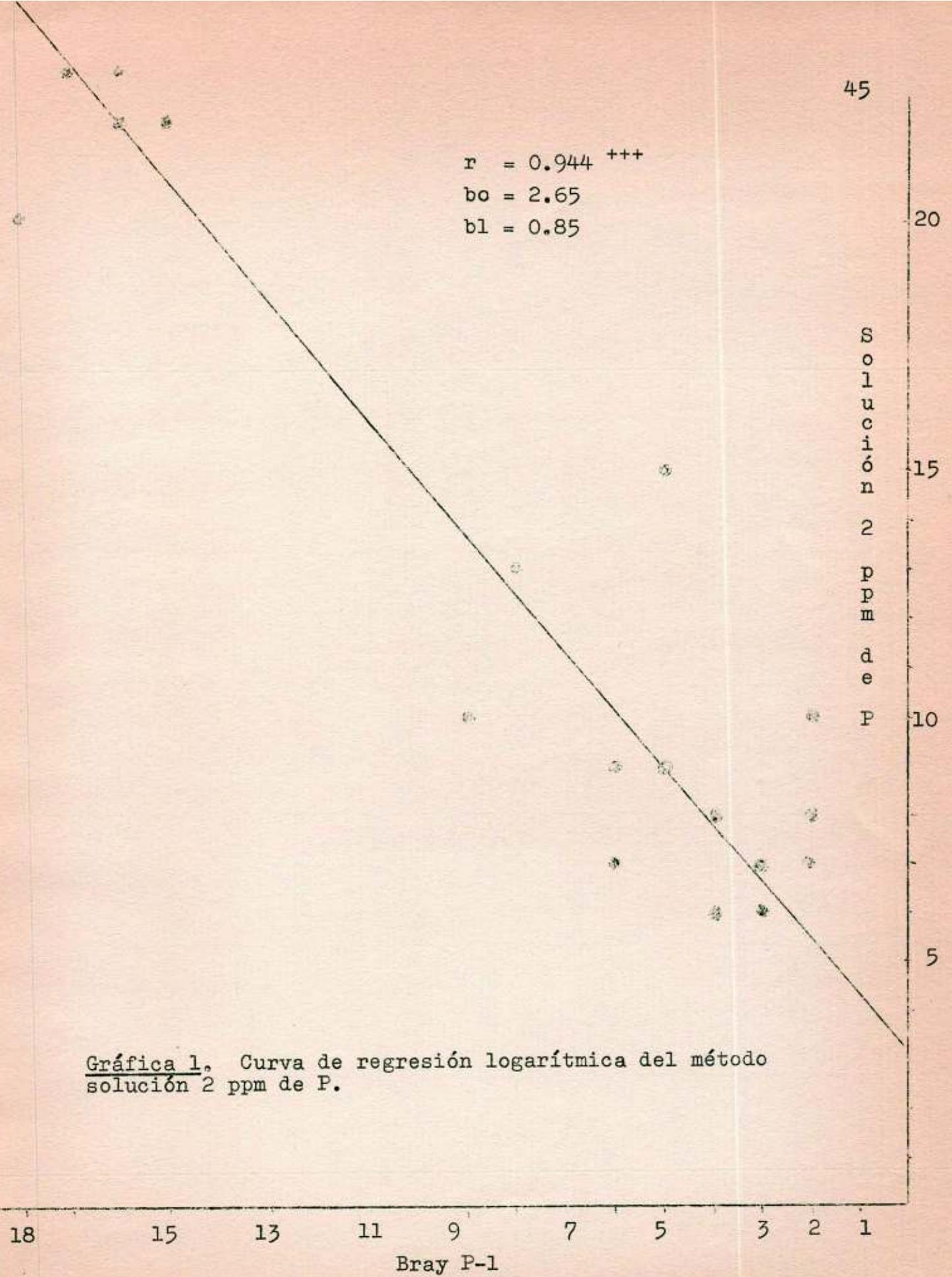
M	ppm de P X	log x	Rend. relativo en % Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	9.8	0.991	101	0.279	-2.6	-0.720	0.077	6.76
3	10.9	1.037	92	0.325	-11.6	-3.747	0.104	134.56
4	10.9	1.037	91	0.325	-12.6	-4.070	0.104	158.76
5	9.4	0.973	100	0.267	-3.6	-0.932	0.670	12.96
6	9.6	0.982	98	0.270	-5.6	-1.500	0.072	31.36
8	7.6	0.881	95	0.169	-8.6	-1.436	0.028	73.96
13	1.9	0.279	112	-0.433	8.4	-3.654	0.189	70.56
14	2.2	0.342	108	-0.370	4.4	-1.636	0.138	19.36
15	6.9	0.834	115	0.122	11.4	1.368	0.013	129.96
16	2.7	0.431	104	-0.282	0.4	-0.113	0.080	0.16
26	5.2	0.716	105	0.004	1.4	0.005	0.000	1.96
28	2.4	0.380	107	0.332	3.4	1.235	0.111	11.56
29	2.4	0.380	119	-0.332	15.4	5.143	0.111	237.16
		9.262		+ 0.006		-23.723	1.697	889.08

Cuadro 10. Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método Bray P-1 agitado 30 minutos.

M	ppm de P X	log x	Rend. relativo en % Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	24	1.380	101	0.329	-2.6	-0.885	0.108	6.76
3	25	1.398	92	0.344	-11.6	-3.990	0.118	134.36
4	25	1.398	91	0.344	-12.6	-4.334	0.118	158.76
5	22	1.342	100	0.288	-3.6	-1.036	0.083	12.96
6	23	1.362	98	0.308	-5.6	-1.724	0.095	31.36
8	28	1.447	95	0.393	-8.6	-4.611	0.301	70.56
13	3.2	0.505	112	-0.549	8.4	-4.611	0.301	70.56
14	4.7	0.672	108	-0.382	4.4	-1.680	0.146	19.36
15	4.3	0.633	115	-0.421	11.4	-4.799	0.178	129.96
16	4.3	0.633	104	-0.421	0.4	-0.168	0.178	0.16
26	9.9	0.995	105	-0.059	1.4	-0.082	0.003	1.96
28	7.1	0.851	107	-0.203	3.4	-0.690	0.041	11.56
29	12.3	1.090	119	0.036	15.4	0.554	0.001	237.16
		13.706				-26.224	1.524	889.08

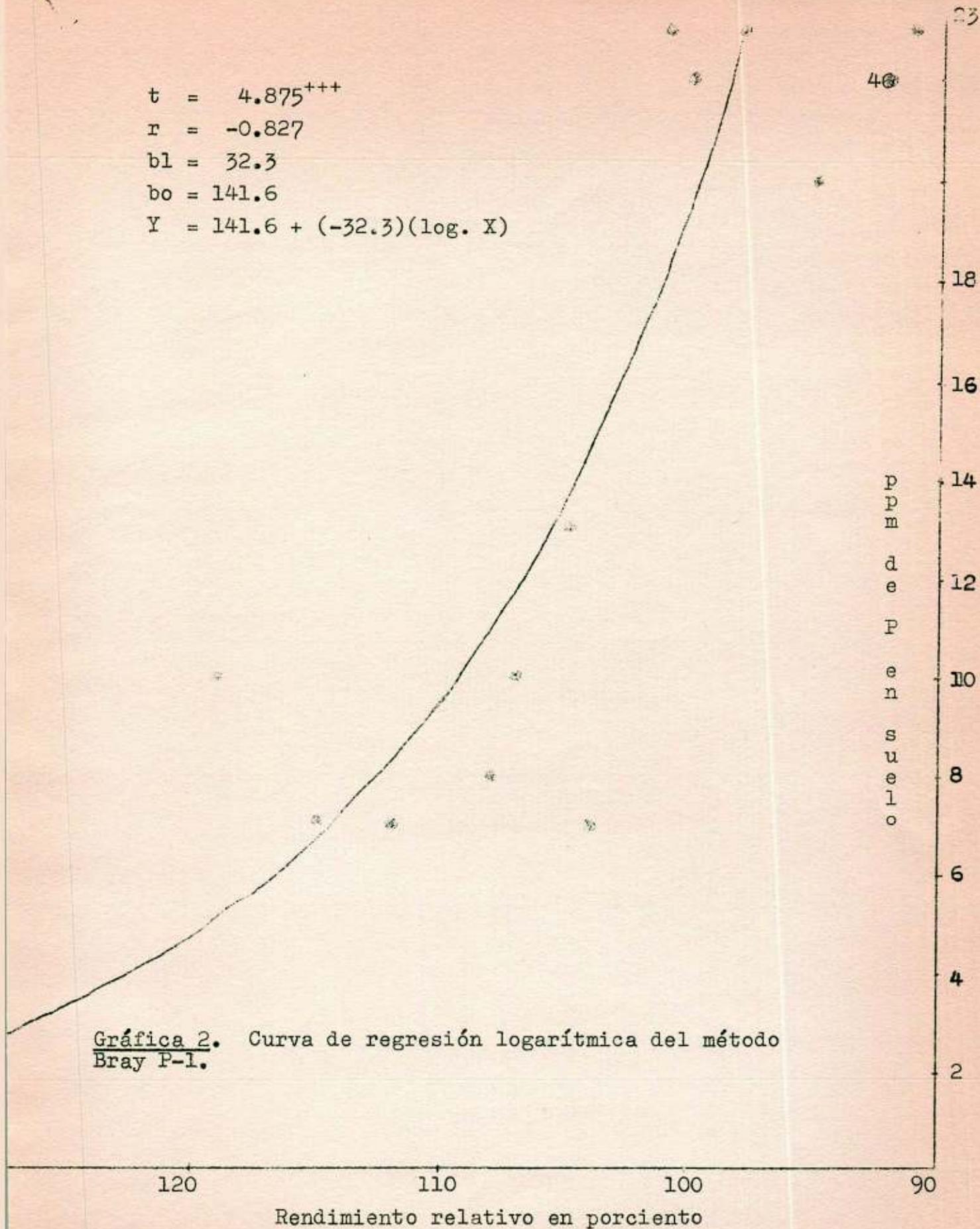
Cuadro 11. Concentración de fósforo en el suelo en ppm, rendimiento relativo en % obtenido en 3 diferentes campos agrícolas y regresión logarítmica del método de Olsen.

M	ppm de P X	log x	Rend. relativo en % Y	x	y	xy	x ²	y ²
1	10	1.000	101	0.143	-2.6	-0.371	0.020	6.76
3	8	0.903	92	0.046	-11.6	-0.533	0.002	134.56
4	12	1.079	91	0.222	-12.6	-2.737	0.049	158.76
5	9	0.954	100	0.097	-3.6	-0.349	0.010	12.96
6	9	0.954	98	0.097	-5.6	-0.543	0.010	31.36
8	5	0.316	95	-0.541	-8.6	4.652	0.292	73.96
13	8	0.903	112	0.046	8.4	0.386	0.002	70.56
14	6	0.778	108	0.079	4.4	-0.347	0.006	19.36
15	7	0.845	115	0.012	11.4	-0.136	0.000	129.96
16	5	0.316	104	-0.541	0.4	-0.216	0.292	0.16
26	8	0.903	105	0.046	1.4	0.064	0.002	1.96
28	12	1.079	107	0.222	3.4	0.754	0.049	11.56
29	13	1.114	119	0.257	15.4	3.957	0.066	237.16
		11.144	1,347	-0.117	0.2	4.581	0.800	889.08



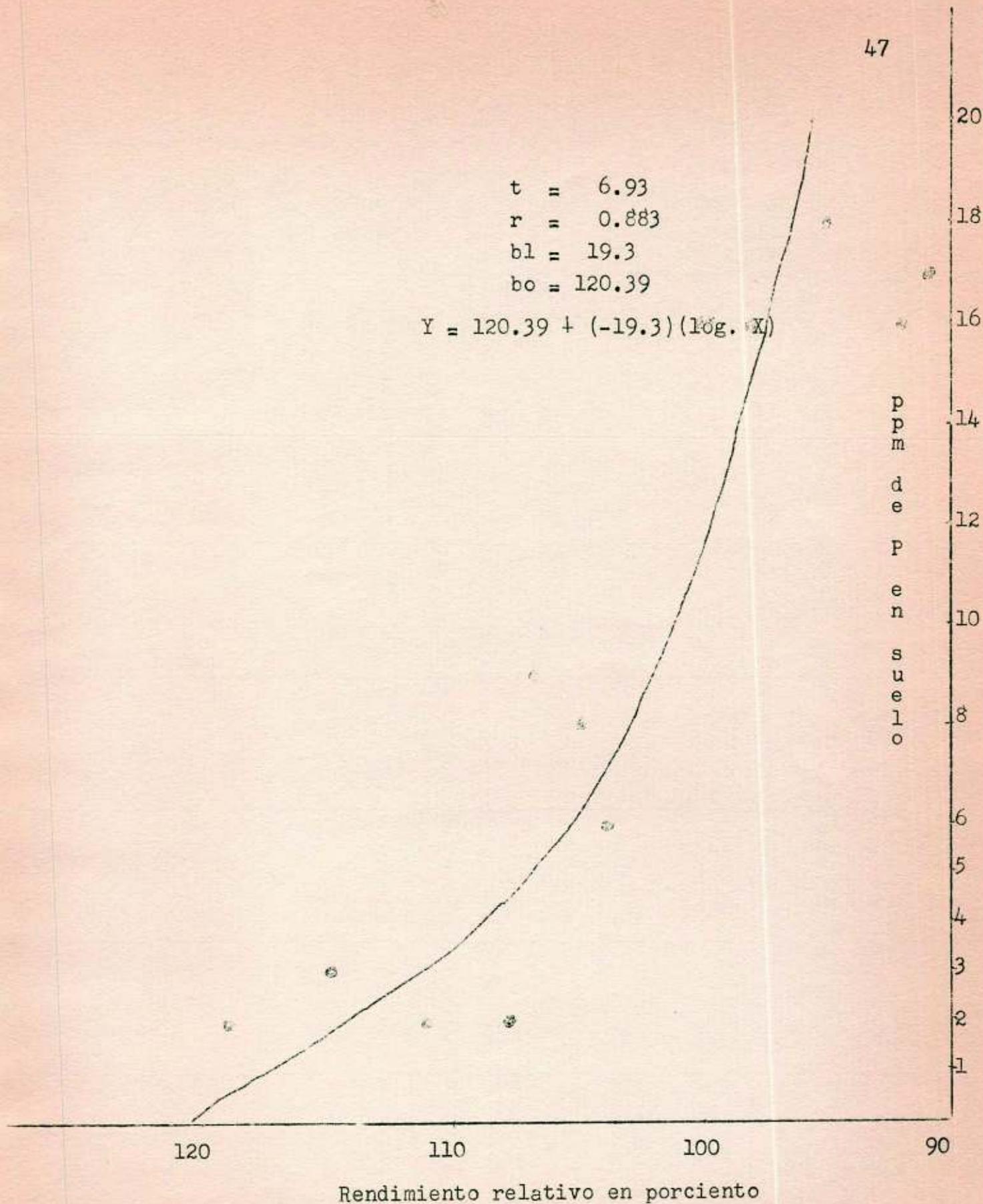
Gráfica 1. Curva de regresión logarítmica del método
 solución 2 ppm de P.

$$\begin{aligned}
 t &= 4.875^{+++} \\
 r &= -0.827 \\
 b_1 &= 32.3 \\
 b_0 &= 141.6 \\
 Y &= 141.6 + (-32.3)(\log. X)
 \end{aligned}$$



Gráfica 2. Curva de regresión logarítmica del método Bray P-1.

$$\begin{aligned}
 t &= 6.93 \\
 r &= 0.883 \\
 b_1 &= 19.3 \\
 b_0 &= 120.39 \\
 Y &= 120.39 + (-19.3)(\log. X)
 \end{aligned}$$



Gráfica 3. Curva de regresión logarítmica del método solución 5 ppm de P agitado 18 horas.

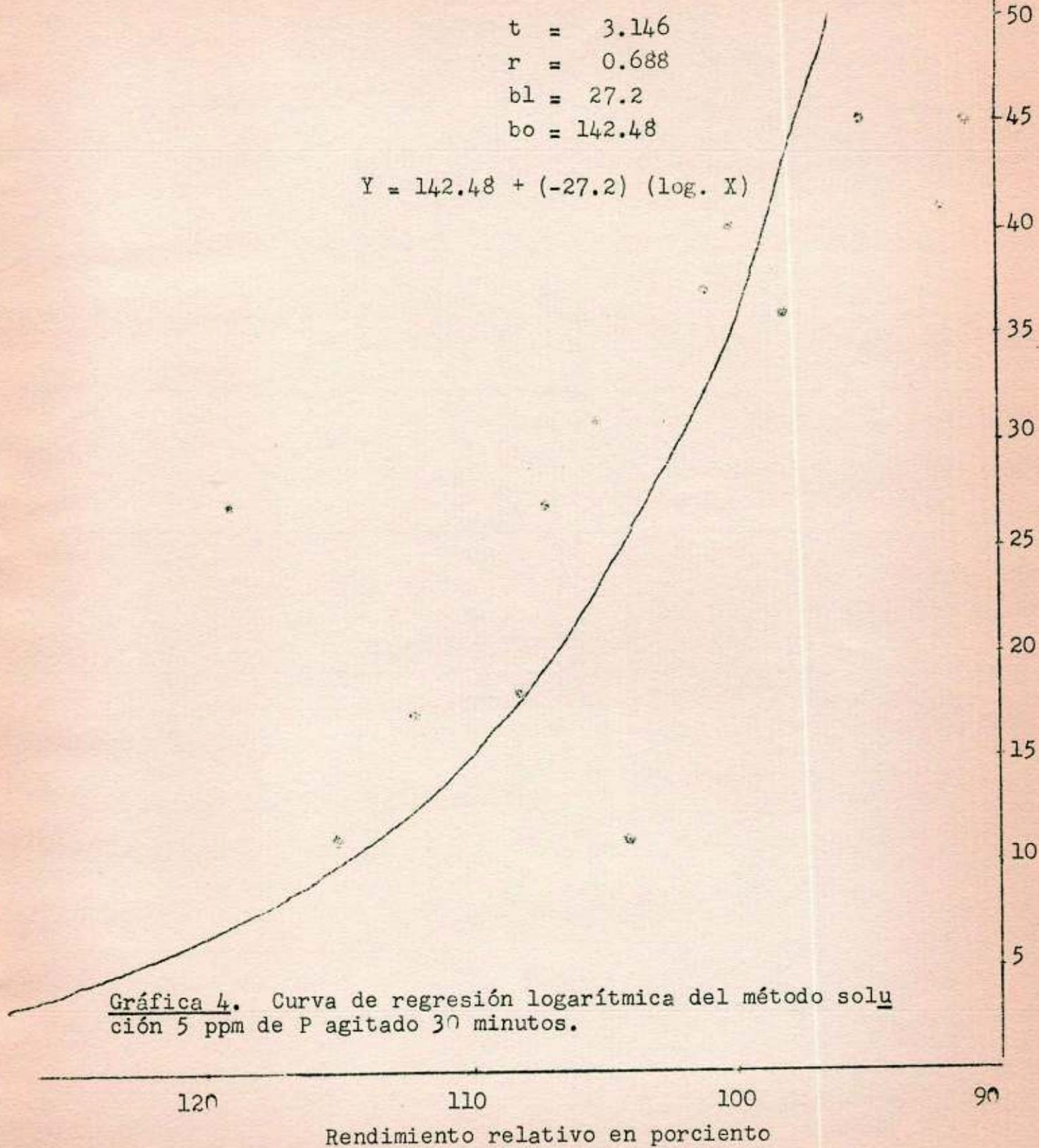
$$t = 3.146$$

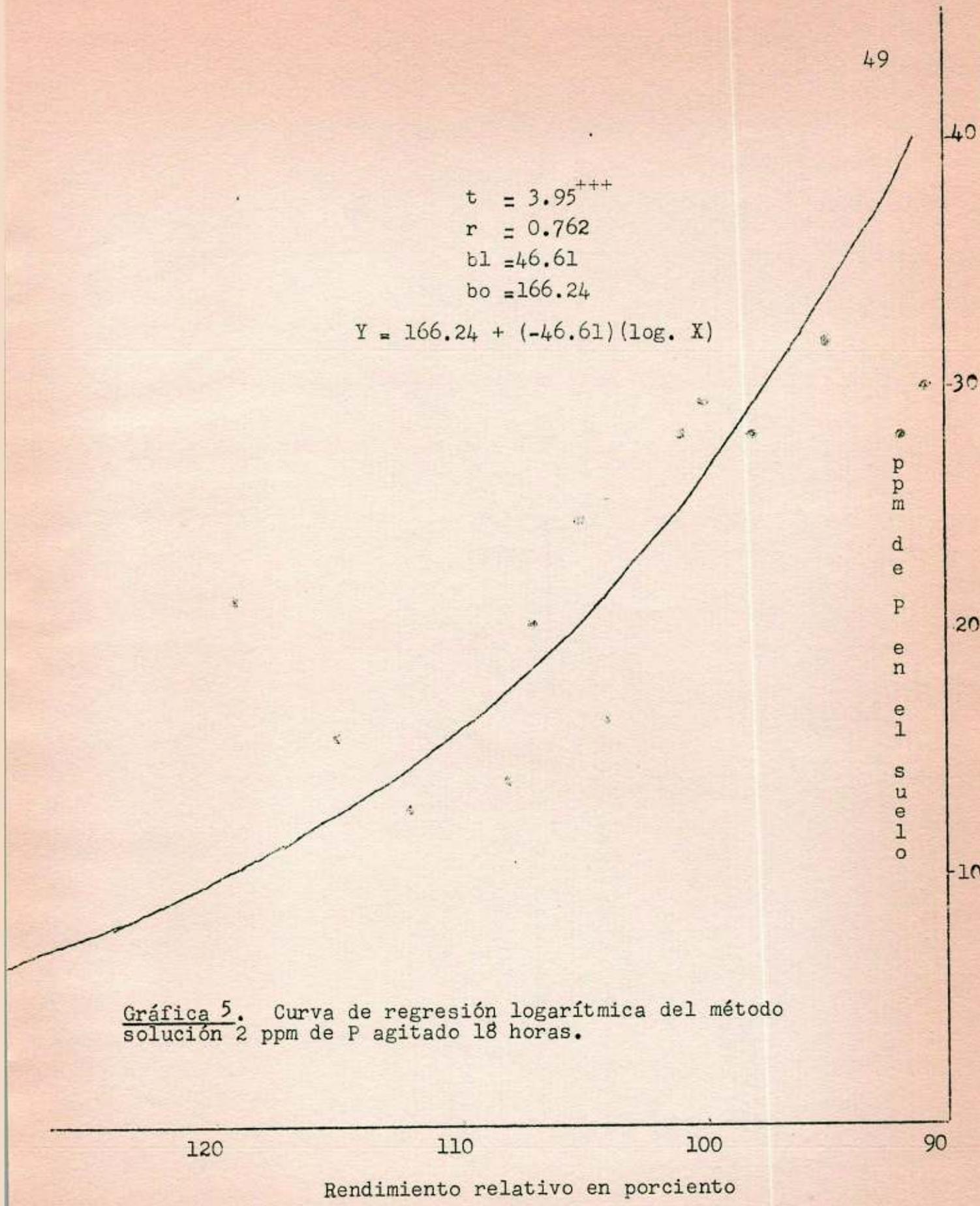
$$r = 0.688$$

$$b_1 = 27.2$$

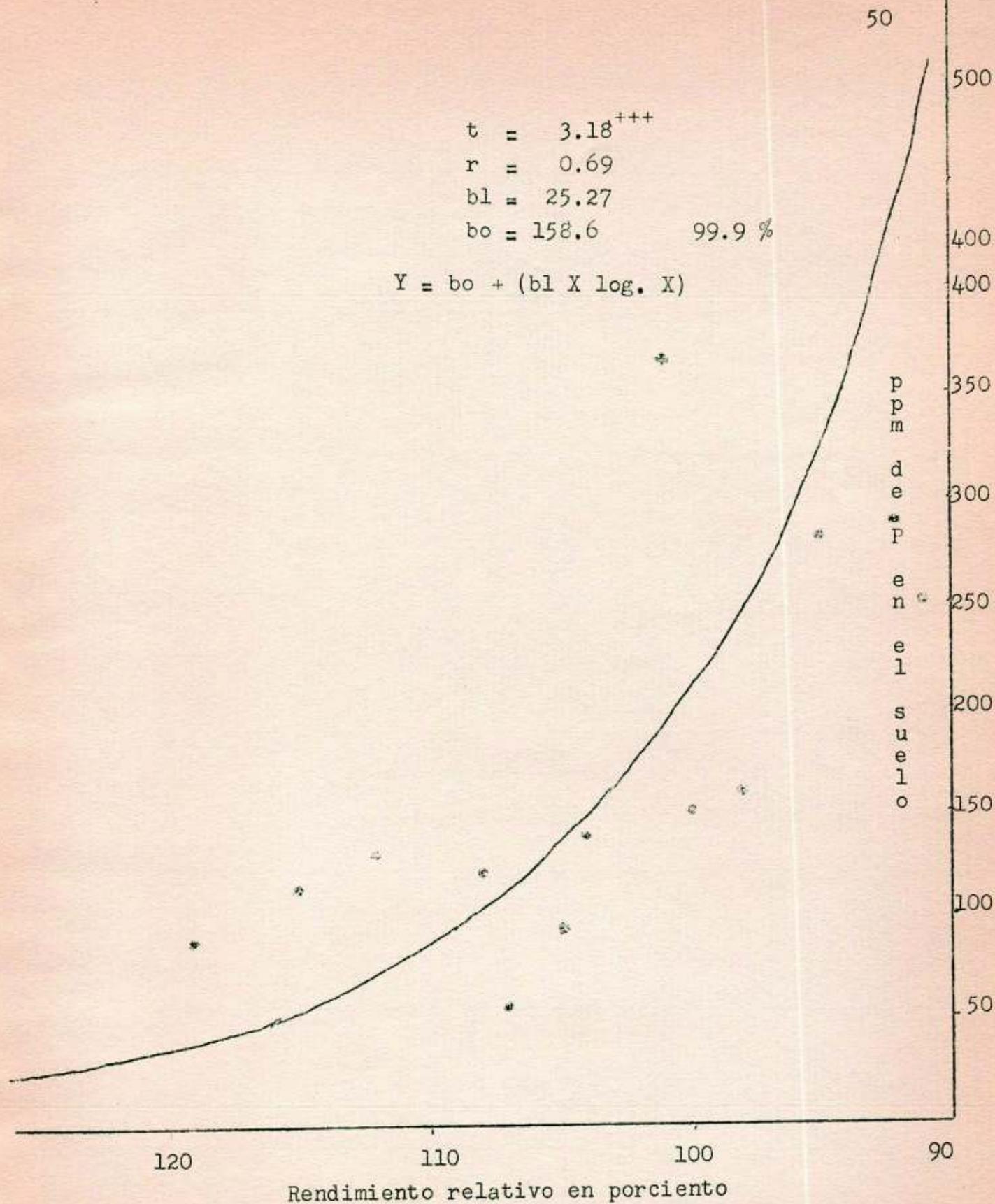
$$b_0 = 142.48$$

$$Y = 142.48 + (-27.2) (\log. X)$$





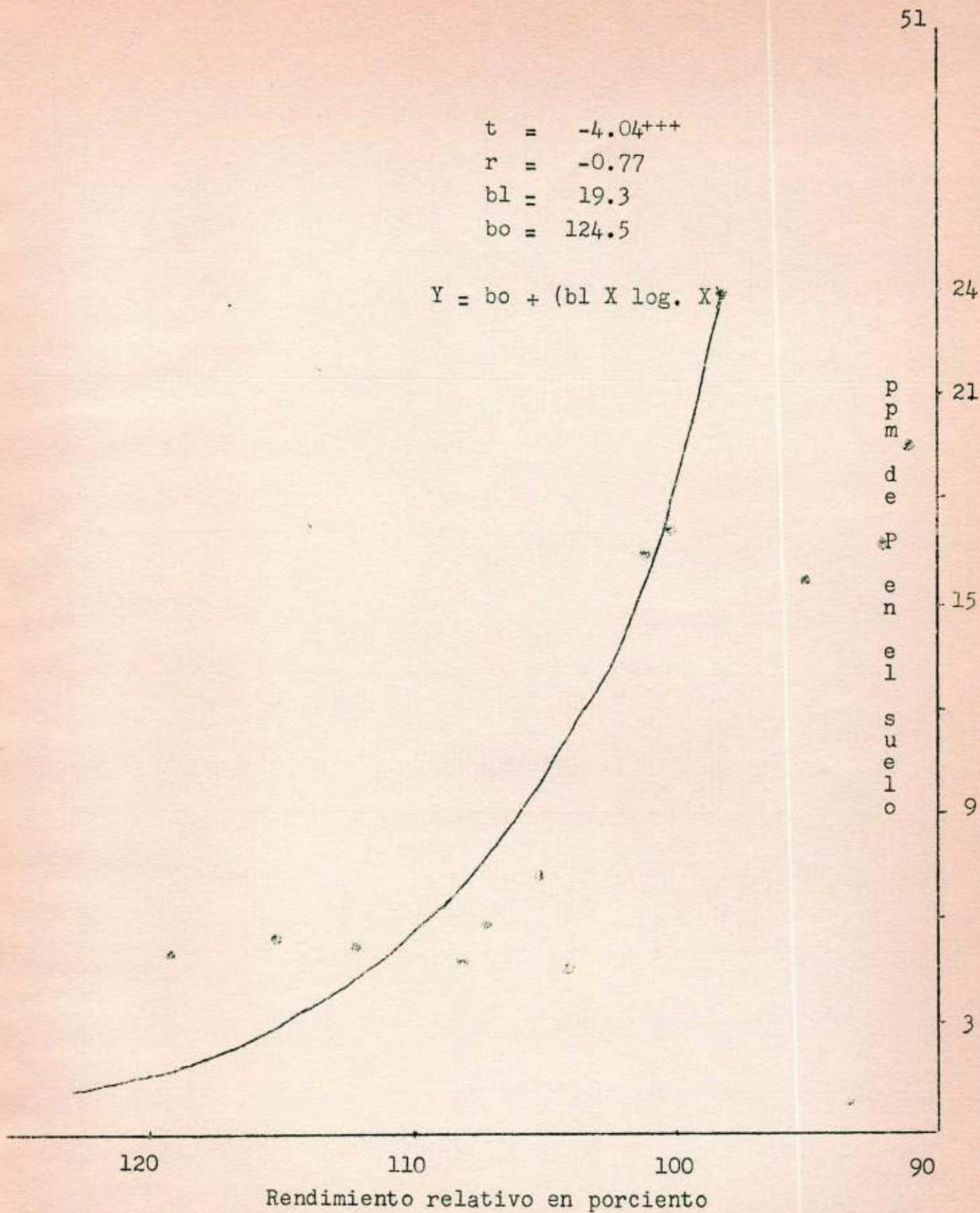
Gráfica 5. Curva de regresión logarítmica del método solución 2 ppm de P agitado 18 horas.



Gráfica 6. Curva de regresión logarítmica del método solución
2 ppm de P agitado 18 horas.

$t = -4.04^{+++}$
 $r = -0.77$
 $b_1 = 19.3$
 $b_0 = 124.5$

$$Y = b_0 + (b_1 X \log. X)^2$$



Gráfica 7. Curva de regresión logarítmica del método Bióxido de Carbono.

$$t = 2.55^{++}$$

$$r = 0.610$$

$$b_1 = 13.97$$

$$b_0 = 113.55$$

$$Y = b_0 + (b_1 \times \log. X)$$

52

120

110

100

90

Rendimiento relativo en porciento

Gráfica 8. Curva de regresión logarítmica del método Bray P-1 agitado 18 horas.

10

9

8

7

6

5

4

3

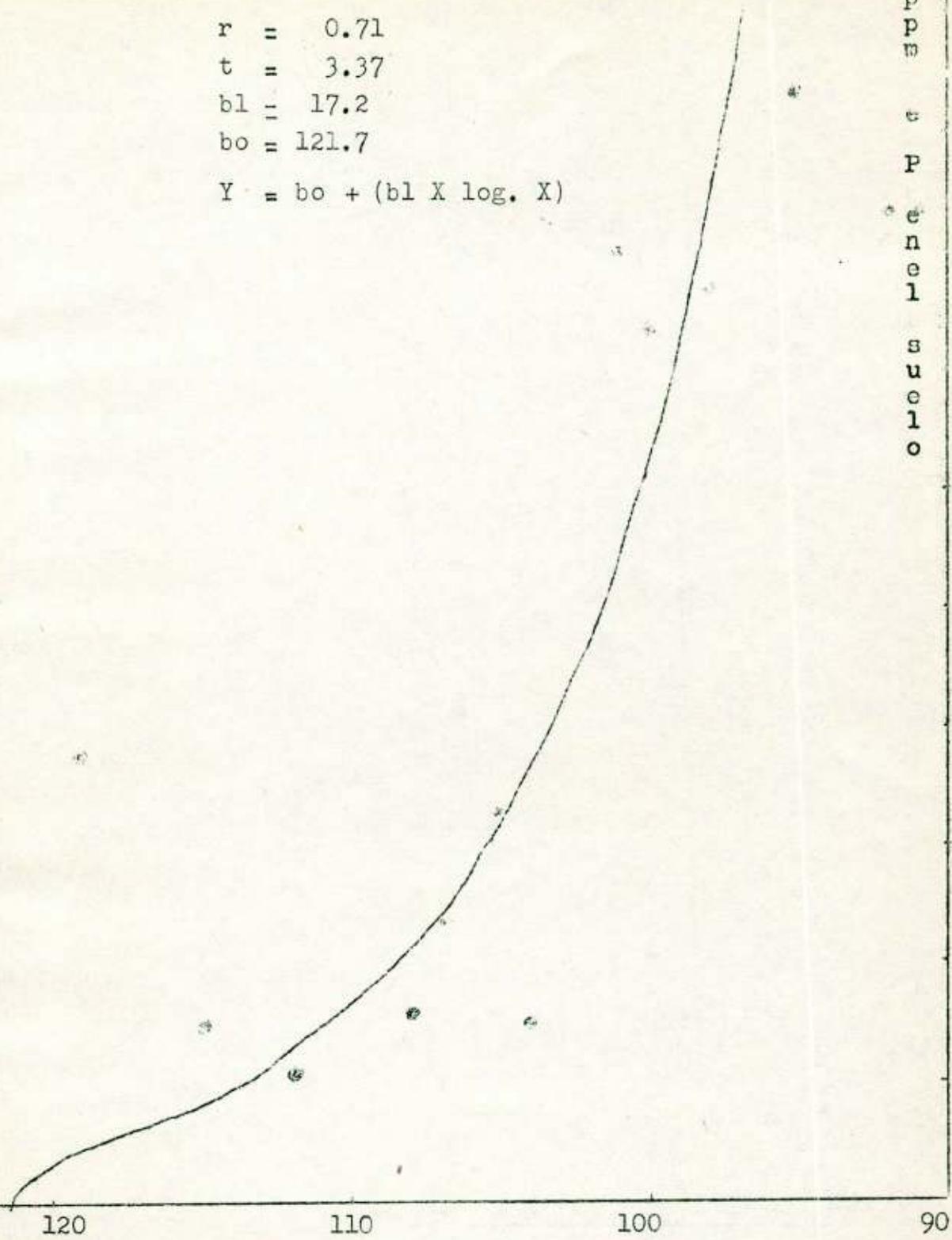
2

1

$r = 0.71$
 $t = 3.37$
 $b_1 = 17.2$
 $b_0 = 121.7$
 $Y = b_0 + (b_1 \times \log. X)$

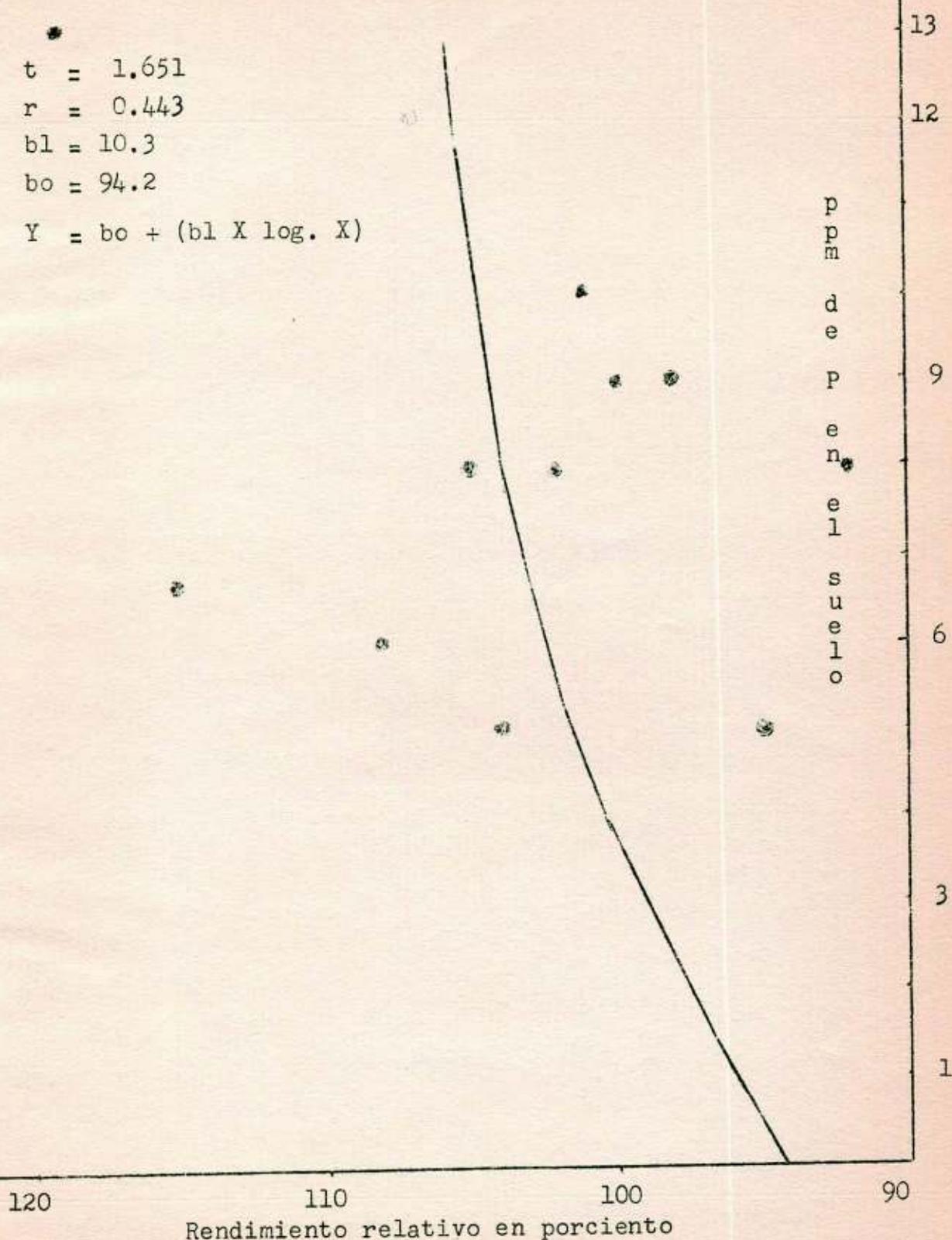
P
 P
 W
 e
 P
 e
 n
 e
 l
 s
 u
 e
 l
 o

30
 27
 24
 21
 18
 15
 12
 9
 6
 3



Rendimiento relativo en porciento
Gráfica 9. Curva de regresión logarítmica del método de Olsén.

$$\begin{aligned}
 t &= 1.651 \\
 r &= 0.443 \\
 b_1 &= 10.3 \\
 b_0 &= 94.2 \\
 Y &= b_0 + (b_1 \times \log. X)
 \end{aligned}$$



Gráfica 10. Curva de regresión lineal, al correlacionar los métodos: Bray P-1 y solución 2 ppm de P agitado 30 minutos.