

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**Facultad de Estudios Superiores CUAUTITLAN**

---

**‘ ‘ Estudio de la Dinámica del Potasio Mediante los Factores  
Cantidad - Intensidad ( Q/I ) en Suelos Tropicales, ’ ’**

**T E S I S**

Que para Obtener el Título de:

**I N G E N I E R O   A G R I C O L A**

**P r e s e n t a**

**J O R G E   A L V A R A D O   L O P E Z**

**1 9 8 5**

**Cuautitlán Izcalli, Edo. de México.**

**Director de Tesis:  
JAIME CRUZ DIAZ  
OFELIA GRAJALES MUÑIZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## C O N T E N I D O

	Hoja
INDICE DE TABLAS EN EL TEXTO.....	v
INDICE DE TABLAS EN EL APENDICE.....	vi
INDICE DE FIGURAS EN EL TEXTO.....	vii
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 El potasio en el suelo.....	3
2.1.1 Importancia.....	3
2.1.2 Origen del potasio en el suelo.....	3
2.1.3 Contenido de potasio en los suelos....	5
2.1.4 Formas de potasio en el suelo.....	5
2.1.4.1 Potasio estructural.....	6
2.1.4.2 Potasio fijado.....	7
2.1.4.3 Potasio intercambiable.....	7
2.1.4.4 Potasio en solución.....	7
2.1.5 Dinámica del potasio.....	8
2.1.5.1 Procesos involucrados en la - dinámica del potasio.....	9
2.1.5.1.1 Meteorización.....	9
2.1.5.1.2 Intercambio catión- nico.....	9
2.1.5.1.3 Fijación-liberación	12

	Hoja
2.1.5.1.4 Disolución.....	13
2.1.5.1.5 Percolación.....	13
2.1.5.2 Factores que afectan la dinámica del potasio.....	14
2.1.5.2.1 Tipo de arcillas...	14
2.1.5.2.2 pH.....	16
2.1.5.2.3 Materia orgánica...	16
2.1.5.2.4 Humedad y temperatura.....	17
2.1.5.2.5 Concentración del ión amonio.....	18
2.1.5.2.6 Anión del fertilizante potásico.....	18
2.2 El potasio en la planta.....	19
2.2.1 Importancia como nutrimento.....	19
2.2.2 Absorción y funciones del potasio en la planta.....	19
2.3 La relación cantidad/intensidad (Q/I).....	22
2.3.1 Descripción del método.....	24
2.3.2 Parámetros deducidos de la curva Q/I..	27
2.3.3 Factores que afectan el método Q/I....	28
2.3.4 Relación de los parámetros Q/I con algunas propiedades de los suelos.....	31
III. OBJETIVOS.....	33
IV. MATERIALES Y METODOS.....	34
4.1 Descripción de la zona de estudio.....	34
4.2 Muestreo y preparación de las muestras de suelos.....	34

4.3 Caracterización física y química de las muestras.....	37
4.3.1 Color.....	37
4.3.2 Textura.....	37
4.3.3 Reacción del suelo.....	37
4.3.4 Nitrógeno total.....	37
4.3.5 Materia orgánica.....	40
4.3.6 Fósforo disponible.....	40
4.3.7 Capacidad de intercambio catiónico.....	40
4.3.8 Cationes intercambiables.....	40
4.3.9 Aluminio intercambiable.....	41
4.3.10 Potasio fijado.....	41
4.3.11 Potasio intercambiable.....	41
4.3.12 Potasio soluble en agua.....	41
4.5 Determinación de la relación cantidad/intensidad (Q/I).....	41
V. RESULTADOS Y DISCUSION.....	48
5.1 Caracterización fisico-química de los suelos en estudio.....	48
5.1.1 Color.....	48
5.1.2 Textura.....	48
5.1.3 Conductividad eléctrica.....	48
5.1.4 Reacción del suelo.....	51
5.1.5 Nitrógeno total.....	51
5.1.6 Materia orgánica.....	51
5.1.7 Fósforo disponible.....	52
5.1.8 Capacidad de intercambio catiónico.....	52

5.1.9 Cationes intercambiables.....	52
5.1.10 Aluminio intercambiable.....	53
5.1.11 Potasio intercambiable.....	53
5.1.12 Potasio fijado.....	53
5.1.13 Potasio soluble.....	54
5.2 Evaluación de los parámetros Q/I.....	54
5.2.1 Parámetro $PBC^k$ .....	54
5.2.2 Parámetro $AR_o^k$ .....	72
5.2.3 Parámetros $\Delta K_o$ y $\Delta K_L$ .....	72
5.2.4 Parámetro $\Delta K_X$ .....	73
5.3 Correlación entre los parámetros Q/I de los suelos y algunas características de los mis- mos.....	73
VI.. CONCLUSIONES.....	80
VII.. BIBLIOGRAFIA.....	85
VIII.. APENDICE.....	89

INDICE DE TABLAS EN EL TEXTO

Tabla	Hoja
4.1 Procedencia de los suelos estudiados.....	38
4.2 Solución de $AlCl_3$ 0.002 M con diferentes concentraciones de KCl.....	44
4.3 Cantidades de suelo por tubo, de solución adicionada y el factor "F" (solución-suelo).....	45
5.1 Algunas propiedades físicas de los suelos en estudio.....	49
5.2 Características químicas de los suelos en estudio.....	50
5.3 Parámetros deducidos de la relación Q/I de los suelos estudiados.....	55
5.4 Valores comparados entre el parámetro $AK_L$ deducido de las curvas Q/I y el K intercambiable determinado en $NH_4OAc$ 1 N pH 7.	74
5.5 Coeficientes de correlación entre los parámetros deducidos de las curvas Q/I y algunas propiedades de los suelos en estudio.....	75
5.6 Coeficientes de correlación y ecuaciones de regresión de los parámetros Q/I y algunas propiedades del suelo.....	79

## INDICE DE TABLAS EN EL APENDICE

Cálculo de  $AK$  y  $AR^k$  para los suelos estudiados.

Tabla	Hoja
8.1 S-1 Chocaman, Ver.....	90
8.2 S-2 El Carmen, Ver. ....	91
8.3 S-3 Gpe. Barrial, Ver. ....	92
8.4 S-4 Santana Atzacan, Ver. ....	93
8.5 S-5 Cusutlapan, Ver.. ....	94
8.6 S-6 C.N.I.A., Ver. ....	95
8.7 S-7 Mahuixtlán, Ver. ....	96
8.8 S-8 Sumidero, Ver.....	97
8.9 S-9 Sumidero, Ver. ....	98
8.10 S-10 Sumidero, Ver. ....	99
8.11 S-11 Fortín, Ver. ....	100
8.12 S-12 Huixtla,, Chis. ....	101
8.13 S-13 La Margarita, Oax. ....	102
8.14 S-14 Tres Valles, Ver. ....	103
8.15 S-15 Tezonapa, Ver. ....	104
8.16 S-16 Tezonapa, Ver. ....	105

## INDICE DE FIGURAS EN EL TEXTO

Figura	Hoja
2.1 Ciclo del potasio en los suelos.....	10
2.2 Curva característica Q/I.....	26
4.1 Ubicación de los suelos en estudio.....	35
Relación Q/I para los suelos en estudio.	
5.1 S-1 Chocaman, Ver. ....	56
5.2 S-2 El Carmen, Ver. ....	57
5.3 S-3 Gpe. Barrial, Ver. ....	58
5.4 S-4 Santana Atzacan, Ver. ....	59
5.5 S-5 Cuautlapan, Ver. ....	60
5.6 S-6 C.N.I.A., Ver. ....	61
5.7 S-7 Mahuixtlán, Ver. ....	62
5.8 S-8 Sumidero, Ver. ....	63
5.9 S-9 Sumidero, Ver. ....	64
5.10 S-10 Sumidero, Ver. ....	65
5.11 S-11 Fortín, Ver. ....	66
5.12 S-12 Huixtla, Chis. ....	67
5.13 S-13 La Margarita, Oax. ....	68
5.14 S-14 Tres Valles, Ver. ....	69
5.15 S-15 Tezonapa, Ver. ....	70
5.16 S-16 Tezonapa, Ver. ....	71

## I INTRODUCCION

El potasio es, junto con el nitrógeno y fósforo, de los elementos de vital importancia para el desarrollo de los cultivos y es requerido por las plantas en grandes cantidades. En México este nutrimento no ha sido muy estudiado dada la tendencia muy generalizada de considerar que los suelos son "ricos" en este elemento y por lo tanto no requieren fertilización potásica.

Morazzani y Ortega (1972) señalan que en México los resultados de numerosos trabajos de investigación muestran que en un 5% de los suelos estudiados no hay respuesta a la fertilización potásica, lo que se debe a la riqueza en potasio de los suelos. Sobre el particular es necesario enfatizar que la falta de respuesta a potasio en muchos suelos de México, no se debe interpretar en el sentido de que es abundante este nutrimento, ya que influyen otros factores en su aprovechamiento como por ejemplo alto contenido de calcio, compactación del suelo o falta de humedad (Pellétier, 1965).

Mengel (citado por Cruz, 1984) indica que incluso cuando existen valores elevados de potasio intercambiable, puede haber una producción limitada dado que dicho nutriente influye en la utilización del nitrógeno y fósforo, y además debe considerarse que el aumento rápido de potasio produce cambios entre las diversas formas del mismo, lo cual es un factor decisivo en la disponibilidad del potasio a través del suelo.

En las zonas tropicales se hace más necesario llevar a cabo trabajos de investigación sobre éste elemento ya que los suelos son fuerte-

mente lixiviados y muchas veces sostienen monocultivos o plantaciones que extraen grandes cantidades de potasio como son la caña de azúcar, tabaco o plátano.

En este trabajo se pretende estudiar la dinámica del potasio en suelos tropicales de Veracruz, Oaxaca y Chiapas por medio del estudio de los factores cantidad-intensidad (Q/I), metodología desarrollada por Beckett (1964 a.b.) que permite conocer la dinámica que presenta el potasio en los suelos, a diferencia de los análisis de rutina que se utilizan para cuantificar potasio en sus diferentes formas que solo presentan el "status" de este elemento en forma relativa e individualmente.

La importancia de esta metodología radica en que nos permite conocer la capacidad de un suelo para mantener constante el potasio de la solución del suelo ya sea al añadir, extraer o lixiviarse potasio. A pesar de que hace bastante tiempo que se desarrolló esta metodología, en México no ha sido muy aplicada ya sea en análisis de rutina o trabajos de investigación. De los pocos trabajos que se han llevado a cabo utilizando el enfoque cantidad-intensidad tenemos el de Alvarez (1982), aplicado a fósforo, y los de Uriza (1983) y Cruz (1984), aplicados a potasio.

## II REVISION DE LITERATURA

### 2.1 El potasio en el suelo.

#### 2.1.1 Importancia.

El potasio es uno de los principales nutrimentos que requieren una planta para tener un buen desarrollo. Sólo es superado cuantitativamente por el nitrógeno y calcio, aunque en el suelo se encuentra en mayor cantidad que el calcio y en mucha mayor que el nitrógeno. Se calcula que en la corteza terrestre se tiene un 2.4% de potasio en diversas formas (Fassbender, 1975; Tisdale y Nelson, 1982).

#### 2.1.2 Origen del potasio en el suelo.

Las principales fuentes que proporcionan potasio al suelo son los minerales primarios y secundarios. Entre los minerales primarios más ricos en este elemento se encuentran los feldespatos, biotita, plagioclasas, anfíboles y piroxenos. Fassbender (1975) reporta los siguientes contenidos de potasio para dichos minerales:

a) Feldespatos	7.12 %
b) Muscovita	7.9 %
c) Biotita	5.7 %
d) Plagioclasas, anfíboles y piroxenos	1 %

La biotita y la muscovita liberan su potasio más fácilmente, principalmente la biotita, razón por la cual se ha utilizado como fertilizante potásico en Noruega (Russell, 1968). Los feldespatos como la ortoclasa y la microclina no liberan su potasio con mucha facilidad, ésta

última es muy resistente a la intemperización por lo que se considera una reserva de potasio inútil (Rasmussen, 1972).

El intemperismo de los minerales primarios (micas) produce cambios significativos en ellos dando lugar a minerales secundarios (arcillas) que poseen características coloidales que los primeros no tenían.

En plano más débil de la mica es aquel en que se encuentra el potasio, y corresponde mecánicamente el plano con hendiduras del mineral, a lo largo del cual puede resquebrajarse más fácilmente. Es también en este plano en donde la mica se desgasta más fácilmente por el intemperismo. La transformación del mineral ocurre cuando el potasio es desplazado por otros iones hidratados en las hendiduras del mineral, por la fuerza ejercida por los iones potasio hidratados, al oxidarse el  $Fe^{+2}$  a  $Fe^{+3}$  en la forma octaédrica o por la sustitución isomorfa de  $Si^{+4}$  en el tetraedro y de  $Al^{+3}$  en la capa octaédrica (Collins y col., 1971). Estos cambios dan origen a minerales como son la vermiculita, illita, clorita y materiales interestratificados en los que dos o más de los tipos precedentes se hallan en una disposición aleatoria en la misma partícula.

La capacidad para liberar potasio por parte de estos minerales está en función de su capacidad de adsorción de iones potasio. El Instituto Internacional de la Potasa (citado por Cruz, 1984) señala que la afinidad de éstos minerales por el potasio es en el orden siguiente: illita > montmorillonita > vermiculita > clorita > caolinita.

La adición de fertilizante es otra de las fuentes de abastecimiento de potasio al suelo, bajo condiciones de cultivo es la más importante. La fertilización potásica tuvo sus inicios en el año de 1870, poco después de que en Alemania fueron descubiertos importantes depósitos de sa-

les potásicas. La forma más común en que se encuentra el potasio en la naturaleza es como silicato, cloruro y sulfato, se hallan los yacimientos de sales potásicas más grandes en Alemania, Rusia, Palestina, E.U.A. y Francia (Pelletier, 1965).

### 2.1.3 Contenido de potasio en los suelos.

El contenido de potasio en los suelos es muy variable y depende del material originario de los mismos y de las condiciones climáticas en que se encuentran éstos y puede ir desde tan sólo algunos centenares de kilogramos por ha. en suelos de textura gruesa formados por piedra arenisca cuarcita, hasta 50,000 kg o más en suelos de textura fina formados por rocas ricas en minerales conteniendo potasio.

Así, suelos desarrollados en regiones con escasa precipitación tienen más potasio que suelos con textura similar pero desarrollados en zonas más lluviosas, debido a que la precipitación no es suficiente para -lixiviar las bases solubles. Generalmente los suelos de zonas tropicales son bajos en potasio debido a la alta intemperización, por efecto de las lluvias, a que están sujetos (Fassbender, 1975). Por el contrario en las zonas áridas los suelos son más ricos en potasio debido al menor intemperismo y a la excasa lixiviación que se presenta.

### 2.1.4 Formas de potasio en el suelo.

En el suelo el potasio se encuentra en una gran variedad de formas, de acuerdo a su disponibilidad, que van desde el potasio en solución hasta el potasio fijado en la red cristalina de los minerales, pasando por formas intermedias como son el potasio intercambiable sobre superfi-

cies externas y el fijado o retrogradado que, aunque de manera lenta, puede transformarse en intercambiable (Garman, 1957; Duthion, 1968).

Shulte (citado por Cruz, 1984) presenta el siguiente esquema de las formas de potasio en el suelo:

K estructural: Feldespatos, micas, etc., 90-98% del K total.

Relativamente no disponible a las plantas.

K fijado o no intercambiable: Unido a sitios específicos 1-10% del K total.

Aprovechable lentamente por las plantas.

K intercambiable o lábil: Unido a sitios de intercambio, 1-2% del K total.

Disponible rápidamente para las plantas.

K en solución o soluble: Ión potasio en la solución del suelo 0.1-0.2% del K total.

Disponible de manera inmediata para las plantas.

En la mayoría de los suelos se presenta todo el rango de las formas anteriores de potasio, aunque no necesariamente deben aparecer todas ellas en los suelos.

#### 2.1.4.1 Potasio estructural.

Es el potasio que está integrado en la red cristalina de los minerales potásicos (feldespatos; ortoclasa, microlina), y en la unión de dos capas tetraédricas en las micas primarias sin alterar. En éstas últimas, cuando se alteran (apertura de laminillas) el potasio empieza a ser disponible, aunque no de la misma forma que el potasio de las superficies externas de un mineral (Cátedra XVI, s, f.; Garman, 1957). Este potasio queda excluido de la acción de la vegetación y representa no menos del -

95% del potasio total (Duthion, 1968).

#### 2.1.4.2 Potasio fijado o no intercambiable.

Es el potasio que se encuentra entre los espacios interlaminares de arcillas como illita, vermiculita, etc. El proceso de fijación del potasio es de gran importancia en la dinámica del mismo, el cual veremos más adelante. Existe un equilibrio entre esta forma de potasio y el potasio intercambiable y queda disponible para las plantas al agotarse otras formas aprovechables de potasio en el suelo.

#### 2.1.4.3 Potasio intercambiable.

El potasio intercambiable es el que se encuentra adsorbido en el complejo coloidal del suelo (arcillas, materia orgánica e hidróxidos). Constituyendo una parte muy pequeña del potasio total de los suelos que puede variar entre el 1.2 y el 26.8% (Fassbender, 1975). Esta forma de potasio se encuentra en equilibrio con el potasio en solución y repone el potasio que es absorbido de la solución del suelo por las plantas.

Al estar ligado a los coloides del suelo tiene gran relación con la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

#### 2.1.4.4 Potasio en solución.

Es el potasio presente en la solución del suelo, representa una fracción muy pequeña del potasio total; generalmente varía entre 0.1 y 100 mg de potasio/l de la solución del suelo. Es el más fácilmente aprovechable por las plantas, junto con el intercambiable (Tisdale y Nelson, 1982).

### 2.1.5 Dinámica del potasio.

Las diferentes formas de potasio presentes en el suelo mantienen un equilibrio entre sí, de tal manera que ante un exceso o deficiencia de potasio en la solución del suelo ocurre una liberación o fijación del mismo.

Cuando se agota o hay disminución en el potasio de la solución del suelo al ser absorbido por las plantas o al perderse por percolación (lo que ocurre mayormente en suelos ligeros y zonas con alta precipitación) tiene lugar una reposición de potasio a la solución del suelo por parte del potasio intercambiable que está adsorbido en las arcillas, materia orgánica e hidróxidos del suelo. De igual manera cuando el potasio intercambiable se ha ido agotando es repuesto poco a poco de las formas no cambiables de potasio, principalmente por el fijado y en menor proporción por el estructural.

Por otro lado al agregar potasio al suelo mediante la fertilización, éste se incorpora rápidamente al potasio en solución, puede ser adsorbido por el complejo coloidal y pasar a forma fijada o retrograda (Garman, 1957; Fassbender, 1975; Chevalier, 1971; Mielniczuk, 1979).

El siguiente esquema permite cotejar el equilibrio entre las diferentes formas de potasio en el suelo (Barbier, citado por Duthion, 1968):

K intercambiable

K en solución  $\rightleftharpoons$  K intercambiable  $\rightleftharpoons$  K fijado o retrogrado  $\rightleftharpoons$  K definitivamente fijado.

intercambios rápidos y permanentes

intercambios lentos y condicionados

Los cambios en cualquier dirección entre el potasio en solución y

el potasio intercambiable son generalmente rápidos y la solución del suelo y otra parte lo pasa adsorbido en las partículas coloidales (Duthion, 1968), mientras que los cambios entre el potasio intercambiable y el fijado son mucho más lentos y están en función de un agotamiento o exceso del potasio intercambiable.

#### 2.1.5.1 Procesos involucrados en la dinámica del potasio.

En las diferentes transformaciones que ocurren entre una y otra forma de potasio tienen lugar los siguientes fenómenos y procesos; meteorización, intercambio catiónico, fijación-liberación, disolución y percolación (ver figura 2.1), veamos uno a uno.

##### 2.1.5.1.1 Meteorización.

La meteorización es la descomposición de los minerales primarios (feldespatos, biotita, muscovita) y secundarios (illita, vermiculita, montmorillonita) mediante la cual liberan su potasio nativo a la solución del suelo. Este proceso se vio anteriormente al tratar del origen del potasio del suelo.

Dethion, 1969, señala que el papel que desempeña la alteración de los minerales, en cuanto a liberación de potasio, en los suelos desarrollados es mínimo, siendo más importante en los suelos jóvenes, como por ejemplo aquellos desarrollados en arena granítica y aún en este caso la aportación de potasio resulta insuficiente, de manera que para mantener un cultivo es necesario aplicar potasio en forma de fertilizante.

##### 2.1.5.1.2 Intercambio catiónico.

El intercambio catiónico es uno de los fenómenos más importantes

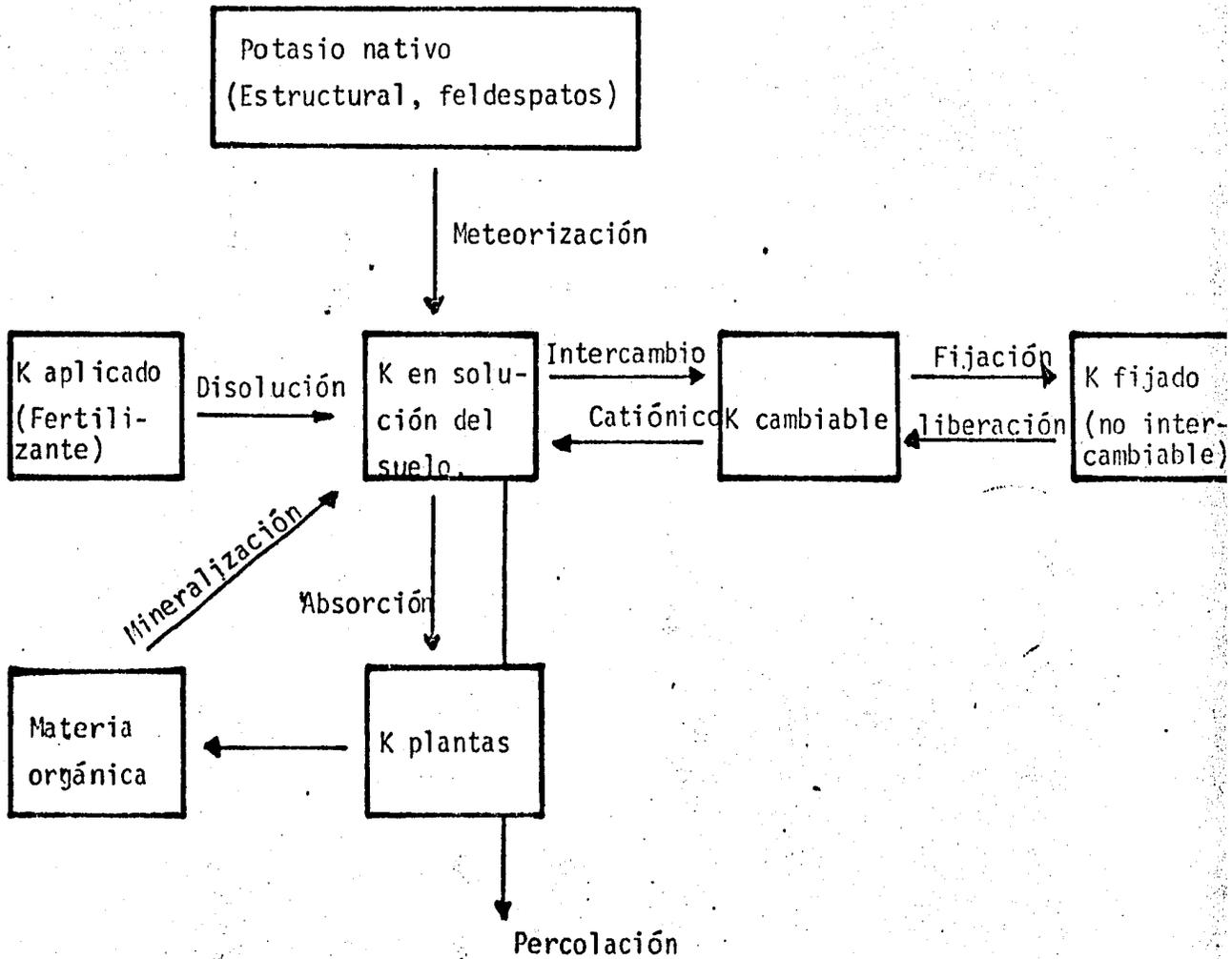


Figura 2.1. Ciclo del potasio en los suelos (Fassbender, 1975).

que regulan el comportamiento del potasio, entendiendo este como los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la solución del suelo y desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes estableciendo un equilibrio entre ambas partes. (Fassbender, 1975).

Las arcillas, materia orgánica e hidróxidos funcionan como intercambiadores. Se presentan como cationes cambiables principales Ca, Mg, K, Na, Al, Mn, e H.

Las cargas electrostáticas y la gran superficie del complejo coloidal son características que influyen enormemente en estos procesos. A mayor carga electrostática, superficie y densidad de carga (cantidad de carga/unidad de superficie) mayor es la capacidad de intercambio catiónico.

La teoría de la doble capa difusa se ha utilizado ampliamente para explicar éste fenómeno. Dado que el complejo de cambio presenta cargas positivas que son compensadas con aniones y cargas negativas que se compensan con cationes se forma a su alrededor una doble capa difusa, dicha teoría plantea que la intensidad de retención de los cationes disminuye con la distancia entre las cargas negativas del complejo de cambio y las positivas de los cationes cambiables; formándose por lo menos dos zonas de atracción definidas: los cationes adsorbidos que forman la solución interna o micelar y aquellos que forman la solución externa y sobre los cuales no se ejerce la fuerza de atracción del coloide. Así, existe entonces un equilibrio entre la solución interna y la externa, un aumento o disminución de una de las soluciones ocasiona un efecto similar en la otra (Fassbender, 1975).

Este proceso tiene gran importancia en la dinámica del potasio ya que mediante él se mantiene el equilibrio entre el potasio de la solución del suelo y el potasio adsorbido al complejo coloidal, permitiendo que exista una reserva de potasio que puede ser utilizada por la planta para su desarrollo y protegiendo al mismo tiempo del lavado cierta cantidad del potasio agregado al suelo en forma de fertilizante.

#### 2.1.5.1.3 Fijación-liberación.

La fijación-liberación ocurre entre el potasio intercambiable y el no intercambiable y es uno de los procesos que se presentan para mantener un equilibrio entre las diversas formas de potasio.

Al adicionar potasio al suelo y extraerlo mediante un cultivo o por medio de soluciones extractoras no se recupera todo el potasio agregado y por lo tanto hubo fijación de potasio; contrariamente, se establece un cultivo en un suelo con muy poco potasio disponible se tiene que éste extrae una cantidad de potasio mayor, se dice entonces que hubo liberación de potasio (Duthion, 1968).

La fijación del potasio no ocurre por formación de sales insolubles o al combinarse con partículas orgánicas, sino que es consecuencia de la contracción de las arcillas del suelo de  $14 \text{ \AA}$  a  $10-11 \text{ \AA}$  principalmente en las illitas en vías de degradación, que han perdido potasio nativo (Beckett, 1970).

La fijación tiene lugar en los intersticios ( $3.5 \text{ \AA}$ ) de los estratos de arcilla tipo 2:1 (vermiculita, illita, montmorillonita) en las hendiduras semejantes a un libro que se entreabre. Para que ocurra dicho fenómeno es necesario que se deshidrate el ión potasio (diámetro de

2.68 Å) y se introduzca en el espacio interlamilar saturando las cargas electrostáticas, llenando el espacio vacío y estableciendo una configuración estable con el resto del mineral (Duthion, 1968; Fassbender, 1975; Beckett, 1970).

La liberación está asociada con la expansión de las rejillas moleculares de los minerales arcillosos micáceos. Para que haya liberación de los minerales de 10 Å el potasio debe ser sustituido por cationes que llenen un espacio de 14 Å cuando se saturan las cargas negativas.

Los iones  $\text{NH}_4^+$  son capaces de desplazar las "débiles" cantidades de potasio aglutinadas fuertemente, pero el  $\text{NH}_4^+$  entre las capas impide la expansión de suerte que la absorción de  $\text{NH}_4^+$  impide de manera general la liberación ulterior de potasio (Bolt y col. citados por Beckett, 1970).

Hang y col. (citados por Cruz, 1984) señalan que los iones hidronio probablemente son los responsables de la liberación de potasio.

#### 2.1.5.1.4 Disolución.

Al hablar de disolución nos referimos al proceso que ocurre al agregar fertilizante al suelo, generalmente es rápido y libera potasio que inmediatamente se incorpora a la solución del suelo con la consiguiente alteración del equilibrio de las diferentes formas de potasio. La disolución del fertilizante depende particularmente del tamaño de partícula, pH y de su composición química (Fassbender, 1975).

#### 2.1.5.1.5 Percolación.

Este fenómeno reviste gran importancia en la pérdida de potasio y

de otros nutrimentos de los suelos principalmente en las zonas con alta precipitación y suelos ligeros.

Suárez y Rodríguez (citados por Fassbender, 1975) al trabajar sobre el lavado de nutrientes en una región de Colombia con precipitación media anual de 2775 mm, registraron pérdidas a un metro de profundidad en lisímetros monolíticos en un promedio de varios años de 235,191 y 101 kg de potasio/ha. para suelos desnudos, con cobertura vegetal y con cultivo rastrero respectivamente.

En zonas de menor precipitación y de suelos más pesados las pérdidas de potasio revisten poca importancia en relación a las extracciones de los cultivos, por ejemplo Demolon (citado por Duthion, 1968) da cifras de 5 kg/ha/año para un suelo de limo no cubierto.

#### 2.1.5.2 Factores que afectan la dinámica del potasio.

Los procesos que se efectúan para mantener el equilibrio entre las diferentes formas de potasio se ven influenciados por los siguientes factores: tipo de arcilla, pH, materia orgánica, humedad y temperatura, presencia del ión amonio y anión del fertilizante potásico.

##### 2.1.5.2.1 Tipo de arcillas.

Las arcillas presentes en el suelo juegan un papel de suma importancia en la dinámica del potasio ya que actúan como reservorios al adsorber y fijar potasio el cual pueden liberar en cuanto se necesite. Las características específicas de las arcillas como son gran superficie/gramo, densidad de carga, capacidad de intercambio catiónico, etc., les confieren dicha importancia.

Las principales arcillas que se presentan en los suelos son la caolinita, clorita, montmorillonita, illita y vermiculita, el cuadro siguiente nos presenta algunas características de ellas (Chevalier, 1971):

Arcilla	Sup. total $m^2/g$	C.I. meq/100 g
Caolinita	15-30	3-12
Clorita	-----	24
Montmorillonita	550-800	50-100
Illita (cerrada)	90	20-60
Vermiculita	550	120-140

De acuerdo con Mielniczuck (1979) la secuencia de disgregación de las micas en zonas tropicales es la siguiente: Mica  $\rightarrow$  Vermiculita  $\rightarrow$  caolinita  $\rightarrow$  gibsita. Razón por la cual en esas zonas el contenido total de potasio es bajo dado que predominan minerales pobres en potasio como son la caolinita y gibsita.

La naturaleza de la fracción arcillosa no sólo actúa a nivel de mecanismo de fijación, sino también en su intensidad (Duthion, 1968), siendo ésta:

Nula con la caolinita, clorita y micas

Variable con la illita (dependiendo del grado de degradación).

Fuerte en la vermiculita.

La presencia en los suelos de arcillas tipo 2:1 como son la montmorillonita, vermiculita e illita les proporcionan una mayor capacidad de fijación-liberación del potasio adicionado (Mortland y col., 1957; Beckett, 1970; Conyers y McLean, 1969; Maida, 1980).

Balasundaran y Krishnamoorthy, 1974, encontraron mayor capacidad

de fijación en un suelo donde la fracción arcillosa dominante era la montmorillonita con una C.I. de 107.8 meq/100 g que en un suelo donde se tenía un equilibrio de montmorillonita y caolinita en la fracción arcillosa con una C.I. de 62.5 meq/100 g.

Newman y Olivier (citados por Beckett, 1970) encontraron que la fijación del potasio está en función de la carga de red; fuerte fijación cuando la carga de red era mayor a 190 meq/100 g y débil cuando ésta era igual o menor a 150 meq/100 g.

Se ha encontrado que la fijación de potasio disminuye la C.I. de la fracción arcillosa (Page y col, 1963; Conyers y McLean, 1969).

#### 2.1.5.2.2 pH

Dinchev (citado por Cruz, 1984) señala que los suelos ácidos fijan menos potasio y a mayor pH mayor es la fijación de potasio. Pero no sólo hay menor fijación, sino también menor liberación, ya que a pH ligeramente ácido se forman pequeños islotes de  $Al(OH)_3$  o  $Fe(OH)_3$  en los espacios interlaminares, impidiendo la liberación o fijación de potasio (Scott y col., citados por Duthion, 1968; York y col., citados por Beckett, 1970).

Algunos trabajos sobre la dinámica del potasio, por ejemplo el de Panda, 1972, han encontrado que el encalado reduce todas las formas de potasio. En otros casos como el de York y col. (citados por Cruz, 1984) se tiene que al agregar carbonato de calcio al suelo fueron fijadas cantidades relativamente grandes de potasio intercambiable.

#### 2.1.5.2.3 Materia orgánica.

Cruz, 1984, señala la posibilidad de que la materia orgánica tenga

un efecto similar al que causa el aluminio intercalado en los bordes y aristas de los minerales arcillosos.

Maida, 1980, encontró que la materia orgánica no tiene gran afinidad por fijar o adsorber potasio y que su comportamiento, en cuanto a selectividad por potasio, es similar al de la caolinita. Sin embargo Talibudden, citado por el mismo autor, estableció que aumentando el contenido de materia orgánica en el suelo se mejora la capacidad de adsorber y retener potasio por incremento de la C.I.C. del suelo y de la actividad para absorber potasio.

#### 2.1.5.2.4 Humedad y temperatura.

La humedad del suelo afecta todos los procesos de la dinámica del potasio, desde la meteorización hasta la absorción por parte de las plantas.

Graham y Fox, 1971, encontraron al trabajar sobre las reservas potásicas de suelos tropicales que los valores más bajos se dieron en las zonas con una mayor precipitación y con suelos más intemperizados.

Grim y col. (citados por Balasundaran y Krishnamoorthy, 1974) demostraron que en suelos con igual concentración de potasio intercambiable pero con diferente contenido de arcillas la difusión de potasio es impedida por la disminución de agua.

La fijación de potasio añadido al suelo se hace más rápida o simplemente se hace posible, por el secado, mojado y secado, por calentamiento, el congelamiento o deshielo del suelo (York y col., citados por Beckett, 1970). Al agregar potasio al suelo se encuentra que no todo el

potasio adicionado aparece en el potasio intercambiable, es decir hubo fijación, si se seca el suelo dicha fijación aumenta. Si se alterna mojado y secado del suelo dicha fijación aumenta. Si se alterna mojado y secado del suelo se puede liberar algo de ese potasio fijado (Chevalier, 1971; Zende, 1980). El secado o calentamiento aumentan la liberación de potasio tal vez porque las capas se levantan enrollándose por tensión superficial o porque el aluminio desplaza de la red al potasio (Ruymbeke y col. citados por Beckett, 1970).

#### 2.1.5.2.5 Concentración del ión amonio.

La similitud del radio iónico del amonio con el de potasio hace que pueda ser fijado o liberado de la misma forma que el potasio, al aumentar la concentración de amonio la liberación de potasio será menor (Tisdale y Nelson, 1982).

Zende, 1980, al estudiar la dinámica del potasio en tierras negras de la India encontró que la aplicación de sulfato de amonio disminuía la disponibilidad de potasio.

#### 2.1.5.2.6 Anión del fertilizante potásico.

La fijación de potasio por minerales tipo 2:1 puede ser fuertemente influenciada por los diferentes aniones que acompañan al potasio en el fertilizante, ya que se da mayor fijación cuando se agregó potasio acompañado de fosfato que cuando se hizo en compañía de cloruro (Wood y De Turk, 1980; Mortland y col. 1957).

## 2.2 El potasio en la planta.

### 2.2.1 Importancia como nutrimento.

El potasio es requerido en grandes cantidades por la planta, casi en la misma forma que el nitrógeno, para tener un buen desarrollo. Las exigencias de este elemento varían de acuerdo al tipo de planta, por ejemplo el sorgo absorbe poco potasio del suelo (50 kg/ha) mientras que por el contrario el plátano llega a extraer hasta más de 1000 kg/ha. (Malavolta, 1977).

Mielniczuk (citado por Uriza, 1983) señala que plantas con rendimientos altos presentan altas tasas de crecimiento y requieren altas cantidades de potasio en relación a una planta con menor rendimiento y menor tasa de crecimiento. Dicho autor pone como ejemplo el caso de un cultivo de alfalfa que rindió 4000 kg/ha. de materia seca en 30 días, con una concentración de K en el tejido de 2.5% absorbió 100 kg/ha. en 30 días y en cambio una gramínea que en 30 días producía 1000 kg/ha. de materia seca, con una concentración de K en el tejido de 2% absorbió únicamente 20 kg/ha en 30 días.

De manera general los cultivos que producen azúcares, almidón y/o fibra requieren altas cantidades de potasio, lo mismo ocurre con árboles frutales y hortalizas de fruto. Entre los cultivos con más altos requerimientos de potasio tenemos al plátano, la caña de azúcar, el algodón, el sisal, la yuca, el tomate, la papa y el tabaco.

### 2.2.2 Absorción y funciones del potasio en la planta.

El potasio es absorbido por las plantas en forma de ión de la so-

lución del suelo.

La absorción del potasio de acuerdo a Malavolta (1977) puede ser en dos formas principalmente:

- a) Pasiva (difusión); el potasio llega a los espacios intercelulares y de ahí pasa la pared celular, el proceso es rápido, reversible y ocurre a favor de un gradiente de concentración. De esta forma solo llega a las Bandas de caspari.
- b) Activa; el potasio se combina con un agente "portador" y atraviesa la membrana citoplasmática, la membrana que cubre a la vacuola y se deposita en ésta, el proceso es lento, irreversible y se da contra un gradiente de concentración, exigiendo un gasto de energía.

Sin embargo un gran número de autores afirman que el potasio es incorporado a la planta de forma activa, siendo además de todas las especies catiónicas esenciales la única que es incorporada mediante esta forma (Spanswick, y Williams, Dunlop y Bowling, Ansari y Bowling, citados por Cruz, 1984).

Dentro de la planta el potasio presenta una buena movilidad, transportándose tanto por xilema como por floema, ésta característica le permite transportarse a las hojas más jóvenes en caso de deficiencia de potasio, razón por la cual los primeros síntomas aparecen en las hojas más viejas (Tisdale y Nelson, 1982).

Blanchet y col. (citados por Duthión, 1968) establecieron al trabajar con trébol en macetas con suelo sintético, que la absorción de la planta está en función del número de iones potasio intercambiables presentes y del volumen explorado por el sistema radicular.

A diferencia de otros elementos presentes en la planta, el potasio no forma parte integral de los componentes de ésta como son protoplasma, grasa y celulosa, sino que se encuentra en forma de ión libre en el juco celular (Amberger, 1968).

El potasio realiza un sinnúmero de funciones en la planta ya sea como cofactor enzimático de enzimas que participan en el metabolismo de CHOS, ácidos nucleicos y proteínas; como participante del equilibrio celular o bien para ejercer efectos osmóticos, siendo ésta quizás la función más relevante ya que con ello se propician los movimientos de  $H_2O$  en las células, los que son responsables; entre otras cosas, de la apertura y cierre de estomas, etc.

Evans y Sorger (citados por Malavolta, 1977) demostraron que el potasio funciona como activador de 46 enzimas en microorganismos, plantas y animales, entre las que destacan la deshidrogenasa, la aldolasa y la piruvato cinasa en el metabolismo de carbohidratos; la sintetasa de nucleótido de difosfopiridina en el metabolismo de nucleótidos; la síntesis de glutamil cisteína, la síntesis de glutanione y la activación de metionina en el metabolismo de aminoácidos y síntesis de proteínas.

Debido a su alta movilidad en la planta así como intracelularmente el potasio es responsable de la regulación estomatal y osmótica que ayudan a resistir salinidad, tensión hídrica y congelamiento (Beringer, 1980).

Suresh, 1980, encontró que variedades de trigo y sorgo que acumulan mayor cantidad de potasio resisten más la salinidad que variedades que no presentan esta característica. Mediante la regulación estomatal el potasio ayuda a tolerar en mayor grado la sequía (Nelson, 1980; Mengel citado por Malavolta, 1977).

La carestía de potasio se manifiesta en dos fases: a) debilitamiento de los potenciales eléctricos de las membranas celulares, que controlan las corrientes de agua, de iones y de metabolitos en el citoplasma, aumenta la respiración y se degeneran las mitocondrias, b) disminución de la síntesis de proteínas, carbohidratos y lípidos (Chevalier, 1971). Además aumenta la cantidad de aminoácidos al no haber metabolismo de proteínas y cuando la deficiencia es severa pueden transformarse en aminas tóxicas como la putrescina y la cadaverina (Amberger, 1968).

Un adecuado suministro de potasio proporciona mayor calidad a los frutos y mayor resistencia a enfermedades como ocurre con la podredumbre y tizón del tallo en soya (Nelson, 1980).

Los síntomas visuales de la deficiencia de potasio generalmente son la clorosis gradual de los márgenes y puntas de las hojas más viejas. Cuando la deficiencia se torna más grave las áreas amarillas avanzan al centro y base de las hojas y los síntomas comienzan a presentarse en el follaje más joven. En las últimas etapas se nota una necrosis en las áreas cloróticas y los tejidos se desintegran dándole a la hoja una apariencia rasgada (Pelletier, 1965).

### 2.3 La relación cantidad/intensidad (Q/I).

El método Q/I (Cantidad/intensidad) se refiere a la relación entre la cantidad de potasio lábil en el suelo (factor cantidad) y la relación de actividad del potasio o  $AR^k$  (factor intensidad).

Beckett, 1964 a, sugiere describir el status del potasio en el suelo usando la relación cantidad/intensidad en vez de utilizar únicamente el potencial potasio.

Las bases teóricas de esta metodología parten de los mismos principios establecidos para describir el intercambio catiónico basados en las Leyes de Donnan para membranas semipermeables y las Leyes de acción de masas. Schofield (citado por Fassbender, 1975) describe este proceso suponiendo dos sistemas (solución interna y externa) y que uno de ellos contiene un electrólito disponible de elementos monovalentes (KCl), al establecerse el equilibrio se tiene en ambas soluciones concentraciones iguales de electrólitos:

$$(K^+)_i (Cl^-)_i = (K^+)_e (Cl^-)_e \text{ o sea } \frac{(K^+)_i}{(K^+)_e} = \frac{(Cl^-)_e}{(Cl^-)_i}$$

Para un electrólito disponible de elementos di y monovalentes ( $CaCl_2$ ) se tiene:

$$(Ca^{2+})_i (Cl^-)_i^2 = (Ca^{2+})_e (Cl^-)_e^2 \quad \text{ó}$$

$$\frac{(Ca^{2+})_i}{(Ca^{2+})_e} = \frac{(Cl^-)_e^2}{(Cl^-)_i^2} \quad \text{ó} \quad \frac{\sqrt{(Ca^{2+})_i}}{\sqrt{(Ca^{2+})_e}} = \frac{(Cl^-)_e}{(Cl^-)_i}$$

Para un sistema en el cual existen varios cationes por ejemplo Ca, Mg, Al, tanto en la fase interna como externa (complejo de intercambio), se establece de acuerdo a estas leyes la siguiente distribución:

$$\frac{(H^+)_i}{(H^+)_e} = \frac{(K^+)_i}{(K^+)_e} = \frac{\sqrt{(Ca^{2+})_i}}{\sqrt{(Ca^{2+})_e}} = \frac{\sqrt{(Mg^{2+})_i}}{\sqrt{(Mg^{2+})_e}} = \frac{\sqrt[3]{(Al^{3+})_i}}{\sqrt[3]{(Al^{3+})_e}}$$

Estas ecuaciones indican que en el estado de equilibrio cociente de la actividad es igual para cada uno de los iones en la solución interna y externa. De lo cual se deriva que la proporción de la actividad de dos iones diferentes en la solución interna es igual a la proporción de la actividad de esos dos iones en la solución externa:

$$\frac{(K^+)_i}{\sqrt{(Ca^{2+})_i}} = \frac{(K^+)_e}{\sqrt{(Ca^{2+})_e}}$$

así se tiene una proporcionalidad específica para pares de iones, tanto en la solución interna (fase adsorbida) como en la externa (fase disuelta) del complejo de intercambio.

Existen numerosas ecuaciones de intercambio que han sido derivadas de la Ley de acción de masas (Vanselow, Krishnamoorthy, Eriksson, Gapon) a partir de las cuales se puede calcular la relación cantidad/intensidad (Addiscott y Talibudden, 1969).

### 2.3.1 Descripción del método.

El método O/I consiste en agitar una muestra de suelo con una solución (Solución de referencia;  $\text{CaCl}_2$  o  $\text{AlCl}_3$  + diferentes concentraciones de K, como KCl) durante un tiempo dado y luego determinar la relación de actividades de la solución en equilibrio, si la relación de actividad de la solución agregada es igual a la de la solución equilibrada con el suelo entonces la solución no ganó ni perdió potasio. En las soluciones donde la relación de actividades mayor o menor que la de la solución equilibrada, el suelo realizará un nuevo equilibrio ganando o perdiendo potasio por intercambio.

Para cada suspensión la cantidad de potasio que ha sido ganada o perdida al final del equilibrio se obtiene de la diferencia entre la concentración inicial y final de la solución y es expresado como  $\pm \Delta K$  en meq/100g., (Beckett, 1964 a,b). La relación de actividad de la solución final puede ser determinada a partir de la concentración final y transformada a la actividad usando el coeficiente de actividad y se expresa como  $AR^k$  en mol/l.

Si se grafican los valores de  $\Delta K$  (ordenadas) contra  $AR^k$  (absisas)

se obtiene una curva  $Q/I$ . La figura 2.2 nos muestra una curva típica de la relación  $Q/I$ . La curva típica  $Q/I$  está formada por una parte superior lineal y una parte inferior curvada. La parte lineal es solo un caso particular de la forma más general de las relaciones de intercambio descritas por Gapon en 1933, Krishnamoorthy y Overstret en 1949, USDA en 1954 o Bolt en 1955 (Beckett, 1964b). De acuerdo a Le Roux y Summer, 1969, tenemos:

$$K = k' A_K / \sqrt{A_{Ca+Mg}} - \Delta K_0$$

donde:  $k =$  constante

$\Delta K_0 =$  valor extrapolado de la porción lineal de la curva  $Q/I$  en el eje  $\Delta K$ .

Además.

$$Y_K = \Delta K + \Delta K_0$$

Si consideramos  $\Delta K_0$  como el origen, y  $Y_K$  es el contenido de potasio intercambiable. Por lo tanto la ecuación puede escribirse como:

$$Y_K = k' A_K / \sqrt{A_{Ca+Mg}}$$

Dividiendo el LHS entre  $Y_{Ca+Mg}$  se obtiene:

$$Y_K / Y_{Ca+Mg} = k'' A_K / \sqrt{A_{Ca+Mg}}$$

que es la ecuación de Gapon.

La parte inferior de la curva se refiere a la cantidad total de K lábil y por lo tanto se relaciona estrechamente con el potasio intercambiable.

Por otra parte existe el criterio de que no siempre se tiene una curva típica como la descrita, sino que ésta puede ser una curva continua, sin presentar la parte lineal, con una mayor curvatura en las relaciones de actividad menores que en las mayores (Deist, Boltón, Talibudden y Day, citados por Addiscott y Talibudden, 1969).

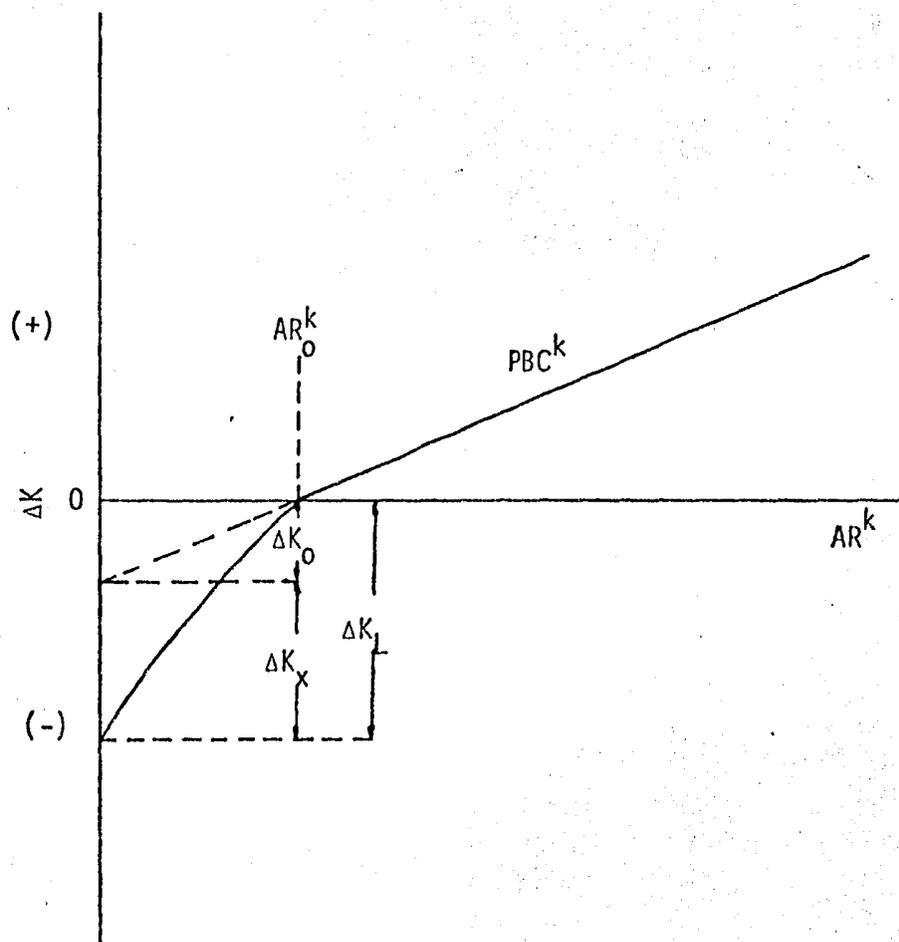


Figura 2.2 Curva característica Q/I

### 2.3.2 Parámetros deducidos de la curva Q/I

Los parámetros más comúnmente usados son de acuerdo a Goedert y col., 1975, son los siguientes:

- a)  $AR^k$ , es la relación de actividades del par iónico empleado en el estudio. Se obtiene de calcular las actividades de ambos iones en la solución de equilibrio. Representa el factor intensidad y describe la actividad relativa del K en la solución, se expresa en mol/l.
- b)  $\Delta K$ , se obtiene de la diferencia entre el potasio adicionado (K-inicial) y la cantidad de potasio en la solución equilibrada (K-final). Representa el parámetro cantidad, que es un componente del factor capacidad o de reemplazo (Cruz, 1984). Se expresa en meq/100g de suelo.
- c)  $AR_0^k$ , es el valor de  $AR^k$  cuando  $\Delta K=0$ , es decir cuando el suelo no gana ni pierde potasio. Representa la intensidad de potasio lábil y constituye una medida del potasio inmediatamente disponible. Hoagland y Martín, citados por Acquaye y col., 1967, y Nafady y Lamm, citados por Cruz, 1984, han verificado que el tamaño de  $AR_0^k$  es igual al % de saturación del potasio.
- d)  $\Delta K_0$ , es el valor de  $\Delta K$  obtenido por extrapolación de la porción recta de la curva Q/I a un valor de  $AR^k = 0$ . Se considera una medida aproximada del reservorio de potasio lábil por lo cual está relacionado con el potasio intercambiable. En un sentido estricto el  $\Delta K_0$  representa al potasio intercambiable localizado en los puntos de intercambio planares que son definidos por la ecuación de intercambio de Gapon.
- e)  $PBC^k$ , capacidad potencial amortiguadora para potasio. Representa la capacidad de un suelo de mantener constante la intensidad de potasio cuando éste ha sido extraído o adicionado. Está determinado por la

pendiente de la parte recta de la curva (Beckett, 1964b) o por la pendiente de la recta tangente a la curva cuando no se gana ni pierde potasio en caso de que se tenga una curva Q/I continua (Talibudden y Day, citados por Addiscott y Talibudden, 1969).

Los anteriores parámetros se refieren a la parte recta de la relación Q/I, que ha sido la más estudiada, sin embargo la parte con mayor curvatura (porción inferior) es de suma importancia ya que se refiere al potasio lábil, ésta parte de la curva representa mayor dificultad para ser reproducida debido a que concentraciones muy bajas de potasio no pueden ser determinadas (Talibudden y Day, citados por Cruz, 1984). Los parámetros que se relacionan con ésta parte son:

- a)  $\Delta K_L$ , que se obtiene de extrapolar la parte curveada a  $AR^K = 0$ . Representa la cantidad total de potasio lábil intercambiable, incluyendo el fácilmente cambiable y el correspondiente a las posiciones específicas para el potasio.
- b)  $\Delta K_X$ , está dado por  $\Delta K_L - \Delta K_0$ . Representa la cantidad de potasio lábil correspondiente a las posiciones más específicas para el potasio.

### 2.3.3 Factores que afectan el método Q/I.

La metodología utilizada para el estudio de las relaciones cantidad/intensidad es básicamente la misma que planteó Beckett. A medida que este método ha sido más estudiado se ha notado que existen varios factores que afectan los valores de los parámetros obtenidos, y son: muestreo y preparación de la muestra, relación suelo-solución, tiempo de equilibrio, temperatura durante el equilibrio y la solución de referencia.

Moss y Beckett, citados por Cruz, 1984, señalan que el muestreo, almacenamiento y preparación de la muestra pueden influir en los valores de los parámetros determinados a partir de la curva  $\eta/I$ . Las recomendaciones que hacen al respecto son; analizar la muestra lo más pronto posible, en caso de almacenarse debe hacerse a baja temperatura y el secado debe hacerse a temperatura ambiente. La muestra debe tamizarse pero no molerse.

La relación suelo solución más comúnmente usada es de 1:10. esta tiene poco o nulo efecto en los valores obtenidos de la relación  $\eta/I$  (Nafady y Lamm, citados por Cruz, 1984).

Respecto al tiempo de equilibración (considerado como tiempo de agitación) existía gran diversidad de opiniones. Beckett (1964) utilizó doce horas de reposo o bien una hora de agitación y una noche de reposo. Le Roux y Summer (1968), al trabajar sobre periodos de equilibración, señalan que un prolongado tiempo de agitación puede liberar cantidades significativas de potasio interlaminar debido al desgaste de las micas. Moss y Beckett (citados por Bolarín, 1980 a) consideran que el periodo de equilibración debe ser suficiente para disgregar las unidades estructurales, pero no tan largo que se libere potasio fijado y recomiendan un periodo de agitación de 10 a 30 minutos. Bolarín y col., 1980 a, trabajaron con periodos de agitación de 0.5, 2, 5, 15 y 20 horas encontrando que no había diferencia significativa entre los parámetros obtenidos, recomendando un tiempo de agitación de 30 minutos. El periodo de tiempo que más se ha utilizado es de 60 minutos (Uriza, 1983).

Se recomienda que al realizar la equilibración se mantenga una temperatura constante de  $24 \pm 1$  °C, ya que el equilibrio se ve afectado por variaciones en la temperatura (Beckett, 1964 a).

El último de los factores que afectan a los parámetros  $\Omega/I$ , y el que ha levantado mayor polémica, es la solución de referencia o catión de referencia. La función de dicha solución es crear un sistema similar al del suelo, es decir que las condiciones en que se desarrolle la equilibración sean parecidas a las del suelo, a fin de que se obtengan valores más exactos. En un principio la solución de referencia utilizada por Beckett (1964 a,b) fue la de  $\text{CaCl}_2$ , dado que los suelos con que trabajó eran ricos en Ca y Mg. Al hacer el cálculo de actividades también se considera al Mg, ya que se toma al Ca + Mg como una sola especie iónica.

El criterio básico para seleccionar al catión de referencia para la medición de la  $\text{AR}^k$  en la solución, es que la concentración del catión de referencia no debe variar durante el equilibrio. De ocurrir lo contrario significa que ese catión no es el adecuado. Tinker (1964) encontró dificultades para medir la relación de actividad en suelos con pH ácido utilizando el par iónico  $\text{K}-(\text{Ca}+\text{Mg})$ , debido a la presencia de  $\text{Al}^{+3}$  en el complejo de intercambio de estos suelos, por lo que sugiere adicionar  $\text{Al}^{+3}$  a la solución de referencia o bien utilizar a éste como catión de referencia. A la misma conclusión llegaron otros investigadores (Singh y Talibudden, citados por Uriza, 1983; Goedert y col., 1975).

La idea es usar como catión de referencia aquel que predomina en el complejo de intercambio del suelo, razón por la cual no se puede usar el mismo catión en todos los suelos, dado que en zonas templadas el catión predominante en el complejo de intercambio es el par  $(\text{Ca}+\text{Mg})$ , mientras que en zonas tropicales predomina el  $\text{Al}^{+3}$ . Las soluciones de referencia y las concentraciones que se han utilizado comúnmente son:  $\text{CaCl}_2$ , 1 mm, 2 mm y 5 mm;  $\text{AlCl}_3$ , 2 mm y finalmente  $\text{SrCl}_2$  1 mm (Mielniczuk, 1979; Bolarín y col., 1980 b).

### 2.3.4 Relación de los parámetros O/I con algunas propiedades de los suelos.

El conocer las relaciones que existen entre las propiedades del suelo es de gran importancia porque esto nos permite un mejor manejo del mismo, tanto para su conservación como para elevar su calidad agrícola. En base a lo anterior resulta interesante mencionar las relaciones que se dan entre los parámetros O/I y algunas propiedades del suelo.

Acquaye y col. (1967), al estudiar la capacidad y potencial potasio en suelos de Ghana, encontraron que el parámetro  $AR_0^k$  correlaciona con el potasio intercambiable y con el % de saturación de potasio, mientras que el  $PBC^k$  correlacionó altamente con el potasio fijado.

Nash, 1971, encontró, al trabajar sobre las características de liberación de potasio en suelos del plano costal del Mississippi, correlación entre  $PBC^k$  con CIC y % de arcillas; entre  $AR_0^k$  y % de saturación de potasio y entre  $\Delta K_0$  con potasio intercambiable.

Al evaluar los parámetros O/I de potasio en suelos de Meghalaya, Ram y Prasad (1981), encontraron correlación entre el  $\Delta K_L$  y el potasio intercambiable, además señalan que el contenido de Ca+Mg intercambiables contribuyen significativamente a elevar el PBC, mientras que el contenido de materia orgánica causa un efecto mínimo en este parámetro. Goedert y col., 1975 b, también coinciden en que al aumentar el (Ca+Mg) intercambiables aumenta el  $PBC^k$  disminuyendo por otra parte el  $AR_0^k$ .

Goedert y col. (1975), estudiando las relaciones cantidad/intensidad en suelos de Río Grande Do Sul, encontraron correlación entre  $\Delta K_L$  y potasio intercambiable;  $\Delta K_0$  y potasio intercambiable;  $AR_0^k$  y % de saturación de potasio y  $PBC^k$  con CIC y (Ca+Mg) intercambiables.

Estudiando el potasio disponible y la evaluación de métodos para su determinación, Simonis (1982), encontró que el  $PBC^k$  correlaciona con % de arcilla, CIC, (Ca+Mg) intercambiables y pH.

Cruz, 1984, encontró, al estudiar los parámetros Q/I como una medida de la disponibilidad nutrimental de algunos suelos cañeros, altos coeficientes de correlación entre el  $PBC^k$  con % de arcillas, CIC, % M.O., pH, % de saturación de potasio, potasio soluble, fijado e intercambiable; entre  $AR_0^k$  con potasio soluble; entre  $\Delta K_0$  con potasio soluble, fijado e intercambiable, % de arcillas, pH, y % de saturación de potasio; entre  $\Delta K_L$  con potasio soluble, fijado e intercambiable, % de arcillas, % de M.O., pH y % de saturación de potasio; entre  $\Delta K_X$  con potasio intercambiable, fijado, % de arcillas, % de M.O. y pH.

Uriza 1983, al determinar las curvas Q/I para suelos ácidos encontró correlación entre  $PBC^k$  con % de arcilla, CIC y % M.O.: entre  $\Delta K_L$  con potasio intercambiable y entre  $\Delta K_0$  con potasio intercambiable.

Cabe señalar que el hecho de que no siempre se encuentren iguales correlaciones entre los diferentes parámetros Q/I y las propiedades de los suelos se debe a que los suelos estudiados presentan diferentes características, a que se utilizan diferentes soluciones de referencia y por lo tanto no todos los suelos tienen las mismas relaciones.

### III OBJETIVOS

1. Estudiar la dinámica del potasio utilizando el enfoque de la relación cantidad-intensidad y los parámetros deducidos de ella en dieciséis suelos de zonas tropicales.
2. Determinar la relación existente entre los parámetros Q/I y algunas características de los suelos en estudio.

## IV MATERIALES Y METODOS

### 4.1 Descripción de la zona de estudio.

Los suelos estudiados se localizan aproximadamente entre los paralelos 18°12' y 19°27' latitud norte y entre los meridianos 96°8' y 97°6' longitud oeste del meridiano de Greenwich (a excepción del suelo 12-Huixtla). La localización de los suelos estudiados se presenta en la fig.4.1 La altura sobre el nivel del mar varía de 20 a 1230 metros, el clima, de acuerdo a García (1973), va de cálido a semicálido, con temperatura media anual de 19 a 25°C y precipitación anual de más de 2000 mm.

De acuerdo a la terminología de la FAO/UNESCO, predominan las unidades de suelos denominadas cambisoles, luvisoles, vertisoles y andosoles (CNIA, 1976). La topografía varía de plana a ligeramente ondulada; las texturas predominantes son la arcillosa, franco-arcillosa y arcillo arenosa con coloraciones entre oscuras, grises, cafés y rojizas; la reacción del suelo va de ácida a ligeramente ácida. La caña de azúcar cubre una superficie considerable en esta región.

El suelo 12-Huixtla, Chiapas, se localiza aproximadamente en el paralelo 15°8' latitud norte y el meridiano 92°19' longitud oeste del meridiano de Greenwich, a 40 metros sobre el nivel del mar. El clima es cálido con una temperatura media anual de 26°C y precipitación anual de 3180 mm. Los suelos pertenecen a la unidad de los oxisoles, presentan colores rojo, pardo o amarillo y son de reacción ácida. Son cultivados con caña de azúcar.

### 4.2 Muestreo y preparación de las muestras de suelos.

Para la selección de las muestras de suelos y su preparación se



Figura 4.1a Ubicación de los suelos en estudio.

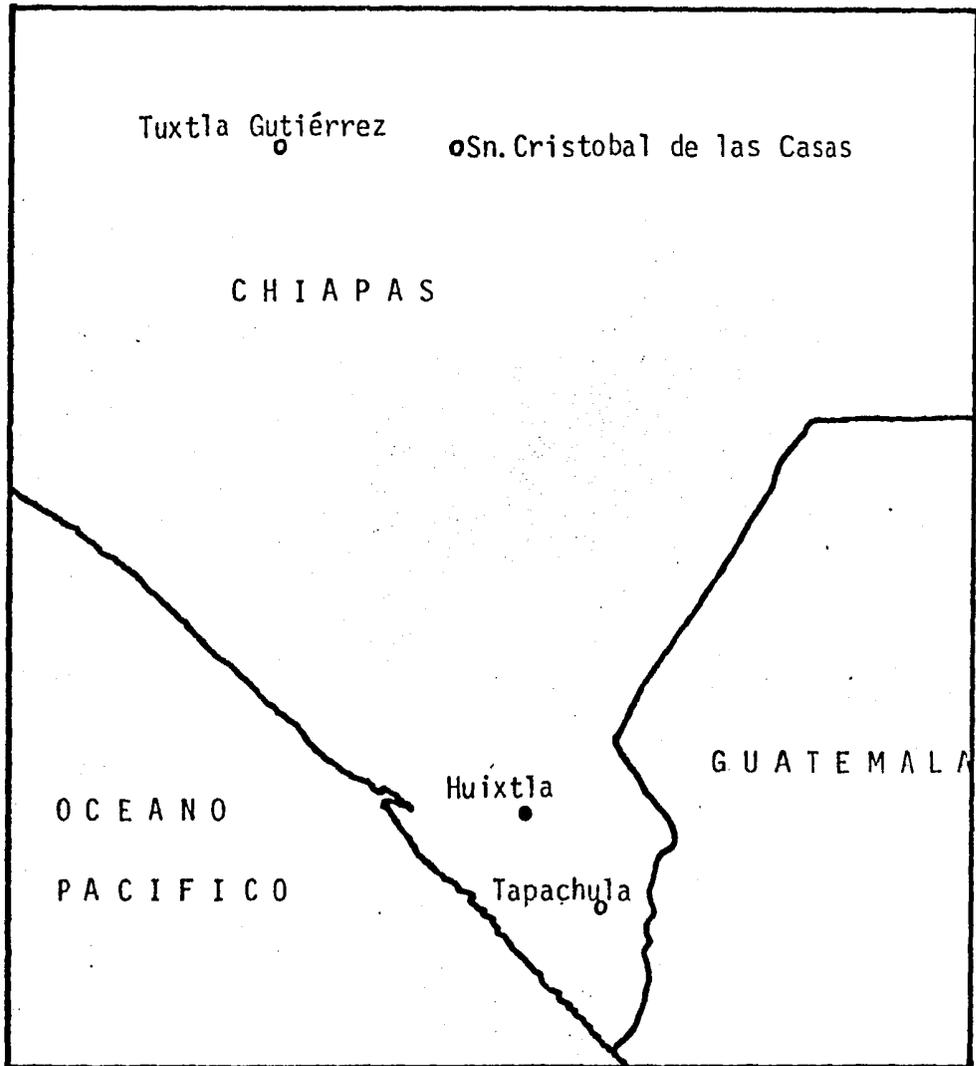


Figura 4.1 b. Ubicación del suelo 12-Huixtla.

se siguieron las indicaciones proporcionadas por la sección de química de suelos del Centro de Edafología del C.P. El muestreo se llevó a cabo en las localidades correspondientes a las áreas seleccionadas, a una profundidad de 0 a 30 cm. Las muestras tomadas se secaron al aire y tamizaron a 2 mm para efectuar en el laboratorio el análisis de las características físicas, químicas y termodinámicas, asignándoles claves a los suelos según su procedencia (ver tabla 4.1).

#### 4.3 Caracterización física y química de las muestras.

##### 4.3.1 Color.

La determinación de color se llevó a cabo en seco y en húmedo utilizando una tabla Munsell.

##### 2.3.2 Textura.

La textura de los suelos fue determinada por el método del hidrómetro de Bouyoucos.

##### 4.3.3 Reacción del suelo.

El pH se determinó en solución de KCl y en agua, utilizando en ambos casos una relación de solución-suelo de 2:1. La suspensión se agitó durante 5 minutos y se dejó reposar 30 minutos, realizándose posteriormente la lectura en un potenciómetro Corning modelo 7.

##### 4.3.4 Nitrógeno total.

Se utilizó el método del Kjeldahl (Jackson, 1970).

Tabla 4.1. Procedencia de los suelos estudiados

SUELO	SITIO	UBICACION
1	Chocaman, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio San Miguelito, Córdoba, Ver.
2	El Carmen, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio El Carmen, Cuautlapan, Ver.
3	Gpe. Barrial, Ver..	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio San Miguelito, Córdoba, Ver.
4	Santana Atzacan, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio El Carmen, Cuautlapan, Ver.
5	Cuautlapan, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio El Carmen, Cuautlapan, Ver.
6	C.N.I.A., Ver.	Comisión Nacional de la Industria Azucarera, Córdoba, Ver.
7	Mahuixtlán, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio Mahuixtlán, Tlaltetela, Ver.
8	Sumidero, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio El Carmen, Cuautlapan, Ver.
9	Sumidero, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio El Carmen, Cuautlapan, Ver.
10	Sumidero, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio El Carmen, Cuautlapan, Ver.
11	Fortín, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio El Carmen, Cuautlapan, Ver.
12	Huixtla, Chis.	Zona de influencia del área de abastecimiento del Ingenio Huixtla, Huixtla, Chis.
13	La Margarita, Oax.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio La Margarita, Acatlán de Pérez Figueroa, Oax.
14	Tres Valles, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio Tres Valles, Tres Valles, Ver.

Tabla 4.1 continuación.

15	Tezonapa, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio Motzorongo, Motzorongo, Ver.
16	Tezonapa, Ver.	Zona de influencia del área de abastecimiento del ingenio Motzorongo, Motzorongo, Ver.

#### 4.3.5 Materia orgánica.

Para la materia orgánica se empleó el método de combustión húmeda de Walkley y Black, modificado por Walkley, 1947, considerando una eficiencia de oxidación de 77% (citado por Cajuste, 1982).

#### 4.3.6 Fósforo disponible.

Se utilizó el método Bray P-1 (Bray y Kurtz, 1947) modificado por Cajuste, 1982, usando como solución extractora  $\text{NH}_4\text{F}$  y  $\text{HCl}$  0.025 N empleando el método azul cloromolibdico. Las muestras se leyeron en un fotocolorímetro Coleman Junior II modelo 6/20.

#### 4.3.7 Capacidad de intercambio catiónico.

Se utilizó acetato de amonio 1N pH 7 (modificada por Cajuste, 1982). La extracción de los cationes intercambiables fue realizada con  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N pH 7, con una relación suelo-solución de 1:20 luego de tres extracciones sucesivas. El exceso de amonio en solución se eliminó mediante lavados con alcohol isopropílico. El amonio adsorbido fue extraído con una solución de  $\text{NaCl}$  al 10% acidulada y dosificada por destilación y titulación.

#### 4.3.8 Cationes intercambiables.

Se utilizó el filtrado obtenido de las extracciones con  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N. El potasio y  $\text{Na}$  fueron cuantificados por fotometría de llama usando un fotómetro de llama Coleman modelo 400. El calcio y magnesio fueron cuantificados por titulación con EDTA.

#### 4.3.9 Aluminio intercambiable.

Se empleó el método del aluminón usando como extractante KCl 1N y leyendo con un fotocolorímetro Coleman Junior II Modelo 6/20.

#### 4.3.10 Potasio fijado.

Fue determinado mediante extracción con  $H_2SO_4$  en frío, para lo que se emplea  $H_2SO_4$  concentrado y 0.1 N, técnica citada por Cruz (1984). Los extractos se cuantificaron con un flamómetro Coleman modelo 400.

#### 4.3.11 Potasio intercambiable.

La cantidad de potasio intercambiable fue determinada en el filtrado obtenido de tres extracciones sucesivas con acetato de amonio 1 N pH 7 en una relación suelo-solución de 1:20 y empleando un flamómetro Coleman modelo 400.

#### 4.3.12 Potasio soluble en agua.

Se utilizó una relación suelo-agua de 1;5 agitando durante 30 minutos a 180 rpm y centrifugando en ultracentrifuga durante 10 minutos, filtrando el sobrenadante y leyendo con un flamómetro Coleman modelo 400.

#### 4.5 Determinación de la relación cantidad/intensidad (Q/I).

Se utilizó el método de Goedert y col. (1975) en donde muestras de suelo por duplicado (2.5 g) se colocaron en tubos de centrifuga de 50 ml adicionandoles 25 ml de  $AlCl_3$  0.002 M como solución de referencia. Además se adicionaron diferentes cantidades de KCl, de 0 a 1.4 moles. A

las muestras de suelo más pequeñas (2 a .5 g) se les adicionó únicamente solución de referencia con el fin de obtener datos en los valores de baja intensidad. La tabla 4.2 presenta las cantidades de suelo y las concentraciones correspondientes de K para cada caso. Las muestras se agitaron durante 1 hora a 24°C y se centrifugaron durante 10 minutos y se filtró el sobrenadante. En el filtrado se procedió a cuantificar  $Al^{+3}$  y K. El aluminio fue determinado por espectrofotometría de absorción atómica y el potasio se cuantificó con un espectrofotometro de llama Coleman Jr. II.

Las actividades de los iones determinados fueron calculadas utilizando el mismo procedimiento que aplicó Cruz, 1984, y es como sigue:

$$a_i = f_i \times c_i \quad (1)$$

donde:  $f_i$  = coeficiente de actividad del ión y

$c_i$  = concentración del ión

Los coeficientes de actividad fueron calculados utilizando la fórmula de Debye-Huckel;

$$-\log F_i = \frac{0.5085 z_i^2 u}{1 + 0.3281 \alpha_i} \quad (2)$$

donde:  $F_i$  = coeficiente de actividad para las especies i

$z_i$  = carga de las especies i

$u$  = fuerza iónica de la solución en que se encuentra i

$\alpha$  = diámetro efectivo del ión hidratado (en Å):

Los valores utilizados para  $\alpha_i$  fueron los siguientes:

$Al = 9 \text{ \AA}$

$K = 3 \text{ \AA}$

La fuerza iónica de la solución queda definida por la ecuación;

$$u = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i z_i^2$$

donde:  $u$  = fuerza iónica

$m_i$  = concentración de cualquier ión  $i$  en  $m/l$

$z_i$  = carga de cualquier ión  $i$ .

Habiendo encontrado los valores de la actividad de los iones  $Al^3$  y  $K$ , se determinó la relación de actividad ( $AR^k$ ) utilizando la fórmula siguiente:

$$AR^k = \frac{a_k}{(a_{Al})^{1/3}}$$

$\Delta K$  es la diferencia entre el  $K$  inicial menos el  $K$  final en la solución en equilibrio, expresado en  $meq/100$  g. de suelo, y se calcula utilizando la fórmula siguiente:

$$K = (K_i - K_f) F$$

donde:  $K_i$  =  $K$  inicial (adicionado) en  $meq/l$

$K_f$  =  $K$  final (en equilibrio) en  $meq/l$

$F$  = Factor que considera la dilución del suelo y se divide entre 10 para que el valor se exprese en  $meq/100$  g. de suelo.

Tomemos por ejemplo el suelo 1; en el tubo 1 se adicionaron 2.5 g de suelo y 25 ml de solución de referencia, por lo tanto la dilución del suelo fue de 10 (25 ml/2.5g) y al dividir entre 10 a fin de que el resultado quede expresado en  $meq/100$  g. de suelo resulta un factor "F" de 1, si tuvimos un  $K_i = 1.4$   $meq/l$  y un  $K_f = 1.03$   $meq/l$ . tendremos:  $\Delta K = (1.4$   $meq/l - 1.03$   $meq/l) \times 1 = 0.37$   $meq/100$  g de suelo. La tabla 4.3 nos presenta este factor para cada caso.

Por otra parte para calcular la relación de actividades hacemos uso de las ecuaciones vistas anteriormente, sigamos el ejemplo con el suelo 1 tratamiento A (1.4 mmoles de  $K/l$  de solución).

Tabla 4.2 Solución de  $\text{AlCl}_3$  0.002 M con diferentes concentraciones de KCl.

Identificación de soluciones	Solución de equilibrio $\text{AlCl}_3$	+	KCl	Concentración de K meq/l. K-inicial
A	0.002 M	+	1.4 mM/l	1.4
B	0.002 M	+	1.2 mM/l	1.2
C	0.002 M	+	1.0 mM/l	1.0
D	0.002 M	+	0.8 mM/l	0.8
E	0.002 M	+	0.6 mM/l	0.6
F	0.002 M	+	0.4 mM/l	0.4
G	0.002 M	+	0.2 mM/l	0.2
H	0.002 M	+	0 mM/l	0

Tabla 4.3 Cantidades de suelo por tubo, de solución adicionada y el factor "F" (solución-suelo).

Identificación de tubos	Grs. de suelo por tubo	Adición de 25 ml de solución de equilibrio	Factor "F" (Factor dilución) <sup>1</sup> 10
a	2.5	A	1
b	2.5	B	1
c	2.5	C	1
d	2.5	D	1
e	2.5	E	1
f	2.5	F	1
g	2.5	G	1
h	2.5	H	1
h <sub>1</sub>	2.5	H	1
h <sub>2</sub>	2.0	H	1.25
h <sub>3</sub>	1.5	H	1.66
h <sub>4</sub>	1.0	H	2.5
h <sub>5</sub>	0.5	H	5

<sup>1</sup> El factor de dilución se divide entre 10 para obtener directamente un factor de conversión de mg/l a meq/100 g de suelo.

La concentración de K en equilibrio fue de  $1.03 \times 10^{-2}$  mol/l mientras que la de Al fue de  $2.26 \times 10^{-3}$  mol/l.

Calculamos la fuerza iónica de la solución como sigue:

$$I = \frac{1}{2} (1.03 \times 10^{-2}) (1)^2 + (1.03 \times 10^{-2}) + (2.26 \times 10^{-3}) (3)^2 + (2.26 \times 10^{-3}) (3) (1)^2.$$

$$I = 1.5446 \times 10^{-1}$$

Para el potasio el coeficiente de actividad es:

$$-\log F_k = \frac{0.5085 \times (1)^2 \times \sqrt{1.5446 \times 10^{-1}}}{1 + (0.328 \times 3 \times \sqrt{1.5446 \times 10^{-1}})}$$

$$F_k = 1/\text{antilog. } 6.8182 \times 10^{-2}$$

$$F_k = 0.8547$$

Y la actividad:

$$a_k = F_k \times C_k$$

$$a_k = 0.8547 \times 1.03 \times 10^{-2} \text{ mol/l} = 8.8034 \times 10^{-3}$$

Para el aluminio el coeficiente de actividad es:

$$-\log F_{Al} = \frac{0.5085 \times (3)^2 \times \sqrt{1.5446 \times 10^{-1}}}{1 + (0.328 \times 9 \times \sqrt{1.5446 \times 10^{-1}})}$$

$$F_{Al} = 1/\text{antilog. } 0.4855$$

$$F_{Al} = 0.3269$$

y la actividad:

$$a_{Al} = F_{Al} \times C_{Al}$$

$$a_{Al} = 0.3269 \times 2.26 \times 10^{-3}$$

$$a_{Al} = 7.3889 \times 10^{-4}$$

$$a_{Al} = 9.0405 \times 10^{-2}$$

Así tendremos:

$$AR^K = \frac{a_K}{\sqrt[3]{a_{A1}}}$$

$$AR^K = \frac{8.8034 \times 10^{-3}}{9.0405 \times 10^{-2}} = 9.72 \times 10^{-2}$$

Al graficar los valores de  $AR^K$  y los de  $\Delta K$  se obtiene la curva Q/I de donde se obtienen los parámetros  $PBC^K$ ,  $AR_0^K$ ,  $\Delta K_0$ ,  $\Delta K_L$  y  $\Delta K_X$  que fueron definidos en la revisión de literatura.

## V RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 Caracterización físico-química de los suelos en estudio.

Esta se llevó a cabo a fin de conocer el tipo de suelo estudiado y así poder relacionar algunas de sus propiedades con los parámetros Q/I obtenidos. Las propiedades físicas y químicas se presentan en las tablas 5.1 y 5.2 respectivamente.

#### 5.1.1 Color.

Los colores dominantes en estos suelos son el café con tonalidades de oscuro, grisáceo y rojizo. Esto quizás se deba a la presencia de materia orgánica y/o a los diversos compuestos de Fe como por ejemplo complejos ferrosos y ferrisilícicos que producen coloraciones grisáceas y rojizas respectivamente. Estas coloraciones coinciden con las descritas para las unidades de suelo predominantes en la zona de estudio.

#### 5.1.2 Textura.

Todos los suelos estudiados tienen una textura arcillosa a excepción de los suelos 12-Huixtla, 13-La Margarita y 14-Tres Valles que son franco arcillosos. Los % de arcilla van de 36.19 a 66.68.

#### 5.1.3 Conductividad eléctrica.

Ninguno de los suelos presenta problemas de salinidad. El suelo que presenta la mayor conductividad eléctrica es el 12-Huixtla con 0.4 mmhos/cm, la mayoría de los suelos tiene una conductividad eléctrica de 0.15 mmhos/cm.

Tabla 5.1 Algunas propiedades físicas de los suelos en estudio.

S u e l o	color		Arena	Limo ----- %	Arcilla -----	Textura
	Seco	húmedo				
1 Chocaman, Ver.	10YR3/2	5YR2.5/1	16.20	18.0	65.80	Arcilla
2 El Carmen, Ver.	10YR5/3	7.5YR3/2	29.2	24.64	46.16	Arcilla
3 Gpe. Barrial, Ver.	10YR4/2	5YR3/2	18.48	19.72	61.80	Arcilla
4 Santana Azacan, Ver.	10YR6/3	10YR3/2	21.48	21.36	57.16	Arcilla
5 Cuautlapan, Ver.	10YR3/3	5YR2.5/2	19.20	17.64	63.16	Arcilla
6 CNIA, Ver.	10YR5/3	10YR3/2	32.84	25.0	42.16	Arcilla
7 Mahuixtlán, Ver.	7.5YR4/4	5YR3/4	25.84	23.0	51.16	Arcilla
8 Sumidero, Ver.	10YR4/2	7.5YR3/2	25.04	1-.16	56.80	Arcilla
9 Sumidero, Ver.	10YR5/4	7.5YR5/6	21.96	11.80	66.24	Arcilla
10 Sumidero, Ver.	10YR3/3	7.5YR3/2	31.20	26.36	42.44	Arcilla
11 Fortín, Ver.	7.5YR5/6	7.5YR5/6	22.35	14.23	63.42	Arcilla
12 Huixtla, Chis.	10YR7/2	10YR5/2	35.0	28.81	36.19	Franco-arcilloso
13 La Margarita, Oax.	10YR5/2	10YR5/2	34.4	28.13	37.47	Franco-arcilloso
14 Tres Valles, Ver.	10YR5/2	10YR5/2	42.23	19.30	38.47	Franco-arcilloso
15 Tezonapa., Ver.	10YR4/4	5YR4/4	7.88	25.44	66.68	Arcilla
16 Tezonapa., Ver.	10YR4/3	5YR3/4	7.88	29.44	62.68	Arcilla

Tabla 5.2 Características químicas de los suelos en estudio.

Suelo	Sitio	pH		C.E. mmhos/cm	P	K	Ca ppm	Mg	Na	Al	CIC meq/100g	M.O. %	N tot. %	K Sol.	C FERR ppm
		H <sub>2</sub> O	KCl												
1	Chocaman, Ver.	4.9	4.1	0.16	10	143	1320	336	76	9.4	10.1	5.5	0.28	20	275
2	El Carmen, Ver.	5.1	4.2	0.20	11	306	1640	336	76	1.7	12.1	6.2	0.31	60	472
3	Gpe. Barrial, Ver.	5.1	4.3	0.17	3	124	1320	480	60	1.3	11.1	5.0	0.25	9	274
4	Santana Azacan, Ver.	5.0	4.3	0.15	12	210	1360	624	56	0.4	12.8	5.7	0.28	27	377
5	Cuatlan, Ver.	6.3	5.4	0.22	12	377	1240	168	68	0.9	8.8	4.3	0.27	55	467
6	CNIA, Ver.	5.5	4.7	0.20	13	296	2000	480	68	2.0	15.0	3.9	0.19	44	443
7	Mahuixtlan, Ver.	4.8	4.0	<0.16	2	124	880	216	72	3.0	6.8	4.2	0.20	24	209
8	Sumidero, Ver.	5.2	4.3	<0.15	7	83	3311	634	40	0.5	22.2	5.9	0.30	19	212
9	Sumidero, Ver.	4.8	5.1	<0.15	7	165	692	211	32	13.0	5.8	2.8	0.14	9	276
10	Sumidero, Ver.	5.1	3.4	<0.15	15	104	1394	740	24	11.0	13.5	3.1	0.16	7	255
11	Fortin, Ver.	5.4	4.4	<0.15	7	78	1917	264	40	0.7	12.1	1.5	0.08	4	191
12	Huixtla, Chis.	6.1	5.2	<0.40	25	62	3224	687	136	0.1	22.6	1.5	0.08	9	742
13	La Margarita, Oax.	5.6	4.8	<0.15	11	124	2340	687	40	0.2	17.9	2.5	0.12	13	233
14	Tres Valles, Ver.	5.6	4.2	<0.15	10	57	1917	898	60	0.4	17.4	1.5	0.08	7	222
15	Tezonapa, Ver.	4.6	3.7	<0.15	4	75	1106	231	40	5.0	7.8	4.0	0.20	11	273
16	Tezonapa, Ver.	4.6	3.8	<0.15	7	68	1192	231	60	1.4	8.3	4.5	0.22	10	233

#### 5.1.4 Reacción del suelo.

Todos los suelos en estudio presentan un pH ácido, tanto en solución 1 N de KCl como en H<sub>2</sub>O, siendo los valores de 3.7 a 5.4 y de 4.6 a 6.3 respectivamente.

#### 5.1.5 Porcentaje de nitrógeno total.

Los suelos que presentan valores más bajos de nitrógeno son; 11-Fortín, 12-Huixtla, 13-La Margarita y 14-Tres Valles con porcentajes que van de 0.08 a 0.12, que de acuerdo con Cruz, 1984, son suelos pobres en nitrógeno. Los demás suelos están en un rango que va de 0.14 a 0.31% que bien pueden considerarse de medianamente ricos en nitrógeno.

#### 5.1.6 Materia orgánica.

Con los valores obtenidos y en base a la escala sujerida por Ortíz, 1975, podemos establecer que los suelos estudiados son en cuanto a materia orgánica:

Pobres: 11-Fortín, 12-Huixtla y 14-Tres Valles con un valor de 1.5%.

Medios: 9-Sumidero y 13-La Margarita con valores de 2.8 y 2.5% respectivamente.

Ricos: 5-Cuautlapan, 6-CNIA, 7-Mahuixtlán, 9-Sumidero y 15 y 16 Tezontepa: con valores que van de 3.1 a 5%.

Muy ricos: 1-Chocaman, 2-El Carmen, 3-Gpe. Barrial, 4-Santana Atzacan y 10-Sumidero con valores mayores a 5%.

### 5.1.7 Fósforo disponible.

Los valores hallados van de 2 a 25 ppm. De acuerdo a The Council on Soil Testing and Plant Analysis (1974) podemos clasificar a los suelos estudiados, en cuanto a su contenido de fósforo disponible como:

Bajos: 3-Gpe. Barrial, 7-Mahuixtlán, 8 y 9-Sumidero, 11-Fortín, 15 y 16-Tezonapa, que tienen valores de 2 a 7 ppm.

Medios: 1-Chocaman, 2-El Carmen, 4-Santana Atzacan, 5-Cuautlapan, 6-CNIA, 10-Sumidero, 13-La Margarita y 14-Tres Valles, que tienen valores de 10 a 15 ppm.

Altos: 12-Huixtla que tiene 50 ppm

### 5.1.8 Capacidad de intercambio catiónico.

Los suelos estudiados tienen una capacidad de intercambio catiónico que varía de 5.8 a 22.6 meq/100 g. Siendo en la mayoría de los suelos baja a pesar de que se tienen altos contenidos de arcilla (ver tabla 5.1), lo cual nos lleva a pensar que el tipo de arcilla predominante en estos suelos es caolinita, que es una arcilla que presenta muy baja capacidad de intercambio catiónico, siendo entonces la materia orgánica la que contribuye en gran parte en los valores de la capacidad de intercambio catiónica determinada.

### 5.1.9 Cationes intercambiables (Na, Ca y Mg)

Todos los suelos presentan valores de Na que van de 24 a 76 ppm a excepción del suelo 12-Huixtla que tiene 136 ppm. El Ca se encontró en un rango de 692 a 3311 y para el Mg los niveles fueron de 163 a 898 respectivamente, siendo valores similares a los que se han determinado en

suelos ácidos de zonas tropicales (Cruz, 1984; Uriza, 1983).

#### 5.1.10 Aluminio intercambiable.

Los valores de aluminio hallados van de 0.1 a 13 ppm siendo cantidades que no presentan problemas de toxicidad para las plantas.

#### 5.1.11 Potasio intercambiable.

Los valores de potasio intercambiable varían de 57 a 377 ppm y aunque no se tiene una delimitación precisa de los niveles de potasio intercambiable y en base a trabajos de Hardy, López, González (citados por Fassbender, 1975) podemos clasificar a nuestros suelos como:

Deficientes: 3-Gpe. Barrial, 7-Mahuixtlán, 8-Sumidero, 10-Sumidero  
11-Fortín, 12-Huixtla, 13-La Margarita, 14-Tres Valles  
15 y 16-Tezonapa, con valores de 0.14 a 0.31 meq/100 g.

Medios: 1-Chocaman, 4-Santana Atzacan y 9-Sumidero, con valores de 0.36  
a 0.53 meq/100 g.

Ricos: 2-El Carmen, 5-Cuáutlapan y 6-CNIA, con valores entre 0.75 y 0.96  
meq/100 g.

Como se puede ver la mayoría de los suelos estudiados son muy bajos en potasio intercambiable.

#### 5.1.12 Potasio fijado.

Los valores de potasio fijado son del orden de 122 a 742 ppm y son bastante altos en relación a los hallados por Cruz, 1984, en suelos similares.

### 5.1.13 Potasio soluble.

Encontramos cantidades muy variables que van de 4 a 60 ppm, correspondiendo los valores más altos a valores elevados de potasio intercambiable y potasio fijado, por ejemplo el suelo 2-El Carmen tiene un valor de potasio soluble de 60 ppm y 306 y 472 ppm de potasio intercambiable y fijado respectivamente.

## 5.2 Evaluación de los parámetros Q/I.

La relación de los factores cantidad/intensidad nos permite construir una curva Q/I de donde se deducen los parámetros  $PBC^k$ ,  $AR_0^k$ ,  $\Delta K_0$ ,  $\Delta K_L$ , y  $\Delta K_X$  para los suelos en estudio. La tabla 5.3 nos presenta los valores obtenidos de dichos parámetros y en las figuras 5.1 a 5.16 podemos ver las curvas obtenidas para cada suelo.

En el apéndice se presentan los cálculos del  $\Delta K$  y  $AR^k$  para cada suelo.

El valor de  $PBC^k$  se obtuvo calculando la pendiente de la recta tangente a la curva en el punto donde no hay ganancia ni pérdida de potasio (Talibudden y Day, citados por Addiscott y Talibudden, 1969).

### 5.2.1 'Parámetro $PBC^k$

Los valores hallados varían de 2.9 a 28.4 meq/100 g  $(\text{mol/l})^{2/3}$ : Valores similares han sido encontrados por otros autores para suelos ácidos utilizando  $Al^{+3}$  como catión de referencia (Goedert y col., 1975; Cruz, 1984).

Si consideramos que el  $PBC^k$  nos indica la capacidad que tiene un

Tabla 5.3 Parámetros deducidos de la relación Q/I de los suelos estudiados.

Suelo	Sitio	$PBC^k$ meq/100/ (mol/l) <sup>2/3</sup>	$AR_o^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup> 10 <sup>-2</sup>	$\Delta K_L$ -----	$\Delta K_o$ meq/100 gr	$\Delta K_x$ -----
1	Chocaman, Ver.	4.5	5.5	0.39	0.25	0.14
2	El Carmen, Ver.	8.4	9.8	1.41	0.83	0.58
3	Gpe. Barrial, Ver.	2.9	7.2	0.28	0.21	0.07
4	Santana Azacan, Ver.	5.5	11.5	0.83	0.63	0.20
5	Cuautlapan, Ver.	10.4	31.9	4.00	2.98	1.02
6	CNIA, Ver.	6.2	10.4	0.95	0.65	0.30
7	Mahuixtlán, Ver.	2.8	7.8	0.39	0.22	0.17
8	Sumidero, Ver.	11.7	1.4	0.24	0.16	0.08
9	Sumidero, Ver.	9.6	2.2	0.37	0.22	0.15
10	Sumidero, Ver.	9.6	1.9	0.29	0.17	0.12
11	Fortin, Ver.	28.4	0.6	0.20	0.15	0.05
12	Huixtla, Chis.	15.4	1.2	0.36	0.15	0.21
13	La Margarita, Oax.	3.3	6.0	0.31	0.19	0.12
14	Trés Valles, Ver.	3.2	4.9	0.21	0.15	0.06
15	Tezonapa, Ver.	4.7	2.9	0.18	0.13	0.05
16	Tezonapa, Ver.	8.3	2.9	0.38	0.26	0.12

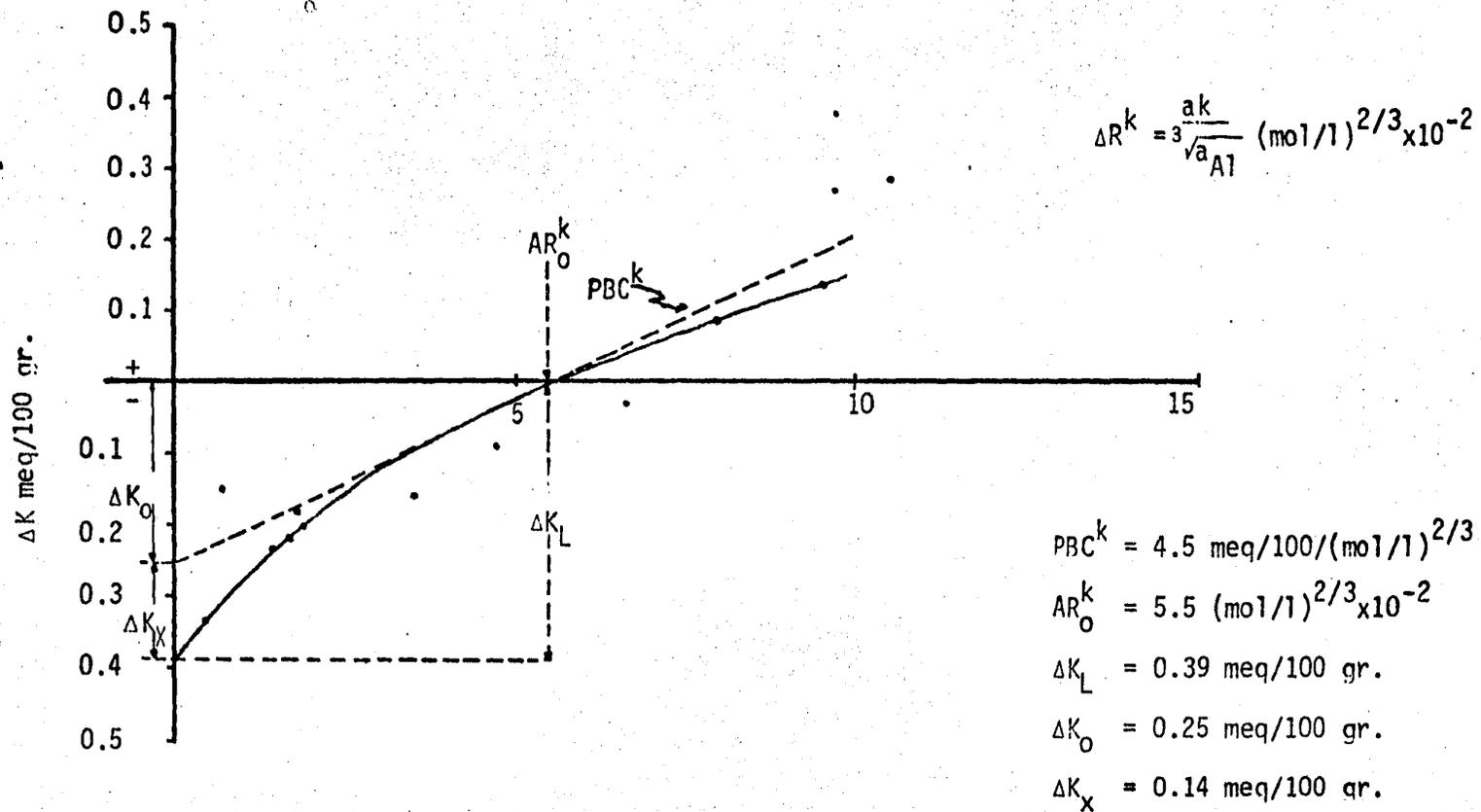
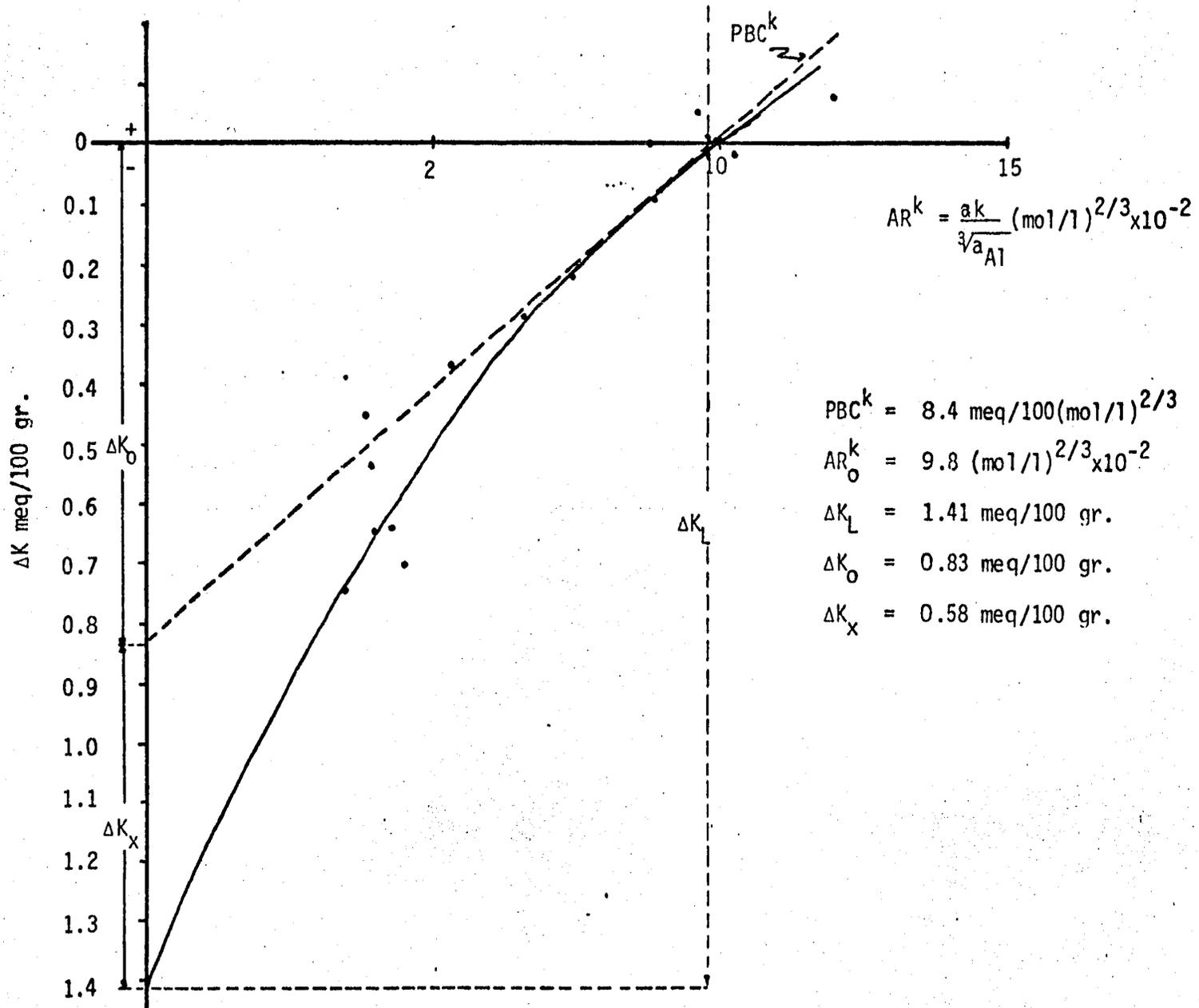


Figura 5.1 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-1 Chocaman, Ver.



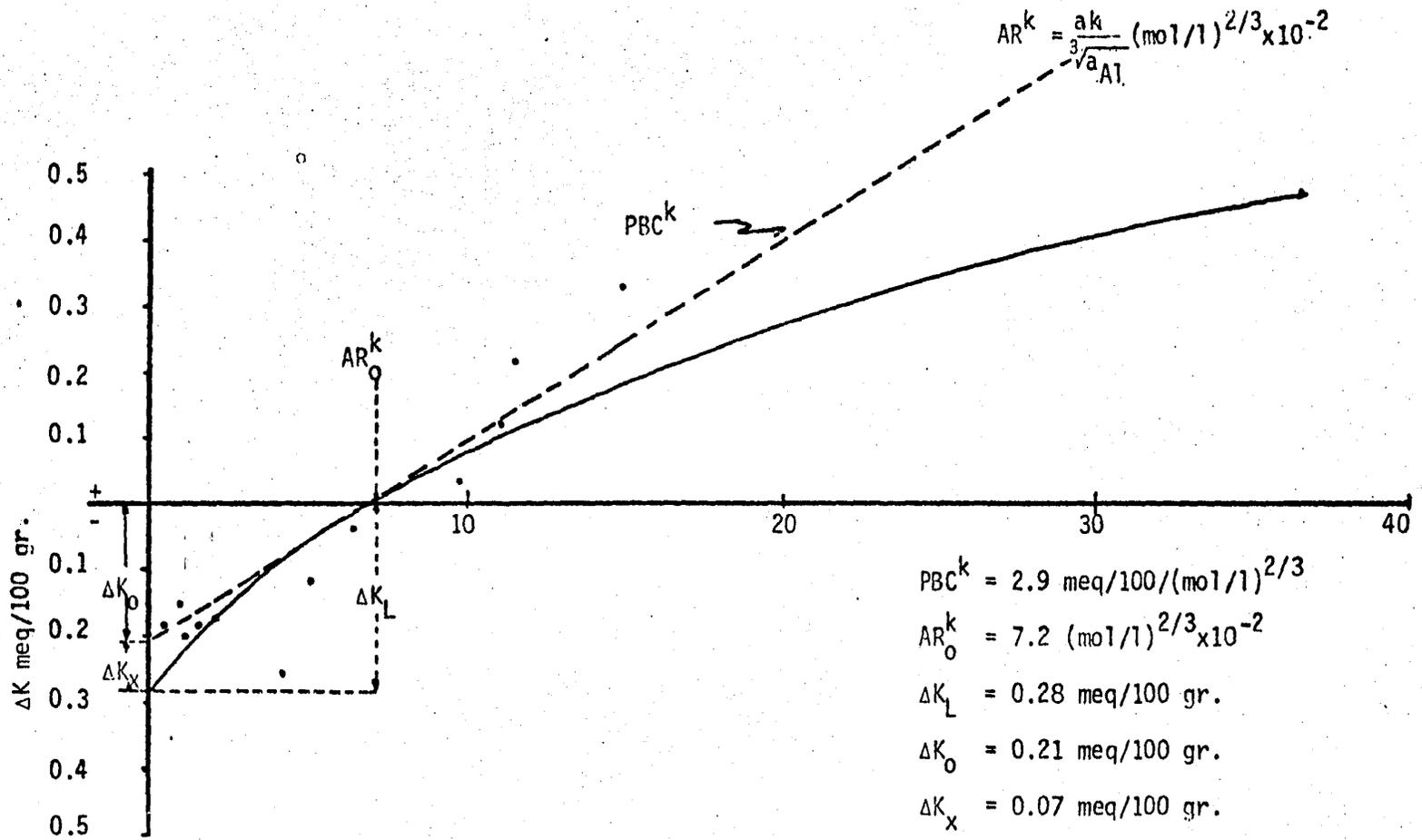


Figura 5.3 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-3 Gne. Barrial, Ver.

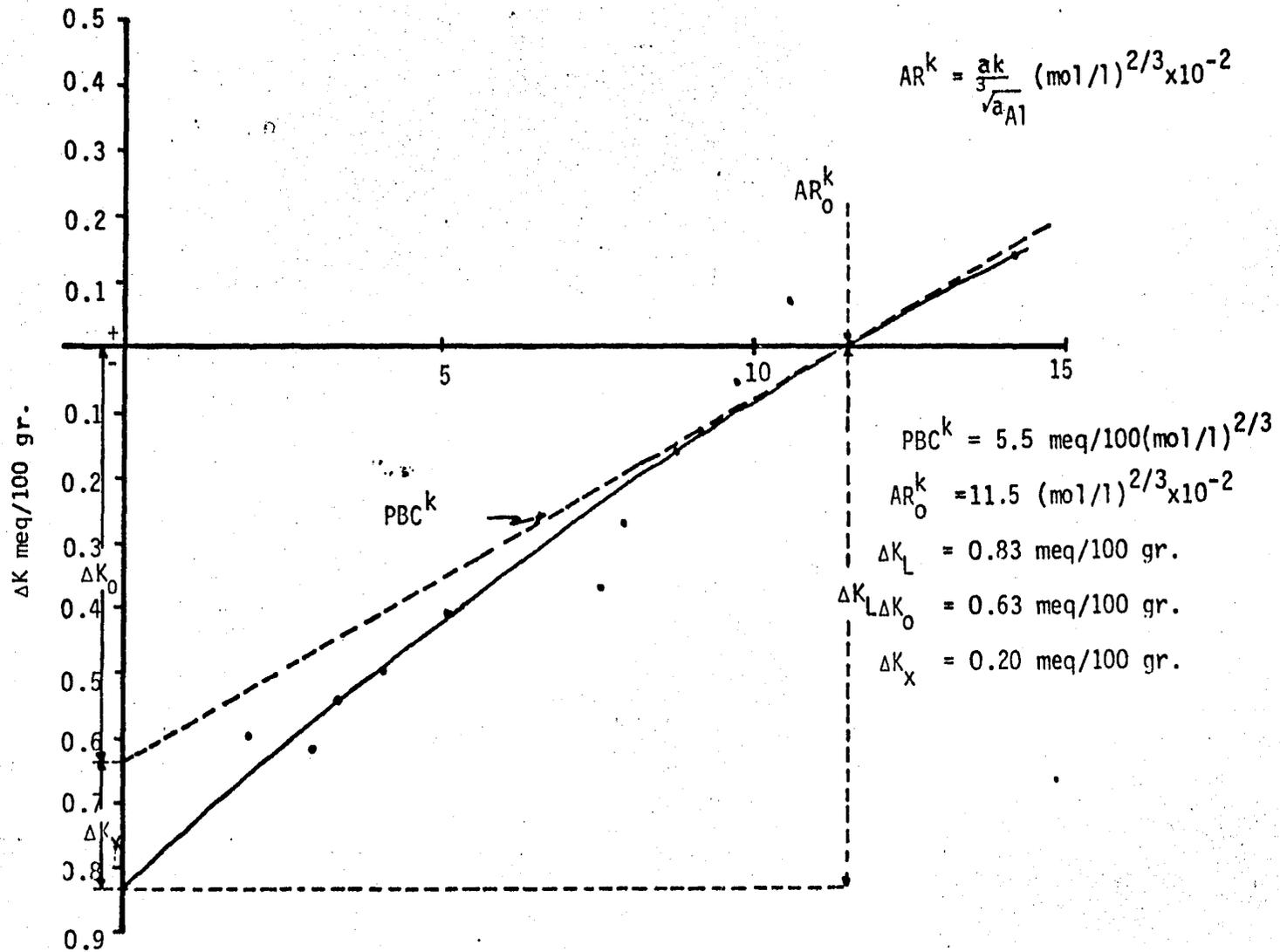
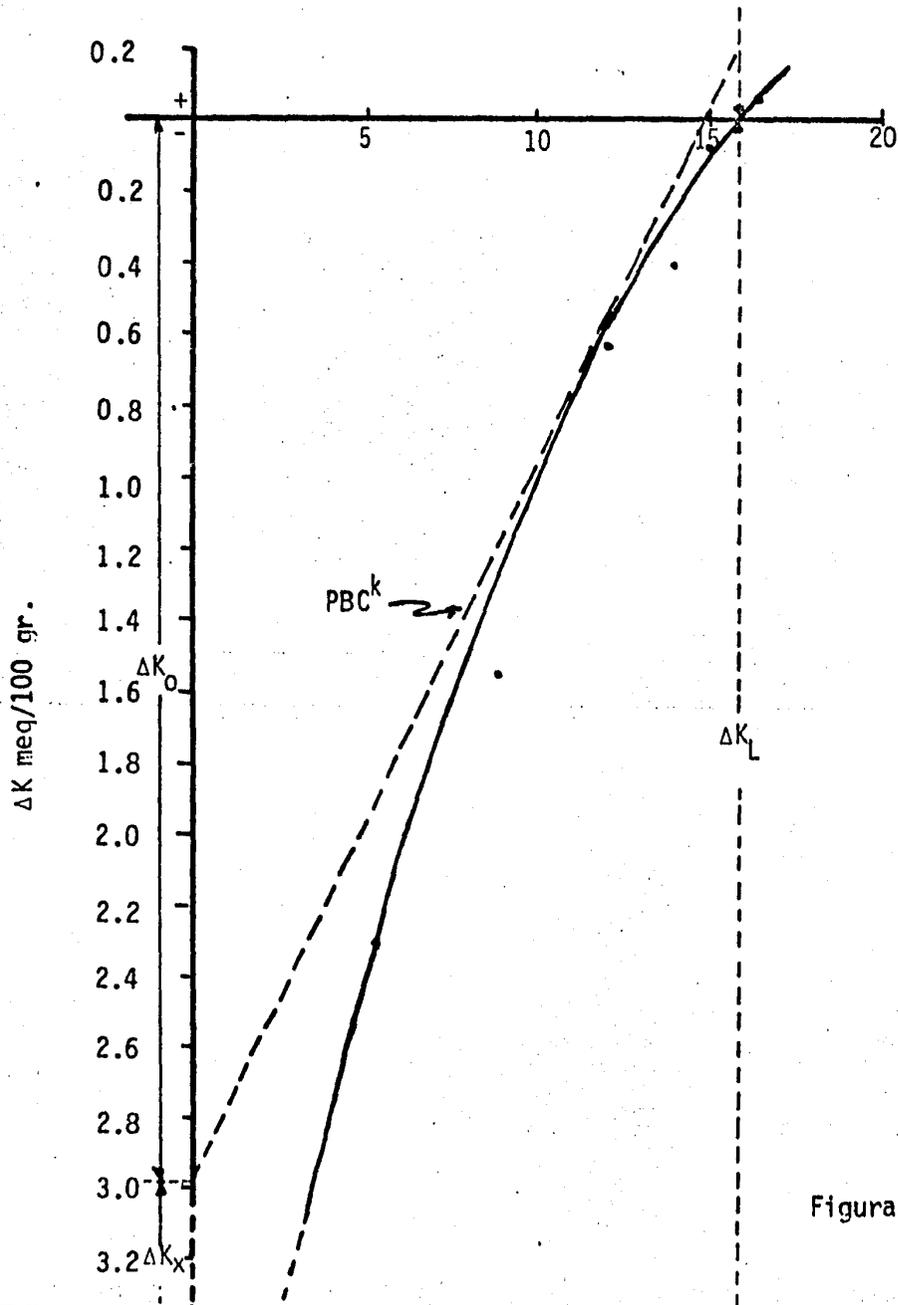


Figura 5.4. Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-4. Santana Atzacan, Ver.



$$AR^k = \frac{ak}{\sqrt[3]{a_{A1}}} (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

$$PBC^k = 10.4 \text{ meq/100}/(\text{mol/l})^{2/3}$$

$$AR^k = 31.9 (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

$$\Delta K_L = 4.0 \text{ meq/100 gr.}$$

$$\Delta K_0 = 2.98 \text{ meq/100 gr.}$$

$$\Delta K_x = 1.02 \text{ meq/100 gr.}$$

Figura 5.5. Relación  $\eta/I$  y parámetros deducidos  $\phi$  de ella para el S-5, Cuautlapan, Ver.

$$AR^k = \frac{ak}{\sqrt[3]{a_{A1}}} (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

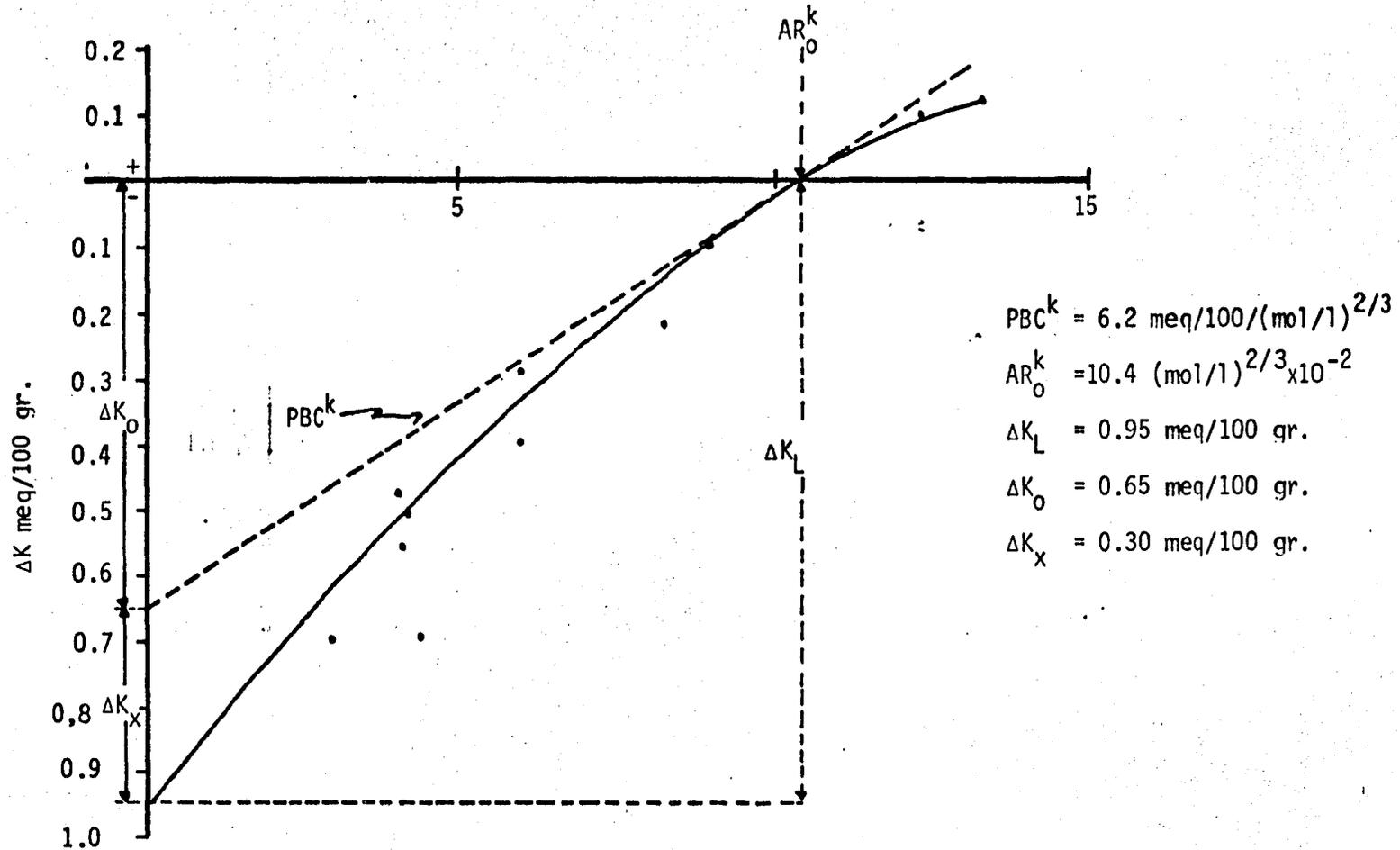


Figura 5.6. Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-6 CNIA, Córdoba, Ver.

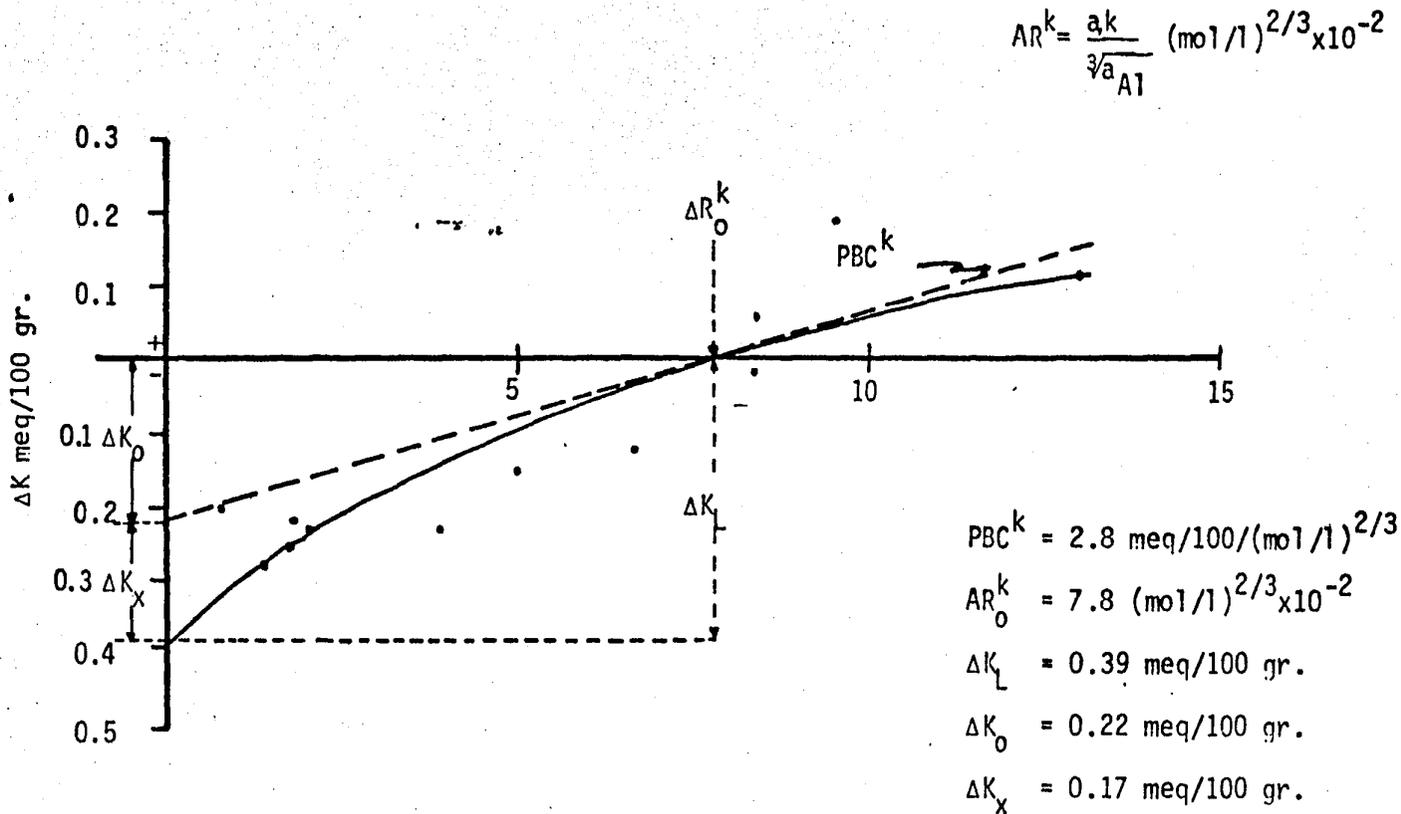
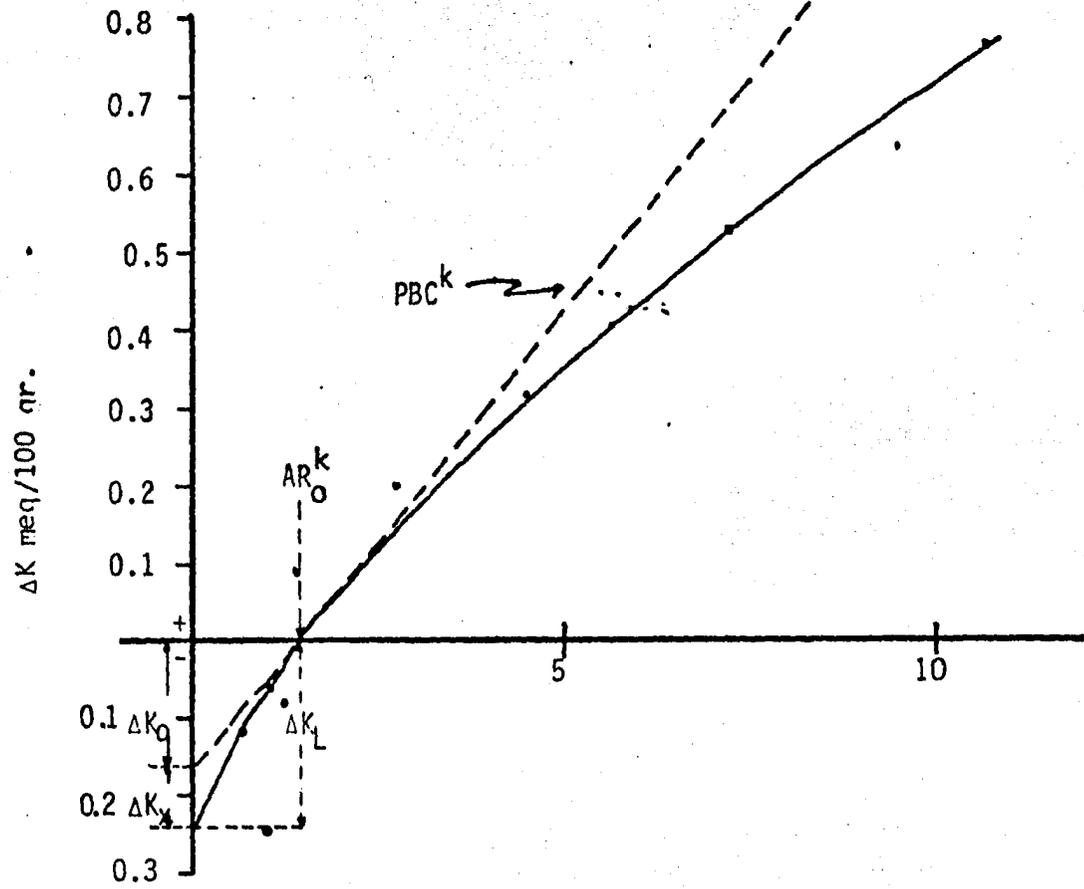


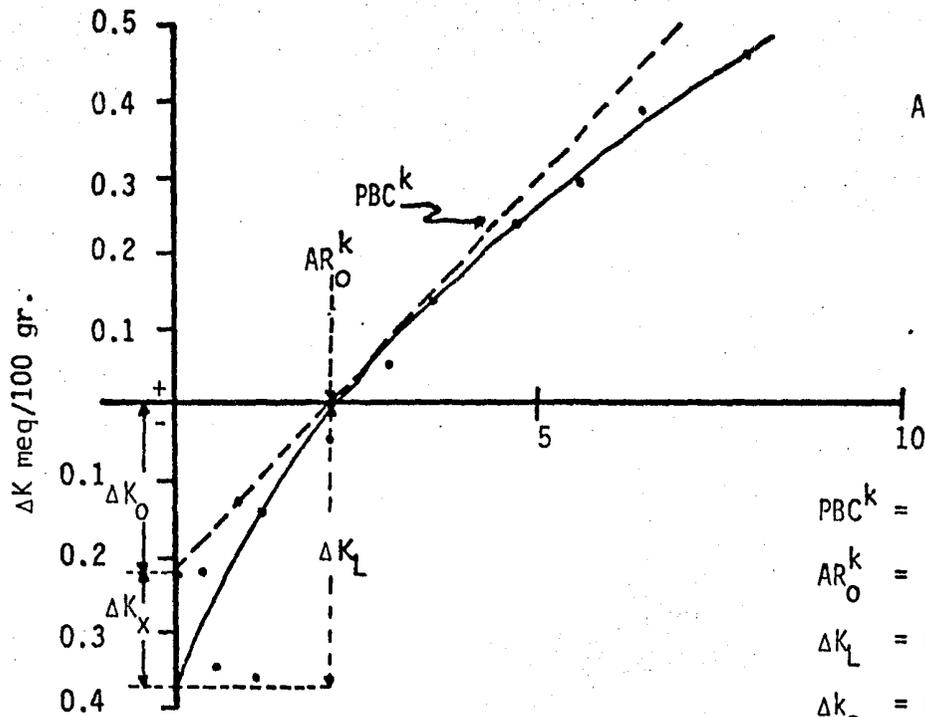
Figura 5.7 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-7 Mahuixtlán, Ver.



$$AR^k = \frac{aK}{\sqrt[3]{a} A^1} (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

- $PBC^k = 11.7 \text{ meq/100}/(\text{mol/l})^{2/3}$
- $AR_O^k = 1.45 (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$
- $\Delta K_L = 0.24 \text{ meq/100 gr.}$
- $\Delta K_O = 0.16 \text{ meq/100 gr.}$
- $\Delta K_X = 0.08 \text{ meq/100 gr.}$

Figura 5.8. Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-8 Sumidero, Ver.



$$AR^k = \frac{ak}{\sqrt[3]{aA_1}} (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

- $PBC^k = 9.6 \text{ meq/100}/(\text{mol/l})^{2/3}$
- $AR_O^k = 2.2 (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$
- $\Delta K_L = 0.37 \text{ meq/100 gr.}$
- $\Delta k_O = 0.22 \text{ meq/100 gr.}$
- $\Delta K_X = 0.15 \text{ meq/100 gr.}$

Figura 5.9 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-9 Sumidero, Ver.

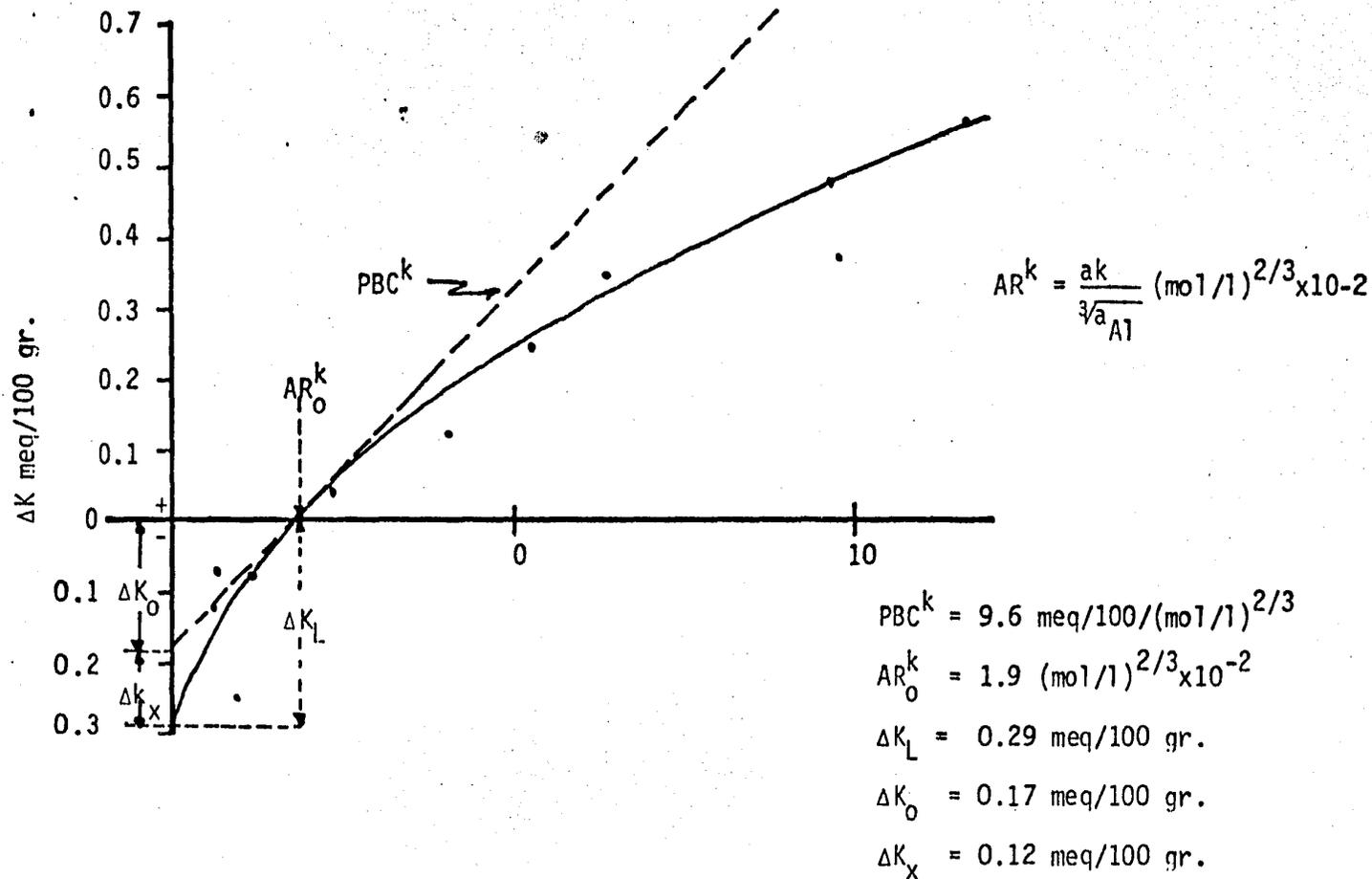
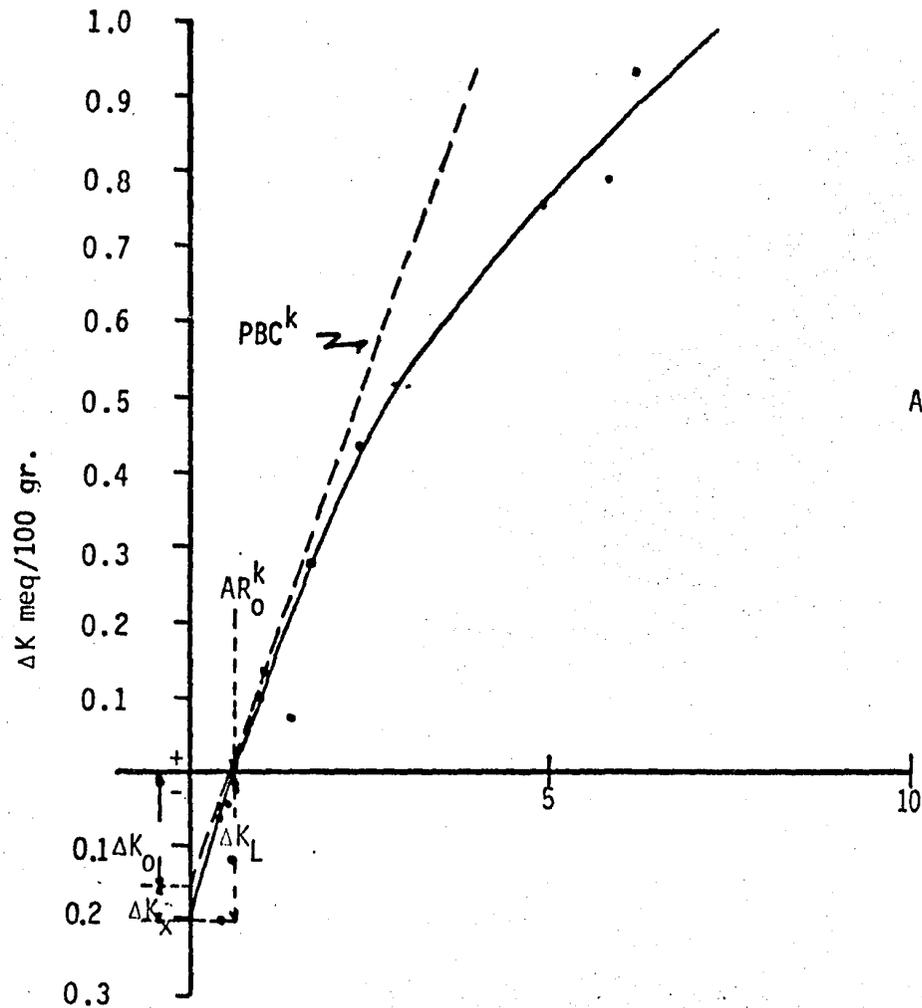


Figura 5.10 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-10 Sumidero, Ver.



$$AR^k = \frac{ak}{\sqrt[3]{a} A1} (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

$$PBC^k = 28.4 \text{ meq/100}/(\text{mol/l})^{2/3}$$

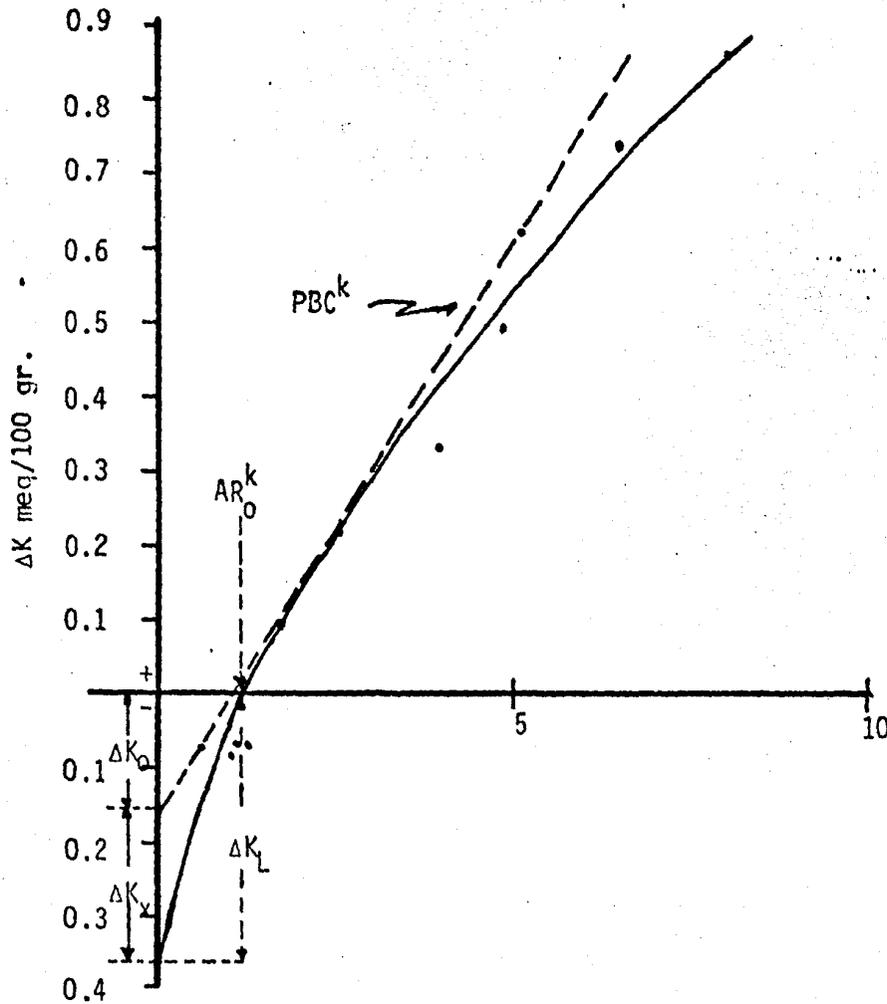
$$AR_O^k = 0.6 (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

$$\Delta K_L = 0.2 \text{ meq/100 gr.}$$

$$\Delta K_O = 0.15 \text{ meq/100 gr.}$$

$$\Delta K_x = 0.05 \text{ meq/100 gr.}$$

Figura 5.11 Relación Q/I y pa rámetros deducidos de ella para el S-11 Fortín, Ver.



$$AR^k = \frac{ak}{\sqrt[3]{aA1}} (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

$$PBC^k = 15.4 \text{ meq/100}/(\text{mol/l})^{2/3}$$

$$AR_O^k = 1.2 (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

$$\Delta K_L = 0.36 \text{ meq/100 gr.}$$

$$\Delta K_O = 0.15 \text{ meq/100 gr.}$$

$$\Delta K_X = 0.21 \text{ meq/100 gr.}$$

Figura 5.12 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-12 Huixtla, Chis.

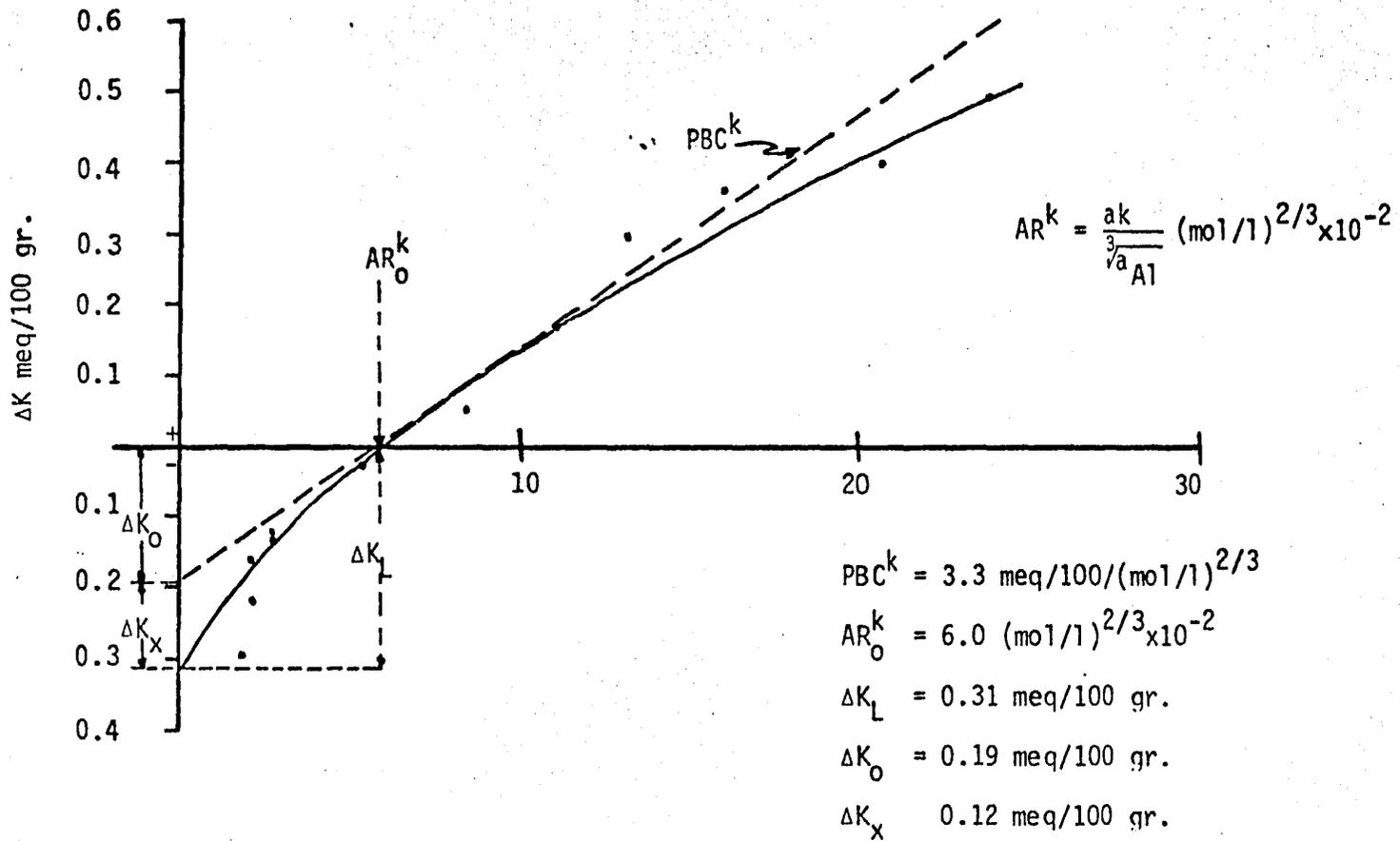


Figura 5.13 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-13 La Margarita, Oax.

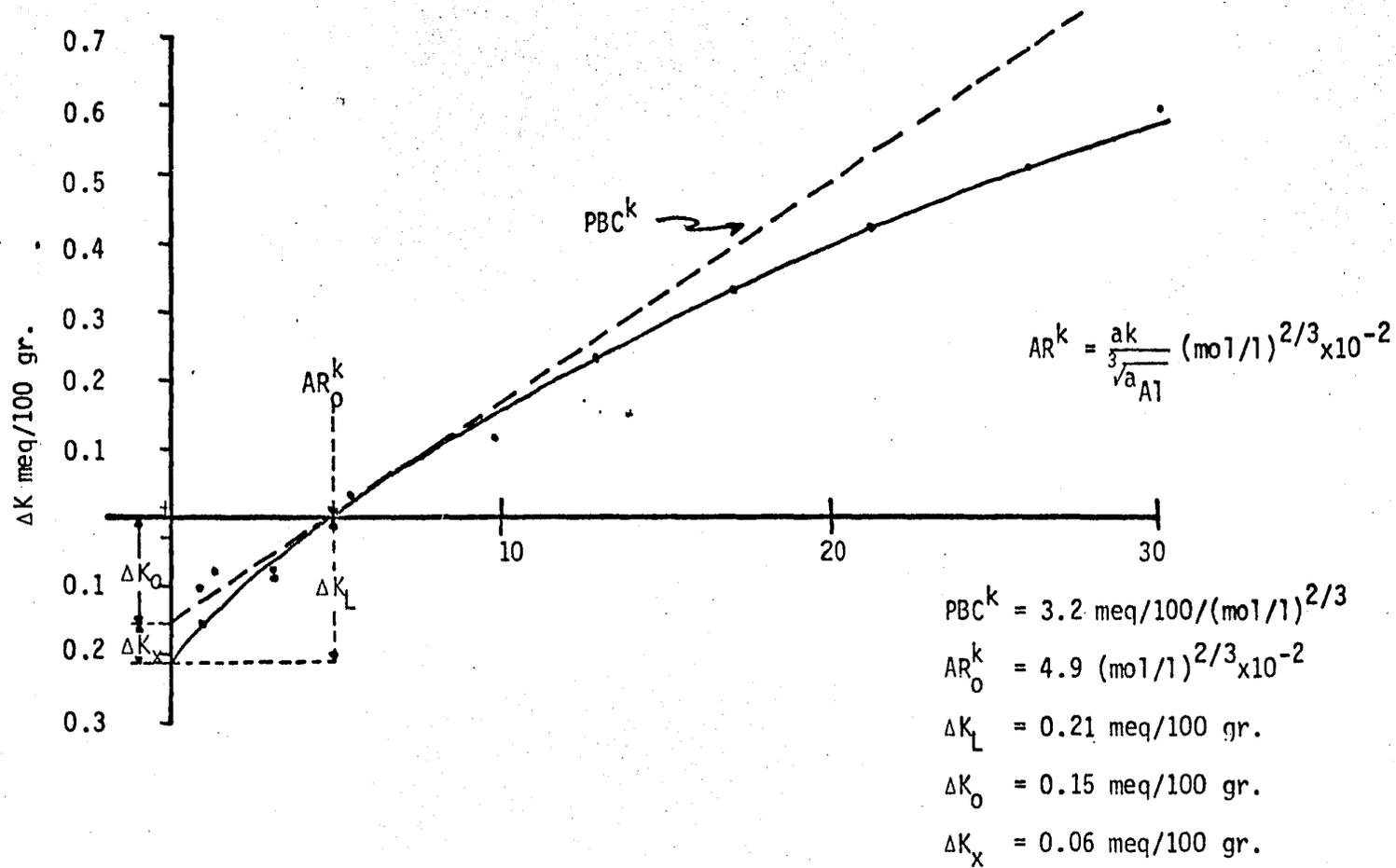
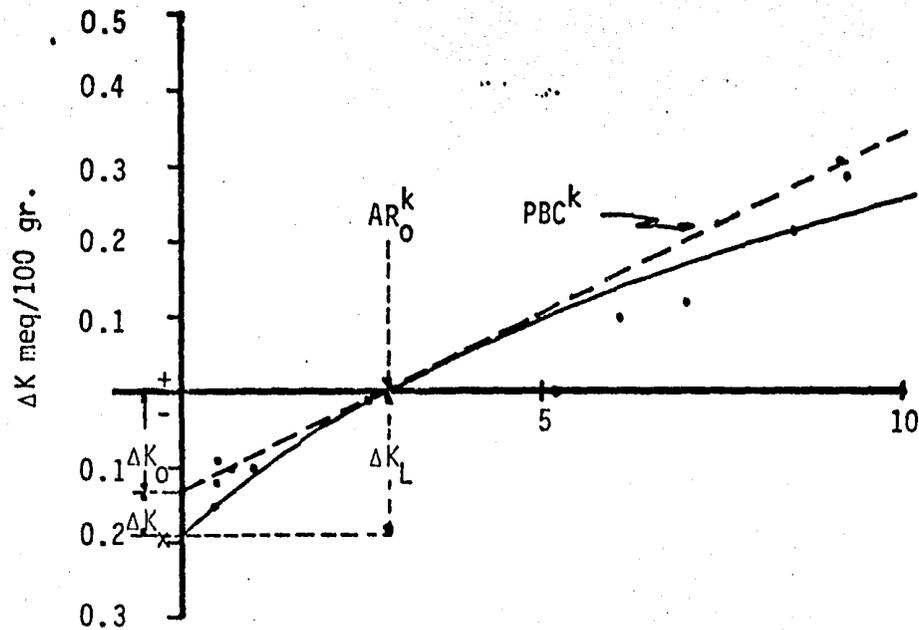


Figura 5.14 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-14 Tres Valles, Ver.



$$AR^k = \frac{ak}{\sqrt[3]{aA_1}} (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$$

$$PBC^k = 4.7 \text{ meq/100}/(\text{mol/l})^{2/3}$$

$$AR_O^k = 2.9 (\text{mol/L})^{2/3} \times 10^{-2}$$

$$\Delta K_L = 0.185 \text{ meq/100 gr.}$$

$$\Delta K_O = 0.13 \text{ meq/100 gr.}$$

$$\Delta K_x = 0.055 \text{ meq/100 gr.}$$

Figura 5.15 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-15 Tezonapa, Ver.

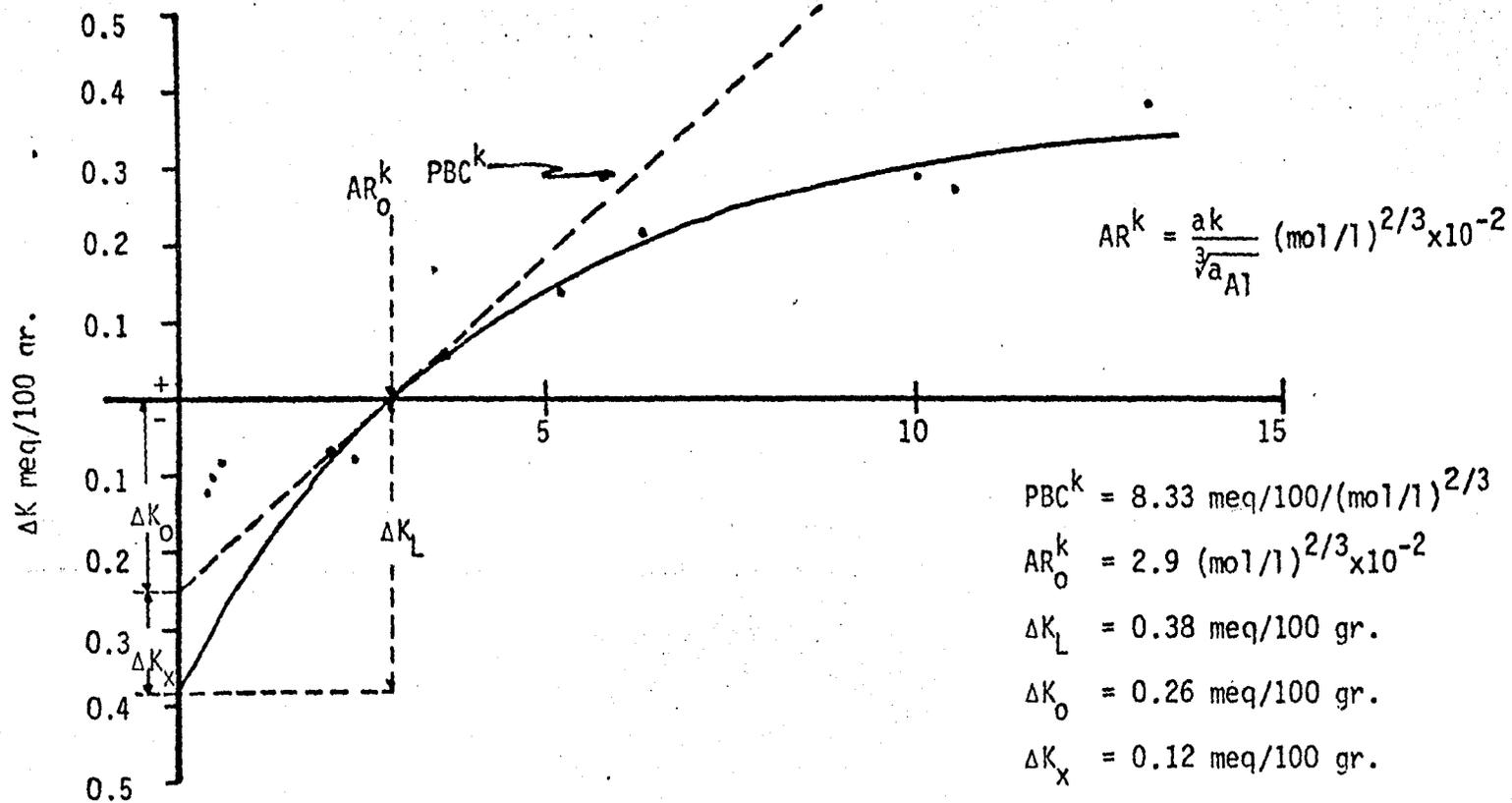


Figura 5.16 Relación Q/I y parámetros deducidos de ella para el S-16 Tezonapa, Ver.

suelo para reponer el potasio extraído de la solución del suelo, entonces tenemos que los suelos con valores altos son los que reponen más fácilmente el potasio extraído por las plantas o perdido por lixiviación. Si buscamos relación entre los valores obtenidos para  $PBC^k$  con algunas características del suelo, no encontramos marcada dependencia ya sea de forma positiva o negativa, puesto que suelos con un mismo pH, potasio intercambiable o potasio fijado, por ejemplo, poseen un  $PBC^k$  muy variado. Aunque es posible notar que valores altos de  $PBC^k$  coinciden con un pH más alto que los demás o una mayor cantidad de potasio intercambiable o fijado o bien con un alto % de arcillas, pero esta relación no es constante o continua para todos los suelos, por ejemplo; los suelos 5-Cuautlapan y 12-Huixtla tienen un pH de 6.3 y 6.1 y un  $PBC^k$  de 10.4 y 15.4 respectivamente que son de los valores más altos.

### 5.2.2 Parámetro $AR_0^k$

Este parámetro representa el potasio inmediatamente disponible en el suelo, de manera que está fuertemente asociado con el potasio en solución. Los valores obtenidos se encuentran en un rango de 0.006 a  $0.319 \text{ (mol/l)}^{2/3}$  encontrando que, en efecto, los suelos con mayor cantidad de potasio soluble son los que presentan valores de  $AR_0^k$  más altos.

### 5.2.3 Parámetros $\Delta K_0$ y $\Delta K_L$

De manera similar al parámetro anterior, éstos parámetros manifiestan estrecha relación con el potasio intercambiable y con el soluble, encontrando que los valores más altos de  $\Delta K_0$  y  $\Delta K_L$  corresponden a los suelos; 1-El Carmen, con 0.83 y 1.41 meq/100 g respectivamente, y 5-Cuautlapan, con 2.98 y 4.0 meq/100 g, que son los suelos que presentan las

mayores cantidades de potasio intercambiable; 306 ppm el primero y 377 ppm el segundo. Ver tablas 5.2 y 5.3. Esto era de esperar ya que dichos parámetros representan el potasio lábil del suelo, tanto el fácil como el difícilmente cambiabile. Los valores de  $\Delta K_L$  son muy similares a los determinados para potasio intercambiable con  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N pH 7, ver tabla 5.4.

#### 5.2.4 Parámetro $\Delta K_X$

Este parámetro nos da una referencia del potasio hallado en sitios específicos para el mismo dentro del enrejado cristalino con lo cual podríamos pensar que se asocia con el potasio fijado. Los valores obtenidos van de 0.05 a 1.02 meq/100 g., coincidiendo que valores altos de  $\Delta K_X$  tienen valores altos de potasio fijado aunque no guardan una relación lineal, por ejemplo; los suelos 2-El Carmen, 5-Cuautlapan, 6-CNIA y 12-Huixtla tienen valores de  $\Delta K_X$  de 0.38, 1.02, 0.30 y -0.21 meq/100g., respectivamente y los cuales son los más altos, y tienen, en ese mismo orden, las siguientes cantidades de potasio fijado; 472, 467, 443 y 742ppm que igualmente son los valores más altos que presentan los suelos.

#### 5.3 Correlación entre los parámetros Q/I de los suelos y algunas características de los mismos.

El parámetro  $\text{PBC}^k$  no correlacionó con ninguna de las características del suelo, aunque era de esperar hallar buenos coeficientes de correlación con varias propiedades del suelo como serían la CIC, % de arcillas, % de materia orgánica, el pH o bien cualquiera de las formas de potasio que se determinaron, como ha ocurrido en otros estudios de las relaciones Q/I y que se mencionaron en la revisión bibliográfica, ver tabla 5.5.

Tabla 5.4 Valores comparados entre el parámetro  $\Delta K_L$  deducido de las curvas Q/I y el K intercambiable determinado en  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N pH 7.

SUELO	Sitio	$\Delta K_L$ (meq/100 grs)	K int. (meq/100 grs)
S-1	Chocaman, Ver.	0.39	0.37
S-2	El Carmen, Ver.	1.41	0.78
S-3	Gpe. Barrial, Ver.	0.28	0.31
S-4	Santana Azacan, Ver.	0.83	0.54
S-5	Cuatlapan, Ver.	4.00	0.97
S-6	CNIA, Cordoba, Ver.	0.95	0.76
S-7	Mahuixtlan, Ver.	0.39	0.32
S-8	Sumidero, Ver.	0.24	0.21
S-9	Sumidero, Ver.	0.37	0.42
S-10	Sumidero, Ver.	0.29	0.27
S-11	Fortin, Ver.	0.20	0.20
S-12	Huixtla, Chis.	0.36	0.16
S-13	La Margarita, Oax.	0.31	0.32
S-14	Tres Valles, Ver.	0.21	0.15
S-15	Tezonapa, Ver.	0.18	0.19
S-16	Tezonapa, Ver.	0.38	0.17

Tabla 5.5 Coeficientes de correlación entre los parámetros deducidos - de las curvas Q/I y algunas propiedades de los suelos en estudio.

	PBC <sup>k</sup>	AR <sub>0</sub> <sup>k</sup>	$\Delta K_L$	$\Delta K_0$	$\Delta K_X$
pH - H <sub>2</sub> O	NS	0.484 *	0.542 *	0.538 *	0.531 *
K-inter.	NS	0.829 ***	0.833 ***	0.810 ***	0.865 ***
% Arcilla	NS	NS	NS	NS	NS
C.I.C.	NS	NS	NS	NS	NS
AL	NS	NS	NS	NS	NS
K-soluble	NS	0.753 ***	0.769 ***	0.733 ***	0.845 ***
K-fijado	NS	NS	NS	NS	0.515 *
% M.O.	NS	NS	NS	NS	NS
% Sat <sup>K</sup> /CIC	NS	NS	NS	NS	NS

P < 0.1% \*\*\*

P < 1 % \*\*

P < 5 \*

NS No significativa

Teniendo en cuenta que la distribución relativa de cationes en los puntos de intercambio está en función del número de cargas negativas era de esperar encontrar correlación entre el  $PBC^k$  y la CIC, aunque la falta de dicha relación en los suelos estudiados pudiera tener su explicación en el hecho de que en algunos suelos la capacidad de intercambio catiónico es muy baja (22.6 a 5.5 meq/100 g) y el contenido de materia orgánica muy alto (1.5 a 6.2%), lo que nos hace suponer que la CIC es en gran parte originada por cargas dependientes, es decir que no se debe totalmente a las cargas eléctricas de carácter permanente de las arcillas, en las cuales fueron establecidos los principios de las relaciones Q/I.

En otros trabajos se señala la existencia de correlaciones bastante significativas entre el  $PBC^k$  y el % de arcilla (Uriza, 1983; Cruz, 1984) lo cual no ocurre en este caso y posiblemente se deba a que las arcillas predominantes en nuestros suelos sean de las que presentan muy poca selectividad o afinidad hacia el potasio, teniendo poca influencia en la dinámica del potasio, de ahí la falta de correlación con el  $PBC^k$ . Goedert y col., 1975, al estudiar las relaciones Q/I en suelos de Rio Grande Do Sul, tampoco encuentra relación entre % de arcilla y  $PBC^k$ , sugiriendo que esto sea debido a la gran heterogeneidad de los minerales de las arcillas.

La correlación entre % de materia orgánica y los parámetros Q/I puede deberse, de manera similar a como ocurre con el % de arcilla, a la relativa pequeña importancia de la materia orgánica de ligarse con el potasio, ya que tiene mayor afinidad de ligarse con el calcio y magnesio.

Ram y Prasad, 1981, señalan como posible causa de la falta de correlación entre el  $PBC^k$  y el pH, la pequeña variación que existe entre los valores del mismo que van de 4.3 a 5.7 (intervalo de 1.4), este po-

dría ser el caso en que nos encontramos ya que los valores de pH de de nuestros suelos varían de 4.6 a 6.3 (intervalo de 1.7).

En todos los demás parámetros O/I obtenidos ( $AR_0^k$ ,  $\Delta K_0$ ,  $\Delta K_L$  y  $\Delta K_X$ ) se obtuvo una correlación altamente significativa con los valores de potasio soluble e intercambiable: Ver tabla 5.5 y 5.6.

El parámetro  $AR_0^k$  representa el potasio inmediatamente disponible para la planta, es decir el potasio en solución. La correlación obtenida entre este parámetro y el potasio soluble e intercambiable es positiva y altamente significativa, esto resulta lógico ya que el  $AR_0^k$  nos da en cierta forma una medida del potasio soluble y éste último tiene estrecha relación con el potasio intercambiable.

Los parámetros  $\Delta K_0$  y  $\Delta K_L$  correlacionan altamente y de manera positiva con el potasio intercambiable y soluble, teniendo por lo tanto que mientras mayor sea el potasio intercambiable los valores de  $\Delta K_0$  y  $\Delta K_X$  serán más altos, ésta relación era de esperarse ya que dichos parámetros son los que estiman la cantidad de potasio intercambiable. La correlación que se da con el potasio soluble se explica porque éste depende directamente del potasio intercambiable.

Con el potasio fijado sólo el parámetro  $\Delta K_X$  tuvo una ligera correlación ( $r=0.51^*$ ), dicha relación se explica si consideramos que el  $\Delta K_X$  se refiere a los sitios más específicos para potasio.

Finalmente, todos los parámetros O/I obtenidos, a excepción del  $PBC^k$  como ya señalamos, presentaron coeficientes de correlación de 0.48 a 0.54\* con el pH, o sea que el pH ejerce influencia, en cierta medida, sobre la dinámica del potasio, presentandose valores más altos de potasio disponible, tanto la forma determinada por los métodos tradicionales como

la obtenida de los parámetros  $Q/I$ , en los suelos con un pH más alto, como ocurre con el suelo 5-Cuautlapan, ver tabla 5.2

Tabla 5.6 Coeficientes de correlación y ecuaciones de regresión de los parámetros Q/I y algunas propiedades del suelo.

Y	Variables X	Coefficiente de correlación	Ecuación de regresión
$AR_0^k$	pH	0.48*	$Y = -32 + 7.4X$
$\Delta K_L$	pH	0.54*	$Y = -4.76 + 1.03X$
$\Delta K_0$	pH	0.54*	$Y = -3.56 + 0.77X$
$\Delta K_X$	pH	0.53*	$Y = -1.19 + 0.27X$
$AR_0^k$	K interc.	0.83***	$Y = -2.71 + 25.05X$
$\Delta K_L$	K interc.	0.83***	$Y = -0.51 + 3.15X$
$\Delta K_0$	K interc.	0.83***	$Y = -0.40 + 2.85X$
$\Delta K_X$	K interc.	0.86***	$Y = -0.11 + 0.87X$
$AK_0^k$	K soluble	0.75***	$Y = 0.13 + 0.32X$
$\Delta K_L$	K soluble	0.77***	$Y = -0.17 + 0.04X$
$\Delta K_0$	K soluble	0.73***	$Y = -0.14 + 0.03X$
$\Delta K_X$	K soluble	0.84***	$Y = -0.03 + 0.01X$
$\Delta K_X$	K fijado	0.51*	$Y = -0.04 + 0.0008X$

\* Significativos al nivel de 5%

\*\*\* Significativos al nivel de 1%

## VI CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio nos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- 1) De los dieciséis sitios estudiados en esta investigación, diez suelos presentan un nivel bajo de potasio intercambiable.

S U E L O	K ppm	
S-3 Gpe. Barrial, Ver.	124	
S-7 Mahuixtlán, Ver.	124	
S-8 Sumidero, Ver.	83	
S-10 Sumidero, Ver.	104	
S-11 Fortín, Ver.	78	$\bar{X} = 90$ ppm
S-12 Huixtla, Chis.	62	
S-13 La Margarita, Oax.	124	0.23 meq/100 gr.
S-14 Tres Valles, Ver.	57	
S-15 Tezonapa, Ver.	75	
S-16 Tezonapa, Ver.	68	

El resto de los suelos presenta niveles adecuados en potasio intercambiable.

S U E L O	K ppm	
S-1 Chocaman, Ver.	143	
S-2 El Carmen, Ver.	306	
S-4 Santana Atzacan, Ver.	210	$\bar{X} = 250$ ppm
S-5 Cuautlapan, Ver.	377	
S-6 CNIA, Ver.	296	0.64 meq/100 gr.
S-9 Sumidero, Ver.	169	

2) Parámetro  $PBC^k$  \*

S U E L O S	$PBC^k$ meq/100 gr/(mol/l) <sup>2/3</sup> x 10 <sup>-2</sup>		
S-1 Chocaman, Ver.	4.5	Suelos que requieren un mayor esfuerzo para mantener un nivel adecuado de K en solución ya que su $PBC^k$ es baja, $\bar{x} = 3.7$	
S-2 Gpe. Barrial, Ver.	2.9		
S-7 Mahuixtlán, Ver.	2.8		
S-13 La Margarita, Oax.	3.3		
S-14 Tres Valles, Ver.			
S-15 Tezonapa, Ver.			
S-2 El Carmen, Ver.	8.4	Suelos que tienen un nivel adecuado de $PBC^k$ , $\bar{x} = 8.7$	
S-4 Santana Atzacan, Ver.	5.5		
S-5 Cuautlapan, Ver.	10.4		
S-6 CNIA, Ver.	6.2		
S-8 Sumidero, Ver.	11.7		
S-9 Sumidero, Ver.	9.6		
S-10 Sumidero, Ver.	9.6		
S-16 Tezonapa, Ver.	8.3		
S-11 Fortín, Ver.	28.4		Suelos que presentan una alta capacidad amortiguadora para potasio. Realizan un menor esfuerzo para reponer el K que ha perdido la solución.
S-12 Huixtla, Chis.	15.4		

\* En base a Cruz, 1984.

3) Parámetro  $AR_0^k$ 

Los valores encontrados en este trabajo son de 0.006 a 0.32  $(\text{mol/l})^{2/3}$  y todos los suelos están dentro de los niveles establecidos por Wodruff (citado por Cruz, 1984) que van de 0.0027 a 0.034  $(\text{mol/l})^{2/3}$  y son adecuados para la nutrición balanceada de potasio para las plantas.

Dos suelos pueden tener el mismo valor de intensidad pero diferente  $PBC^k$ , aquel que tenga mayor  $PBC^k$  tendrá una mayor capacidad para reponer el potasio en solución, tal como ha sido reportado por Khasawneh (citado por Cruz, 1984) y Nash (1971).

S U E L O	$AR_0^k (\text{mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$	$PBC^k \text{ meq/100 gr} (\text{Mol/l})^{2/3} \times 10^{-2}$
S-15 Tezonapa, Ver.	2.9	4.7
S-16 Tezonapa, Ver.	2.9	8.3

4) Parámetro  $\Delta K_L$ 

En la mayoría de los suelos los valores de  $\Delta K_L$  corresponden cerca-namente con el K intercambiable cuantificado con  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N pH 7.

5) Parámetro  $\Delta K_0$ 

Los suelos que presentan mayor reserva de K lábil son:

S-2 El Carmen, Ver. 0.83 meq/100 gr.

S-5 Cuautlapan, Ver. 2.98 meq/100 gr.

S-4 Santana Atzacan, Ver. 0.63 meq/100 gr.

S-6 CNIA, Ver. 0.65 meq/100 gr.

Los demás (12 en total) presentan un nivel bajo del reservorio de K siendo en promedio  $\Delta K_0 = 0.19 \text{ meq/100 gr. } \hat{=} 74 \text{ ppm}$

6) Parámetro  $\Delta K_X$ 

La mayoría de los suelos tienen valores bajos los cual posiblemente se deba a la presencia del tipo de arcilla dominante 1:1 caolinita. Cruz, 1984, encontró en la zona de Tres Valles, Ver. valores similares en este parámetro, respaldado por el análisis de difracción de rayos X.

S U E L O S	$\Delta K_X$ meq/100 gr.
S-1 Chocaman, Ver.	0.14
S-3 Gpe. Barrial, Ver.	0.07
S-7 Mahuixtlán, Ver.	0.17
S-8 Sumidero, Ver.	0.08
S-9 Sumidero, Ver.	0.15
S-10 Sumidero, Ver.	0.12
S-11 Fortín, Ver.	0.05
S-13 La Margarita, Oax.	0.12
S-14 Tres Valles, Ver.	0.06
S-15 Tezonapa, Ver.	0.05
S-16 Tezonapa, Ver.	0.12

Los otros suelos tienen cierta fijación de K que posiblemente se deba a la presencia de arcilla tipo 2:1 montmorillonita o vermiculita.

S-2 El Carmen, Ver.	0.58
S-4 Santana Atzacan, Ver.	0.20
S-5 Cuautlapan, Ver.	1.02
S-6 CNIA, Ver.	0.30
S-12 Huixtla, Chis.	0.21

7) Sólo se encontró correlación entre los parámetros  $AR_0^k$ ,  $\Delta K_0$ ,  $\Delta K_L$  y  $\Delta K_X$  con el potasio soluble ( $r = 0.73$  a  $0.84^{***}$ ) y con potasio intercambiable ( $r = .81$  a  $.86^{**}$ ) y entre el parámetro  $\Delta K_K$  con el potasio fijado ( $r=.51^*$ ), estas correlaciones eran de esperarse ya que el  $AR_0^k$  representa el potasio inmediatamente disponible y por lo tanto se relaciona grandemente con el potasio soluble y los demás parámetros son los que dan una medida del reservorio lábil de potasio por lo que se relaciona con el potasio intercambiable. Además se halló correlación de los parámetros  $AR_0^k$ ,  $\Delta K_0$ ,  $\Delta K_L$  y  $\Delta K_X$  con el pH ( $r=.48$  a  $.54$ ) no así con otras propiedades físico químicas, posiblemente la falta de correlación que se esperaba encontrar, de acuerdo a lo expuesto en la revisión bibliográfica, con el % de arcillas, % de materia orgánica o C.I.C. pudo deberse a dos causas principalmente; a) la poca afinidad de la materia orgánica y el tipo de arcillas predominantes en los suelos estudiados a lixarse con el potasio o bien b) al estrecho margen de variación que se presentó en algunas de las características de los suelos como por ejemplo el % de arcilla o pH, lo que propició falta de representatividad de dichas características.

8) La correlación hallada entre los parámetros  $AR_0^k$ ,  $\Delta K_0$ ,  $\Delta K_L$  y  $\Delta K_X$  con el potasio soluble e intercambiable y entre el  $\Delta K_X$  y el potasio fijado refuerzan la validez del enfoque Q/I para el estudio de la disponibilidad y dinámica del potasio mediante esta metodología, que a pesar de presentar mayor complejidad, tiene la ventaja de que nos permite conocer el  $PBC^k$ , La magnitud y el reservorio de K y su velocidad de liberación en el suelo teniendo en esto ventaja sobre los métodos químicos.

Finalmente consideramos que existe la necesidad de llevar a cabo trabajos de investigación para normar criterios en cuanto al enfoque Q/I y su aplicación en los análisis de rutina.

## VII BIBLIOGRAFIA

- ACQUAYE, D.K., A.J. MACLEAN, and H.J. RICE, 1967. Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.* 103: 78-89.
- ADDISCOTT, T.M. y TALIBUDDEN, O., 1969. La capacidad tampón de las reservas potásicas de los suelos. *Revista de la potasa*, Sección 4, 45a continuación. Septiembre. pp. 1-26.
- ALVAREZ, V.H., 1982. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluación del fósforo disponible de suelos derivados de cenizas volcánicas de la meseta tarasca. Edo. de Michoacán. Tesis Doctoral Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- AMBERGER, A., 1968. Funciones que desempeña la potasa en la planta. *Revista de la potasa*, Sección 3, 17 continuación, Junio pp. 1-5.
- BALASUNDARAM, C.S., y KRISHNAMOORTHY, K.K., 1974. Disponibilidad del potasio por las plantas, potencial químico y otros factores. *Revista de la potasa*, Sección 4, 56a. continuación No. 5 pp. 1-9.
- BECKETT, P.H.T., 1964 (a). Studies on soil potassium I. Confirmation of the ratio Law measurement of potassium potential. *J. Soil Sci.* 15: 1-8
- BECKETT, P.H.T. (1964(b). Studies on soil potassium II. The immediate O/I relation of labile potassium in the soil. *J. Soil Sci.* 15: 9-23
- BECKETT, P.H.T. 1970. El potasio "fijado" y los efectos residuales de los abonados potásicos. *Revista de la potasa*, Sección 16. 52 a continuación, Septiembre-Octubre, pp 1-13.
- BERINGER, H., 1980. Funciones que desempeña el potasio en el metabolismo de la planta con referencia especial al rendimiento. En Simposio del Instituto de Investigaciones de la Potasa de la India. El potasio en los suelos y en los cultivos. *Revista de la potasa*, Sección 16, 85 a continuación No. 6, p 9.
- BOLARIN, N.C.; FERNANDEZ, F.C.; CARO, M.; ROMERO, M. 1980 (a). Influencia del tiempo de equilibrio sobre las relaciones O/I de potasio en suelos y arcillas. *Anales de Edafología y Agrobiología*. Consejo Superior de Investigación Científica, Madrid, España. 39: 187-201.

- BOLARIN, M.C.; FERNANDEZ, F.C.; CARO, M.; ROMERO, M. 1980(b). Influencia de la concentración de calcio en la disolución equilibrante sobre los parámetros Q/I de potasio. Anales de Edafología y Agrobiología. Consejo Superior de Investigación Científica. Madrid, España. 39: 203-216.
- CAJUSTE, L.J., 1982. Notas de clase. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- CATEDRA XVI. s.f. Química del suelo y los fertilizantes. Monografía No. 39. Universidad Politécnica de Madrid, España pp. 129-138.
- CHEVALIER, M., 1971. Principales aspectos que presenta la nutrición potásica de los vegetales. Revista de la potasa, Sección 16, 53a continuación, Enero pp 1-21.
- C.N.I.A., 1976. El cultivo de la caña de azúcar en la región central de Veracruz. C.N.I.A. - I.M.P.A. Serie recomendaciones, folleto No. 5.
- COLLIS, N.G.; DAVEY, B.G.; SMILES, D.E., 1971. Suelo, atmósfera y fertilizantes. Aedos, Barcelona, España. Cap. 4 pp. 217-258.
- CONYERS, E.S., and McLEAN, E.O., 1969. Plant uptake and chemical extractions for evaluation potassium release characteristics of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33: 226-230.
- CRUZ, D.J., 1984. El uso de los parámetros Q/I y de los potenciales químicos (potasio, calcio y magnesio) como una medida de la disponibilidad nutrimental en algunos suelos cañeros de México. Tesis de Maestría. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- DUTHION, C., 1968. El potasio en el suelo. Revista de la potasa, Sección 4, 43a continuación, Nov-Dic pp 1-20.
- FASSBENDER, H.W., 1975. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. Ed. IICA Turrialba, Costa Rica, Cap. 5 pp.131-153; Cap. 12 pp. 319-350.
- GARCIA, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM, 2a. ed.
- GARMAN, W.L., 1957. Potassium release characteristics of several soils from Ohio and New York. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21: 52-58.
- GOEDERT, W.J.; SYERS, K.J. and COREY, R.B., 1975a Relacoes quantidade-intensidade de potassio em solos Do Rio Grande Do Sul. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Serie Agronomia, 10(11): 30-35.

- GOEDERT, W.J.; COREY, R.B. and SYERS, K.J., 1975b. Lime effects on potassium equilibria in soils of Rio Grande Do Sul, Brazil. *Soil Sci.* 120: 107-111.
- GRAHAM, E.R. and FOX, R.L. 1971. Tropical soil potassium as related to labile pool and calcium exchange equilibria. *Soil Sci.* 111: 318-322.
- JACKSON, M.L., 1970. análisis químico de suelos. Ed. Omega, Trad. José. Beltrán. Barcelona, España, pp 189-255.
- LE ROUX, J. and SUMMER, N.E., 1968. Labile potassium in soils. I. Factors affecting the quantity intensity Q/I parameters *Soil Sci.* 106: 37-41.
- MAIDA, J.H.A., 1980. The potassium status of Malawi soils. *Journal of Soil Sci.* 31(3): 595-606.
- MALAVOLTA, E., 1977. O potassio e a planta. Boletín técnico No. 1. Instituto Internacional de Potassa. Piracicaba, Brasil.
- MIELNICZUK, J., 1979. Formas de potasio en los suelos de Brasil. *Revista de la potasa, Sección 4.* 53a. continuación No. 3 pp1-13
- MORAZZANI, H.R. y ORTEGA, T.E., 1972. Contenido de las diversas formas de potasio en suelos tropicales y subtropicales de México. *Agrociencia, Serie C.* No. 7. Chapingo, México.
- MORTLAND, M.M.; LAWTON, K., and UEHARA, G., 1957. Fixation and release of potassium by Some clay minerals. *Soil Sci. Soc. Proc.* 27: 381-384.
- NASH, V.E., 1971. Potassium release characteristics of some soils of the Mississippi Coastal plain as revealed by various extracting agents. *Soil Sci.* 111: 313-317.
- NELSON, W.L., 1980. Influencia que ejerce el potasio sobre la tolerancia a la tensión (stress). En Simposio del Instituto de Investigaciones de la Potasa de la India. El potasio en los suelos y los cultivos. *Revista de la potasa, Sección 16,* 85a continuación, N° 6 pág. 9-10.
- ORTIZ, V.B., 1975. *Edafología*, Ed. Patena, Chapingo, México. pág. 104.
- PAGE, A.L.; BINGHAM, F.T. and GARBER, M.J., 1963. Availability and fixation of added potassium in two California soils when cropped to cotton. *Soil Sci. Soc. Proc.* 27: 323-326.
- PANDA, N., 1980. Dinámica del potasio en suelos lateríticos de la India. En Simposio del Instituto de Investigaciones de la Potasa de la India. El potasio en los suelos y en los cultivos. *Revista de la potasa. Sección 16,* 85a continuación, No. 6, pág. 5-6.

- PELLETIER, C.D., 1965. El potasio nutriente vegetal. Boletín de Guamos y Fertilizantes de México. No. 43.
- RAM, P. and PRASAD, R.N., 1981. Quantity/intensity parameters of potassium in the soils of Moghalaya. J. of the Indian Soc. of Soil Sci. 29(4): 446-452.
- RASMUSSEN, K., 1972. La potasa en los feldespatos. En Noveno Coloquio del Instituto Internacional de la Potasa. El potasio en el suelo. Revista de la potasa, Sección 4, 53a continuación. Agosto-Sept. pág. 4.
- RUSSELL, E.J. y RUSSELL, E.W., 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. 9a. ed. Inglesa (1950). trad. Gaspar González y González Ed. Aguilar, Madrid, España.
- SIMONIS, A.D., 1982. El potasio disponible del suelo y la evaluación de los métodos para su determinación. Revista de la potasa, Sección 5, 2da continuación, No. 3. pág. 1-3.
- SINHA, S.K., 1980. Influencia que ejerce el potasio sobre la tolerancia a la tensión. En Simposio del Instituto de Investigaciones de la Potasa de la India. El potasio en los suelos y en los cultivos. Revista de la potasa, Sección 16, 85a continuación, No. 6. pág. 10.
- THE COUNCIL ON SOIL TESTING AND PLANT ANALYSIS. 1974. Handbook on reference method for soil testing. Council on soil testing and plant analysis. Athens, Georgia.
- TINKER, P.B., 1964. Studies on soil potassium III. Cation activity ratios in acid Nigerian soils. J. Soil Sci. 15: 23-34.
- TISDALE, S.L. and NELSON, W.L., 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. Jorge Balasch y Carmen Piña. Ed. UTEHA, México.
- URIZA, S.M.L., 1983. Determinación de isothermas cantidad-intensidad (Q/I) de potasio en suelos ácidos. Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- WOOD, L.K. and DETURK, G.E., 1940. The adsorption of potassium in soil in non replaceable forms. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 5: 152-161.
- ZENDE, G.K., 1980. Dinámica del potasio en las tierras negras. En simposio del Instituto de Investigaciones de la Potasa de la India. El potasio en los suelos y en los cultivos. Revista de la potasa, Sección 16, 85a continuación, No. 6 pág. 4-5.

## VIII A P E N D I C E

Tabla 8.1 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr ( $K_i - F_F$ )F y  $AR^k = \frac{a}{k} \sqrt[3]{aAT}$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 1. Chocaman, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K_i$ inicial	$K_F$ meq/l $K_F$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) m/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup>
A	1.4	1.03	0.37	$2.26 \times 10^{-3}$	$9.73 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.92	0.28	$1.74 \times 10^{-3}$	$10.49 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.87	0.13	$1.35 \times 10^{-3}$	$9.56 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.72	0.08	$1.27 \times 10^{-3}$	$8.01 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.63	-0.03	$1.50 \times 10^{-3}$	$6.64 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.49	-0.09	$1.97 \times 10^{-3}$	$4.74 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.36	-0.16	$1.90 \times 10^{-3}$	$3.50 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.18	-0.18	$1.2 \times 10^{-3}$	$1.98 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.20	-0.20	$2.01 \times 10^{-3}$	$1.91 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.22	-0.22	$4.25 \times 10^{-3}$	$1.73 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.23	-0.23	$8.3 \times 10^{-3}$	$1.47 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.15	-0.15	$2.95 \times 10^{-2}$	$0.73 \times 10^{-2}$

Tabla 8.2 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = \frac{a}{k\sqrt[3]{aAT}}$  (mol/l)  $2/3$ .

Suelo 2. El Carmen, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K$ inicial	$K_F$ meq/l $K$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	( $AlCl_3$ ) m/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) $2/3$
A	1.4	1.66	-0.26	$1.31 \times 10^{-3}$	$18.8 \times 10^{-2}$
B	1.2	1.12	0.08	$1.49 \times 10^{-3}$	$12.04 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.94	0.06	$1.69 \times 10^{-3}$	$9.67 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.87	-0.07	$1.61 \times 10^{-3}$	$9.06 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.80	-0.2	$2.13 \times 10^{-3}$	$7.65 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.69	-0.29	$2.06 \times 10^{-3}$	$6.64 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.56	-0.36	$2.09 \times 10^{-3}$	$5.34 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.45	-0.45	$3.02 \times 10^{-3}$	$3.85 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.53	-0.53	$5.01 \times 10^{-3}$	$4.03 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.64	-0.64	$7.0 \times 10^{-3}$	$4.37 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.70	-0.70	$9.93 \times 10^{-3}$	$4.50 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.75	-0.75	$2.54 \times 10^{-2}$	$3.56 \times 10^{-2}$

Tabla 8.3 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr ( $K_i - K_F$ )F y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 3. Gpe. Barrial, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K$ inicial	$K_F$ meq/l $K$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) m/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup>
A	1.4	0.93	0.47	$1.66 \times 10^{-4}$	$37.45 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.87	0.33	$3.07 \times 10^{-4}$	$15.24 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.78	0.22	$3.25 \times 10^{-4}$	$11.90 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.68	0.12	$3.33 \times 10^{-4}$	$11.48 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.57	0.03	$3.07 \times 10^{-4}$	$9.80 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.44	-0.04	$3.88 \times 10^{-4}$	$6.96 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.32	-0.12	$3.33 \times 10^{-4}$	$5.25 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.26	-0.26	$3.66 \times 10^{-4}$	$4.12 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.17	-0.17	$8.66 \times 10^{-4}$	$2.17 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.18	-0.18	$4.40 \times 10^{-3}$	$1.49 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.20	-0.20	$1.77 \times 10^{-2}$	$1.08 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.15	-0.15	$6.98 \times 10^{-2}$	$0.55 \times 10^{-2}$

Tabla 8.4 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100g  $(K_i - K_f)F$  y  $AR^k = ak/\sqrt[3]{\Delta T}$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 4. Santana Azacan, Ver.

Ident. de tubos	K inicial meq/l	K final meq/l en equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) m/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup>
A	1.4	1.28	0.12	$1.07 \times 10^{-3}$	$17.2 \times 10^{-2}$
B	1.2	1.06	0.14	$7.5 \times 10^{-4}$	$14.36 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.93	0.07	$1.22 \times 10^{-3}$	$10.66 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.86	-0.06	$1.22 \times 10^{-3}$	$9.75 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.76	-0.16	$1.14 \times 10^{-3}$	$8.88 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.67	-0.27	$1.00 \times 10^{-3}$	$8.05 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.57	-0.37	$7.03 \times 10^{-4}$	$7.67 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.41	-0.41	$8.74 \times 10^{-4}$	$5.12 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.50	-0.50	$3.30 \times 10^{-3}$	$4.17 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.54	-0.54	$9.57 \times 10^{-3}$	$3.41 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.62	-0.62	$2.48 \times 10^{-2}$	$2.98 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.60	-0.60	$7.92 \times 10^{-2}$	$2.04 \times 10^{-2}$

Tabla 8.5 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$   $(\text{mol/l})^{2/3}$ .

Suelo 5. Cuautlapan, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K_i$ inicial	$K_F$ meq/l $K_F$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	$(AlCl_3)$ m/l en equilibrio	$AR^k$ $(\text{mol/l})^{2/3}$
A	1.4	1.35	0.05	$1.1 \times 10^{-4}$	$33.8 \times 10^{-2}$
B	1.2	1.28	-0.08	$1.31 \times 10^{-4}$	$30.23 \times 10^{-2}$
C	1.0	1.0	0	0	0
D	0.8	0.92	-0.12	$2.59 \times 10^{-5}$	$36.64 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.90	-0.30	$5.92 \times 10^{-5}$	$28.14 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.83	-0.43	0	0
G	0.2	0.71	-0.51	0	0
H <sub>1</sub>	0	0.63	-0.63	$2.59 \times 10^{-4}$	24.51
H <sub>2</sub>	0	0.72	-0.72	0	0
H <sub>3</sub>	0	0.91	-0.91	0	0
H <sub>4</sub>	0	1.55	-0.55	$1.22 \times 10^{-3}$	$17.94 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	2.3	-2.3	$3.36 \times 10^{-2}$	$9.77 \times 10^{-2}$

Tabla 8.6 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr ( $K_i - K_F$ )F y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 6. CNIA, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K$ inicial	$K_F$ meq/l $K$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup>
A	1.4	1.28	0.12	$1.65 \times 10^{-3}$	$13.34 \times 10^{-2}$
B	1.2	1.10	0.10	$1.20 \times 10^{-3}$	$12.63 \times 10^{-2}$
C	1.0	1.0	0	$1.92 \times 10^{-3}$	$9.92 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.9	-0.1	$1.88 \times 10^{-3}$	$9.01 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.82	-0.22	$1.74 \times 10^{-3}$	$8.33 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.69	-0.29	$3.11 \times 10^{-3}$	$5.90 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.68	-0.40	$1.80 \times 10^{-3}$	$6.01 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.48	-0.48	$3.39 \times 10^{-3}$	$4.03 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.51	-0.51	$3.74 \times 10^{-3}$	$4.20 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.56	-0.56	$5.43 \times 10^{-3}$	$4.19 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.70	-0.70	$8.57 \times 10^{-3}$	$4.49 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.70	-0.70	$3.56 \times 10^{-2}$	$3.04 \times 10^{-2}$

Tabla 8.7 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr ( $K_i - K_F$ )F y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.  
Suelo 7. Mahuixtlán, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K_i$ inicial	$K_F$ meq/l $K_F$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup>
A	1.4	1.28	0.12	$1.74 \times 10^{-3}$	$13.18 \times 10^{-2}$
B	1.2	1.01	0.19	$2.29 \times 10^{-3}$	$9.50 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.94	0.06	$2.74 \times 10^{-3}$	$8.44 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.82	-0.02	$1.71 \times 10^{-3}$	$8.46 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.72	-0.12	$2.32 \times 10^{-3}$	$6.74 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.55	-0.15	$2.48 \times 10^{-3}$	$5.62 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.43	-0.23	$2.45 \times 10^{-3}$	$3.84 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.23	-0.23	$2.58 \times 10^{-3}$	$2.04 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.22	-0.22	$4.14 \times 10^{-3}$	$1.81 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.26	-0.26	$6.44 \times 10^{-3}$	$1.84 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.27	-0.27	$1.44 \times 10^{-2}$	$1.50 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.20	-0.20	$3.57 \times 10^{-2}$	$0.80 \times 10^{-2}$

Tabla 8.8 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$   $(\text{mol/l})^{2/3}$ .

Suelo 8. Sumidero, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K$ inicial	$K_F$ meq/l $K$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ $(\text{mol/l})^{2/3}$
A	1.4	0.64	0.76	$3.40 \times 10^{-4}$	$10.7 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.56	0.64	$3.16 \times 10^{-4}$	$9.54 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.47	0.53	$4.04 \times 10^{-4}$	$7.32 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.39	0.41	$5.23 \times 10^{-4}$	$5.59 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.28	0.32	$3.83 \times 10^{-4}$	$4.38 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.20	0.20	$5.91 \times 10^{-4}$	$2.72 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.11	0.09	$6.63 \times 10^{-4}$	$1.43 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.06	-0.06	$4.77 \times 10^{-4}$	$0.85 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.06	-0.06	$5.96 \times 10^{-4}$	$0.97 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.08	-0.08	$7.91 \times 10^{-4}$	$1.20 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.12	-0.12	$1.23 \times 10^{-2}$	$0.73 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.25	-0.25	$6.15 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{-2}$

Tabla 8.9 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a_k / \sqrt{aAT}^3$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 9. Sumidero, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K$ inicial	$K_F$ meq/l $K$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup>
A	1.4	0.94	0.46	$3.37 \times 10^{-3}$	$7.87 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.81	0.39	$3.92 \times 10^{-3}$	$6.48 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.71	0.29	$3.69 \times 10^{-3}$	$5.76 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.56	0.24	$3.19 \times 10^{-3}$	$4.72 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.46	0.14	$3.79 \times 10^{-3}$	$3.69 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.35	0.05	$2.74 \times 10^{-3}$	$3.07 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.25	-0.05	$2.60 \times 10^{-3}$	$2.21 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.14	-0.14	$2.74 \times 10^{-3}$	$1.21 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.13	-0.13	$6.43 \times 10^{-3}$	$0.96 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.36	-0.36	$1.31 \times 10^{-2}$	$1.26 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.22	-0.22	$2.96 \times 10^{-2}$	$0.46 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.35	-0.35	$7.94 \times 10^{-2}$	$0.62 \times 10^{-2}$

Tabla 8.10 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 10. Sumidero, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K_i$ inicial	$K_F$ meq/l $K_F$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup>
A	1.4	0.86	0.54	$6.78 \times 10^{-4}$	$11.69 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.73	0.47	$7.17 \times 10^{-4}$	$9.69 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.63	0.37	$4.26 \times 10^{-4}$	$9.80 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.45	0.35	$5.52 \times 10^{-4}$	$6.37 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.36	0.24	$4.65 \times 10^{-4}$	$5.34 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.28	0.12	$4.65 \times 10^{-4}$	$4.13 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.16	0.04	$4.65 \times 10^{-4}$	$2.33 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.08	-0.08	$5.04 \times 10^{-4}$	$1.12 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.07	-0.07	$2.20 \times 10^{-3}$	$0.73 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.09	-0.09	$3.58 \times 10^{-3}$	$1.57 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.12	-0.12	$2.14 \times 10^{-2}$	$0.58 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.25	-0.25	$6.80 \times 10^{-2}$	$0.99 \times 10^{-2}$

Tabla 8.11 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 11. Fortín, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K$ inicial	$K_F$ meq/l $K$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup>
A	1.4	0.47	0.93	$6.78 \times 10^{-4}$	$6.26 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.41	0.79	$5.52 \times 10^{-4}$	$5.79 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.35	0.75	$5.52 \times 10^{-4}$	$4.92 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.23	0.57	$7.17 \times 10^{-4}$	$2.96 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.17	0.43	$5.52 \times 10^{-4}$	$2.35 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.12	0.28	$4.26 \times 10^{-4}$	$1.78 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.07	0.13	$4.65 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.05	-0.05	$7.17 \times 10^{-4}$	$0.63 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.05	-0.05	$1.22 \times 10^{-3}$	$0.54 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.06	-0.06	$3.58 \times 10^{-3}$	$0.48 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.12	-0.12	$1.38 \times 10^{-2}$	$0.77 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.20	-0.20	$6.42 \times 10^{-2}$	$0.68 \times 10^{-2}$

Tabla 8.12 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a k / \sqrt{aAT}^3$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 12. Huixtla, Chis.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K_i$ inicial	$K_F$ meq/l $K_F$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup> .
A	1.4	0.53	0.87	$4.65 \times 10^{-4}$	$7.97 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.46	0.74	$5.52 \times 10^{-4}$	$6.52 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.38	0.62	$6.40 \times 10^{-4}$	$5.12 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.31	0.49	$3.78 \times 10^{-4}$	$4.89 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.27	0.33	$4.61 \times 10^{-4}$	$3.99 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.18	0.22	$5.52 \times 10^{-4}$	$2.49 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.11	0.09	$4.65 \times 10^{-4}$	$1.70 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.07	-0.07	$5.04 \times 10^{-4}$	$1.29 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.07	-0.07	$5.81 \times 10^{-4}$	$1.16 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.08	-0.08	$1.19 \times 10^{-3}$	$1.08 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.07	-0.07	$9.57 \times 10^{-3}$	$0.61 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.25	-0.25	$2.95 \times 10^{-3}$	$2.47 \times 10^{-2}$

Tabla 8.13 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 13. La Margarita, Oax.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K$ inicial	$K_F$ meq/l $K$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup> .
A	1.4	0.91	0.49	$1.25 \times 10^{-4}$	$23.82 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.80	0.40	$1.25 \times 10^{-4}$	$20.69 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.63	0.37	$1.25 \times 10^{-4}$	$15.95 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.50	0.30	$1.25 \times 10^{-4}$	$13.29 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.44	0.16	$1.25 \times 10^{-4}$	$10.83 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.35	0.05	$1.25 \times 10^{-4}$	$8.48 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.23	-0.03	$1.25 \times 10^{-4}$	$5.43 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.12	-0.12	$1.25 \times 10^{-4}$	$2.75 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.13	-0.13	$1.57 \times 10^{-4}$	$2.78 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.16	0.16	$1.06 \times 10^{-3}$	$2.13 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.22	-0.22	$3.75 \times 10^{-3}$	$2.15 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.30	-0.30	$4.22 \times 10^{-2}$	$1.93 \times 10^{-2}$

Tabla 8.14 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100 gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$   $(\text{mol/l})^{2/3}$ .

Suelo 14. Tres Valles, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K_i$ inicial	$K_F$ meq/l $K_F$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ $(\text{mol/l})^{2/3}$ .
A	1.4	0.80	0.60	$3.85 \times 10^{-5}$	$30.45 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.69	0.51	$3.85 \times 10^{-5}$	$25.90 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.58	0.42	$3.85 \times 10^{-5}$	$21.44 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.47	0.33	$3.85 \times 10^{-5}$	$17.07 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.36	0.24	$3.85 \times 10^{-5}$	$12.81 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.28	0.12	$3.85 \times 10^{-5}$	$9.79 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.16	0.04	$3.85 \times 10^{-5}$	$5.41 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.09	-0.09	$3.85 \times 10^{-5}$	$2.96 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.08	-0.08	$4.8 \times 10^{-5}$	$2.95 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.08	-0.08	$7.72 \times 10^{-4}$	$1.31 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.10	-0.10	$4.72 \times 10^{-3}$	$0.88 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.15	-0.15	$4.35 \times 10^{-2}$	$0.93 \times 10^{-2}$

Tabla 8.15 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$   $(\text{mol/l})^{2/3}$ .

Suelo 15. Tezonapa, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l inicial	$K_F$ meq/l equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	$(AlCl_3)$ mol/l <sup>3</sup> en equilibrio	$AR^k$ $(\text{mol/l})^{2/3}$ .
A	1.4	1.09	0.31	$1.68 \times 10^{-3}$	$9.16 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.91	0.29	$1.73 \times 10^{-3}$	$9.29 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.78	0.22	$1.36 \times 10^{-3}$	$8.52 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.68	0.12	$1.61 \times 10^{-3}$	$7.04 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.50	0.10	$1.58 \times 10^{-3}$	$5.17 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.38	0.02	$1.22 \times 10^{-3}$	$4.21 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.23	-0.03	$1.22 \times 10^{-3}$	$2.53 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.10	-0.10	$1.61 \times 10^{-3}$	$1.00 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.10	-0.10	$4.37 \times 10^{-3}$	$0.76 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.09	-0.09	$1.19 \times 10^{-2}$	$0.63 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.12	-0.12	$2.57 \times 10^{-2}$	$0.55 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.15	-0.15	$7.96 \times 10^{-2}$	$0.51 \times 10^{-2}$

Tabla 8.16 Cálculo de  $\Delta K$  meq/100gr  $(K_i - K_F)F$  y  $AR^k = a_k / \sqrt[3]{aAT}$  (mol/l)<sup>2/3</sup>.

Suelo 16. Tezonapa, Ver.

Ident. de tubos	$K_i$ meq/l $K$ inicial	$K_F$ meq/l $K$ equilibrio	$\Delta K$ meq/100gr	(AlCl <sub>3</sub> ) mol/l en equilibrio	$AR^k$ (mol/l) <sup>2/3</sup> .
A	1.4	1.02	0.38	$8.2 \times 10^{-4}$	$13.15 \times 10^{-2}$
B	1.2	0.93	0.27	$1.22 \times 10^{-3}$	$10.56 \times 10^{-2}$
C	1.0	0.72	0.28	$9.17 \times 10^{-4}$	$9.98 \times 10^{-2}$
D	0.8	0.58	0.22	$1.34 \times 10^{-3}$	$6.31 \times 10^{-2}$
E	0.6	0.46	0.14	$1.10 \times 10^{-3}$	$5.28 \times 10^{-2}$
F	0.4	0.34	0.06	$1.36 \times 10^{-3}$	$3.64 \times 10^{-2}$
G	0.2	0.21	-0.01	$1.95 \times 10^{-3}$	$2.92 \times 10^{-2}$
H <sub>1</sub>	0	0.08	-0.08	$2.44 \times 10^{-3}$	$2.41 \times 10^{-2}$
H <sub>2</sub>	0	0.07	-0.07	$2.37 \times 10^{-3}$	$2.12 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub>	0	0.08	-0.08	$5.92 \times 10^{-3}$	$0.68 \times 10^{-2}$
H <sub>4</sub>	0	0.10	-0.10	$1.68 \times 10^{-2}$	$0.53 \times 10^{-2}$
H <sub>5</sub>	0	0.12	-0.12	$6.3 \times 10^{-2}$	$0.44 \times 10^{-2}$