



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

DINÁMICA Y CINÉTICA NUTRIMENTAL DE ANIONES  
INORGÁNICOS EN EXTRACTOS CELULARES DE  
PLANTAS DE *ZEA MAYS* CULTIVADAS EN TRES  
SUELOS, TÍPICOS DE MÉXICO.

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN QUÍMICA INDUSTRIAL

PRESENTA:

CESAR SILVA RABIELA

ASESOR: DR. ARTURO AGUIRRE GÓMEZ



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 esta 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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES CUAUTITLAN  
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE

ATN:L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ  
 Jefa del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Dinámica y Cinética nutrimental de aniones inorgánicos en extractos celulares de plantas de zea mays cultivadas en tres suelos típicos de México.

Que presenta el pasante Cesar Silva Rabiela

Con número de cuenta: 40202824-4 para obtener el título de:

Licenciado en Química Industrial

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
 Cuautitlán Izcalli, Mex. a

PRESIDENTE	Dr. Arturo Aquirre Gómez	
VOCAL	Q. Celia Elena Valencia Islas	
SECRETARIO	MC. Ana María Martínez García	
1er SUPLENTE	Q. Ana Luisa Pérez Trujillo	
2º SUPLENTE	QFB. Luis Alberto Parra Oaxaca	

## Agradecimientos

Agradezco y dedico este trabajo a mis padres Yolanda y Antonio por ser un gran apoyo y por ser siempre un gran ejemplo de vida. Gracias

A mis hermanos Antonio y Omar por hacer más feliz muchos años de mi vida.

A mis amigos, los que están, estuvieron y vendrán, a todos aquellos que con su apoyo, compañía y amistad siempre me hicieron sonreír.

A mi asesor Dr. Arturo Aguirre Gómez, por su paciencia, apoyo y amistad.

A mis compañeros de las carreras Química Industrial e Ingeniero Agrícola, por los buenos ratos vividos.

A Patricia Hernández, por su amistad y apoyo en todo momento, gracias mapato.

A mis tíos Irma y Eduardo por su amistad y apoyo en todo momento, gracias.

A la Familia Onofre, por su incondicional amistad.

A Maricarmen Hernández, por su apoyo e incondicional ayuda. Gracias quequexmelt.

A la fuerza creadora a la que comúnmente llamamos dios.

Gracias totales.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. OBJETIVOS.....	5
1.1.1. Objetivo general.	
1.1.2. Objetivos particulares.	
1.1.3. Hipótesis.	
1.1.4. Justificación.	
1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
1.2.1. El suelo y sus propiedades.	
1.2.2. Las plantas y su desarrollo.	
1.2.3. Nutrición vegetal.	
1.2.4. Nutrientes minerales.	
1.2.4.1. <i>Nutrientes primarios.</i>	
1.2.4.2. <i>Nutrientes secundarios.</i>	
1.2.4.3. <i>Micronutrientes.</i>	
1.2.5. Fertilizantes.	
1.2.6. Deficiencias nutrimentales y condiciones limitadas de nutrición.	
1.2.7. Análisis químico de plantas vs análisis químico de suelos.	
1.2.8. Análisis químico de tejidos vegetales.	
1.2.8.1. <i>Análisis parcial de nutrientes.</i>	
1.2.8.2. <i>Fluidos celulares en tejidos vegetales.</i>	
1.2.9. Cromatografía de iones.	
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
2.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	23
2.2. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	24
2.3. MATERIAL VEGETAL.....	24
2.4. SUELOS.....	24
2.5. SIEMBRA, GERMINACIÓN Y TRANSPLANTE.....	25
2.6. MONITOREO DE PARÁMETROS AGRONÓMICOS.....	26
2.7. OBTENCIÓN DE EXTRACTOS CELULARES.....	27
2.8. ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS EXTRACTOS CELULARES...27	
2.9. ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELO.	
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1. PROPIEDADES DE LOS SUELOS.....	27
3.1.1. Determinación del pH.	
3.1.2. Porcentaje de saturación del suelo.	
3.1.3. Conductividad del suelo y sólidos totales disueltos.	
3.1.4. Carbonatos totales en suelo.	
3.2. ESTUDIOS CINÉTICOS DE LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.....	29
3.2.1. Biomasa aérea fresca, seca y la relación biomasa seca/fresca.	
3.2.2. Diámetro de tallo.	
3.2.3. Numero de hojas.	
3.2.4. Altura de planta.	
3.2.5. Largo, ancho y área foliar de hojas basales y apicales.	
3.2.6. Niveles de clorofila en hojas.	

3.2.6.1	<i>Clorofila en la punta de hojas basales y apicales.</i>	
3.2.6.2	<i>Clorofila en el centro de hojas basales y apicales.</i>	
3.2.6.3	<i>Clorofila en la base de hojas basales y apicales.</i>	
3.3.	ESTUDIOS DINÁMICO-CINÉTICOS DE LOS CONTENIDOS DE ANIONES EN EXTRACTOS CELULARES.....	41
3.3.1.	Cinética de nitratos.	
3.3.1.1	<i>Nitratos en tallo.</i>	
3.3.1.2	<i>Nitratos en hojas basales.</i>	
3.3.1.3	<i>Nitratos en hojas intermedias.</i>	
3.3.1.4	<i>Nitratos en hojas apicales.</i>	
3.3.1.5	<i>Dinámica de nitratos.</i>	
3.3.2.	Cinética de fosfatos.	
3.3.2.1	<i>Fosfatos en tallo.</i>	
3.3.2.2	<i>Fosfatos en hojas basales.</i>	
3.3.2.3	<i>Fosfatos en hojas intermedias.</i>	
3.3.2.4	<i>Fosfatos en hojas apicales.</i>	
3.3.2.5	<i>Dinámica de fosfatos.</i>	
3.3.3.	Cinética de cloruros.	
3.3.3.1	<i>Cloruros en tallo.</i>	
3.3.3.2	<i>Cloruros en hojas basales.</i>	
3.3.3.3	<i>Cloruros en hojas intermedias.</i>	
3.3.3.4	<i>Cloruros en hojas apicales.</i>	
3.3.3.5	<i>Dinámica de cloruros.</i>	
3.3.4.	Cinética de sulfatos.	
3.3.4.1	<i>Sulfatos en tallo.</i>	
3.3.4.2	<i>Sulfatos en hojas basales.</i>	
3.3.4.3	<i>Sulfatos en hojas intermedias.</i>	
3.3.4.4	<i>Sulfatos en hojas apicales.</i>	
3.3.4.5	<i>Dinámica de sulfatos.</i>	
3.3.5.	Cinética de sulfitos.	
3.3.5.1	<i>Sulfitos en tallo.</i>	
3.3.5.2	<i>Sulfitos en hojas basales.</i>	
3.3.5.3	<i>Sulfitos en hojas intermedias.</i>	
3.3.5.4	<i>Sulfitos en hojas apicales.</i>	
3.3.5.5	<i>Dinámica de sulfitos.</i>	
3.4.	VARIACIÓN, TENDENCIAS Y RELACIONES DE LOS CONTENIDOS ANIÓNICOS CON LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.....	64
3.4.1.	Altura de planta.	
3.4.2.	Diámetro de tallo.	
3.4.3.	Largo de hojas basales y apicales.	
3.4.4.	Ancho de hojas basales y apicales.	
3.4.5.	Área de hojas basales y apicales.	
3.4.6.	Contenidos de Clorofila en hojas basales y apicales.	
4.	CONCLUSIONES.....	127
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129

## 1. INTRODUCCION.

### 1.1. OBJETIVOS.

#### 1.1.1. Objetivo general.

Estudiar el transporte, la dinámica y la cinética de absorción de los principales aniones inorgánicos de importancia nutrimental en plantas de *Zea Maíz*, medidos en extractos celulares foliares y de tallo, con la finalidad de buscar posibles relaciones directas entre la cantidad de los aniones contenidos en la planta, su variación en tiempo, su efecto en el desarrollo de los parámetros agronómicos y su impacto en el rendimiento del cultivo. Esta información deberá permitir detectar posibles deficiencias nutrimentales tempranas, y así establecer posibles relaciones causa-efecto entre la nutrición mineral y los diversos síntomas de deficiencias nutrimental, a la vez permitiendo establecer medidas que permitan corregir en tiempo estas carencias nutrimentales.

#### 1.1.2. Objetivos particulares.

Estudiar la dinámica y cinética nutrimentales de los principales aniones inorgánicos de importancia nutrimental a través del análisis químico de los extractos celulares obtenidos de plantas de *Zea Maíz*.

Cultivar plantas de *Zea Maíz* en tres distintos suelos típicos de México (suelos Vertisol, Solonchack y Luvisol), durante un periodo de 32 días y medir los parámetros correspondientes al rendimiento del cultivo; altura de planta, biomasa aérea de planta seca y fresca, contenido de clorofila en hojas, biomasa de planta seca total y parcial, diámetro de los tallos, número de hojas, largo de hojas, ancho de hojas y el área de hojas, a lo largo del tiempo.

Obtener extractos celulares de hojas y tallos de plantas de *Zea Maíz* con la finalidad de cuantificar el contenido de los principales aniones inorgánicos de importancia nutrimental y establecer las correlaciones y las tendencias directas y aparentes que hay entre los componentes del rendimiento de los cultivos y los aniones inorgánicos de importancia nutrimental obtenidos al analizar químicamente los extractos celulares obtenidos de hojas y segmentos de tallo.

#### 1.1.3. Hipótesis.

H 1.1.3.1 Es posible obtener información sobre las propiedades fisicoquímicas y de fertilidad de los suelos a través de la relación directa con el contenido de aniones inorgánicos contenidos en los extractos celulares de hojas y tallos, de plantas de *Zea Maíz*.

H 1.1.3.2 Es posible establecer correlaciones y tendencias entre los componentes del rendimiento de los cultivos y los aniones inorgánicos de importancia nutrimental obtenidos al analizar químicamente los extractos celulares obtenidos de hojas basales, hojas apicales y segmentos de tallo.

H 1.1.3.3 Es posible obtener información directa de la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través del estudio la composición química de los extractos celulares de plantas de *Zea Maíz*.

H 1.1.3.4 La composición química de los extractos celulares puede brindar información directa de la nutrición de la planta.

H 1.1.3.5 Es posible obtener suficiente extracto celular de hojas y segmentos de tallo, de plantas de *Zea Maíz* y medir los contenidos de aniones inorgánicos de importancia nutrimental en extractos celular de plantas de *Zea Maíz*.

H 1.1.3.6 Es posible obtener información directa de las deficiencias nutrimentales de aniones inorgánicos analizando químicamente los extractos celulares en plantas de *Zea Maíz*.

#### 1.1.4. Justificación.

Debido a que existen pocas herramientas para el diagnóstico nutrimental de los suelos y los cultivos es necesario profundizar en el estudio de las manifestaciones de deficiencias de los elementos macro- y micro-nutrientales. En el pasado el diagnóstico visual ha sido el medio más utilizado por los agricultores y técnicos agrícolas para diagnosticar los problemas de nutrición de los vegetales (Pacheco 2002), sin embargo, este método no es de aplicación general y tiene claros inconvenientes, principalmente porque no todos los cultivos muestran claramente síntomas característicos, por lo que los razonamientos y observaciones se basan en la apreciación o juicios de la persona que realiza el diagnóstico.

Afortunadamente la confirmación de estos diagnósticos puede también realizarse utilizando el análisis químico de tejidos vegetales. Sin embargo las técnicas convencionales de análisis químico, han implicado una manipulación excesiva de las muestras y tienen generalmente el inconveniente en la cantidad de muestra que se obtiene y la lentitud de los procedimientos en la obtención de resultados, hechos que justifican la realización de más investigaciones que aborden el problema del desarrollo de metodologías y técnicas rápidas, que permitan generar beneficios directos a los cultivos, en especial de plantas anuales, debido a que estos vegetales tienen ciclos de vida cortos y se requiere de acciones correctivas a corto plazo, antes de que por ejemplo las deficiencias nutrimentales les puedan causar daños irreversibles. Con la finalidad de realizar mediciones confiables, continuas, e inclusive con la opción de realizarlas en campo, es necesario proponer métodos rápidos para la obtención de suficiente muestra de tejidos vegetales que permitan generar resultados y, por ende, beneficios a corto plazo. Así, el método desarrollado deberá cumplir con los criterios de reproducibilidad, mínima manipulación de muestra y que los instrumentos de medición sean de operación sencilla.

Asimismo, es necesario también generar información sobre la absorción, translocación, metabolismo y el transporte de los nutrientes en las plantas, para contribuir con el conocimiento integral del desarrollo de los cultivos y desarrollar herramientas que ayuden a los agricultores a aumentar su producción.

Con referencia al cultivo elegido, es conveniente realizar estudios en plantas de Maíz, debido a la gran importancia económica que esta especie vegetal tiene en los distintos aspectos económicos y sociales de México. Este cultivo forma parte de muchas actividades agrícolas en las distintas regiones del país, posee facilidad para adaptarse a distintos climas, altitudes y variados tipos de suelo.

Es necesario generar más información sobre el desarrollo de plantas de maíz en distintos tipos de suelos con la finalidad de poder establecer la relación que hay entre el rendimiento del cultivo y las características propias de cada sustrato.

Los suelos utilizados en este experimento fueron seleccionados debido a que son abundantes en el territorio Mexicano, son de uso común en las distintas actividades agrícolas del país y plantean condiciones extremas para el crecimiento y desarrollo de las plantas de *Maíz*.

## 1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

### 1.2.1. El suelo y sus propiedades.

Las propiedades agrícolas de los suelos se deben en gran parte a sus características físicas, principalmente a su textura y estructura, estos parámetros influyen directamente en el desarrollo de las plantas, en el movimiento del agua, la retención de humedad y la penetración de las raíces. La textura de un sustrato se refiere a la distribución de tamaños de las partículas aisladas que lo forman, los suelos tienen gránulos de distintos tipos y tamaños, los cuales son independientes de su composición y se clasifican de acuerdo con su tamaño, como gravas, arenas, limos y arcillas. La determinación de la textura de un suelo se basa en la medición de procesos de sedimentación de muestras de suelo en columnas de agua y se define según la fracción predominante. La estructura del suelo es un concepto que hace referencia al tamaño, forma y disposición de las partículas sólidas y los espacios vacíos en el sustrato. Una buena o mala estructura, a su vez, depende de una serie de factores como el contenido de óxidos metálicos, la cantidad de materia orgánica, el contenido carbonatos de los cationes inorgánicos divalentes como el Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Por otro lado, un grado alto de alcalinidad residual, conteniendo al ion sodio ( $\text{Na}^+$ ) puede provocar la inestabilidad de los coloides del suelo generando sustratos con una mala estructura para fines agrícolas, lo que se puede reflejar en el desarrollo de los cultivos, mostrando síntomas característicos de cada especie vegetal (Yuferá *et al.* 1973).

La materia orgánica por su lado regula la interacción del suelo con los factores que modifican su fertilidad y su disponibilidad para uso agrícola, tiene una composición muy variada, debido a que dependen del desarrollo de microorganismos que se nutren de dichos residuos y de la procedencia de los residuos de plantas y animales que son transformados. La descomposición de estos materiales incorpora al suelo cantidades variables de carbono y nitrógeno y fósforo en forma de distintos compuestos orgánicos, incrementando la fertilidad del suelo, sin embargo los requerimientos nutrimentales de las plantas suelen ser mayores a las reservas disponibles en este sustrato, por lo que debido a esto, actualmente se realizan las prácticas agrícolas de incorporación de nutrientes de forma rutinaria mediante la adición de abonos orgánicos y fertilizantes. La determinación de las cantidades de fertilizantes necesarios para cada suelo y cada

cultivo, son indirectas y con regularidad requieren de amplios tiempos para su medición y existen problemáticas para la determinación de exacta, por lo que se corre el riesgo de efectuar adiciones excesivas que causen efectos tóxicos y nocivos a los cultivos o al suelo, sin embargo se puede obtener información y aproximaciones valiosas, mediante el análisis químico de muestras de suelo y tejidos vegetales, con la finalidad de hacer un uso responsable y adecuado de los fertilizantes (Salisbury 1994).

### 1.2.2. Las plantas y su desarrollo.

Las plantas son organismos vivos y autosuficientes, que pueden habitar en la tierra o en el agua y son capaces de emplear la energía de la luz del sol, el dióxido de carbono, el agua y elementos minerales para sintetizar todos los componentes que requieren para su crecimiento y desarrollo. Los vegetales tienen gran importancia para el desarrollo de la vida en el planeta, principalmente como proveedoras de oxígeno a la atmósfera mediante la fotosíntesis y como fuente de alimento para los seres vivos (Salisbury *et al.* 2000).

En la familia de los cereales destaca el Maíz, por ser una de las especies más cultivadas en el mundo y por su fácil adaptación a distintos climas, relieves y tipos de suelo. El maíz tiene un ciclo de vida anual, produce sus semillas en forma de mazorcas, es originaria del continente americano y su uso principal es la alimentación de humanos y animales (Pacheco 2002).

De acuerdo con Barber (1995), las plantas realizan la absorción de los nutrientes a través de sus raíces, este proceso requiere que los nutrientes minerales se encuentren disueltos en agua y entren en contacto con las raíces.

La captación y transporte de nutrientes se realiza en la raíz y depende de procesos facilitados por proteínas y se rige por un gradiente de protones generado por enzimas llamadas ATPasas (Jones, 1998).

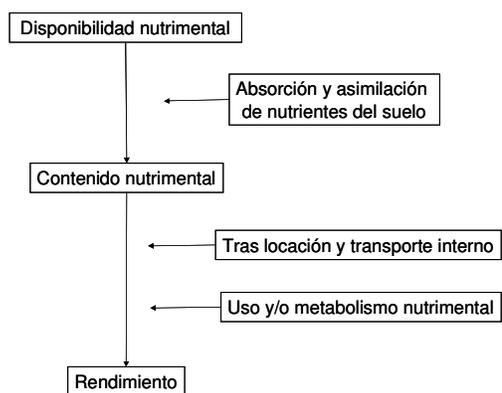
La absorción de los nutrientes se relaciona directamente con los siguientes fenómenos:

1. El flujo másico o convectivo, proceso en el cual los nutrientes son transportados en conjunto con el agua en el torrente de transpiración, debido a una diferencia de presiones que se genera por la tasa de transpiración de la planta, que a su vez depende de la demanda evaporativa del medio, y la de la cantidad de nutrientes en la solución del suelo.
2. La difusión, la cual se realiza gracias a la formación de un gradiente (diferencia de concentración) en la solución del suelo que obliga a que los iones disueltos se muevan de una zona de mayor concentración a una zona de menor concentración.
3. Intercepción radicular, la que por asociación con hongos y bacterias permiten a las plantas modificar su absorción de nutrientes mediante procesos de simbiosis entre las raíces y las infecciones por hongos del tipo de las micorrizas (palabra de origen griego, que define la simbiosis entre un hongo, *mycos* y las raíces, *rhizos* de una planta) (Salisbury *et al.* 2000)

La nutrición de las plantas inicia una vez que los nutrientes son absorbidos por la planta y son descargados en los conductos interiores de la planta (xilema y floema), para posteriormente ser almacenados en las células de las raíces ó bien son transportados a los sitios de demanda, como son las hojas, bulbos, tubérculos, frutos, y otros sitios de almacenaje, donde son necesarios para ser metabolizados (van der Zalm, 2005).

### 1.2.3. Nutrición vegetal.

La nutrición de las plantas es un ciclo que consiste en absorber los nutrientes disponibles en el suelo, asimilarlos y transformarlos en moléculas metabólicas. Los procesos realizados por las plantas, para nutrirse pueden resumirse con el siguiente esquema (Aguirre, 2006):



Debido a que es necesario generar mayor información sobre estos temas, para generar conocimiento que contribuya al manejo adecuado de los cultivos, a la conservación de los suelos y al aumento del rendimiento de los cultivos, es necesario profundizar en el estudio de los procesos de asimilación, traslocación y transporte y uso y metabolismo nutrimentales. Generalmente se tiene más conocimiento sobre la disponibilidad y contenido nutrimentales y el rendimiento de los cultivos.

La disponibilidad nutrimental puede determinarse utilizando el análisis químico de muestras de suelo. Esto se realiza con la finalidad de establecer la cantidad de nutrientes solubles e intercambiables en el sustrato y de forma indirecta pueden indicar la cantidad de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas.

El contenido nutrimental puede determinarse a su vez, utilizando el análisis químico de tejidos vegetales como hojas o tallos, para obtener información sobre el balance nutricional actual de la planta y con estos establecer la cantidad de nutrientes contenidos en las plantas.

Aguirre (2006), comenta que la mayoría de las investigaciones sobre la disponibilidad y el contenido nutrimental se realizan de forma tradicional utilizando técnicas destructivas de muestras de suelo y tejidos vegetales vía digestión química en vía húmeda o mediante procesos de extracción que emulan el poder extractante de las plantas.

El rendimiento de los cultivos, medido en sus diversas formas (biomasa total, contenido de azúcar, valor económico, etc.) es una respuesta específica de las plantas a las

condiciones en que se desarrolla el cultivo (temperatura, humedad, luz, estructura del sustrato y disponibilidad de los nutrientes), e indirectamente depende también de la actividad metabólica de los tejidos vegetales involucrada en el transporte, transformación y translocación de los nutrientes (Gliessman, 2002).

La disponibilidad nutrimental, el contenido nutrimental y el rendimiento son procesos que están estrechamente relacionados entre sí y dependen directamente de la actividad biológica de las plantas. Sin embargo los resultados de investigaciones que analizan estos temas, no muestran claramente que estos fenómenos tengan relación directa, por lo que es necesario profundizar en el estudio de estas variables para aumentar su comprensión y establecer la forma en que estas variables se relacionan una con otra, empleando métodos directos, sencillos, ágiles y precisos (Aguirre 2006).

#### 1.2.4. Nutrientes minerales.

Los nutrientes minerales son elementos químicos que las plantas necesitan para su crecimiento, desarrollo, maduración y reproducción. Los cultivos absorben una gran cantidad de nutrientes del suelo utilizando las raíces. En condiciones ideales los suelos deben de proveer a los cultivos la cantidad de nutrientes necesarios para su desarrollo completo durante su crecimiento. Sin embargo esto sucede en pocas ocasiones, principalmente porque los nutrientes son extraídos continuamente del suelo mediante actividades como la agricultura intensiva y como la lixiviación (lavado del suelo) ocasionada por el exceso de lluvias. Las características fisicoquímicas del suelo como la acidez, contenido de arcillas y óxidos, alcalinidad y acumulación de sales si no se encuentran en niveles ideales pueden generar carencias de nutrientes que se manifiestan generalmente durante su crecimiento (Barber, 1995).

De acuerdo con Tucker (1999) los nutrientes minerales esenciales en las plantas pueden clasificarse de acuerdo con la proporción en que la planta necesite de cada uno y propone su clasificación en tres grupos; nutrientes primarios, secundarios y micronutrientes.

Los nutrientes primarios son los elementos que las plantas requieren en mayor proporción para realizar sus funciones biológicas de forma óptima. Pertenecen a este grupo el Nitrógeno (N), el Fósforo (P) y el Potasio (K) por absorberse en niveles porcentuales en peso seco. Los nutrientes secundarios son los elementos que las plantas requieren en una proporción intermedia pero menor, en comparación con los nutrientes primarios. Pertenecen a este grupo el Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y el Azufre (S) y se reportan en niveles porcentuales. Los micronutrientes son los elementos que las plantas requieren en una proporción muy pequeña en comparación con los nutrientes primarios, este grupo está formado por el Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn) y se absorben en niveles que van de unas cuantas partes por millón (ppm,  $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Independiente de su clasificación, todos los nutrientes minerales tienen una actividad indispensable en las funciones biológicas de la planta, actúan como activadores de enzimas, como componentes de estructuras moleculares o como catalizadores de reacciones químicas y así contribuyen directamente al óptimo desarrollo de los cultivos. (Woomer *et al.* 1994).

#### 1.2.4.1. Nutrientes primarios.

##### **Nitrógeno.**

El nitrógeno es el constituyente principal de los aminoácidos y proteínas involucradas en el crecimiento y desarrollo de las plantas, este elemento se encuentra naturalmente en los suelos en forma de materia orgánica y en cantidades menores en forma de iones amonio y nitrato. El cultivo intensivo en un suelo disminuye sus contenidos de nitrógeno debido a que las plantas lo absorben para utilizarlo en distintas etapas de su desarrollo (Yufera *et al.* 1973).

Estudios hechos por Marschner (1990), revelan que los procesos biológicos involucrados en la asimilación nutrimental son diferentes para cada fuente de nitrógeno, el amonio en las plantas se incorpora rápidamente a los tejidos vegetales de la raíces y forma de compuestos orgánicos, mientras que los nitratos son móviles y se transporta en la planta a través de un órgano específico llamado xilema para ser almacenados en hojas y raíces como reservas o ser transformados en proteínas o moléculas que la planta necesite para su desarrollo. Los aniones nitrato junto con los cationes amonio, son la mayor fuente de nitrógeno inorgánico que la planta puede absorber del suelo y que las plantas requieren en grandes cantidades para la formación de aminoácidos, proteínas, células vegetales, ácidos nucleicos, hormonas y moléculas de clorofila.

##### **Fósforo.**

El fósforo, tiene un papel clave en los sistemas de obtención y transferencia de energía de las plantas. Este elemento es necesario para generación y funcionamiento de moléculas como los ácidos nucleicos, fosfolípidos, fosfoproteínas y trifosfato de adenosina (ATP), participa de forma activa en procesos como, la fotosíntesis, el transporte de carbohidratos, la síntesis de ácidos nucleicos, la glicolisis, la respiración, la síntesis y estabilización de la membrana celular, el metabolismo de carbohidratos, la activación, regulación e inactivación de enzimas, las reacciones redox y la fijación del nitrógeno (Vance *et al.* 2002). El fósforo en el suelo se encuentra en su mayoría en forma de fosfatos y proviene de dos fuentes principales; la materia orgánica y los minerales fosfóricos derivados de la apatita, o fosfato de roca,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , la fluorapatita  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  o la hidroxiapatita,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ . Los fosfatos tienen poca movilidad en el suelo y en sustratos ricos en aluminio y óxidos de hierro se inmovilizan y suelen no estar disponibles para ser aprovechados por los cultivos, sin embargo grandes cantidades de microorganismos pueden transformar con facilidad los iones fosfato e incorporarlos a la materia orgánica para hacerlos disponibles, de igual forma las variaciones del pH en el suelo pueden promover la disponibilidad de este elemento (Yufera *et al.* 1973).

El fósforo es absorbido y transportado por los cultivos en forma de iones  $\text{HPO}_4^{2-}$  o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y su absorción depende de los estados de desarrollo de la planta, como la floración y la producción de frutos. Los fosfatos en los tejidos vegetales pueden permanecer en forma de fosfato diácido ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y pirofosfatos  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ , que participan de forma activa en los procesos metabólicos de almacenamiento, transferencia y generación de energía en la planta (Vance *et al.* 2002).

Sin embargo, el fósforo es frecuentemente un elemento limitante para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Este elemento no se encuentra fácilmente disponible para ser absorbido por las plantas debido a que al estar en contacto con suelos ricos en

aluminio y hierro forma rápidamente complejos insolubles no disponibles para los cultivos vegetales, como la variscita,  $\text{AlPO}_4$ , y la sylvita,  $\text{FePO}_4$  (Aguirre 2006).

#### **Potasio.**

Los minerales primarios como feldspatos y las micas, poseen la mayor parte de potasio contenido en el suelo, sin embargo este nutriente no está disponible para realizar intercambios iónicos con el suelo y no puede ser absorbido fácilmente por las plantas debido a que forma parte de la red cristalina del mineral (Yufera *et al.* 1973).

El potasio disponible para los cultivos se encuentra fijado al suelo débilmente por enlaces iónicos y puede ser fácilmente reemplazado por otros cationes para ser utilizado por los cultivos. El potasio en solución acuosa forma un catión monovalente,  $\text{K}^+$  el cual es absorbido por las raíces de las plantas en forma selectiva, este catión se caracteriza por su elevada movilidad en la planta, tanto en células individuales como en tejidos de transporte de larga distancia como el xilema y el floema (Yufera *et al.* 1973).

El potasio es el catión más abundante en la planta, actúa como un generador de potenciales osmóticos, neutralizador de cargas iónicas, tiene alta movilidad en los tejidos vegetales y forma complejos iónicos débiles, que son fácilmente intercambiables en el citoplasma de las células, se utiliza una elevada cantidad de potasio para neutralizar las macromoléculas aniónicas, con la finalidad de estabilizarlas y almacenarlas (Hu *et al.* 2005).

El potasio realiza importantes funciones como activador de enzimas, como cofactor esencial en la síntesis de proteínas, en la operación de estomas, en la síntesis de enzimas glicolíticas, en la ejecución de la fotosíntesis, se encarga de regular la expansión de las células, se encarga de mantener el pH del citoplasma celular entre 7 y 8 (valores óptimos para efectuar las reacciones enzimáticas), coordina los movimientos de turgencia en las plantas y se encarga de realizar los procesos de transporte en la membrana de las células (Hu *et al.* 2005).

#### *1.2.4.2. Nutrientes secundarios.*

#### **Calcio.**

El calcio se encuentra en grandes cantidades en el suelo, es un nutriente no tóxico para los cultivos, incluso a altas concentraciones. El calcio es un catión divalente,  $\text{Ca}^{2+}$  que se absorbe en solución acuosa, tiene gran importancia en diversas actividades biológicas en las plantas, síntesis, división, reparación y funcionamiento de la pared celular. El calcio es el elemento estructural más importante de la planta, es utilizado como componente principal de la membrana y pared celular de tallos y hojas (Wei *et al.* 2003).

El Calcio juega un papel importante en el suelo, contribuye a mantener el pH del medio en equilibrio y mantiene su estructura mediante la formación de enlaces iónicos entre las arcillas (Aguirre, 2006).

#### **Magnesio.**

El magnesio es un elemento que en solución acuosa forma cationes divalentes, es absorbido por las raíces y tiene un rol específico en la activación de enzimas involucradas en la transpiración, en la síntesis de los ácidos nucleicos (DNA y RNA),

en la regulación del pH al interior de las vacuolas, en el balance de cargas que se realiza al neutralizar los ácidos orgánicos en el citoplasma y en los cloroplastos, y muy importantemente en los procesos involucrados en la fotosíntesis, al ser parte integral de la molécula de clorofila (Taiz *et al.* 1998).

El magnesio es un importante activador de enzimas utilizadas en procesos de generación y transferencia de energía, este elemento es el componente principal de las moléculas de clorofila, sustancia principal para la ejecución de la fotosíntesis. La fotosíntesis es un proceso biológico realizado por organismos vegetales, el cual consiste en la conversión de luz solar en energía química, este proceso es realizado por un sistema de pigmentos que están contenidos en los cloroplastos, Estos pigmentos tienen dos componentes básicos, llamados fotosistema I, con una longitud onda de absorción máxima de 680 nm y fotosistema II, que tienen una longitud onda de absorción máxima de 700 nm. Cada fotosistema está constituido por una gran cantidad de moléculas de clorofila y pigmentos carotenoides. En ambos fotosistemas la absorción de la energía de la luz genera un gradiente eléctrico que inicia las actividades metabólicas necesarias para el buen funcionamiento de la planta (Marschner.1995).

#### ***Azufre.***

Marschner (1995) propone que, aunque el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) atmosférico pueda ser absorbido por las partes aéreas de algunas especies vegetales, la fuente más importante de azufre para los cultivos se encuentra en el suelo y es absorbido por las raíces de las plantas en forma de sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

Buchanan *et al.*(2000) mencionan que las células de las hojas y raíces de las plantas realizan procesos metabólicos que requieren azufre, estos procesos implican reacciones de reducción escalonadas con el objetivo de convertir las moléculas de sulfatos a aniones sulfito y posteriormente transformarlos a iones sulfuro, con la finalidad de integrarlos como parte estructural de moléculas orgánicas importantes para el desarrollo de las plantas, tales como los sulfo-lípidos, las vitaminas (tiamina), los aminoácidos (cisteína y metionina), y coenzimas y fitoquelatinas de regulación homeostática.

La cisteína es un aminoácido indispensable en la síntesis de proteínas y tiene una función determinante en su actividad catalítica, el pirofosfato de tiamina es un vitamina que tiene funciones biológicas importantes para el desarrollo de plantas y animales, ambas moléculas tienen como componente importante al azufre en forma de radical tiol, -SH, (Buchanan *et al.* 2000).

#### ***1.2.4.3. Micronutrientes.***

Los micro elementos son nutrientes imprescindibles para el desarrollo de los cultivos y solo son necesarios en cantidades muy pequeñas (Yufero *et al.* 1973).

#### ***Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc.***

El hierro existe en el suelo en cantidades generalmente altas, pero en la mayoría de los casos sólo una pequeña fracción puede ser asimilada por los cultivos, esto se debe a que la planta solo puede utilizar al hierro en su forma reducida, (Fe<sup>2+</sup>. El hierro forma parte de los citocromos (proteínas encargadas del transporte de la energía), una de las funciones principales del hierro es la generación y transferencia de energía mediante procesos de reacciones de oxido-reducción, debido a que este elemento puede cambiar de estado de oxidación con facilidad (Fe<sup>2+</sup> ⇌ Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup>), actuando así como portador o

receptor de electrones. Esta característica electrónica, le confiere un papel importante en procesos como la fotosíntesis y en la formación de las moléculas de clorofila (Yufera *et al.* 1973).

El manganeso, por otro lado, en la solución del suelo se presenta principalmente como  $Mn^{2+}$ , los iones  $Mn^{+3}$  y  $Mn^{+4}$  no existen en solución debido a que forman óxidos prácticamente insolubles, como el dióxido,  $MnO_2$ , el complejo oxo-hidroxo,  $MnOOH$  y el óxido manganoso-mangánico, el  $Mn_3O_4$ . Las funciones del manganeso en la planta se asocian con los procesos de oxidación y reducción, funciona como cofactor de enzimático de procesos de oxidación, participa en la síntesis de clorofila, en los procesos de transporte de electrones en la fotosíntesis y se relaciona con la activación de enzimas (Buchanan *et al.* 2000).

En el suelo el cobre puede encontrarse disponible para las plantas como  $Cu^{+2}$  o también en forma de minerales no solubles, como la calcopirita. En suelos inundados se encuentra como sulfuro de cobre que al exponerse al aire se oxida fácilmente a sulfato. El cobre participa en procesos biológicos como activador enzimático y como constituyente de enzimas que realizan importantes procesos de oxido-reducción para la generación y transporte de energía, participa en los procesos fotosintéticos (Yufera *et al.* 1973).

El Zinc puede encontrarse disponible para las plantas como  $Zn^{2+}$  o también en forma de minerales poco solubles en combinación con la magnetita, como componente importante de la hornblenda, un mineral primario. Asimismo, el cinc se encuentra como sulfuros combinados con el plomo,  $ZnS \cdot PbS$  y en forma de carbonatos, como el  $ZnCO_3$ . Este nutriente tiene un importante papel como activador enzimático y participa indirectamente en procesos metabólicos como la fotosíntesis, y especialmente en la formación de hormonas del crecimiento vegetal, como las auxinas, que usan como precursor al aminoácido triptófano y como metal mediador al Zn (Buchanan *et al.* 2000).

### **Cloro, Boro y Molibdeno.**

El cloro se encuentra en grandes concentraciones en el planeta, principalmente en las aguas oceánicas, en forma de cloruros ( $Cl^-$ ). Las principales funciones del cloro en los tejidos vegetales, son la osmoregulación y la compensación de las cargas de moléculas orgánicas, debido a que en su forma iónica, los iones cloruro son muy solubles y móviles. Generalmente el cloro se encuentran disponible en el suelo y existe mucha mas información sobre los efectos tóxicos que genera un exceso de cloruros en las plantas que sobre las consecuencias que causan la deficiencia de este elemento (Buchanan *et al.* 2000).

La materia orgánica constituye una importante fuente de Boro asimilable para la planta, Marschner (1995), menciona que el Boro tiene un importante papel estructural en los tejidos vegetales, se almacena en las pared de las células y participa en la síntesis de la lignina (proteína asociada con los tejidos leñosos y las fibras de celulosa). El boro es un elemento importante para la síntesis y transporte de los carbohidratos, participa en el crecimiento y desarrollo del polen. Tiene importante participación en actividades celulares como la diferenciación, la división, la maduración, el crecimiento y la respiración celular. En estados ideales la mayoría de nutrientes se encuentran

disponibles en solución en el suelo, sin embargo esta condición no necesariamente se cumple y debido a esto es necesario realizar el aporte externo nutrientes al suelo.

El molibdeno existe en el suelo en forma de rocas ígneas como la molibdenita y la powelita, se encuentra disuelto en la solución del suelo como ión molibdato  $\text{MoO}_4^{2-}$ , Buchanan *et al.* (2000), señalan que las plantas requieren de muy pequeñas cantidades de Molibdeno, sin embargo juega un papel esencial en el desarrollo de la planta debido a que son componentes de enzimas que se encargan del metabolismo del nitrógeno. Por ejemplo, la Enzima nitrato-reductasa requiere de Molibdeno para la reducción del los iones nitrato.

#### 1.2.5. Fertilizantes.

Los efectos benéficos de adicionar minerales a los suelos para la mejora del desarrollo y crecimiento de las plantas son conocidos en la agricultura desde hace más de 2000 años. Los estudios sobre la participación de los nutrientes minerales en el crecimiento de las plantas fueron realizados a mediados del siglo dieciocho y son adjudicados principalmente a Justus von Liebig (1803-1873), a partir de estos eventos hubo un rápido incremento en el uso de los minerales como fertilizantes, especialmente en la agricultura y la horticultura en Europa al finales del siglo diecinueve. El progreso de las investigaciones relacionadas con la identidad de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, se han relacionado directamente con los avances de la química analítica. Con el aumento de las investigaciones en los distintos campos de la agricultura, la bioquímica y la biología, se ha logrado identificar y establecer con exactitud la estructura química de los nutrientes minerales, su función biología y su rol en el metabolismo de las plantas (Marschner, 1990).

Sin embargo la dosificación de los nutrientes conocidos como fertilizantes, en la actualidad es una actividad cotidiana que en muchos lugares se realiza sin control. El manejo inapropiado de los fertilizantes puede traer consecuencias a corto o largo plazo para el suelo y los cultivos. La adición de un exceso de fertilizantes, contribuye a la salinización del suelo (acumulación excesiva de sales). Grandes cantidades de sales en el suelo deprimen el crecimiento de los cultivos, disminuyen su rendimiento y afectan la estructura del suelo (Salisbury 1994). La ausencia de nutrientes afecta el desarrollo de la mayoría de los cultivos, las plantas lo manifiestan mostrando síntomas característicos de cada especie. La deficiencia de nutrientes en el suelo puede deberse a fenómenos fisicoquímicos como la lixiviación o la pérdida por lavado, por erosión, o por agotamiento del terreno, la precipitación en forma de compuestos insolubles o poco asimilables y por interacción fisiología o competencia con otros elementos que impiden su eficiente asimilación.

#### 1.2.6. Deficiencias nutrimentales y condiciones limitadas de nutrición.

Las deficiencias de nutrientes en el suelo, influyen directamente en el desarrollo de los cultivos y ocurren cuando los suelos presentan un exceso o deficiencia de nutrientes, la mayoría de las plantas pueden manifestar síntomas de las siguientes formas (Salisbury, *et al.* 1994):

- Realizando procesos como la activación de mecanismos bioquímicos de sobrevivencia. Una respuesta común de las plantas a condiciones de deficiencia son los cambios fisiológicos, como el incremento de raíces laterales, el aumento de la superficie de las raíces, la disminución de la biomasa, disminución del número de hojas, diversificación y heterogeneidad en la altura de planta, largo de hojas y diámetro de tallo, entre otros, además de cambios marcados en contenidos de clorofila de las hojas y el aumento o disminución de excreción de ácidos o sustancias quelantes en las raíces (López-Millán 2000).

-Manifestando síntomas visuales típicos asociados a deficiencias nutrimentales específicas. Tales síntomas pueden hacerse apreciables a simple vista, como la aparición de colores atípicos en las hojas, como las manchas amarillas (clorosis) ya sea en forma generalizada o bien en franjas (clorosis intervenal), franjas rojas (acumulación de antocianatos), etc. En la literatura se pueden encontrar descripciones visuales de síntomas de deficiencias nutrimentales y se muestran fotografías que claramente manifiestan los síntomas en las distintas etapas del crecimiento de la planta, tales como clorosis, moteados necróticos, hojas manchadas en pecas, o bien la aparición de tonalidades necróticas, hojas con puntas de color rojo, etc.

Dichos síntomas no son iguales para cada especie vegetal y pueden aparecer aleatoriamente, no observarse claramente o confundirse con otra deficiencia que se manifiesta de la misma forma. Estas circunstancias implican que no exista una metodología clara o un procedimiento estandarizado para la identificación de los síntomas asociados a los problemas nutricionales de los cultivos, con lo que resulta difícil identificar claramente y a tiempo los síntomas indicadores de problemas en la nutrición de las plantas (Salisbury, 1994).

Cuando los cultivos manifiestan claramente las anomalías nutrimentales que padecen, es posible realizar un diagnóstico por observación visual para lo que se requiere amplia experiencia de campo, y consiste en relacionar los síntomas visuales con la carencia de un nutriente en particular, por ejemplo las deficiencias de hierro en muchos cultivos se asocia con la clorosis de las hojas nuevas (Millán, 2001).

Los diagnósticos visuales de deficiencias nutrimentales, puede ser confirmados utilizando herramientas como el análisis químico de plantas y suelo, con los cuales se puede conocer el contenido real de nutrientes en los suelos, el estado nutricional actual de las plantas (Bartolini, 1990). Con la identificación y confirmación de las deficiencias nutrimentales, es posible realizar actividades que permitan corregirlas, como el aporte externo de nutrientes, siendo las prácticas más comunes el abonado y la adición de fertilizantes.

Realizando estas prácticas como medida remedial o acción preventiva se contribuye a obtener el mayor rendimiento posible y mantener las reservas de los nutrientes del suelo en niveles que puedan satisfacer las necesidades de los cultivos (Bartolini, 1990).

#### 1.2.7. Análisis químico de plantas vs análisis químico de suelos

Una de las formas modernas para entender el desarrollo de los cultivos, consiste en identificar y confirmar las deficiencias de nutrientes, con la finalidad de sugerir acciones correctivas como la aplicación de fertilizantes, estas actividades se realiza empleando herramientas como el análisis químico, ya sea de suelo o de tejidos vegetales. El análisis químico de plantas y suelo tienen distintas aplicaciones, se utilizan

como herramienta en la evaluación de la respuesta a la aplicación de fertilizantes, la generación de pautas para el manejo y mejoramiento de los suelos, el estudio y conocimiento del impacto ecológico de algunas prácticas agronómicas como la adición de abonos orgánicos, el estudio de los efectos de la contaminación ambiental, la evaluación del estado de la fertilidad del suelo y como auxiliar en la recomendación de prácticas de fertilización (Barber, 1995).

El análisis químico de suelos, proporciona información de los nutrientes contenidos en el suelo, dependiendo de la metodología, los resultados puede representar los nutrientes disponibles o la cantidad total de nutrientes, dependiendo directamente de la metodología de muestreo y del tratamiento de la muestra (Marschner, 1990).

El análisis químico de tejidos de vegetales permite conocer el estado nutricional de las plantas, es una herramienta esencial para efectuar una adecuada fertilización tomando en cuenta el estatus nutrimental de la planta y consiste en medir el contenido total de los nutrientes presentes en segmentos de planta como hojas, tallos o raíces, a través de procedimientos químicos específicos. La interpretación de los resultados del análisis de tejidos vegetales se basa en la existencia de una relación directa entre la concentración de los nutrientes en la planta, su estado de desarrollo, su actividad metabólica y los nutrientes contenidos en el suelo (Marschner, 1990). Uno de los análisis químicos de tejidos vegetales, que se realiza de manera convencional es el análisis foliar, este método es utilizado para estimar el estado nutricional y el requerimiento de sustancias nutritivas.

El análisis foliar se puede utilizar para confirmar una sintomatología visual, el procedimiento para realizarlo indica que es conveniente tomar entre 100 y 200 hojas para realizarles el análisis químico, dependiendo de la especie, que presentan la sintomatología, evitando tomar aquellas muy severamente dañadas o muy afectadas en su desarrollo. En el caso de que existan plantas sanas o normales cerca de las afectadas es conveniente tomar una muestra adicional de estas últimas, compuesta por hojas de edad, ubicación y situación similares a las plantas afectadas (Bartolini, 1990).

Los resultados del análisis foliar pueden resultar útiles como guías en la fertilización, siempre y cuando las muestras analizadas representen adecuadamente el estado nutricional medio del cultivo o huerto. Es aconsejable realizar simultáneamente un análisis de suelos, ya que resulta imprescindible para determinar la pauta de fertilización más adecuada. La combinación de los análisis foliar y de suelos constituye la mejor base para una adecuada decisión de la fertilización y para brindar información sobre factores que influyen en la asimilación de los nutrientes (Bartolini, 1990).

#### 1.2.8. Análisis químico de tejidos vegetales.

El análisis químico de tejidos vegetales depende de su diseño experimental y de su metodología, los resultados pueden representar dos tipos de información, la correspondiente a los nutrientes totales y la información sobre los nutrientes parciales contenidos en las plantas. Las metodologías más utilizadas para realizar el análisis químico de tejidos vegetales son:

1. Análisis de nutrientes totales en las plantas, obtenidos por digestión de tejidos vegetales, consiste en obtener extractos acuosos, normalmente se realiza de dos diferentes formas:
  - 1.1. Digestión mixta de materia vegetal, realizada utilizando ácido sulfúrico y peróxido de hidrogeno, empleando tubos de digestión y altas temperaturas (Pacheco, 2002).
  - 1.2. Digestión de materia vegetal realizado al mezclar materia vegetal seca (secado a 75°C durante 48 horas) y disueltos en agua regia al 40% Lombnaes (2003).
  
2. Análisis parcial de nutrientes en la planta, consiste en obtener información parcial de un tejido vegetal empleando métodos y tratamientos alternativos a la digestión de tejidos. Esta actividad consiste en dos pasos; primero realizar la extracción selectiva de los nutrientes y posteriormente realizar el análisis químico del extracto (Sommers *et al.* 1972).

La aplicación de estas metodologías presentan desventajas, el análisis de nutrientes totales tiene como principal problema el exceso de manipulación de muestra y la lentitud en la obtención de resultados, el análisis parcial presenta por otro lado, problemas relacionados principalmente con la interpretación de resultados.

#### *1.2.8.1. Análisis parcial de nutrientes.*

La determinación parcial de nutrientes brinda información selectiva y específica, la que puede relacionarse con facilidad con la actividad biológica, los problemas nutrimentales y las etapas de desarrollo de los tejidos vegetales. Muchos de los estudios que han empleado el análisis parcial de nutrientes mencionan que es posible realizar el muestreo de fluidos internos contenidos en las plantas, autores como Mihucz *et al.* (2000) clasifican a estos fluidos como savia.

#### *1.2.8.2. Fluidos celulares en tejidos vegetales.*

Mihucz *et al.* (2000), plantean en su investigación, que dentro de la planta hay fluidos que contiene compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos, este líquido se distribuye en el interior de las planta empleando tejidos específicos. Estos fluidos, que comúnmente son denominados savia, pueden obtenerse a través del muestro de exudados, empleando técnicas de extrusión de extractos celulares, donde se ha encontrado que al interior de la planta fluyen ácidos orgánicos de bajo peso molecular, aniones inorgánicos como nitratos, sulfatos, fosfatos y un limitado número de aminoácidos, amidas y otros solutos, los cuales varían dependiendo de la naturaleza de cada especie vegetal, y de la condiciones externas como el clima y la disponibilidad de agua, estas características abren la posibilidad a poder realizar estudios del contenido de los fluidos internos en las plantas, con lo que se podría obtener información relevante sobre la absorción de los nutrientes y las consecuencias relacionadas con su deficiencia o su toxicidad.

Schurr (1998), comenta que el muestreo de la savia en tejidos vegetales es problemático, debido a diferentes fenómenos como biológicos como:

- a) La presión negativa interior de la planta, que es una condición normal asociada a procesos de transpiración, que tiene como consecuencia que al realizarse cortes o incisiones a tejidos vegetales, la presión negativa genera taponamiento de la planta y así se evita que la savia fluya fácilmente al exterior.
- b) La presencia de sistemas herméticos de transporte de larga distancia (xilema y floema) que operan con mecanismos que impiden que se realice el muestreo con métodos sencillos tales como la introducción de una aguja.

Para realizar muestreos selectivos de tejido en plantas, se han desarrollado múltiples técnicas experimentales, Schurr (1998) sugiere que pueden ser clasificadas como técnicas no destructivas y técnicas destructivas;

### I. Técnicas no destructivas:

- a) I.1 Muestreo selectivo utilizando insectos.

Alone *et al.* (2002), realizaron investigaciones utilizando insectos comunes de Inglaterra, pulgones-áfidos, dichos insectos tienen la habilidad de poder introducir su aguijón en las plantas y así alimentarse de los azúcares contenidos en xilema y floema, posterior a esto los insectos generan una excreción macroscópica, que debe ser recolectada con micropipetas, se almacena y se analiza químicamente para determinar de forma indirecta el contenido de los fluidos de la planta.

- b) Cámara de presurización de las raíces.

Sorce *et al.* (2002) proponen que es posible realizar muestreos continuos empleando la cámara de presurización de las raíces, que consiste en una cámara de presión (donde se introducen las raíces contenidas en una maceta) conectada a un sistema de gases (nitrógeno y aire), con un control neumático que ajusta la presión y la composición de los gases., (Imagen 1.)El muestreo y recolección continua de savia se realiza con tubos capilares conectados a la planta.

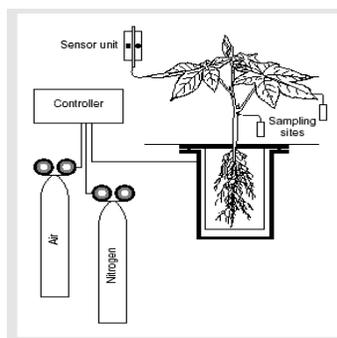


Imagen 1. Cámara de presurización de las raíces

Debido a la complejidad de la cámara de presurización de raíces, hay poca información sobre investigaciones que hayan utilizado esta herramienta. Fournier *et al.* (2004), realizaron investigaciones utilizando esta herramienta, para estudiar los efectos del potasio en plantas de girasol.

- c) Reflectancia de los cultivos.

Graeff *et al.* (2001) proponen una técnica no destructiva moderna, que utiliza un aparato sofisticado que se basa en la medición e interpretación de la reflectancia de los cultivos, los resultados se analizan estadísticamente con la finalidad de detectar la relación de la reflectancia con las posibles deficiencias nutrimentales.

## II. Técnicas destructivas:

- a) Exudados de tejidos vegetales.

La obtención de exudados de tejidos vegetales, Fournier *et al.* (2004) propone que es posible obtener exudados colocando segmentos de plantas conectados a una cámara hermética donde se eleva las condiciones de humedad o temperatura durante periodos prolongados y se obtienen exudados principalmente de segmentos de tallo.

- b) Extractos celulares de pecíolo.

En investigaciones hechas por Tovar *et al.* (2001), proponen una técnica que consiste en cortar segmentos de planta, específicamente los llamados pecíolos, que son la parte de la hoja que se une al tallo, y posteriormente colocarlos en una prensa hidráulica, coleccionar el fluido, filtrar y almacenar en refrigeración, para su posterior análisis químico.

- c) Cámara de presión de Scholander.

Kertulis *et al.* (2004), en su investigación absorción de Arsénico en plantas de papa (*Pteris vittata*), propone el uso de esta técnica, la cual consiste en colocar plantas completas o segmentos de tallos de planta fresca, en el interior de una cámara de presión y coleccionar los fluidos que emanan de los tejidos vegetales.

- d) Extracción con vacío.

Este procedimiento fue desarrollado y evaluado en el laboratorio de nutrición vegetal de la UNAM, FESC-4, esta técnica consiste en realizar la succión con una manguera de látex, conectada a segmentos de tallo de planta, utilizando un sistema de trampa de vacío, para coleccionar fluido celular en un matraz Erlen-meyer., teniendo como resultado problemas de eficiencia y tiempos muy prolongados para la extracción de muestras.

- e) Extractos por muestreo directo.

Enikó *et al.* (1999) proponen la obtención de extractos por muestreo directo, esta técnica consiste en decapitar una planta y coleccionar directamente el líquido que eventualmente exuda del corte realizado, el autor menciona que esta técnica tiene problemas con la reproducibilidad y no es posible extraer líquido de las incisiones hechas a los tallos de cualquier tipo de especie vegetal.

- f) Obtención de fluidos apoplásticos.

López-Millán *et al.*(2000) proponen en su investigación la obtención de fluidos apoplásticos por centrifugación de células de hojas de remolacha azucarera, en su investigación obtienen resultados cuantitativos del contenido de fluidos apoplásticos

celulares que contienen nutrientes minerales (hierro, nitratos, fosfatos, etc.) y compuestos orgánicos como la enzimas malato-deshidrogenaza, isomerasa hexosa fosfato, etc.

Para que las técnicas de muestreo selectivo resulten efectivas y trascendentes deben tener ciertas características como permitir un muestreo continuo, mínima manipulación de la muestra, ser procedimientos reproducibles, de implementación rápida, bajo costo y que junto con un análisis químico de calidad, proporcione resultados que ayuden a comprender los procesos involucrados en la nutrición vegetal.

En la actualidad existen diversos instrumentos científicos que permiten realizar análisis químico de materiales con mayor exactitud, en menor tiempo y con un bajo costo. Los instrumentos para cromatografía de iones, son equipos modernos capaces de realizar determinaciones simultáneas, permiten la determinación rápida y continua de cationes y aniones en cada muestra analizada, siempre y cuando se obtenga suficiente extracto para el análisis.

### 1.2.9. Cromatografía de iones.

La cromatografía de iones es un proceso que permite la separación de iones y moléculas basado en las propiedades de carga de las moléculas. Puede ser usada en casi cualquier tipo de molécula cargada, incluyendo grandes proteínas, pequeños nucleótidos y aminoácidos. La cromatografía iónica es un método moderno y eficaz para la separación y determinación simultánea de iones que se basa en el uso de resinas de intercambio iónico. La cromatografía iónica empezó a desarrollarse a mediados de los años sesenta, cuando se demostró que podía resolverse fácilmente mezclas de cationes o aniones mediante las columnas de HPLC rellenas con resinas de intercambio catiónico o aniónico. Los procesos de intercambio iónico se basan en los equilibrios de intercambio entre los iones de una disolución y los iones del mismo signo que están en la superficie de un sólido de elevada masa molecular y esencialmente insoluble. Durante varias décadas se habían utilizado intercambiadores iónicos naturales como las arcillas y las zeolitas, sin embargo a mediados de los años treinta se fabricaron por primera vez resinas de intercambio iónico sintéticas para disminuir la dureza del agua, para la desionización del agua y para la purificación de disoluciones. Las resinas de intercambio más comunes son:

-Resina para el intercambio de cationes que tienen grupos funcionales de ácido sulfónico ( $-\text{SO}_3\text{-H}^+$  que se comportan como ácido fuerte) y/o grupos funcionales de ácido carboxílico ( $-\text{COO}\text{-H}^+$  que se comportan como ácidos débiles).

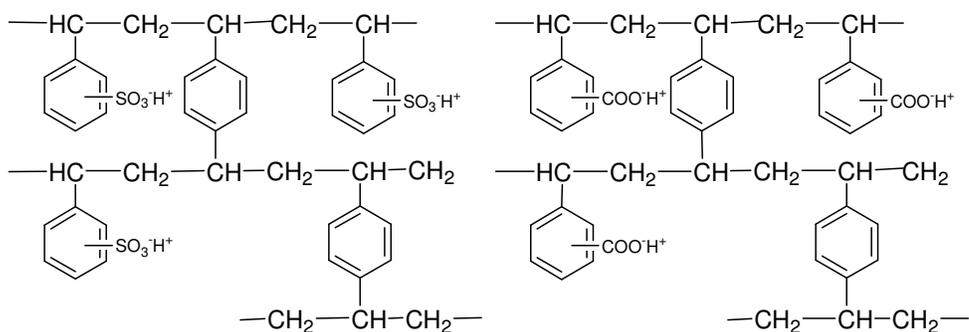


Imagen 2. Resinas para el intercambio de cationes.

-Resina para el intercambio de aniones que tienen grupos funcionales amino primarios ( $-\text{NH}_3^+\text{OH}^-$  que se comportan como base débil) y/o grupos funcionales amino terciarios ( $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{OH}^-$  que se comportan como base fuerte).

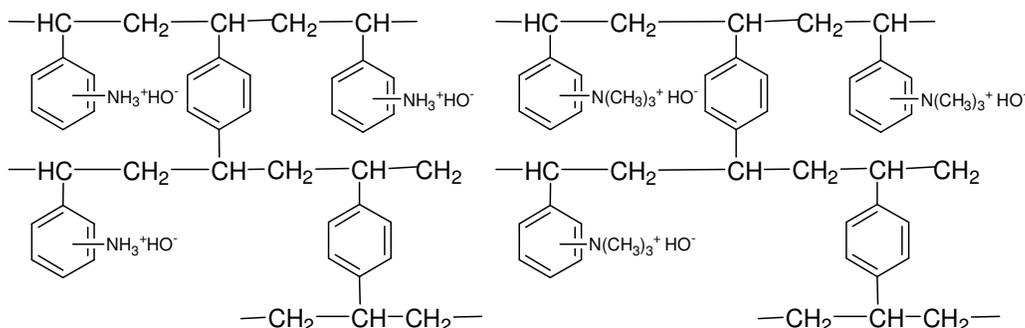


Imagen 3. Resinas para el intercambio de aniones.

Históricamente las columnas para la cromatografía de intercambio están empacadas con pequeñas partículas esféricas porosas que se forman en la co-polimerización en emulsión del estireno y del divinilbenceno. La presencia del divinil-benceno (normalmente en 8 por cada 100 unidades) origina una polimerización entrecruzada que confiere estabilidad mecánica al co-polímero, el cual es modificado químicamente para adicionarle grupos funcionales y hacerlo reactivo frente a los iones.

Actualmente existen cromatógrafos de iones robustos y compactos, con sistemas de detección universales, que permiten realizar determinaciones cuantitativas y cualitativas múltiples de iones basándose en el área o la altura de los cromatogramas y en sus tiempos de retención en la columna.

Esta investigación propone el desarrollo de una técnica sencilla para realizar muestreos selectivos de tejidos vegetales, que involucre una mínima manipulación de la muestra y un bajo costo, que junto con un análisis químico de calidad, proporcione resultados que ayuden a comprender los procesos involucrados en la nutrición vegetal. La metodología utilizada en esta investigación tiene dos claras ventajas:

- a) Disminución del tiempo de tratamiento de la muestra. Con esto se permite obtener una gran cantidad de extractos celulares, en cortos periodos de tiempo.
- b) Análisis químico utilizando un cromatógrafo de iones, el cual permite la determinación múltiple de aniones por cada muestra analizada en el experimento.

La técnica de muestreo selectivo de tejidos vegetales fue evaluada en el laboratorio de nutrición vegetal de la UNAM, FESC-4, esta técnica que tiene como fundamento la congelación y descongelación de tejidos vegetales para ocasionar su ruptura. Para facilitar el manejo de la muestra y evitar su contaminación, los tejidos vegetales se congelaron dentro de una jeringa, cuando se requiera extraer la muestra se descongela la jeringa, se comprime el embolo y se recolecta un fluido que se denomina extracto celular. Los elementos cuantificados en este experimento son el nitrógeno, el fósforo, el azufre y el cloro, debido a que participan en diversos procesos biológicos en los tejidos

vegetales, se encuentran en mayor proporción en los cultivos y comparten una característica en común, fluyen dentro de la planta en forma de aniones, ( $\text{NO}_3^-$ ,  $^2\text{HPO}_4 / \text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_3^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ ) que permite cuantificarlos simultáneamente mediante un análisis químico utilizando el equipo adecuado (Taiz *et al.* 1998).

Con los resultados obtenidos en este proyecto, se espera obtener información sobre la actividad biológica de las plantas, que nos permita la detección de problemas que se manifiestan en periodos tempranos de crecimiento, con la finalidad de poder corregirlos a tiempo, antes de que causen problemas irreversibles en la planta.

Esta investigación está orientada a profundizar en el entendimiento de los procesos cinéticos involucrados en la nutrición vegetal de plantas anuales, el manejo de fertilizantes, el aumento del rendimiento de los cultivos y las deficiencias nutrimentales, la en la plantas.

## **2. MATERIALES Y METODOS.**

### **2.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.**

El experimento se realizó en un invernadero de cubierta plástica, ubicado en la FESC-4 donde se cultivaron plantas de maíz en macetas que contenían tres tipos de suelo (suelos; Vertisol, Solonchack y Luvisol). Las macetas fueron ordenadas al azar utilizando una tabla de números aleatorios. Las plantas de maíz contenidas en cada maceta, fueron seleccionadas en forma aleatoria, cada 6 días para realizarles la medición de los parámetros agronómicos y la extracción líquidos celulares (“extractos celulares”), durante un periodo de 30 días.

El primer paso para realizar el experimento fue germinar 154 semillas de maíz en contenedores especiales de *unicell* y posteriormente transplantarlas 150 macetas de las cuales 50 contendrán suelo Luvisol, 50, suelo Vertisol y 50, suelo Solonchack.

Se realizó el monitoreo de los parámetros agronómicos, transmitancia de las hojas cada 5 días a partir del trasplante, el muestreo se realizó cortando segmentos de tallo, hojas basales y hojas apicales, que fueron introducidos en jeringas de 250 ml y fueron refrigeradas en la congeladora de un refrigerador común.

Para el análisis químico, se descongelaron las muestras, se presionó el émbolo de las jeringa y se obtuvieron los “extractos celulares”, se realizaron diluciones de los extractos celulares en agua desionizada, se inyectaron las muestras en el cromatógrafo de iones, y se realizó la cuantificación de sus componentes.

Los nutrientes minerales contenidos en los extractos celulares de las plantas de maíz cultivadas en este experimento fueron analizados en forma iónica como cloruros, sulfatos, sulfitos, nitratos y fosfatos. La cuantificación de los extractos celulares se realizó empleando una curva de calibración con los rangos adecuados de área o altura de los cromatogramas obtenidos al inyectar las muestras problema.

## 2.2. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.

El experimento se realizó en el invernadero No. 4 en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, Campo 4 (FESC-4), ubicado a una altura de 2,250 msnm entre los 19° 37' y los 19° 45' de latitud N y 99°7' y 99°27' de longitud W. La facultad se encuentra al oeste de la cabecera municipal de Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., limitando al norte con el municipio de Teoloyucan, al sur con el de Tultitlán, al este con el de Melchor Ocampo, al oeste con el de Tepotzotlán, al noroeste con el de Zumpango y al sureste con Tultepec (Pacheco, 2002).

## 2.3. MATERIAL VEGETAL.

<sup>1</sup>Para el desarrollo del experimento hemos tomado en cuenta las variaciones nutrimentales propias de los cultivos perennes y anuales, que comparados entre sí, es alta para plantas perennes y baja para plantas anuales, debido a que los ciclos de vida para cada uno son distintos, en los cultivos anuales las plantas completan su ciclo de vida en un plazo corto, (un año o menos y suelen producir semillas una sola vez) y las plantas perennes tienen ciclos de vida más largos (mayores a un año y producen flores y semillas más de una vez).

La especie vegetal seleccionada es el maíz, el cual es una planta perenne, que tiene un ciclo de vida de 120 días aproximadamente, la investigación se realizó durante un tercio del ciclo de vida del cultivo (40 días), <sup>2</sup>periodo en el cual hipotéticamente aún es posible corregir los problemas nutrimentales antes de que se generen problemas irreversibles que afecten directamente su desarrollo y rendimiento.

Esta investigación se realizó con una variedad de maíz llamada PUMA, La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM a través de la Cátedra de mejoramiento genético y producción de semillas de cultivos básicos, desarrolló el Maíz híbrido Puma-1076, desarrollado para ser cultivado en los valles altos (2,200 a 2,600 msnm) y que cuenta con sistemas de riego, y son de alta productividad.

Para este experimento se utilizó maíz de una variedad; puma-1076, proporcionado por la titular del laboratorio de tecnología de semillas de la FEC-4.

## 2.4. SUELOS.

Los suelos utilizados en el experimento se identificaron de acuerdo con el sistema de clasificación propuesto por la WRB (2006) y fueron seleccionados de acuerdo con su abundancia y a la superficie que ocupan en México y se clasifican de la siguiente forma:

Los Vertisoles tienen como característica principal ser ricos en arcillas esmectíticas, comúnmente son ricos en abonos orgánicos, los cuales le confieren un color negro característico.

Los suelos Solonchak, tienen como característica principal tener altos contenido de sales solubles en alguna parte o en todo el perfil, las sales pueden ser sódicas. Estos suelos son abundantes en las regiones áridas y semiáridas del país y son de origen aluvial.

---

<sup>1</sup> Comunicación personal con el Dr. Arturo Aguirre Gómez.

<sup>2</sup> Comunicación personal con el Dr. Arturo Aguirre Gómez

Los suelos Luvisoles son sustratos que evidencian un proceso continuo de lavado de las arcillas y de las sales de calcio, se encuentran en zonas templado-cálidas a frías, es muy común encontrarlos en climas húmedos y tienen como característica común la coloración roja de las arcillas caolínicas y altos contenidos de óxidos férricos.

Las muestras de suelo Vertisol se recolectaron en la “FESC-UNAM”, Campo 4, el Solonchack se recolectó en un rancho propiedad de la compañía Agroindustrias Integradas del Centro, ubicado en el municipio Juventino Rosas, en Celaya Guanajuato y el suelo Luvisol se recolectó del Ejido Cahuacán, ubicado en la localidad de San Francisco Magú, municipio de Nicolás Romero, Estado de México.

## 2.5. SIEMBRA, GERMINACIÓN Y TRANSPLANTE.

La germinación de las semillas de maíz se realizó en dos semilleros de *unicell* con capacidad para 77 plántulas, los cuales se rellenaron con suelo y se regaron diariamente con cantidad suficiente para mantener el sustrato constantemente húmedo. Posterior a la germinación se realizó el transplante (plántulas con una edad aprox. de 10 días) a 96 bolsas para maceta de polietileno, color negro con capacidad de 3 Kg. aprox., de las cuales 32 se rellenaron con suelo Vertisol, 32 con suelo Luvisol y 32 con suelo Solonchak.

## 2.6. MONITOREO DE PARÁMETROS AGRONÓMICOS.

Durante el desarrollo del experimento se evaluaron las siguientes características de las plantas:

-Diámetro de tallo: Las mediciones se realizaron con un vernier en los primeros 5 cm del tallo (en la parte más ancha del tallo, sin incluir los nodos). La medición se realizó por separado a una hoja apical y a una hoja basal.

-Altura de planta: Las mediciones se realizaron con un flexómetro, tomando la distancia inicial desde el suelo hasta el final de la hoja más larga.

-Largo y ancho máximo de hoja: Las mediciones se realizaron con un flexómetro. El largo de la hoja es medido desde la base hasta la punta y el ancho máximo es medido de extremo a extremo en la parte más ancha de toda la hoja. La medición se realizó por separado a las hojas apicales y a las hojas basales.

-Índice Foliar o Área Foliar: Se obtuvo de forma indirecta, al multiplicar el largo y el ancho máximo de hoja. La operación se realizó por separado con datos de una hoja apical y a una hoja basal.

-Medición de Clorofila: El índice de verdor se refiere a la magnitud del color verde en las hojas, es decir qué tan verde es cada hoja con la finalidad de compararla con otras hojas de distintas plantas. Las mediciones se realizaron con un medidor portátil de clorofila SPAD-502 Marca Minolta, que es un instrumento que determina un índice de verdor a partir de la transmitancia de luz de la hoja a 650 nm y 940 nm de longitud de onda, esta operación se realizó en 3 regiones de la hoja (base, centro y punta), las cuales se reportan en unidades de transmitancia. Las mediciones se realizaron en la base, centro y punta de hojas apicales y basales.

-Peso fresco de planta completa: Las mediciones se realizaron cortando y pesando plantas completas sin raíz, en una balanza granataria.

-Peso seco de planta completa: Las mediciones se realizaron cortando y pesando plantas completas sin raíz, en una balanza analítica y posteriormente colocándola en la estufa a

105°C durante 24 hrs, para después determinar el peso seco por la diferencia entre el peso inicial y el peso final.

-Peso seco de planta por partes: Las mediciones se realizaron cortando y pesando segmentos de plantas (tallos, hoja apical y basal) en una balanza analítica y colocando las partes en la estufa a 105°C durante 24 hrs, para después determinar el peso seco por la diferencia entre el peso inicial y el peso final.

-Número de hojas: Las mediciones se realizaron contando el número de hojas de cada planta.

## 2.7. OBTENCIÓN DE EXTRACTOS CELULARES.

La obtención de los extractos celulares se realizó de acuerdo con la siguiente metodología:

Se cortaron segmentos de 8 cm, de tallos, hojas apicales y basales completas de una planta de Maíz fresca, se lavaron con agua destilada o desionizada, se secaron con servitoallas u otro material absorbente y posteriormente se introdujeron en una jeringa de plástico limpia (Imagen 2)

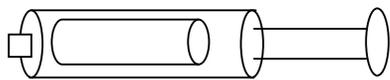


Imagen 2

La jeringa fue colocada en el congelador de un refrigerador común, hasta el tiempo de análisis.

Para obtener el extracto celular, fue necesario retirar y descongelar la jeringa a temperatura ambiente, para luego extrusionar la muestra, presionando el émbolo para exprimir el interior de la jeringa (Imagen 3).

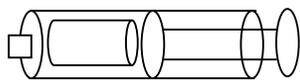


Imagen 3.

Es necesario colocar un tubo de ensaye en el frente de la jeringa, para colectar el líquido que se extrae al momento de presionar el émbolo de la jeringa (Imagen 4).

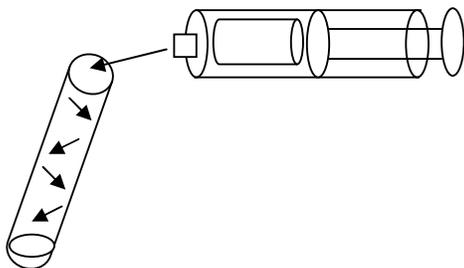


Imagen 4.

Se colectó una cantidad de extracto celular que varió en un rango de 1.0 ml a 1.5 ml, dependiendo de variables como: la cantidad de planta contenida en la jeringa, la naturaleza del sustrato y la edad de la planta.

## 2.8. ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS EXTRACTOS CELULARES.

Para el análisis químico de los extractos celulares se introdujo 1.0 ml de extracto celular en un matraz aforado de 5ml y se diluyó con agua desionizada hasta la marca correspondiente al volumen de aforo. El cromatógrafo se calibró para inyectar y cuantificar muestras de 10 µL.

Se realizaron distintas pruebas para realizar la cuantificación de sus componentes y se introdujo al cromatógrafo de iones para determinar y cuantificar su composición aniónica. La cuantificación de los extractos celulares se realizó con una curva de calibración con el rango adecuado al área o altura de los cromatogramas obtenidos al inyectar las muestras problema, para la cuantificación de los aniones se realizaron dos curvas de calibración para cada anión, la preparación de las soluciones y su estandarización, se realizó de acuerdo con lo indicado en el manual de operación.

## 2.9. ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELO.

Las propiedades fisicoquímicas del suelo relacionadas con la nutrición vegetal, que se determinaron en el experimento fueron las siguientes; pH del suelo, porcentaje de saturación, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica y carbonatos totales en suelo. Estas determinaciones se realizaron siguiendo la metodología indicada por la Norma Oficial mexicana; NOM-021-RECNAT-2001.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 3.1. PROPIEDADES DE LOS SUELOS.

#### 3.1.1. Determinación del pH.

Suelo	pH
Solonchack	7.94
Luvisol	6.36
Vertisol	6.79

De acuerdo con la Norma NOM-021-RECNAT-2001, el pH medido a cada uno de los suelos se clasifican de acuerdo con sus características químicas de la siguiente forma: El suelo Luvisol, resultó ser moderadamente ácido, el suelo Vertisol, neutro y el suelo Solonchack, moderadamente alcalino.

#### 3.1.2. Porcentaje de saturación del suelo.

El porcentaje de saturación de humedad es una aproximación de la cantidad de agua que un suelo retiene cuando se satura con agua, los resultados de la prueba indican que un mayor porcentaje de saturación tiene una mayor aceptación de agua por parte del suelo,

lo cual puede tener influencia en el desarrollo de planta, debido a un posible abastecimiento mayor de agua a los tejidos vegetales. Se observó que los suelos Solonchak y Vertisol absorben cantidades similares de agua y que ambos tienen capacidad para absorber más agua que el suelo Luvisol.

Suelo	Porcentaje de saturación	Peso del suelo saturado con agua	Peso del suelo seco a 105° C	Peso perdido en el secado
Solonchack	45.55	14.07	9.66	4.40
Luvisol	39.83	7.89	5.64	2.25
Vertisol	64.22	12.35	7.52	4.83

### 3.1.3. Conductividad del suelo y sólidos totales disueltos.

En una solución acuosa que contiene iones, la conductividad eléctrica es una medida de la capacidad para transportar la corriente eléctrica, la cual depende de la concentración total de iones presentes en solución, de la movilidad de cada uno de los iones disueltos, de su valencia y de la temperatura a la que se realiza la determinación. En el suelo la conductividad se mide en un extracto obtenido de la saturación de una muestra de suelo con agua. Los resultados de analizar la conductividad eléctrica de extractos de saturación del suelo, están relacionados con la respuesta de los cultivos a la salinidad.

Comparando los resultados obtenidos de analizar los valores de la conductividad eléctrica, se observó que el suelo Solonchack presentó niveles de salinidad por debajo de los valores que se consideran de riesgo para los cultivos, muy probablemente debido al uso continuo del riego con aguas de buena calidad. Los resultados por lo tanto indican que el suelo Solonchack no es altamente salino en su superficie, sin embargo, la concentración de sales en el subsuelo puede encontrarse en proceso de acumulación debido al lavado de sales de la superficie.

Así, de acuerdo con la Norma NOM-021-RECNAT-2001, el suelo Solonchack fue clasificado como ligeramente salino y para los suelos Vertisol y Luvisol, la lectura de la conductividad eléctrica indica que los suelos son clasificados como no salinos, interpretándose como que se trata de suelos con un muy bajo riesgo de salinidad debido a los efectos despreciables de ésta sobre los cultivos.

Suelo	Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Conductividad (mS $\text{cm}^{-1}$ )	sólidos totales disueltos ( $\text{mg L}^{-1}$ )
Solonchack	1541	1.54	986
Luvisol	942	0.94	602
Vertisol	412	0.41	263
Agua destilada	2.8	0.003	1.8

### 3.1.4. Carbonatos totales en suelo

Los carbonatos contribuyen de forma importante a elevar y regular el pH de los suelos y su determinación se realiza con la finalidad de establecer sus niveles de alcalinidad, misma que es responsable de la precipitación de muchos metales nutrimentales en los suelos. Debido a que el suelo Luvisol, es moderadamente ácido y el suelo Vertisol es neutro, la determinación solo se realizó al suelo Solonchack que mostró ser moderadamente alcalino. Los resultados indicaron que hay cantidades muy pequeñas de

carbonatos en el suelo Solonchack y se clasifica como un suelo moderadamente. En términos generales es preferible que el suelo sea neutro o inclusive ligeramente ácido para favorecer la disolución de minerales nutritivos. Sin embargo, es muy probable que esto no afecte de manera significativa el desarrollo de las plantas en el corto plazo.

Suelo	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol(-)/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mol/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
Solonchack	0.9	9x10 <sup>-4</sup>	5.5x10 <sup>-5</sup>
Luvisol	N.D.	N.D.	N.D.
Vertisol	N.D.	N.D.	N.D.

\*N.D.= No determinados

### 3.2. ESTUDIOS CINÉTICOS DE LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.

En estas secciones se presentan la variación cinética de la acumulación biomasa aérea, en peso seco, fresco y su relación, diámetro del tallo, altura de planta, largo, acho y área de hojas y niveles de clorofila, tanto en hojas basales, medias y apicales.

#### 3.2.1. Biomasa aérea fresca, seca y la relación biomasa seca/fresca

De las figuras 1 y 2 comparando los resultados de la acumulación de biomasa fresca y seca entre suelos se observó una disminución drástica en las plantas cultivadas en el suelo Luvisol, con respecto a las cultivadas en los suelos Vertisol y Solonchack, siendo ese último el que presentó los mayores valores durante el desarrollo del experimento.

Lo anterior debido a los menores niveles nutritivos del suelo Luvisol con respecto al suelo Vertisol. En el caso del Solonchack los bajos niveles de salinidad permiten que el cultivo aproveche mejor la mayor cantidad de iones nutritivos disueltos, lo que se traduce seguramente en mayores rendimientos. Nótese en las gráficas las diferencias de acumulación de biomasa que incrementan en forma exponencial con el tiempo y los altos valores de las regresiones exponenciales.

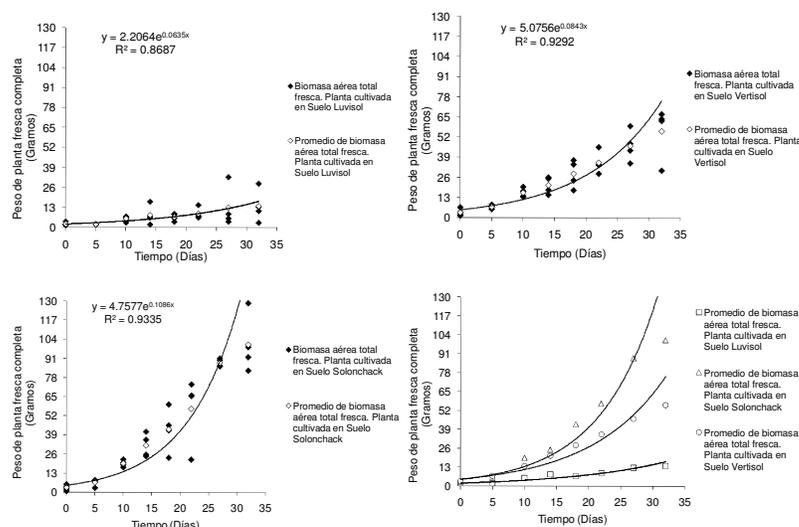


Figura 1: Cinética de acumulación de biomasa aérea medida como peso de plantas frescas, cultivadas en los suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack, respectivamente. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de biomasa de cada suelo.

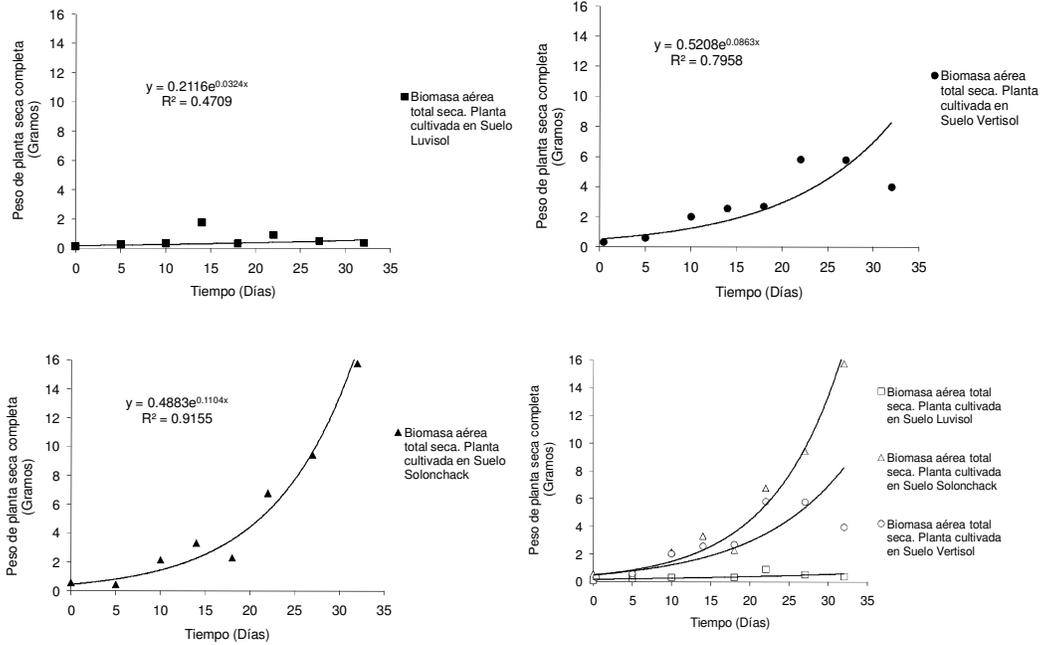


Figura 2: Cinética de acumulación de biomasa aérea medida como peso de plantas secas, cultivadas en los suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack, respectivamente. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de biomasa de cada suelo.

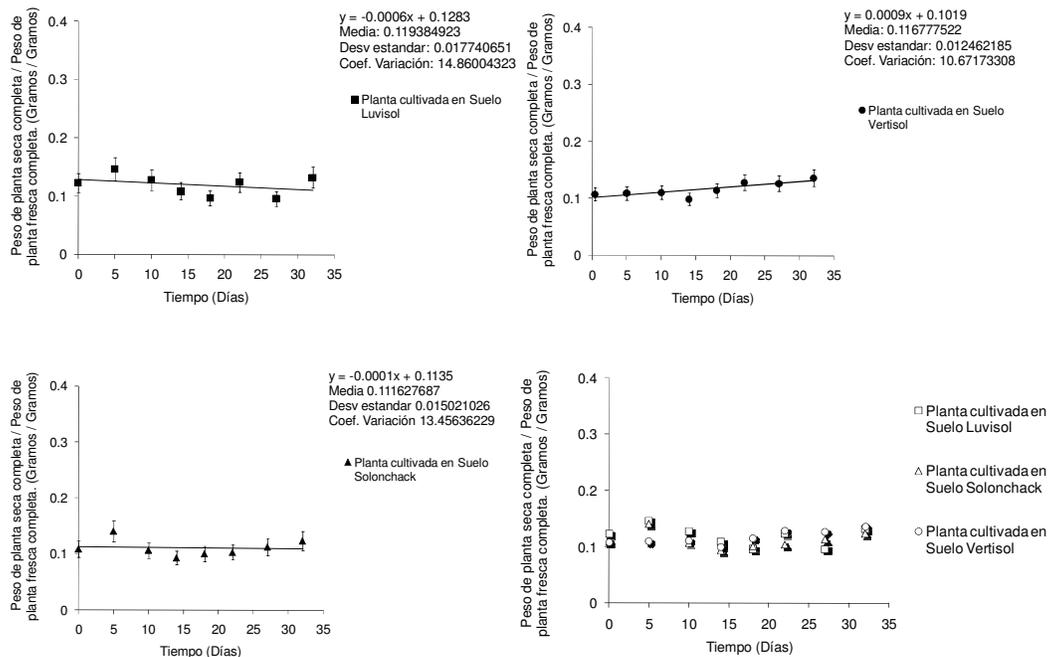


Figura 3: Cinética de la relación obtenida al dividir peso de planta seca entre el peso de planta fresca cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de la relación de cada suelo.

Las curvas de las gráficas de la figura 3 muestran que al relacionar el peso de plantas secas con el peso de plantas frescas, se obtiene un cociente que se mantiene constante. La relación que hay entre la biomasa de la planta seca y la biomasa de la planta fresca es de 0.11, lo que muestra una tendencia a permanecer constante durante el experimento, reforzando lo declarado arriba y dando soporte a que mayores niveles de crecimiento y desarrollo de las plantas tienen mejor aprovechamiento nutricional. Este valor de 0.11 sirve además para conveniente conversión de valores a peso seco los parámetros determinados más adelante.

### 3.2.2. Diámetro de tallo.

De la figura 4 comparando los resultados obtenidos, se observó que los diámetros de tallos de las plantas son muy parecidos durante solo los 10 primeros días, sin embargo en a medida que pasa el tiempo se define la tendencia y las plantas cultivadas en suelo Luvisol tienen valores menores que las plantas de Solonchack y Vertisol, también se observó que las plantas del Solonchack tienen los tallos más gruesos que las plantas del Vertisol.

En la figura 4 se observó que las plantas cultivadas en el suelo Solonchack mostraron tallos más gruesos debido a que es un suelo moderadamente salino y contiene mayor cantidad de iones nutrientes que los suelos Vertisol y Luvisol, en ese orden.

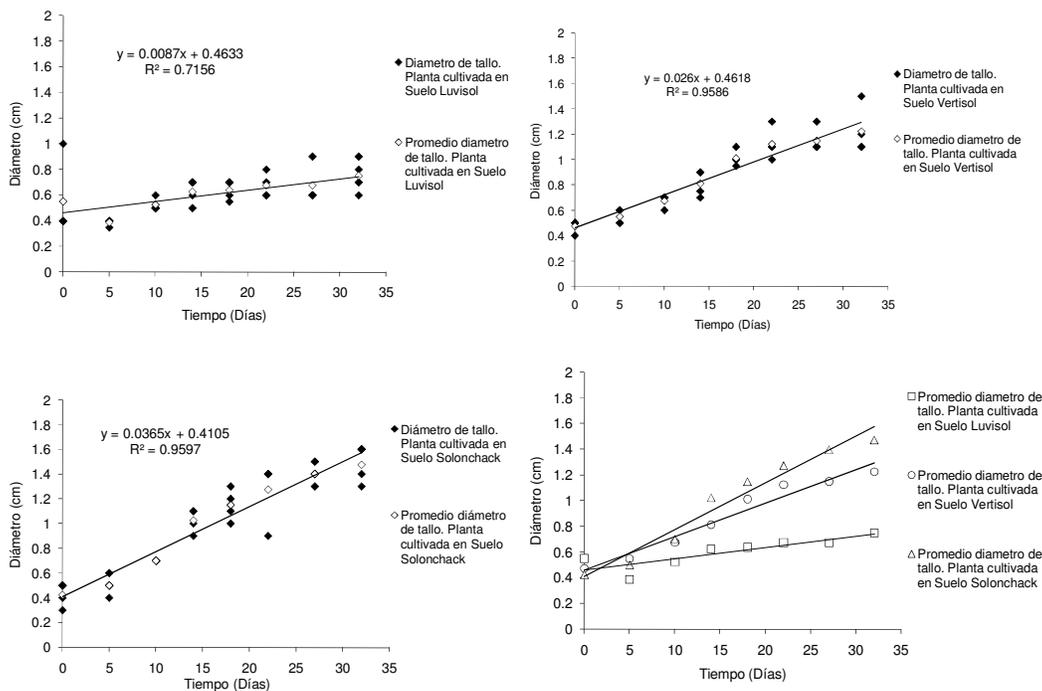


Figura 4: Cinética de crecimiento del diámetro de tallos de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios del diámetro de tallos en cada suelo.

### 3.2.3. Numero de hojas.

De la figura 5 comparando los resultados obtenidos, se observó que las plantas cultivadas en suelo Luvisol desarrollaron el menor número de hojas del experimento mientras que las cultivadas en Solonchack y Vertisol desarrollaron un numero de hojas similar hasta el día 22, a partir de ahí las plantas en Vertisol presentaron menos hojas que las plantas del Solonchack. Mientras que las plantas cultivadas en suelo Luvisol presentaron un menor número de hojas que las de los suelos Solonchack y Vertisol.

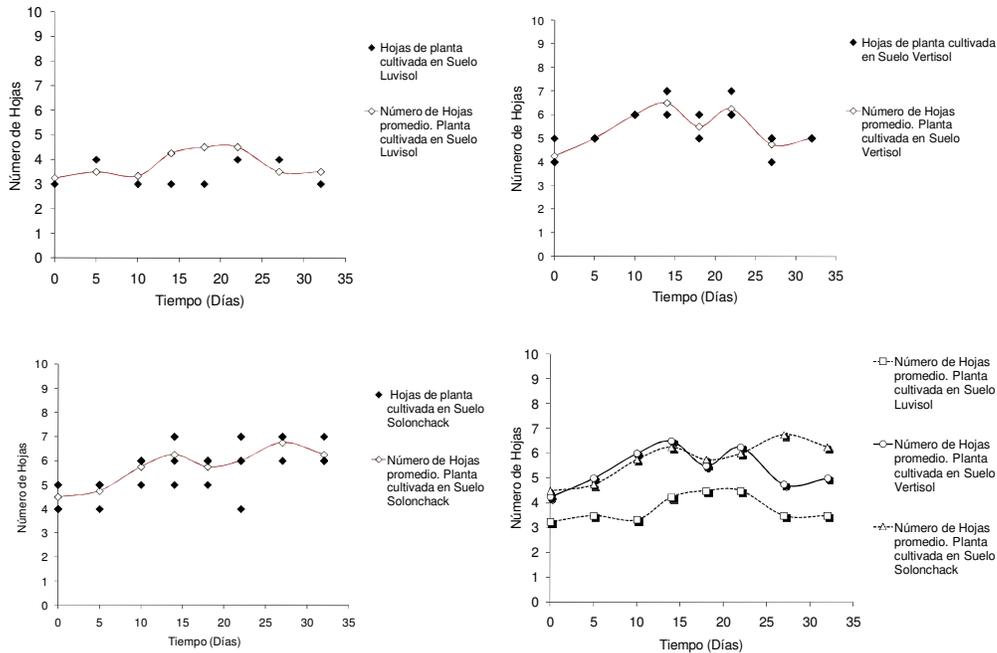
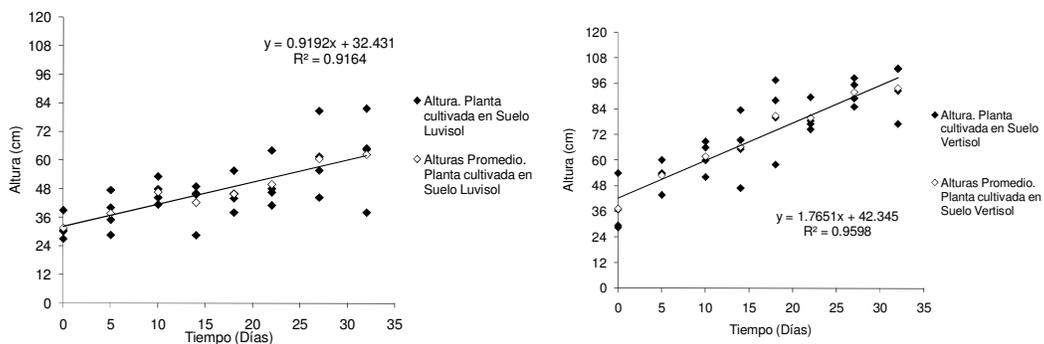


Figura 5: Cinética del numero de hojas de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestras los promedios del número de hojas en cada suelo.

### 3.2.4. Altura de planta.

De las figura 6 comparando los resultados de la altura de plata, se observó una tendencia muy definida y las plantas cultivadas en el suelo Solonchack, fueron más altas que las cultivadas en el suelo Vertisol y Luvisol. Mientras que las de Luvisol fueron las plantas con la menor altura durante el desarrollo del experimento.



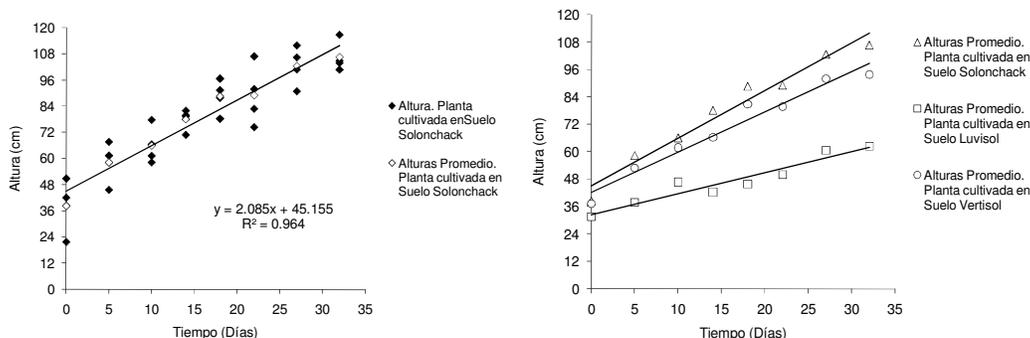


Figura 6: Cinética de crecimiento, altura de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de las alturas en cada suelo.

### 3.2.5. Largo, ancho y área foliar de hojas basales y apicales.

De las figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12 comparando los resultados obtenidos, se observó que las hojas apicales en los suelos Luvisol mostraron los valores más pequeños de largo, ancho y área del experimento, mientras que en las hojas basales se observó una baja en el largo, ancho y área de la hoja a partir del día 10, para después colocarse en los valores más bajos del experimento, mientras que en las hojas apicales de los suelos Vertisol y Solonchack mostraron valores similares de largo, ancho y área, sin embargo en las hojas basales la tendencia fue diferente y el largo, ancho y área fueron mayores en el suelo Solonchack.

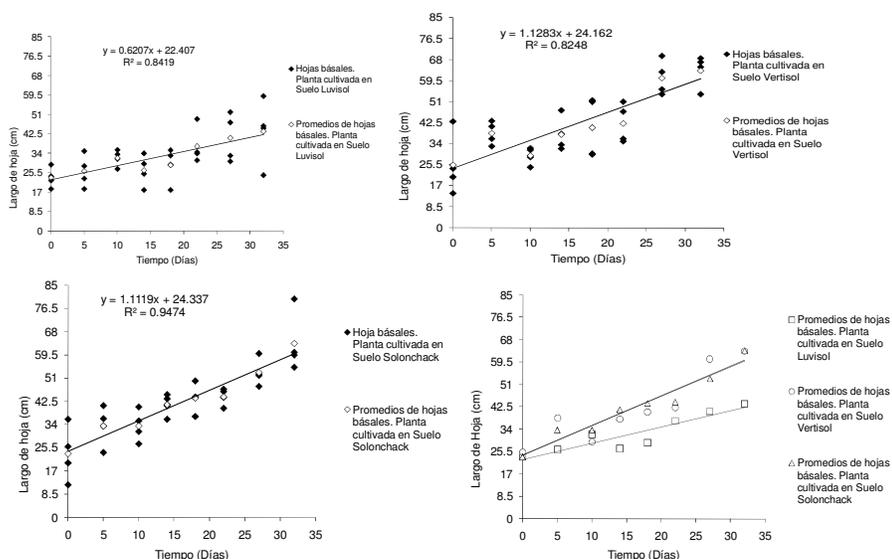


Figura 7: Cinética del largo de hoja basal de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios del largo de hojas basales en cada suelo.

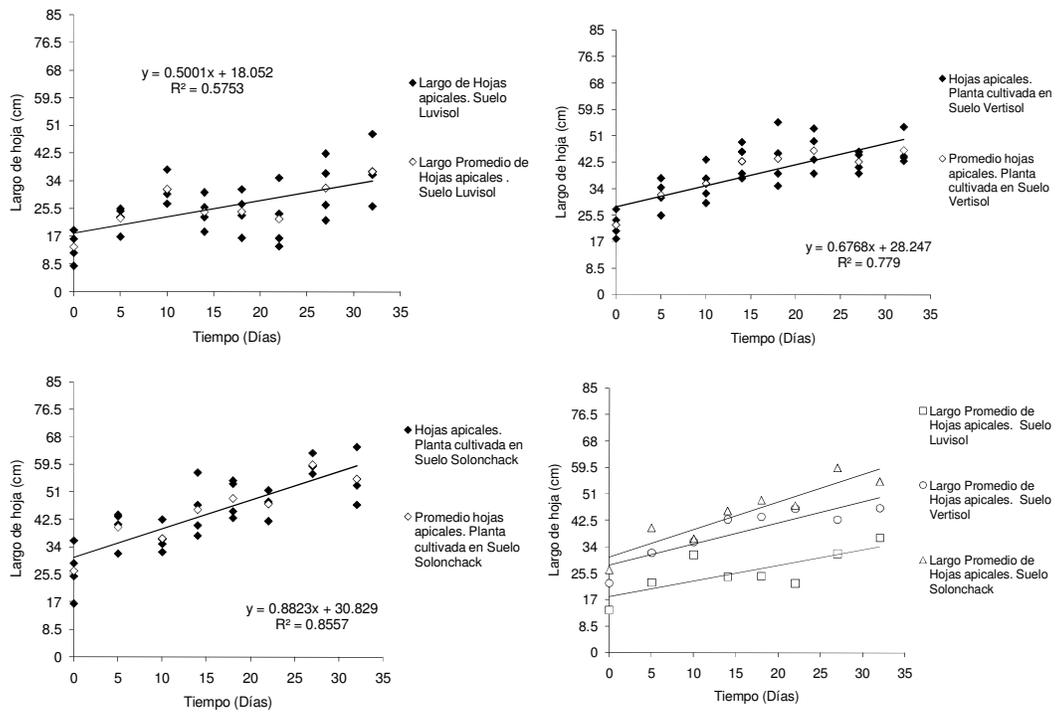


Figura 8: Cinética del largo de hoja apical de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios del largo de hoja apicales en cada suelo.

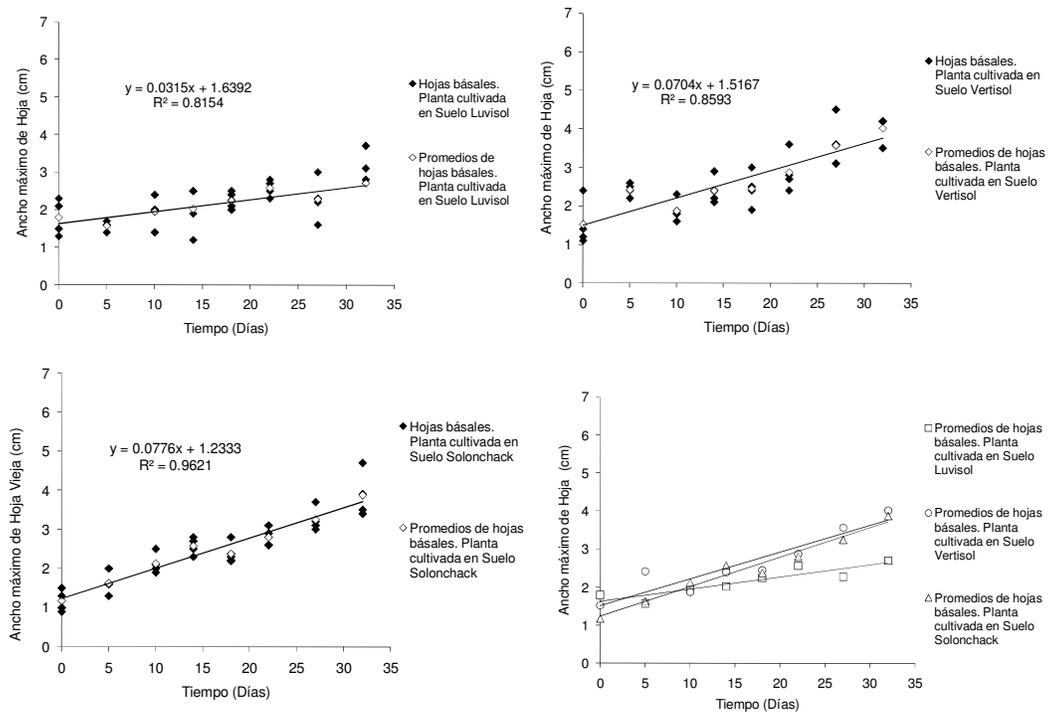


Figura 9: Cinética del ancho de hoja basal de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios del ancho de hojas basales en cada suelo.

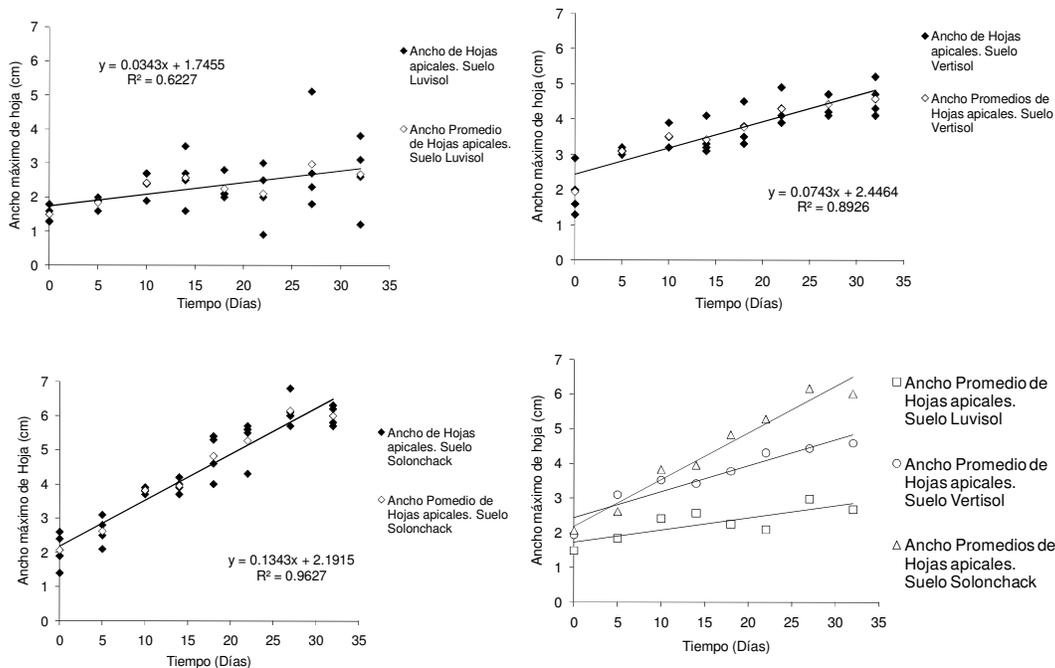


Figura 10: Cinética del ancho de hoja apical de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios del ancho de hojas apicales en cada suelo.

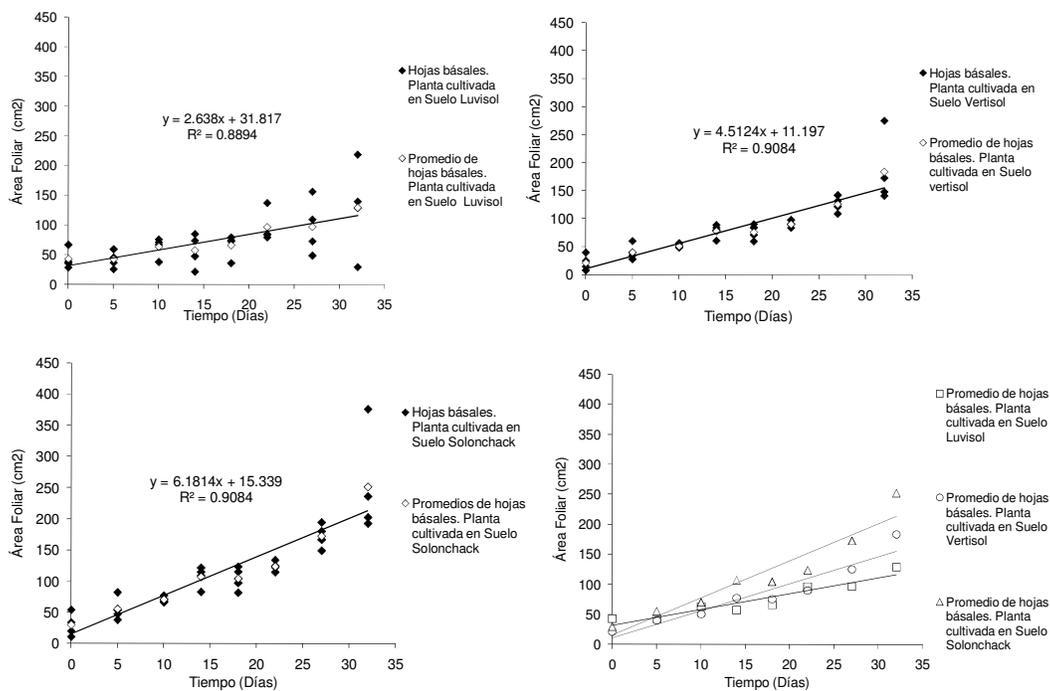


Figura 11: Cinética del área de hoja basal de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios del área de hojas basales en cada suelo.

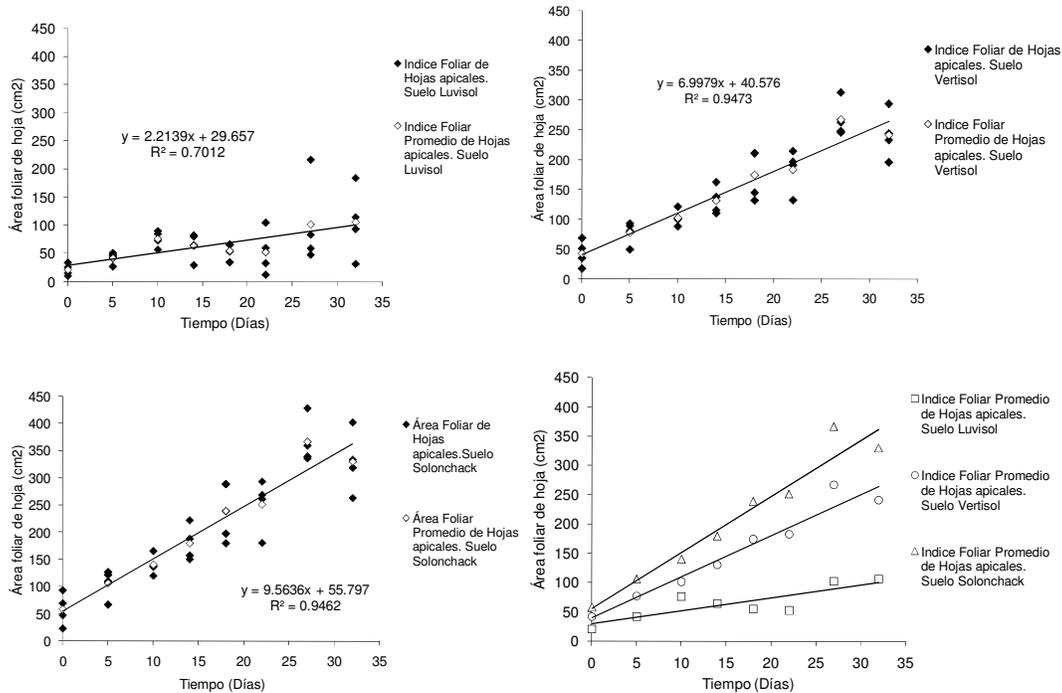


Figura 12: Cinética del área de hoja apical de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios del área de hojas apicales en cada suelo.

De las figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12 se infiere que es muy factible que los parámetros agronómicos de largo, ancho y área foliares, tanto apicales como jóvenes o basales puedan utilizarse como indicadores de un síntoma de un buen estado nutricional en las plantas de Maíz, toda vez que sus cinéticas muestran altos valores de correlación estadística basadas en diferencias nutricionales de comportamientos lineal.

### 3.2.6. Niveles de clorofila en hojas.

#### 3.2.6.1 Clorofila en la punta de hojas basales y apicales.

De la figura 13 y 14 comparando los resultados obtenidos, se observó que los niveles de clorofila en las puntas de hojas basales y apicales son mayores para las plantas del suelo Solonchack, en un rango promedio de 36 a 37 unidades de transmitancia., Mientras que las plantas en suelo Vertisol y Luvisol, mostraron fuertes tendencias a la baja y niveles de clorofila similares entre ellos, que se ubicaron en un rango promedio de 28 a 24 unidades.

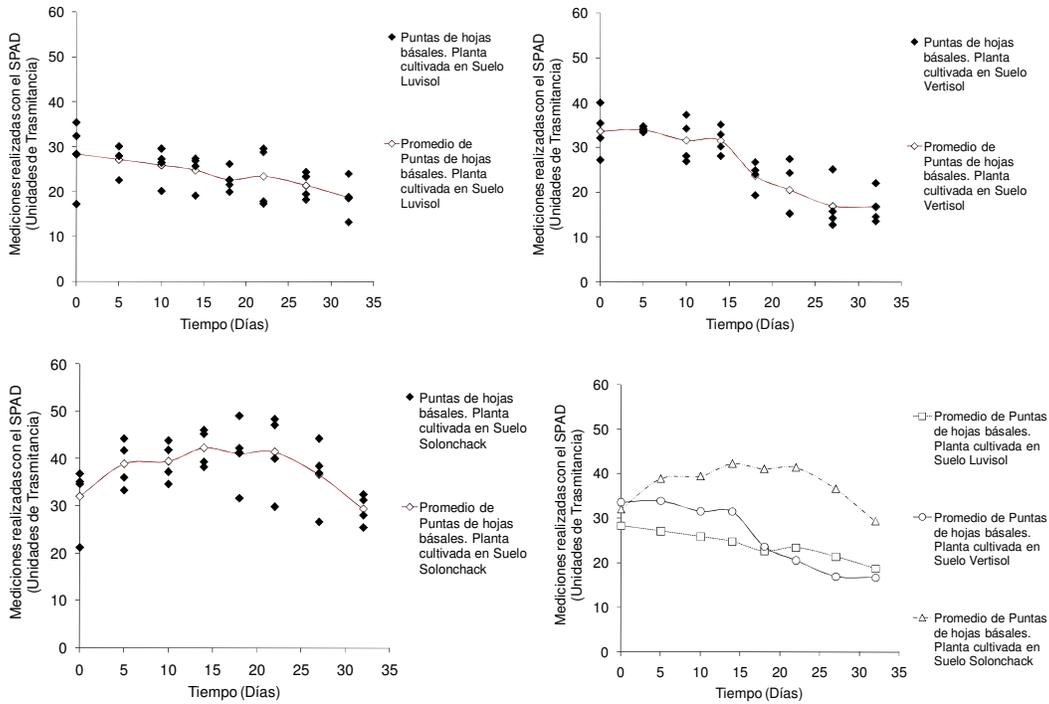


Figura 13: Cinética de los contenidos de clorofila medidos en la punta de la hoja basal de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de clorofila en la punta de hojas basales en cada suelo.

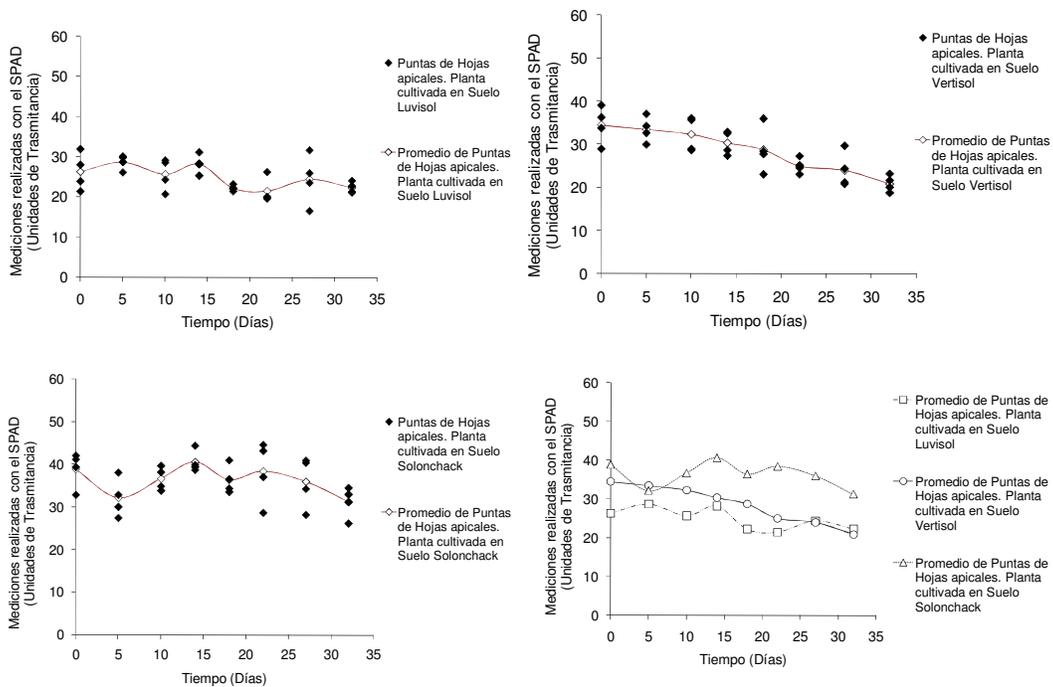


Figura 14: Cinética de los contenidos de clorofila medidos en la punta de la hoja apical de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de clorofila en la punta de hojas apicales en cada suelo.

La diferencia de respuesta en las graficas de las figuras 13 y 14 muestran muy probablemente a que en las puntas de las hojas se refleja el nivel nutricional que se relaciona con la deficiencia de fósforo o de nitrógeno.

### 3.2.6.2 Clorofila en el centro de hojas basales y apicales.

De la figura 15 y 16 comparando los resultados obtenidos, se observó que los niveles de clorofila en el centro de hojas basales y apicales fueron mayores para las plantas del suelo Solonchack, en un rango promedio de 40 a 43 unidades., Mientras que la clorofila en el centro de hojas en Luvisol y Vertisol presentaron marcadas tendencias a disminuir drásticamente y mostrar niveles similares, que se ubicaron en un rango promedio de 29 a 30 unidades de transmitancia. Nuevamente el nivel de clorofila hacia el centro de la hoja por ser de creación anterior a la punta y con mayor madurez como tejido.

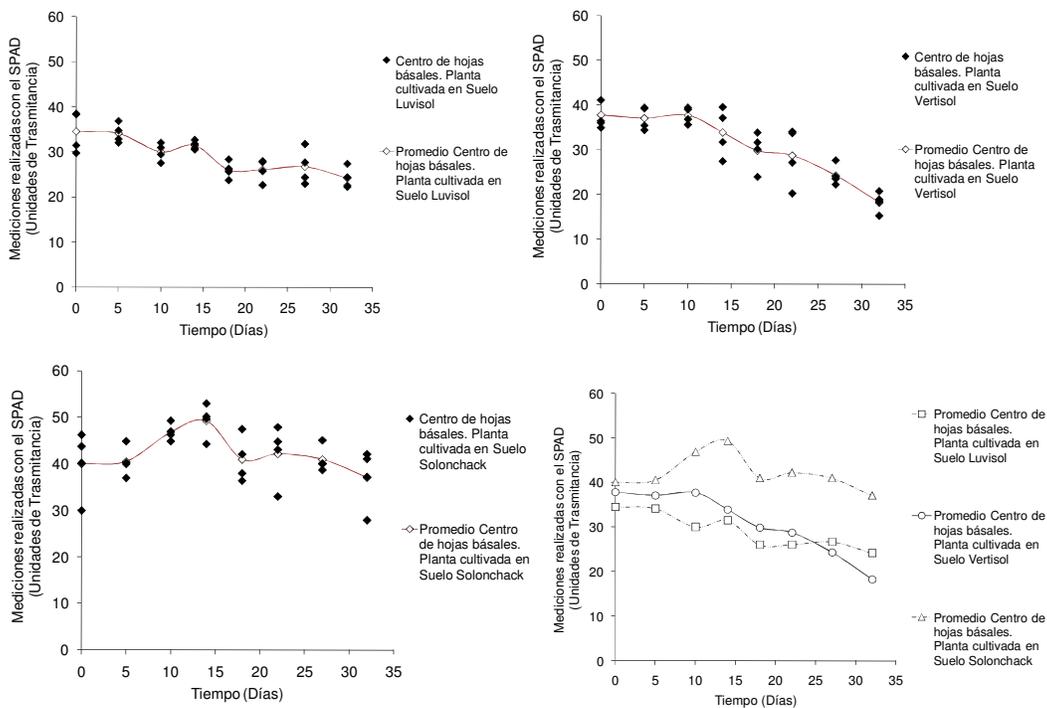


Figura 15: Cinética de los contenidos de clorofila medidos en el centro de la hoja basal de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de clorofila en el centro de hojas basales en cada suelo.

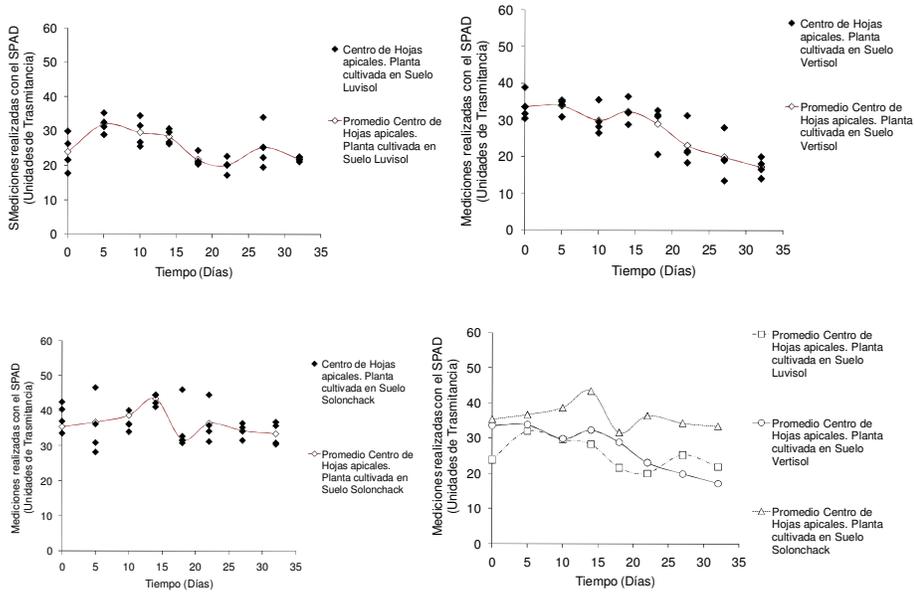


Figura 16: Cinética de los contenidos de clorofila medidos en el centro de la hoja apical de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de clorofila en el centro de hojas apicales en cada suelo.

### 3.2.6.3 Clorofila en la base de hojas basales y apicales.

De la figura 17 y 18 comparando los resultados obtenidos, se observó que los niveles de clorofila en la parte baja de las hojas basales y apicales fueron mayores para las plantas del suelo Solonchack, en un rango promedio de unidades de 26 a 27 unidades, mientras que la clorofila en la base de hojas de los suelos Luvisol y Vertisol se encontraron marcadas tendencias a disminuir drásticamente con el tiempo y mostrar niveles similares, ubicándose en un rango promedio de 17 a 19 unidades de transmitancia.

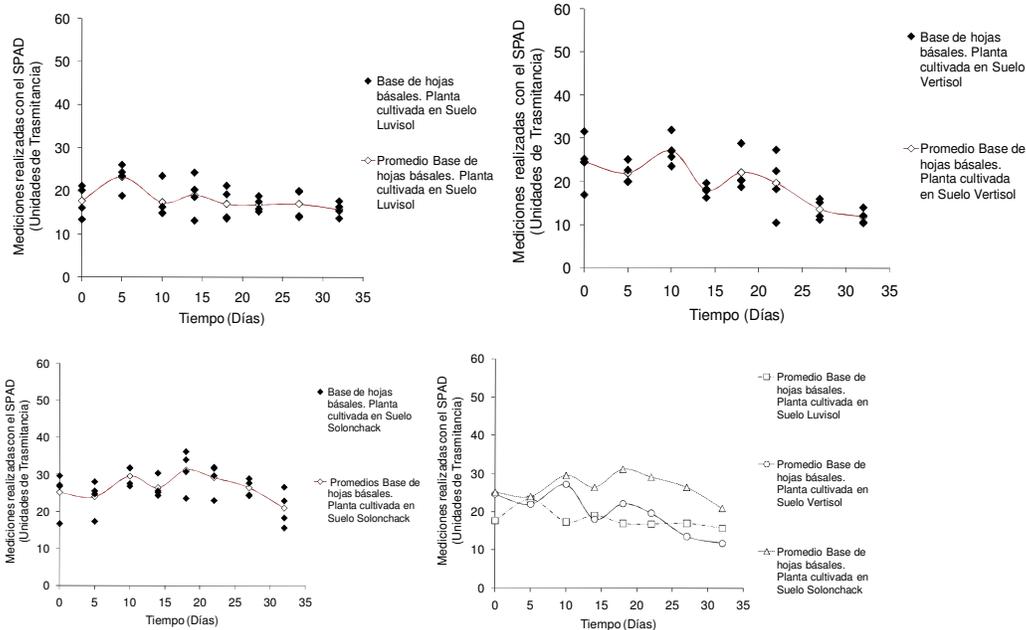


Figura 17: Cinética de los contenidos de clorofila medidos en la base de la hoja basal de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de clorofila en la base de hojas basales en cada suelo.

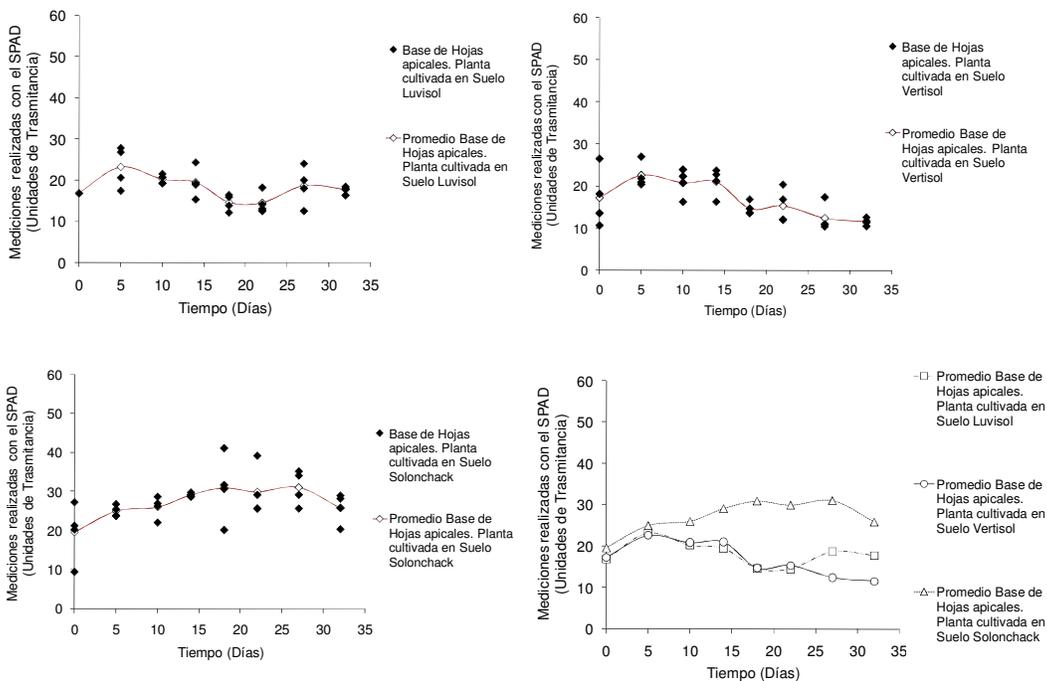


Figura 18: Cinética de los contenidos de clorofila medida en la base de la hoja apical de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los promedios de clorofila en la base de hojas apicales en cada suelo.

En general el comportamiento cinético de los contenidos de clorofila muestra oscilaciones pero se distingue una tendencia a disminuir a lo largo del experimento, se observó en la graficas de las figuras 15,16,17 y 18 que los valores son mayores en plantas cultivadas en el suelo Solonchack, mientras que las plantas crecidas en los suelos Luvisol y Vertisol mostraron valores mucho más bajos, lo cual puede relacionarse con los procesos de envejecimiento de las hojas y con las carencia de niveles apropiados de nutrientes que impida la generación de clorofila y manifestándose como cambios de coloración y con la disminución de la intensidad del color verde.

### 3.3. ESTUDIOS DINÁMICO-CINÉTICOS DE LOS CONTENIDOS DE ANIONES EN EXTRACTOS CELULARES.

#### 3.3.1. Cinética de nitratos.

##### 3.3.1.1 Nitratos en tallo.

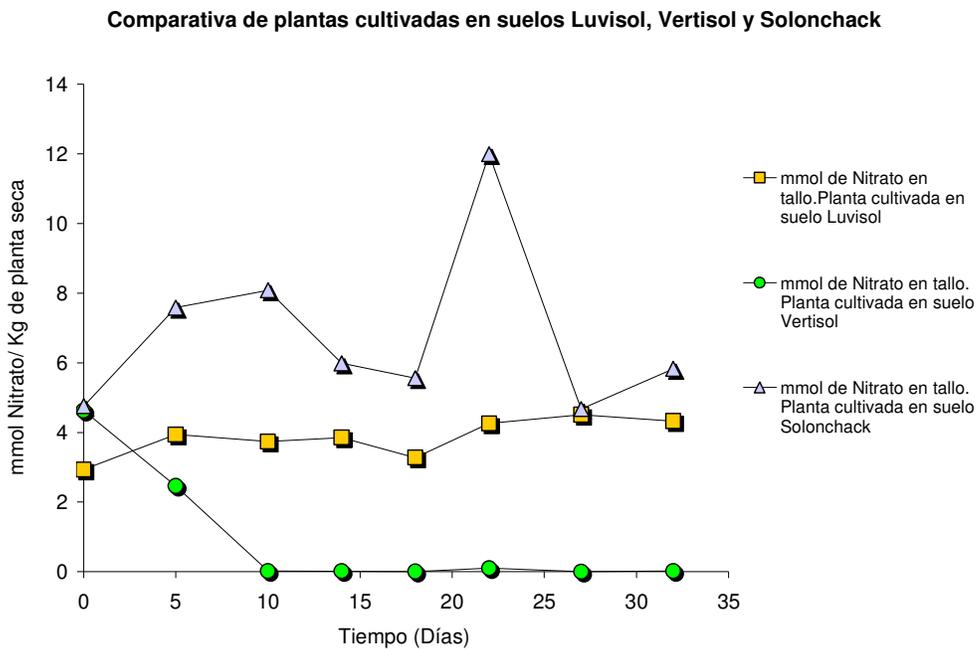


Figura 19: Cinética de nitratos en tallos de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

En la figura 19 la gráfica muestra que los tallos de plantas cultivadas en suelo Solonchack presentaron en promedio niveles de nitratos de 6.8 mmol/kg-planta y mayores que las de los suelos Luvisol de 3.85 mmol/kg-planta y los del suelo Vertisol de 0.97 mmol/kg-planta. Nótese la tendencia a mantenerse niveles muy bajos de nitratos en transporte en el Vertisol posterior al día 10, mostrando que el crecimiento de la planta requiere de la adición de fertilizantes nitrogenados. Asimismo, en el suelo

Luvisol con bajos niveles de fosfatos nativos, los niveles acumulados de nitratos transportados, no transformados y seguramente guardados en vacuola se mantienen en niveles intermedios, esto en estricta correlación con los parámetros agronómicos presentados antes. En el caso del Solonchack los niveles de nitrato son los más elevados, producto de su mayor cantidad de iones disueltos según su valor de conductividad eléctrica.

3.3.1.2 Nitratos en hojas basales.

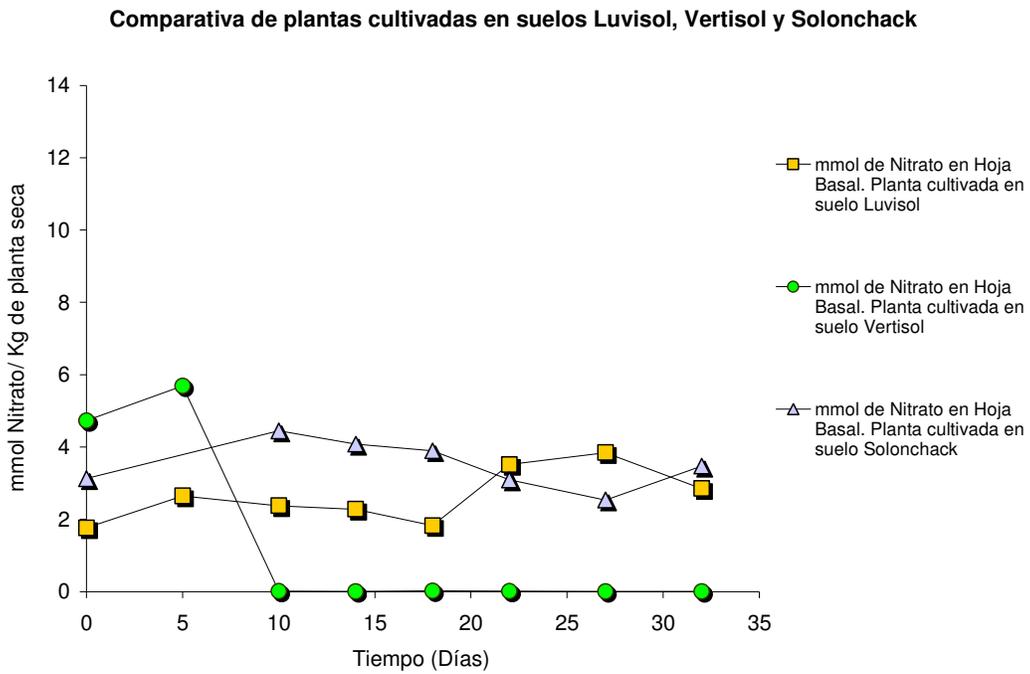


Figura 20: Cinética de nitratos en hojas basales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

En la figura 20 se observó que las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack presentaron en promedio niveles de nitrato de 3.52 mmol/kg-planta, las de suelo Luvisol de 2.63 mmol/kg-planta y las de suelo Vertisol de 1.3 mmol/kg-planta. Note la caída de los niveles de nitrato con respecto a las hojas medias y las apicales.

### 3.3.1.3 Nitratos en hojas intermedias.

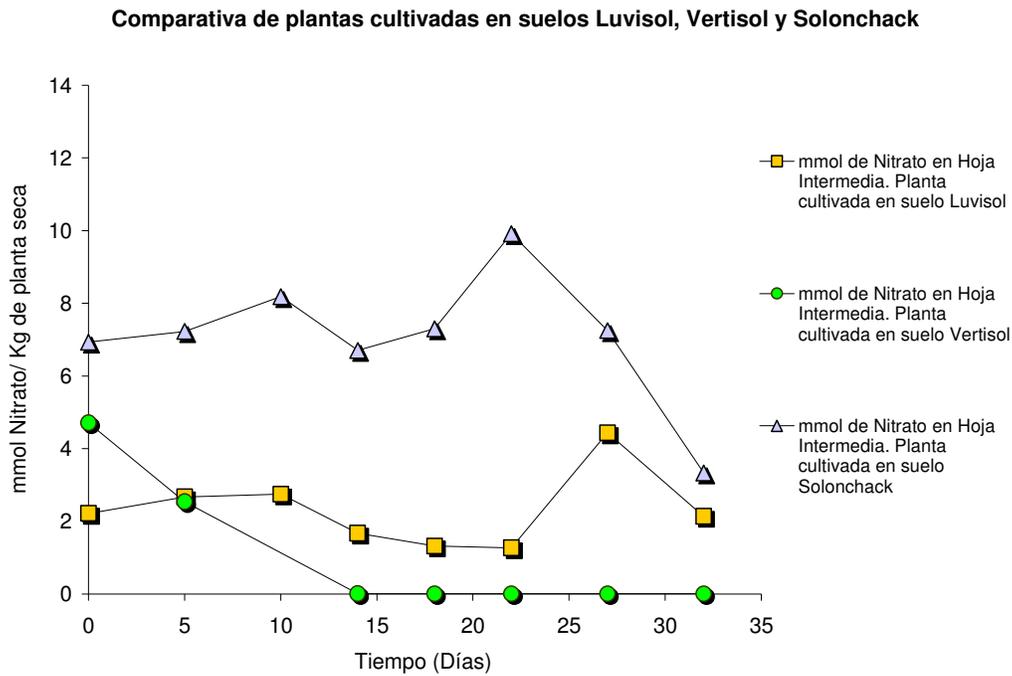


Figura 21: Cinética de nitratos en hojas medias de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

En la figura 21 se observó que las hojas medias de plantas cultivadas en suelo Solonchack presentaron en promedio niveles de nitrato de 7.1 mmol/kg-planta, a las de suelo Luvisol de 2.3 mmol/kg-planta y a las de suelo Vertisol de 1.0 mmol/kg-planta. Mientras que la separación es aun mayor, el suelo Solonchack mantiene mayores niveles de nutrición con nitratos. Obsérvese los niveles insuficientes de nitratos en el suelo Vertisol.

### 3.3.1.4 Nitratos en hojas apicales.

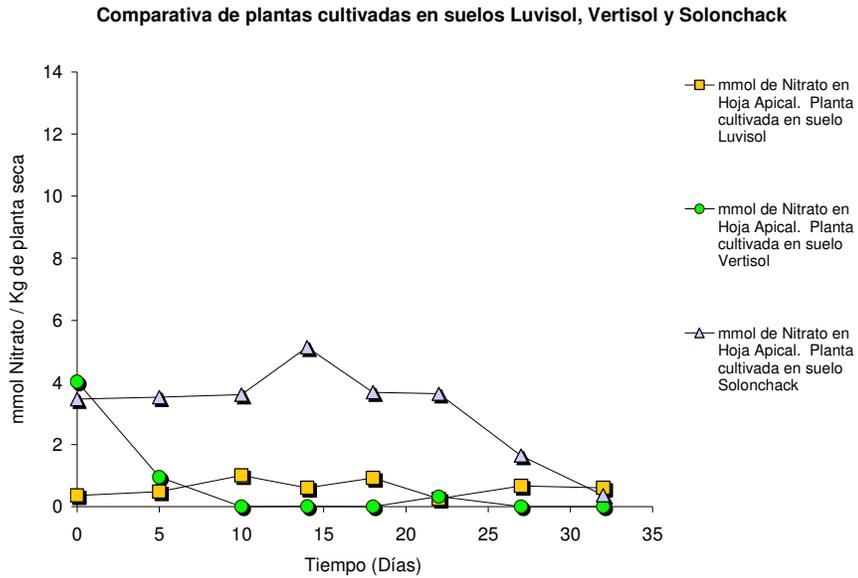


Figura 22: Cinética de nitratos en hojas apicales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

En la figura 19 se observó que las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack tienen en promedio niveles de nitrato de 3.13 mmol/kg-planta, mientras que las de suelo Luvisol y Vertisol les corresponden valores similares de 0.6 mmol/kg-planta. Mientras que los niveles de nitrato en estas hojas es menor debido a ser la ulterior parte de depósito de iones nitratos.

### 3.3.1.5. Dinámica de nitratos.

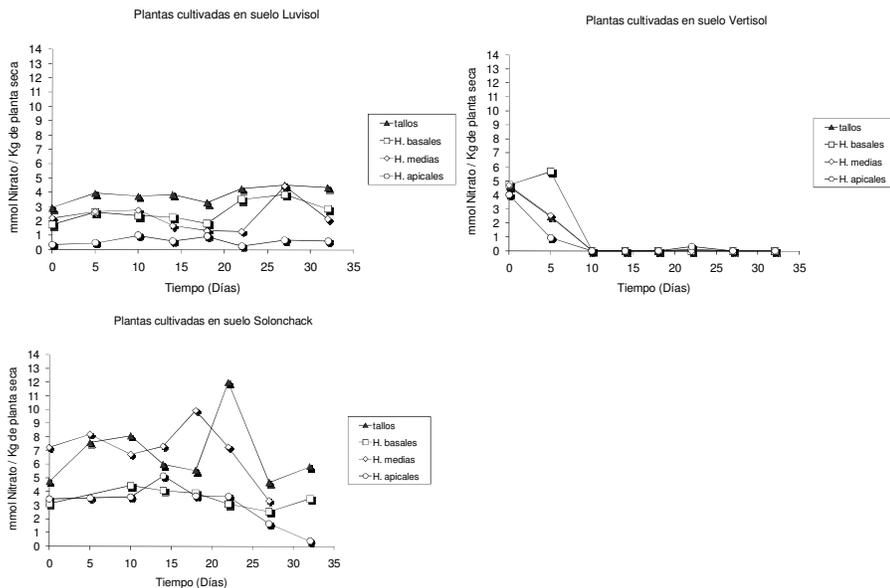


Figura 23: Cinética de nitratos en tallos, hojas apicales, hojas medias y hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, Vertisol y Solonchack.

En la figura 23 se observó que los contenidos de nitrato en tallos y hojas cultivadas en suelo Vertisol disminuyeron de forma drástica para el día 10, alcanzando valores cercanos a cero, los cuales se mantuvieron así hasta el fin del experimento. Las plantas cultivadas en suelo Luvisol mostraron más nitratos en tallos que en hojas, mientras que en el suelo Solonchack, los contenidos de nitratos en tallo fueron muy parecidos a los de hojas intermedias y ambos son mayores que las hojas basal y apical.

Los contenidos de nitrato reflejaron una de dos situaciones; deficiencia de nitratos en el suelo ó procesos relacionados con la acumulación de nutrientes. La acumulación puede ser ocasionada por factores como el exceso iones inorgánicos nitrogenados en el suelo o bien debido a que los organismos vegetales no poseen la capacidad para reducir nitrógeno hasta aminoácidos, por ejemplo por la ausencia de fosfatos, que provocaría una baja en la tasas de crecimiento y disminución de la respiración en las plantas. En nuestros casos la primera hipótesis parece ser la que se aplica al suelos Solonchack, mientras que la segunda parece ser más el caso del Vertisol y del Luvisol, ya que en el primero mientras que los fosfatos se encuentran en niveles altos (ver figuras 27-30), los niveles en el Luvisol son muy bajos.

### 3.3.2. Cinética de fosfatos.

#### 3.3.2.1 Fosfatos en tallo.

Los tallos de plantas cultivadas en suelo Vertisol tienen en promedio niveles de fosfato de 1.64 mmol/kg-planta, las de suelo Solonchack presentaron 0.55 mmol/kg-planta y las de suelo Luvisol solo 0.15 mmol/kg-planta.

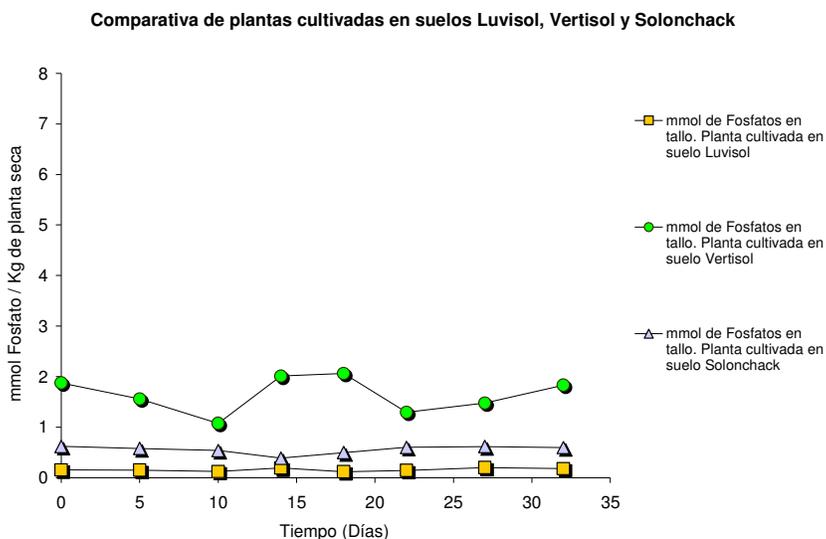


Figura 24: Cinética de fosfatos en tallos de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

En la figura 24 muestra que el nivel de fosfatos siendo transportados en los tallos se mantiene dentro de ciertos estándares relativamente constante, teniendo mayor demanda en el suelo Vertisol, donde por cierto los niveles de nitrato están muy disminuidos debido a la síntesis de aminoácidos.

### 3.3.2.2 Fosfatos en hojas basales.

En la figura 25 muestra que las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol mostraron en promedio niveles de 2.39 mmol/kg-planta, las de suelo Solonchack 1.56 mmol/kg-planta y las de suelo Luvisol tuvieron 0.43 mmol/kg-planta.

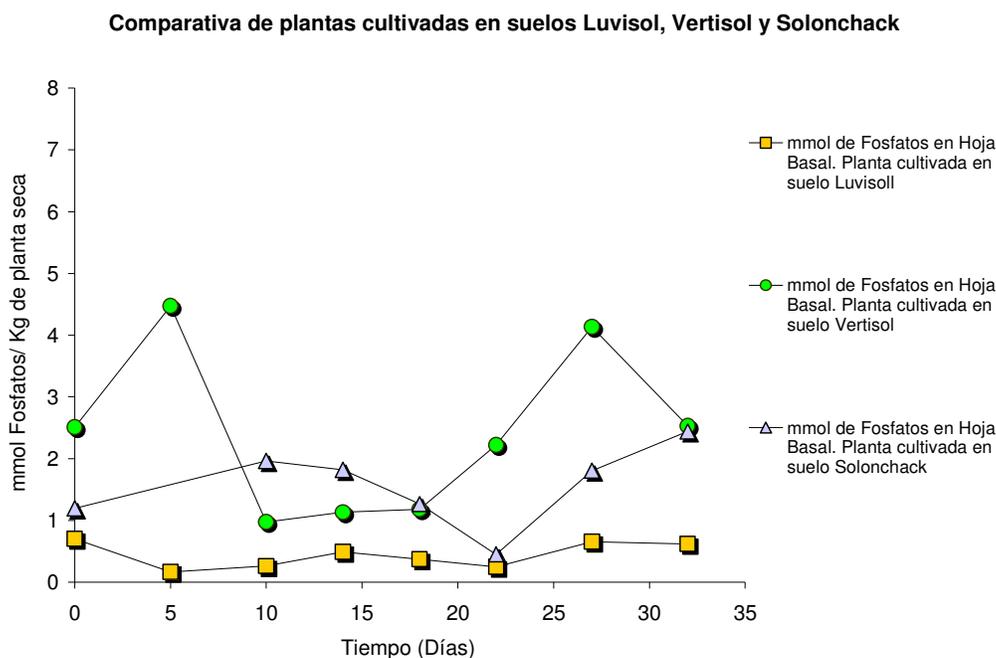


Figura 25: Cinética de fosfatos en hojas basales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

El nivel de fosfatos en estas hojas muestra similitudes con respecto a lo transportado en los tallos y manteniendo estos iones dentro de ciertos estándares relativamente constantes y teniendo mayor demanda en el suelo Vertisol, donde por cierto los niveles de nitrato están muy disminuidos debido a la síntesis de aminoácidos.

### 3.3.2.3 Fosfatos en hojas intermedias.

En la figura 26 muestra que las hojas medias de plantas cultivadas en suelo Vertisol tuvieron en promedio niveles de fosfato de 3.95 mmol/kg-planta, a las de suelo Solonchack le corresponden 1.87 mmol/kg-planta y las de suelo Luvisol tuvieron 0.44 mmol/kg-planta.

### Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

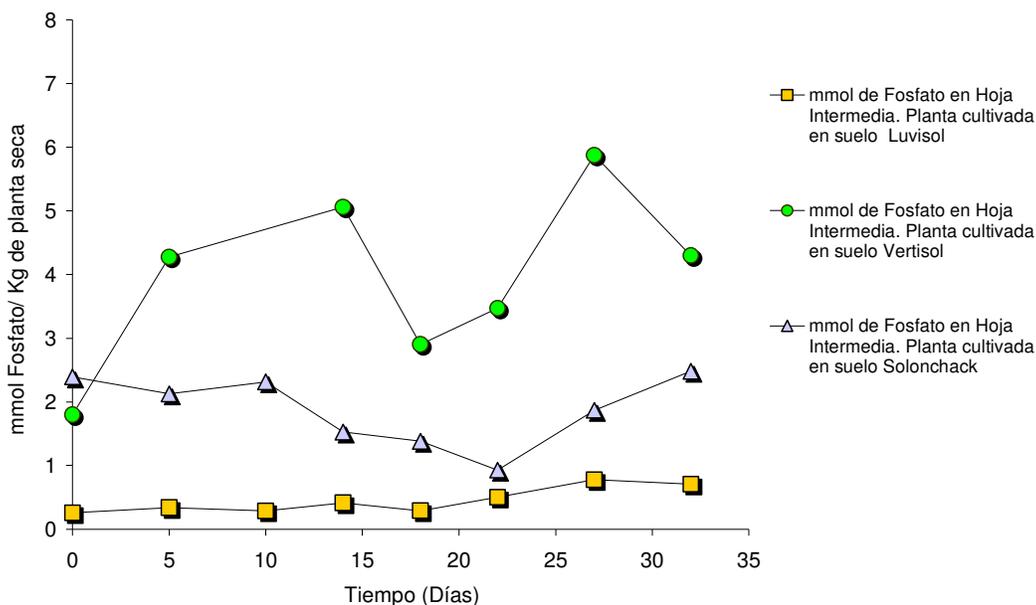


Figura 26: Cinética de fosfatos en hojas medias de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

El nivel de fosfatos en estas hojas medias muestra similitudes con respecto a lo transportado en los tallos y hojas basales. Los iones se mantienen dentro de ciertos estándares relativamente constantes y teniendo mayor demanda en el suelo Vertisol.

#### 3.3.2.4 Fosfatos en hojas apicales.

En la figura 27 se observó que las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol tuvieron en promedio niveles de fosfato de 4.36 mmol/kg-planta, las de suelo Solonchack tuvieron 1.90 mmol/kg-planta y a las de suelo Luvisol les corresponden 0.53 mmol/kg-planta.

### Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

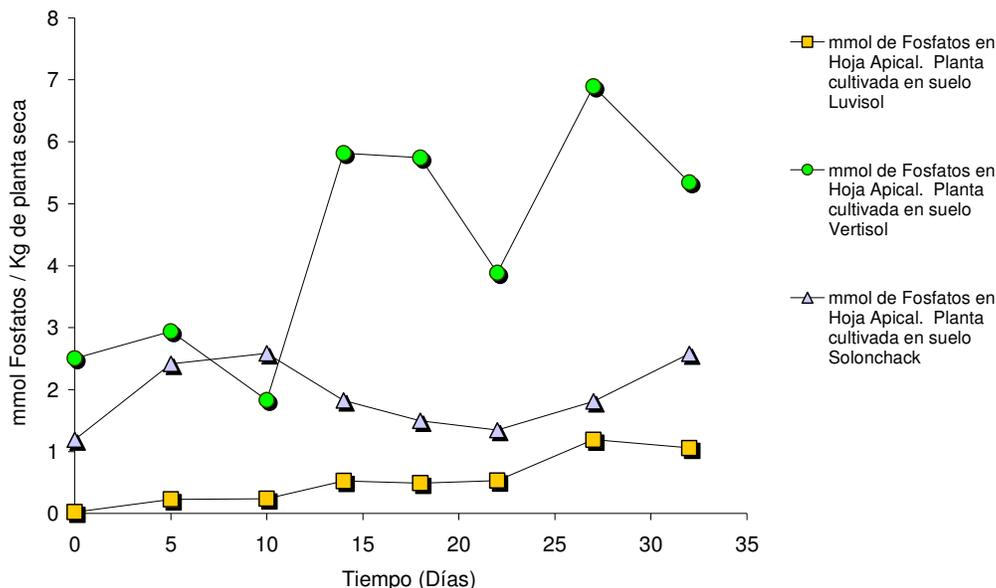
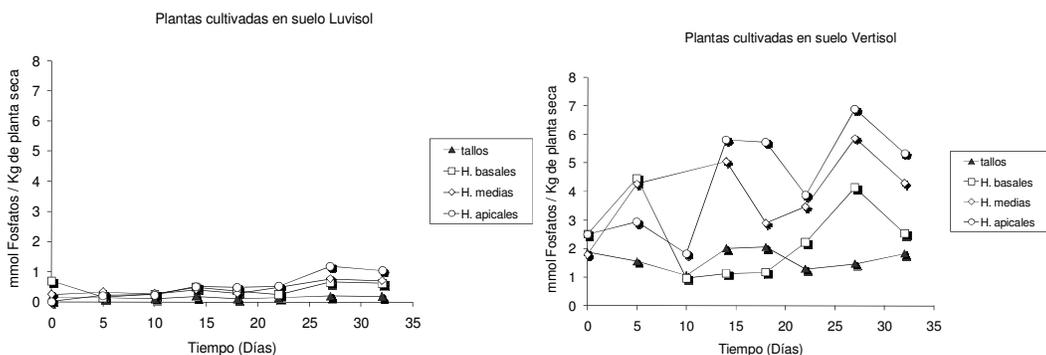


Figura 27: Cinética de fosfatos en hojas apicales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los fosfatos en hojas apicales en cada suelo.

El nivel de fosfatos en estas hojas apicales muestra similitudes con respecto a lo transportado en los tallos y hojas basales y medias. Los iones se mantienen dentro de ciertos estándares relativamente constantes y con incrementos discretos y teniendo mayor demanda en el suelo Vertisol.

#### 3.3.2.5 Dinámica de fosfatos.

En la figura 28 se observó que los contenidos de fosfatos en tallos y hojas cultivadas en suelo Luvisol mostraron valores muy cercanos a cero durante el desarrollo del experimento, las plantas cultivadas en suelo Solonchack mostraron más fosfatos en hojas que en tallos, mientras que en las de suelo Vertisol, los contenidos de fosfatos en hojas apicales y medias fueron mayores que en las hojas basales y en tallos.



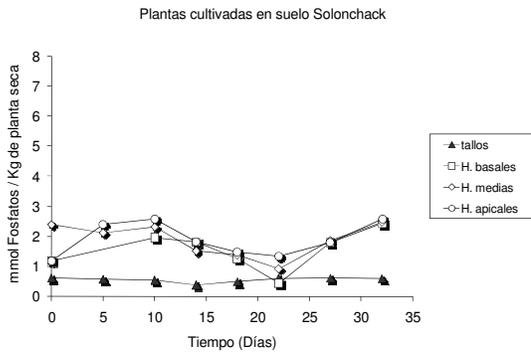


Figura 28: Cinética de fosfatos en tallos, hojas apicales, medias y basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, Vertisol y Solonchack.

Las plantas con deficiencias de fosfatos se manifiestan con la aparición de síntomas como aparición de coloración purpura, reducción de niveles de clorofila, crecimiento lento con tallos delgados y raíces poco desarrolladas, esto se debe a que los fosfatos en están íntimamente relacionados con los procesos de generación de energía, en particular con la generación de moléculas de ATP (trifosfato de adenosina), las cuales se encargan de efectuar procesos como la fotosíntesis, la fijación y transformación del nitrógeno, la síntesis de ácidos nucleicos, la respiración y el metabolismo de carbohidratos.

Las plantas cultivadas en suelo Luvisol tuvieron una nutrición deficiente de fósforo, que se observó en los contenidos de los extractos celulares y se apoya en el hecho de que es altamente probable el acceso restringido a dicho nutriente en el suelo, debido a que los suelos Luvisoles contiene gran cantidad de óxidos de hierro, los cuales realizan la fijación de fosfatos, mediante una reacción de adsorción, convirtiéndolos en fosfatos no disponibles para ser asimilados por la planta (Aguirre, 2001).

Las plantas cultivadas en el suelo Solonchack mayores fosfatos que las cultivadas en el Luvisol, pero menos fósforo que las de Vertisol, es posible que esto se relacione con las sales acumuladas en el suelo, las cuales en exceso generan competencia por la absorción de iones como los fosfatos y de esta forma se restringe el abasto de ciertos nutrientes a la planta.

Los niveles de fosfatos cercanos a cero obtenidos en plantas cultivadas en suelo Luvisol están relacionados con la naturaleza química del sustrato, los suelos Luvisol contienen grandes cantidades de óxidos de hierro, los cuales fijan con facilidad el fósforo, mediante una reacción de sustitución y forma compuestos muy poco solubles, no disponibles para poder ser asimilados por organismos vegetales.

Los contenidos de fósforo en planta, son un indicador clave para distinguir entre la asimilación y la acumulación de nutrientes como el nitrato, debido a que los contenidos de fosfatos revelarían la capacidad de las plantas para realizar el metabolismo del nitrógeno, la deficiencias de fosfatos en plantas de suelo Luvisol afecto directamente el metabolismo de los nitratos y provoco que las plantas acumularan nitratos en tallos y hojas, disminuyera sus tasas de crecimiento y adelantara sus procesos reproductivos, realizando una floración temprana.

### 3.3.3. Cinética de cloruros.

#### 3.3.3.1 Cloruros en tallo.

En la figura 29 se observó que los tallos de plantas cultivadas en suelo Solonchack y Luvisol tuvieron en promedio niveles similares de cloruros, alrededor de 6.5 mmol/kg-planta, que son mayores que los de plantas cultivadas en suelo Vertisol los cuales tuvieron en promedio 3.13 mmol/kg-planta.

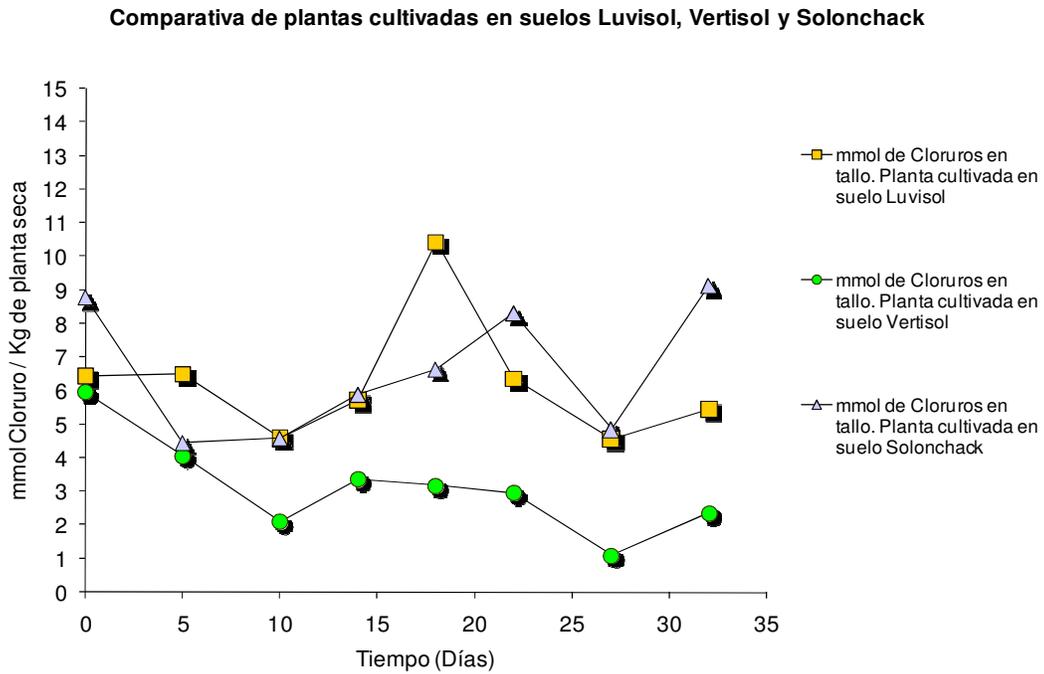


Figura 29: Cinética de cloruros en tallos de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

#### 3.3.3.2 Cloruros en hojas basales.

En la figura 30 se observó que las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack tuvieron en promedio niveles de cloruros de 10.4 mmol/kg-planta, las de suelo Luvisol de 7.49 mmol/kg-planta y las de suelo Vertisol de 4.96 mmol/kg-planta.

Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

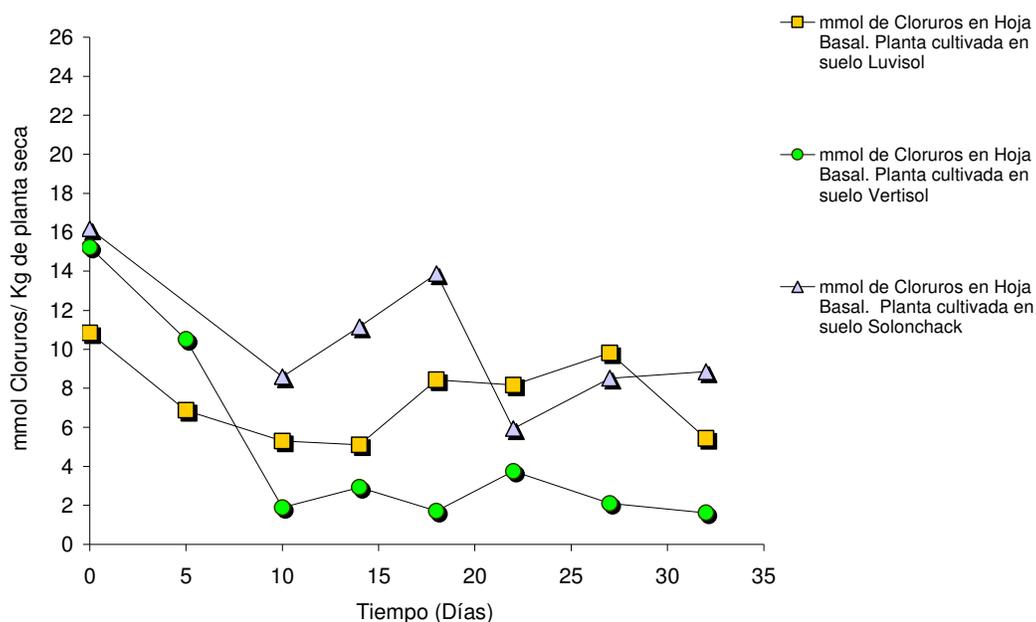


Figura 30: Cinética de cloruros en hojas basales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

### 3.3.3.3 Cloruros en hojas intermedias.

En la figura 31 se observó que las hojas medias de plantas cultivadas en suelo Solonchack tuvieron en promedio niveles de cloruros, alrededor de 11.0 mmol/kg-planta, las de suelo Luvisol de 6.42 mmol/kg-planta y las de suelo Vertisol de 4.51 mmol/kg-planta. Se muestran tendencias al uso menor de este ion mostrándose niveles aparentemente adecuados de suministro por los suelos.

### Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

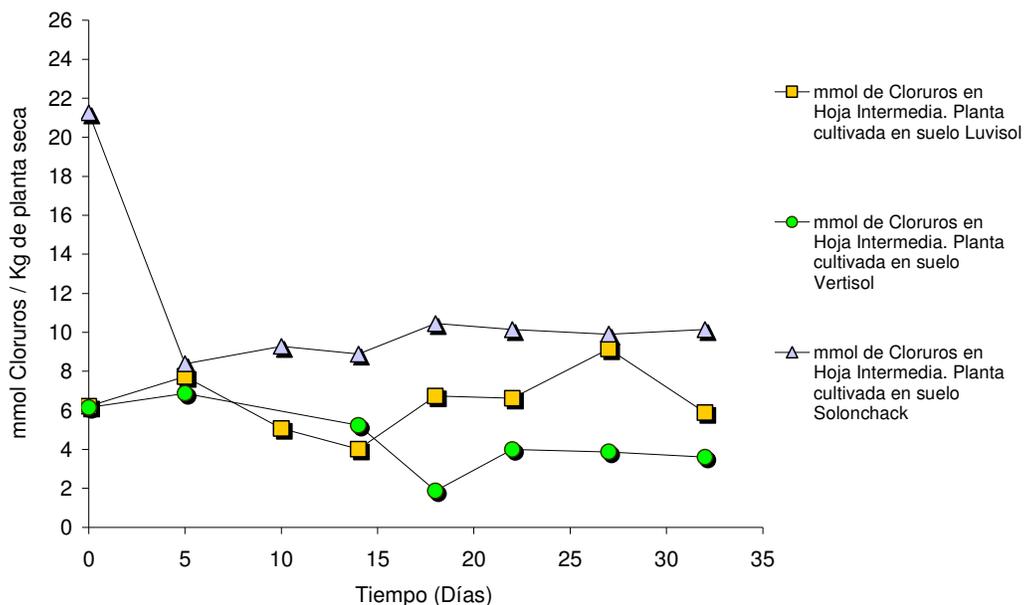


Figura 31: Cinética de cloruros en hojas medias de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

#### 3.3.3.4 Cloruros en hojas apicales.

En la figura 32 se observó que Las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack tuvieron en promedio niveles de cloruros, alrededor de 7.89 mmol/kg-planta, mientras que las plantas cultivadas en suelo Luvisol y Vertisol tuvieron niveles similares entre ellos de 4.9 mmol/kg-planta.

### Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

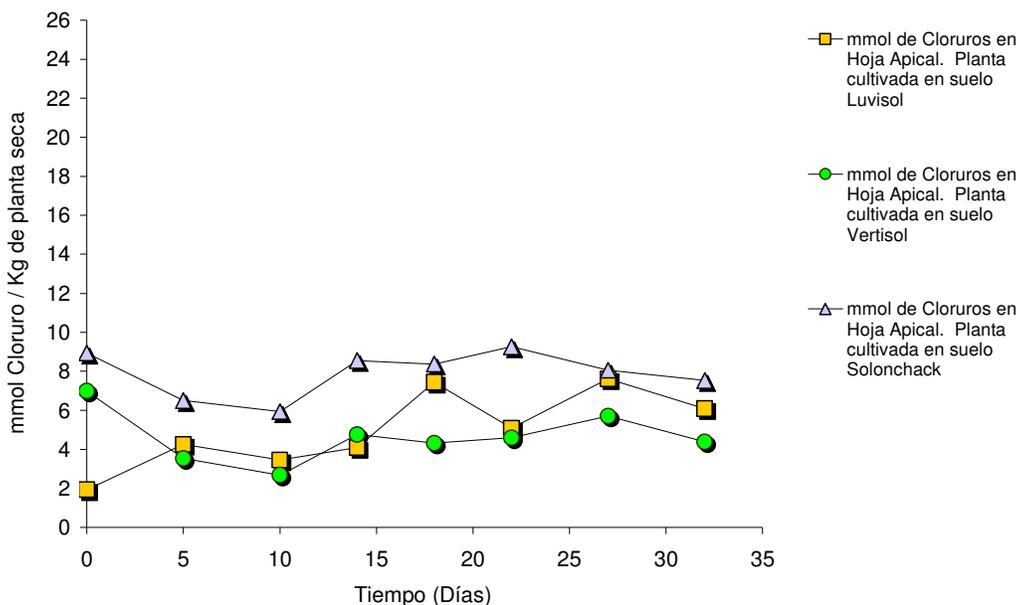
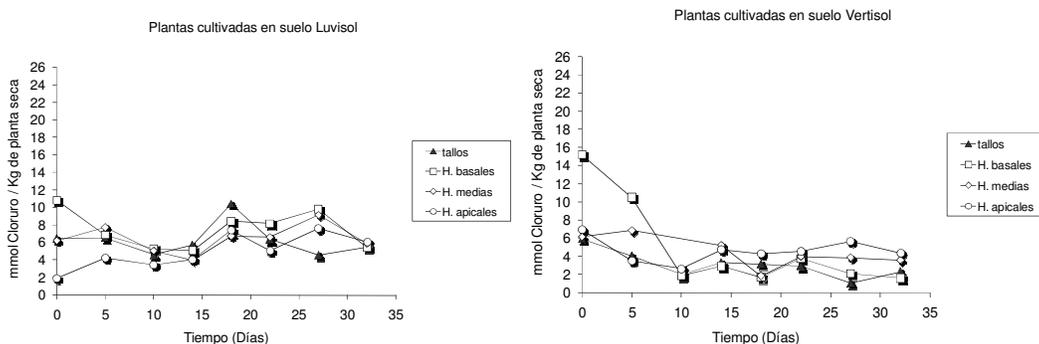


Figura 32: Cinética de cloruros en hojas apicales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

#### 3.3.3.5. Dinámica de cloruros.

En la figura 33 se observó que los contenidos de cloruros en hojas basales y medias son mayores que en tallos y hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, las de suelo Luvisol tuvieron contenidos de cloruros similares en hojas y tallos, mientras que en las de suelo Vertisol, los contenidos de cloruros en hojas basales, medias y apicales son similares entre ellos y son mayores que en tallos. Los contenidos de cloruros en las hojas de las plantas cultivadas en suelo Solonchack han acumulado más cloruros que las plantas cultivadas en los otros suelos y se relaciona directamente con la acumulación de sales medida como salinidad en el suelo.



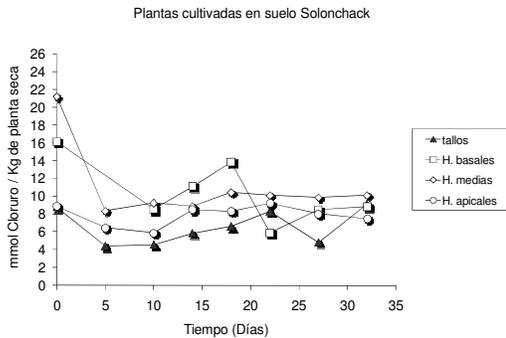


Figura 33: Cinética de cloruros en tallos, hojas apicales, medias y basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, Vertisol y Solonchack.

Los contenidos de cloruros en hojas basales y medias son mayores que en tallos y hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, las de suelo Luvisol tuvieron contenidos de cloruros similares en hojas y tallos, mientras que en las de suelo Vertisol, los contenidos de cloruros en hojas basales, medias y apicales son similares entre ellos y son mayores que en tallos. Los contenidos de cloruros en las hojas de las plantas cultivadas en suelo Solonchack han acumulado más cloruros que las plantas cultivadas en los otros suelos y se relaciona directamente con la acumulación de sales medida como salinidad en el suelo. La función principal de los iones cloruro en las plantas se relaciona con el transporte de los nutrientes, sin embargo su monitoreo brinda indirectamente información sobre los niveles de acumulación de sales en el suelo, es probable que las condiciones de salinidad ligera en el suelo Solonchack y la acumulación de cloruros en hojas probablemente le ocasione problemas a largo plazo influyendo directamente en su desarrollo y reproducción.

### 3.3.4. Cinética de sulfatos.

#### 3.3.4.1 Sulfatos en tallo.

En la figura 34 se observó que los tallos de plantas cultivadas en suelo Vertisol y Solonchack tuvieron en promedio niveles de sulfato de 0.10 mmol/kg-planta, mientras que las plantas cultivadas en de suelo Luvisol mostraron un contenido ligeramente menor, alrededor de 0.08 mmol /kg-planta.

### Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

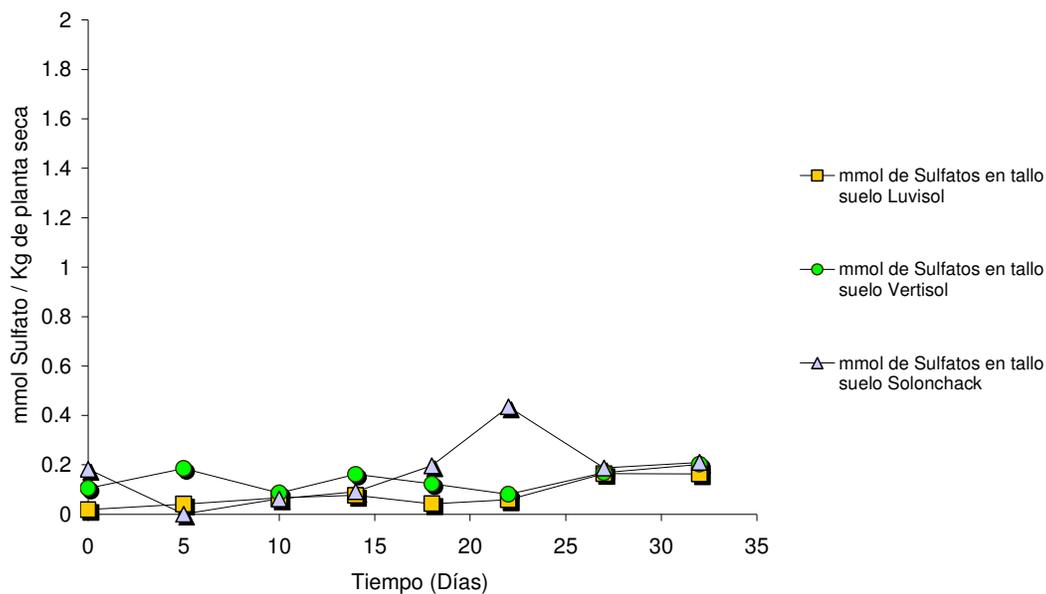


Figura 34: Cinética de sulfatos en tallos de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

#### 3.3.4.2 Sulfatos en hojas basales.

En la figura 35 se observó que las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack tuvieron en promedio niveles de sulfato de 0.61 mmol/kg-planta, las de suelo Vertisol de 0.28 mmol/kg-planta y las de suelo Luvisol de 0.06 mmol/kg-planta.

### Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

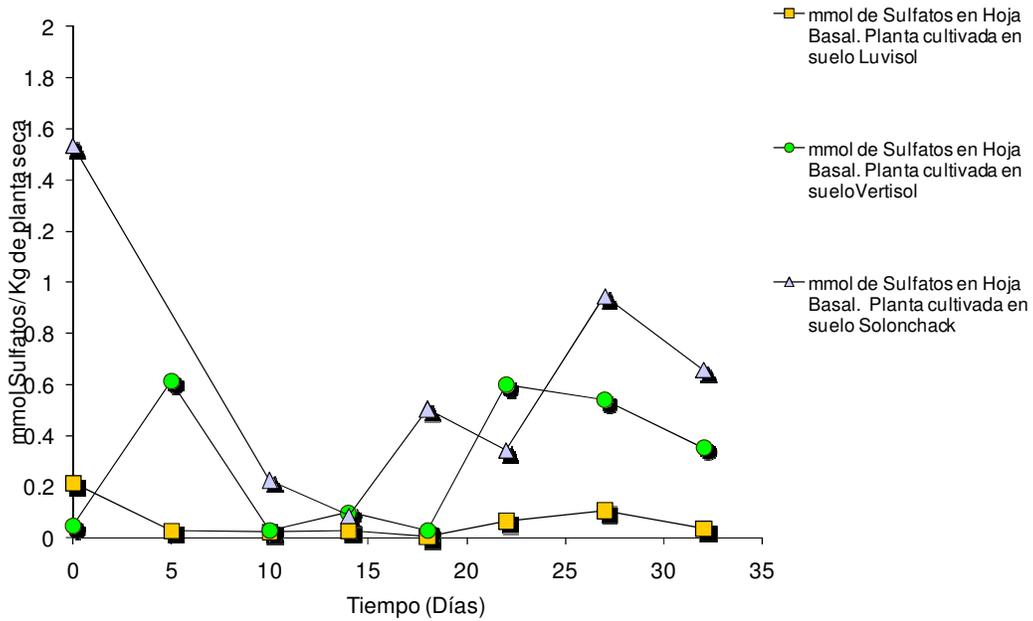


Figura 35: Cinética de sulfatos en hojas basales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

#### 3.3.4.3 Sulfatos en hojas intermedias.

En la figura 36 se observó que las hojas medias de plantas cultivadas en suelo Vertisol y Solonchack tuvieron en promedio niveles sulfato de 0.52 mmol/kg-planta y las de suelo Luvisol mostraron niveles de 0.05 mmol/kg-planta.

### Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

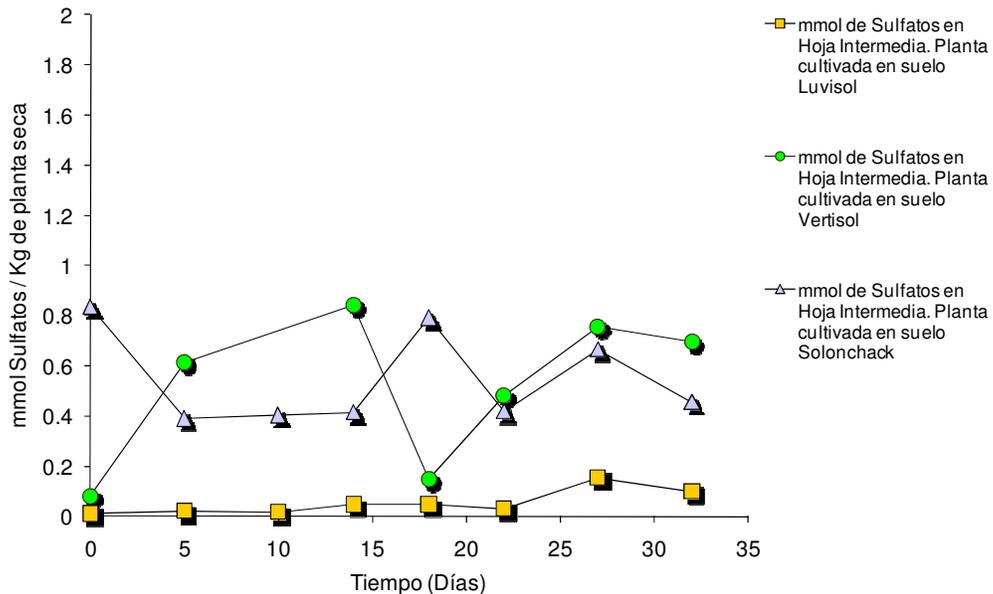


Figura 36: Cinética de sulfatos en hojas medias de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

#### 3.3.4.4 Sulfatos en hojas apicales.

En la figura 37 se observó que las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol tuvieron en promedio niveles de sulfato de 0.68 mmol/kg-planta, las de suelo Solonchack de 0.3 mmol/kg-planta y las de suelo Luvisol de 0.15 mmol/kg-planta.

**Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack**

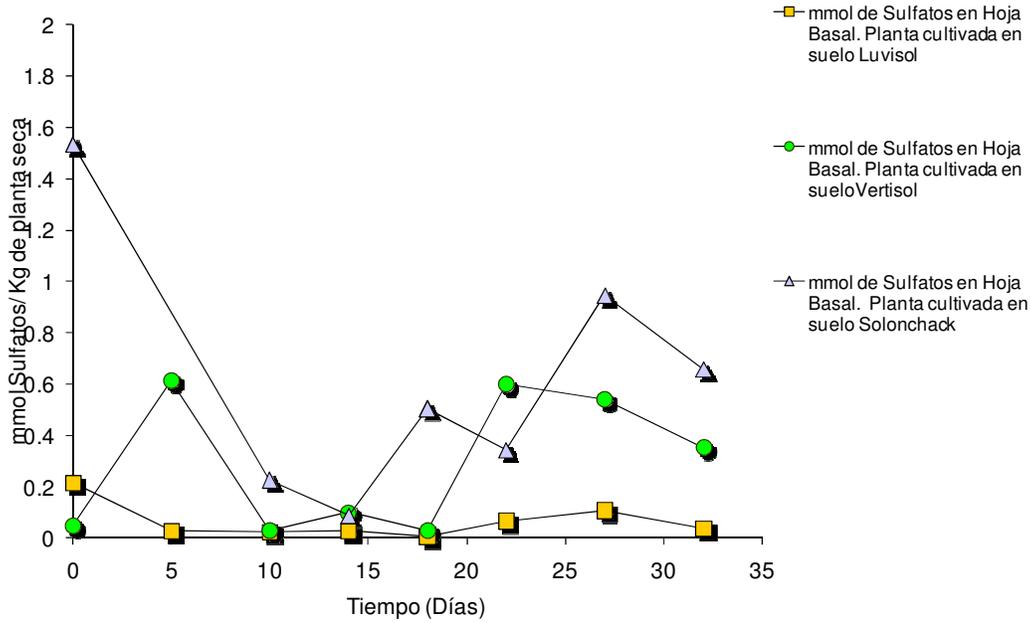
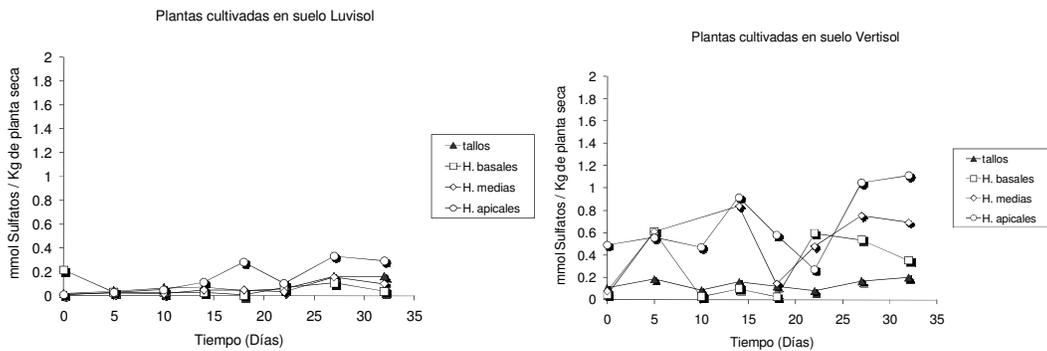


Figura 37: Cinética de sulfatos en hojas apicales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

*3.3.4.5. Dinámica de sulfatos.*

En la figura 38 se observó que los tallos de plantas cultivadas en suelo Solonchack y Vertisol, tuvieron niveles mayores de sulfatos que sus hojas basales, medias y apicales, mientras que las de suelo Luvisol mostraron niveles mayores de sulfato en tallo que en sus hojas.



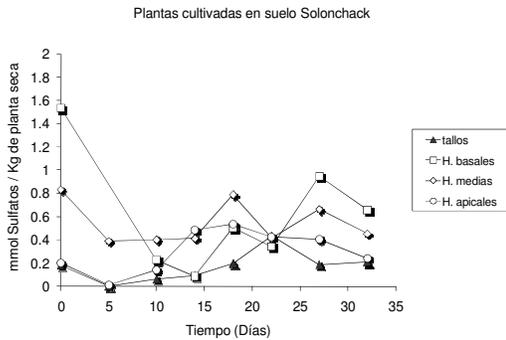


Figura 38: Cinética de sulfatos en tallos, hojas basales, medias y apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, Vertisol y Solonchack.

Las plantas cultivadas en suelo Solonchack y Vertisol experimentaron una de dos situaciones; elevada demanda de azufre o proceso de acumulación de sulfatos.

La alta demanda de azufre se relaciona con una elevada generación de proteínas, debido a que este proceso requiere gran cantidad de sulfatos para integrarlo a su proceso metabólico y generar moléculas como aminoácidos y sulfolípidos

Los niveles moderados de sulfatos en las plantas cultivadas en suelo Solonchack están relacionados con la ligera salinidad del suelo, sin embargo es muy probable que en esta ocasión los sulfatos estén en niveles que no resulten tóxicos para la planta y de forma contraria resulten benéficos para su desarrollo durante los 30 días en los que se realizó el experimento y que se reflejó con un buen crecimiento y generación de biomasa.

### 3.3.5. Cinética de sulfitos.

#### 3.3.5.1 Sulfitos en tallo.

En la figura 39 se observó que los tallos de plantas cultivadas en suelo Vertisol presentaron en promedio niveles de sulfito de 2.27 mmol/kg-planta, las de suelo Luvisol de 1.41 mmol/kg-planta y las de suelo Solonchack de 1.0 mmol/kg-planta.

### Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

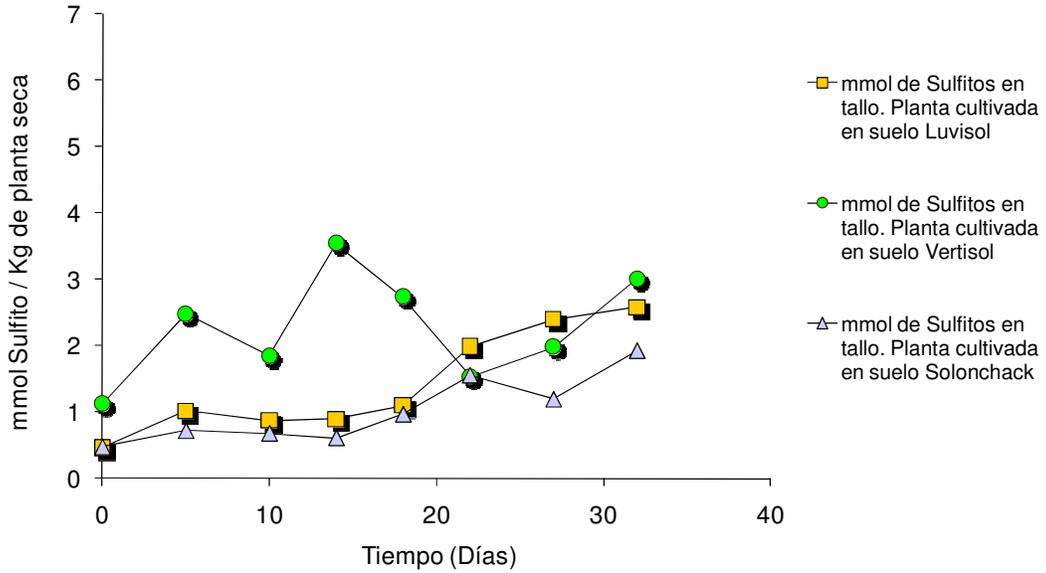


Figura 39: Cinética de sulfitos en tallos de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

#### 3.3.5.2 Sulfitos en hojas basales.

En la figura 40 se observó que las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol tuvieron en promedio niveles de sulfito de 1.47 mmol/kg-planta, las de suelo Luvisol de 1.06 mmol/kg-planta y las de suelo Solonchack de 0.85 mmol sulfito/kg-planta.

### Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack

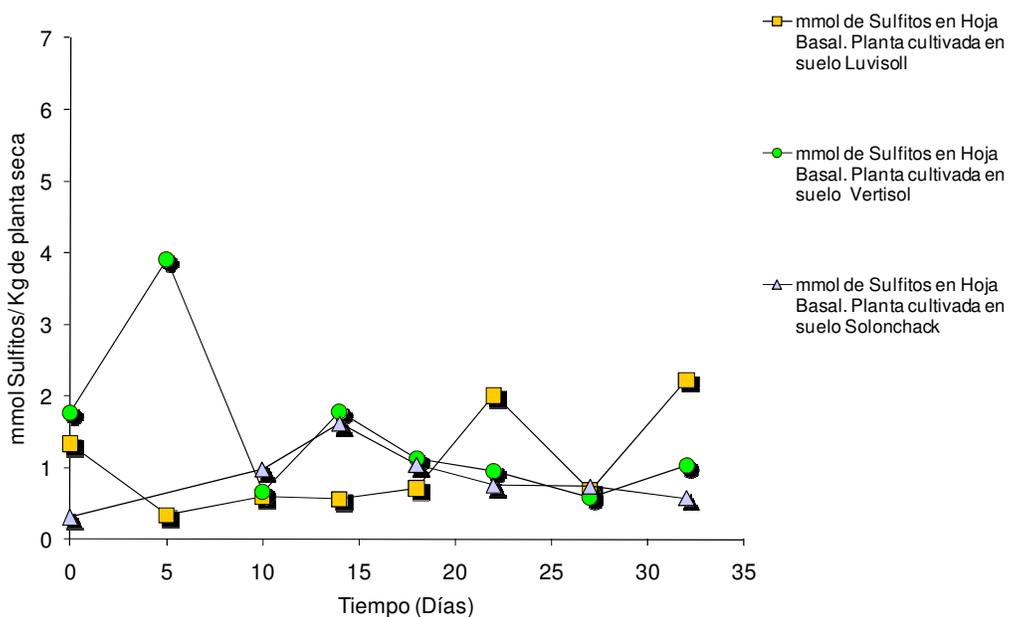


Figura 40: Cinética de sulfitos en hojas basales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack.

#### 3.3.5.3 Sulfitos en hojas intermedias.

En la figura 41 se observó que las hojas medias de plantas cultivadas en suelo Vertisol tuvieron en promedio niveles de sulfito de 1.46 mmol/kg-planta, mientras que las plantas cultivadas en suelo Luvisol y Solonchack mostraron niveles similares entre ellos de 1.01 mmol/kg-planta.

**Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack**

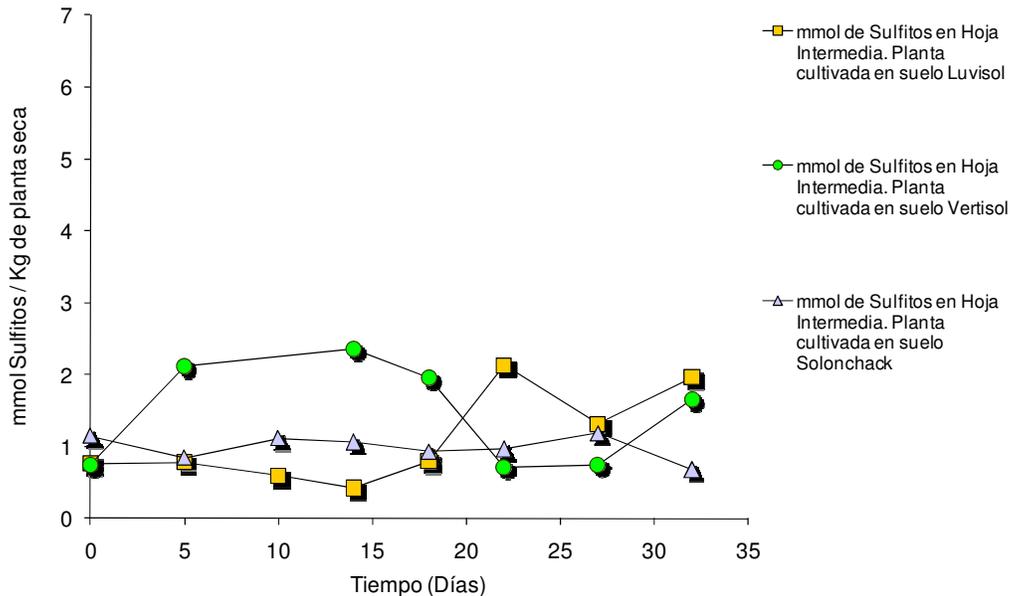


Figura 41: Cinética de sulfitos en hojas medias de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los sulfitos en hojas intermedias en cada suelo.

*3.3.5.4 Sulfitos en hojas apicales.*

En la figura 42 se observó que las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol tuvieron en promedio niveles de sulfito de 0.75 mmol/kg-planta, mientras que las plantas cultivadas en suelo Luvisol y Solonchack mostraron niveles similares entre ellos de 0.58 mmol/kg-planta.

**Comparativa de plantas cultivadas en suelos Luvisol, Vertisol y Solonchack**

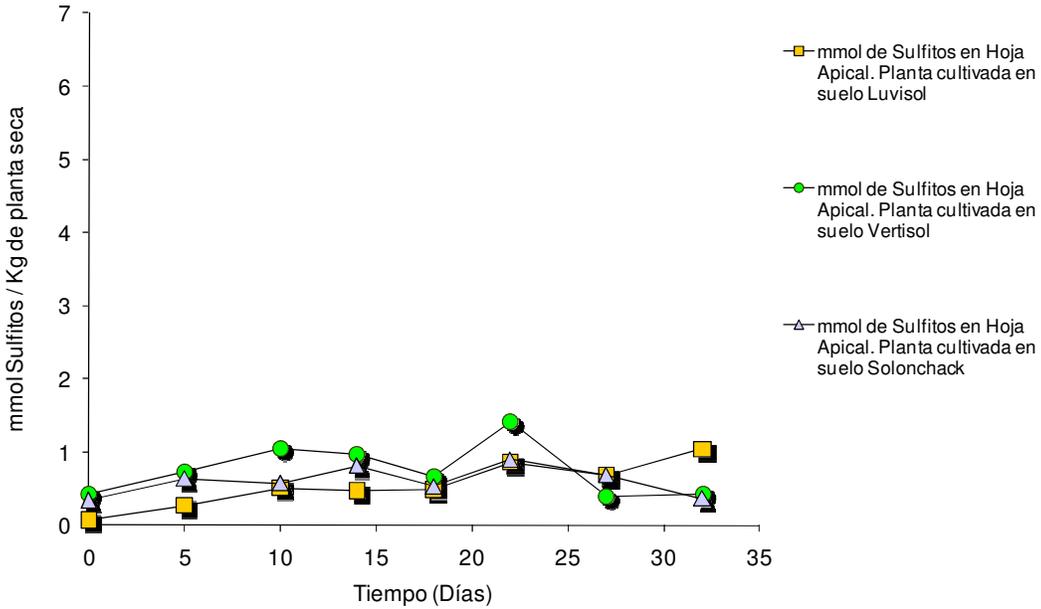
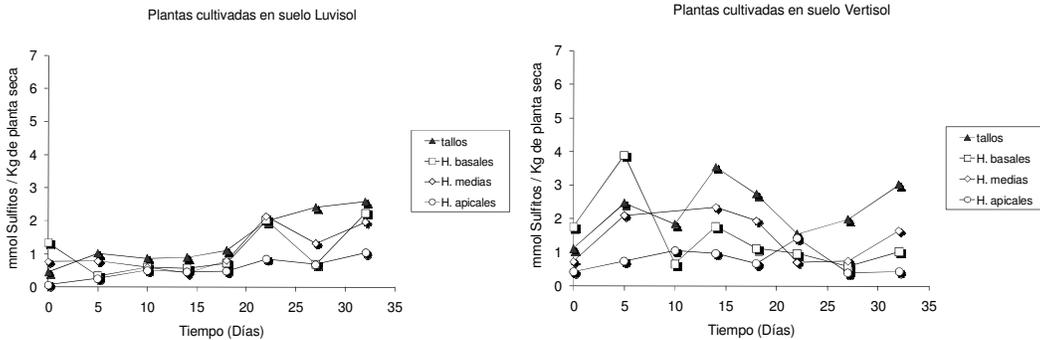


Figura 42: Cinética de sulfitos en hojas apicales de plantas cultivadas en los suelos; Luvisol, Vertisol, Solonchack. La cuarta gráfica de abajo a la derecha muestra los sulfitos en hojas apicales en cada suelo.

Los sulfitos muestran un comportamiento más o menos constante e intermedio con respecto a los niveles de sulfatos en la savia de las plantas.

*3.3.5.5. Dinámica de sulfitos.*

En la figura 43 se observó que las hojas basal, media y apical de plantas cultivadas en suelo Luvisol tienen contenidos de sulfitos iguales entre ellas y menores que los contenidos en tallos. Los tallos, hojas basal y media de plantas cultivadas en suelo Solonchack tienen contenidos de sulfitos iguales entre ellos y mayores que los contenidos en hojas apicales, mientras que los tallos de plantas cultivadas en suelo Vertisol tienen contenidos de sulfitos mayores que en hojas basales, medias y apicales.



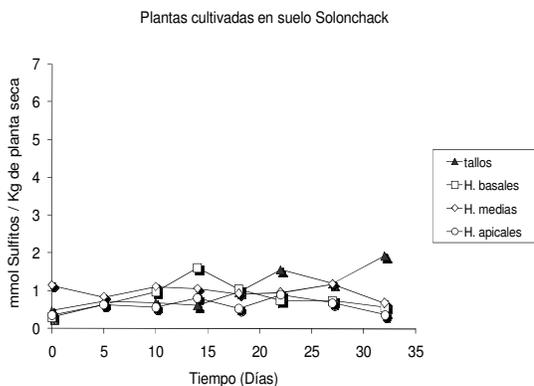


Figura 43: Cinética de sulfitos en tallos, hojas apicales, hojas medias y hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, Vertisol y Solonchack.

El monitoreo de los aniones sulfito, cobra importancia debido a que plantas producen sulfitos mediante la reducción metabólica de los sulfatos y por lo tanto siempre hay una estrecha relación sulfato/sulfito, que nos ayuda a diferenciar entre la asimilación y la acumulación del azufre en los tejidos vegetales.

Los contenidos de sulfito en plantas cultivadas en suelo Vertisol confirman una elevada tasa de reducción de sulfatos y a su vez son un indicador de una actividad biológica superior en la planta. Los contenido de sulfito en plantas cultivadas en suelo Luvisol muestran una aumento y una tendencia a la alta en la últimas 3 mediciones, probablemente se relacione con la actividad biológica asociada con la capacidad de la planta para reaccionar a condiciones adversas o de alto estrés nutrimental, como adelantar su ciclo reproductivo para lograr la continuidad de la especie.

Los contenidos de sulfito en plantas cultivadas en suelo Solonchack indican una baja tasa de reducción de sulfatos y confirma la acumulación de sulfatos en hojas que pueden estar relacionados con la salinidad del suelo.

### 3.4. VARIACIÓN, TENDENCIAS Y RELACIONES DE LOS CONTENIDOS ANIÓNICOS CON LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.

Con la finalidad de encontrar tendencias y dependencias lineales entre las variables obtenidas en el experimento se graficaron los parámetros agronómicos contra las concentraciones de los aniones en los extractos celulares y se obtuvieron las siguientes gráficas:

#### 3.4.1. Altura de planta.

En la figura 44 se observó que hay una marcada tendencia entre la altura de las plantas y los nitratos en tallo, sin embargo manifiestan baja correlación y probablemente no tengan influencia o relación directa con el desarrollo de la altura del Maíz cultivado en suelo Luvisol.

En la figura 44 se observó que la altura de las plantas y los aniones sulfato y sulfito, mostraron una marcada correlación y una buena tendencia correspondiente, lo que

indica que deben tener influencia en el desarrollo de la altura del Maíz cultivado en suelo Luvisol.

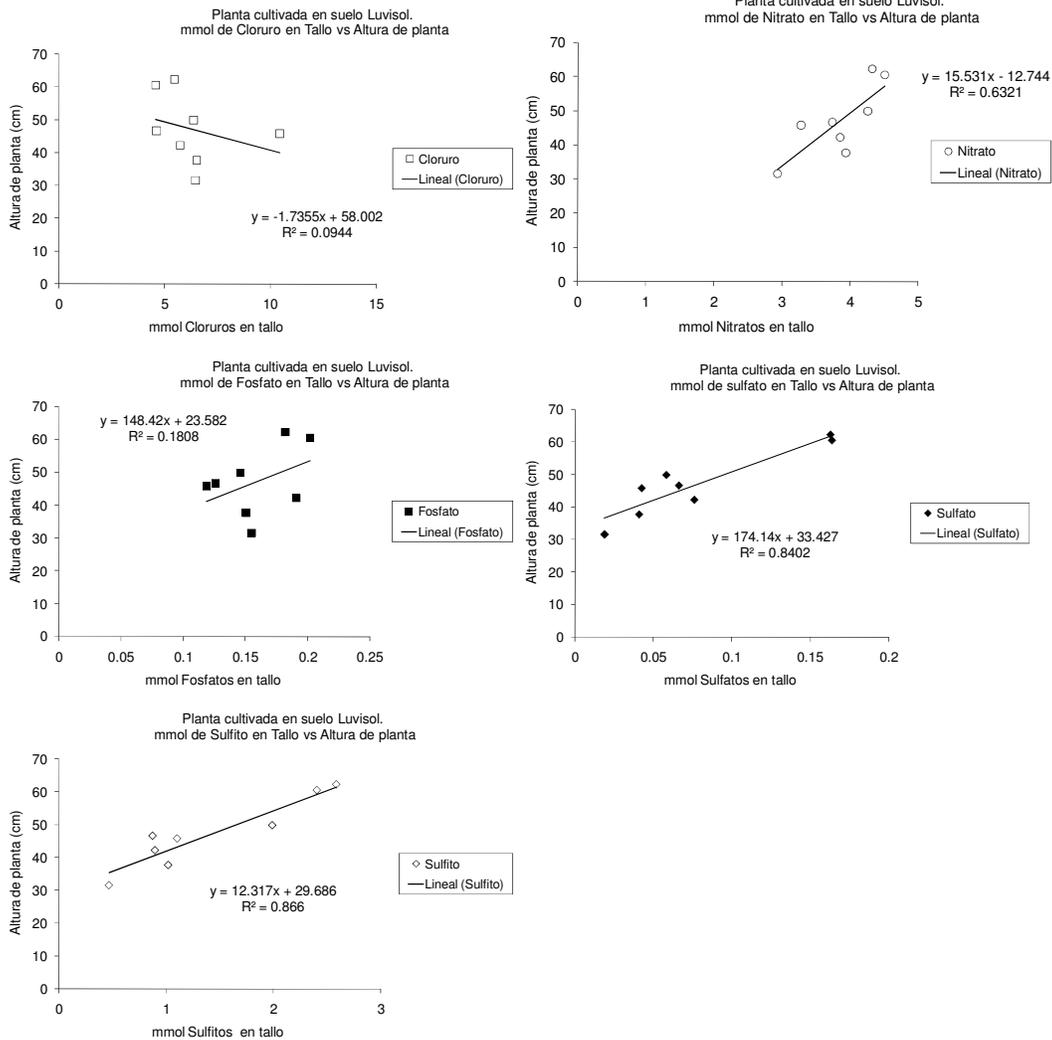


Figura 44: Variación de los contenido de aniones en tallo con la altura de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 45 se observó que una tendencia lineal entre los aniones nitrato y cloruro en los tallos y la altura de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo tienen una baja correlación y probablemente no tengan influencia directa sobre la altura del Maíz en suelo Vertisol.

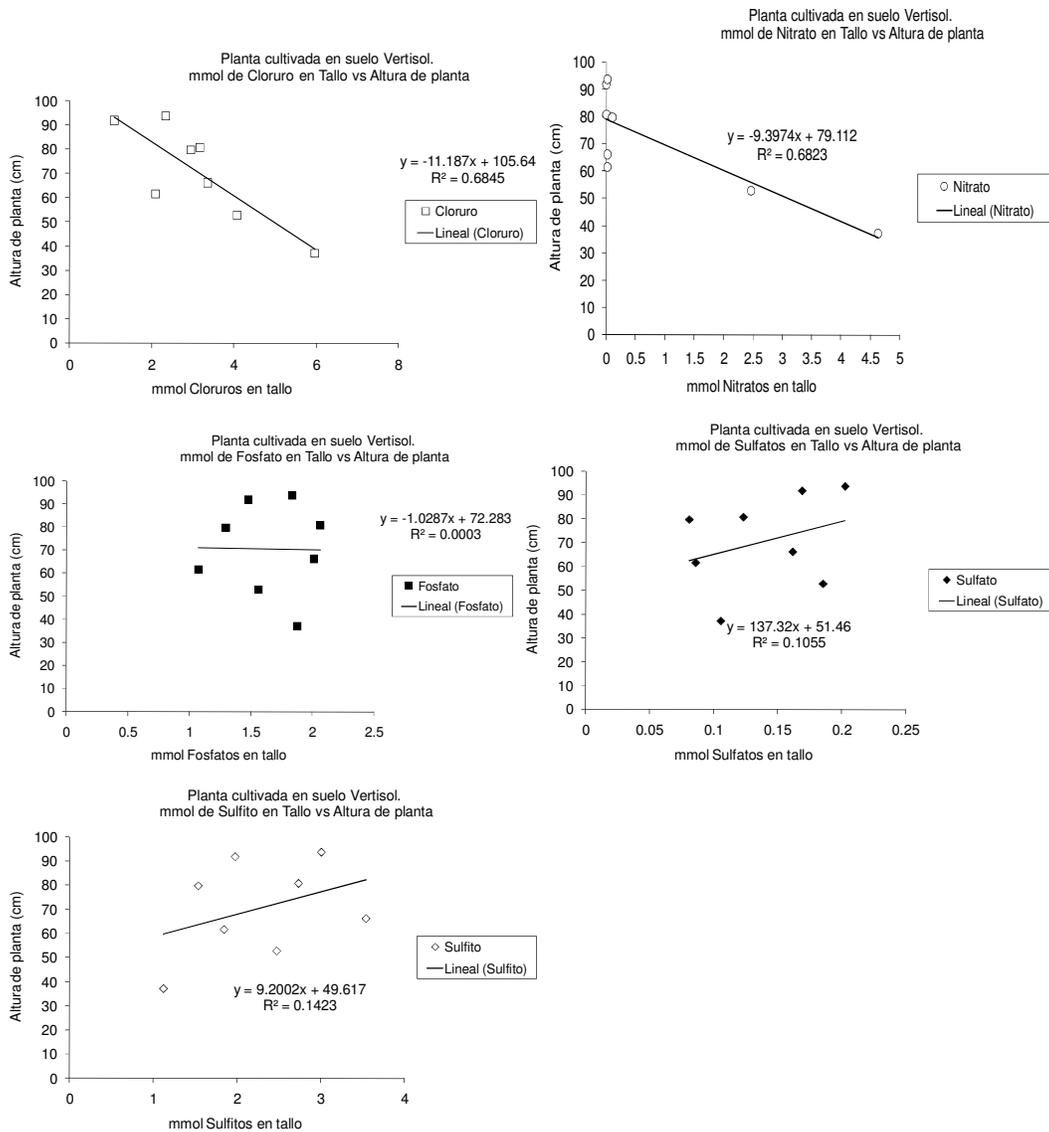
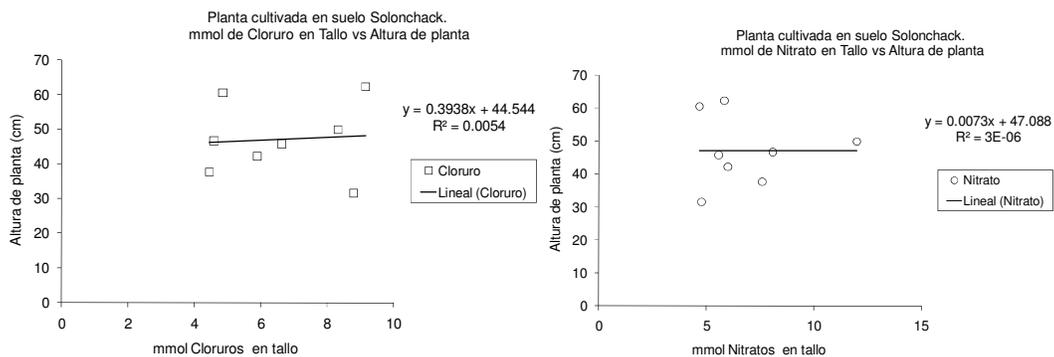


Figura 45: Variación de los contenido de aniones en tallo con la altura de plantas cultivadas en suelo Vertisol.



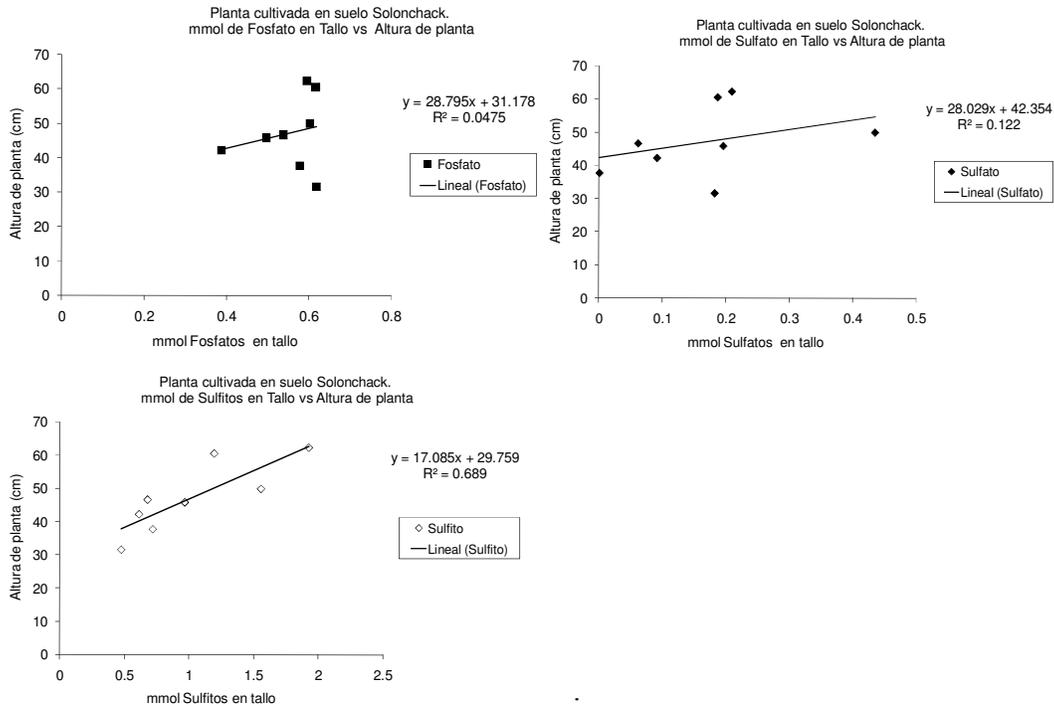
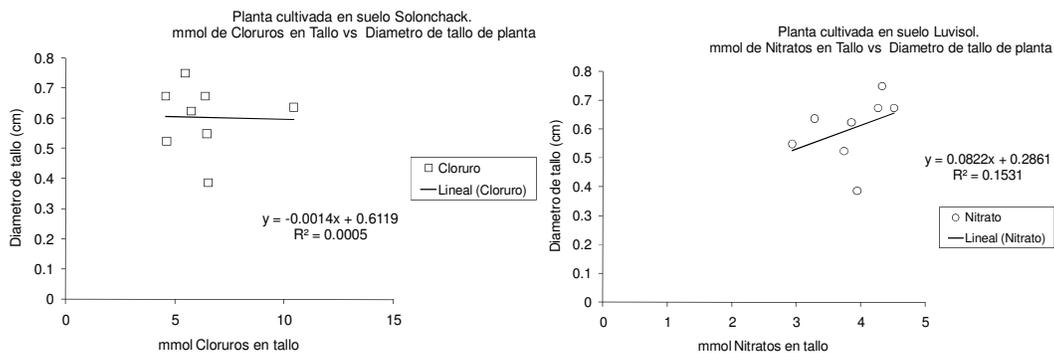


Figura 46: Variación de los contenido de aniones en tallo con la altura de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 46 se observó una tendencia lineal entre los aniones sulfito contenidos en los tallos y la altura de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo presentó una baja correlación y probablemente sin influencia directa sobre el desarrollo de la altura del Maíz cultivado en el suelo Solonchack.

### 3.4.2. Diámetro de tallo.

En la figura 47 se observó una tendencia lineal entre los aniones sulfato y sulfito con el diámetro de tallo de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo se presentaron bajas correlaciones y posiblemente sin influencia directa sobre el diámetro del tallo en el Maíz cultivado en suelo Luvisol.



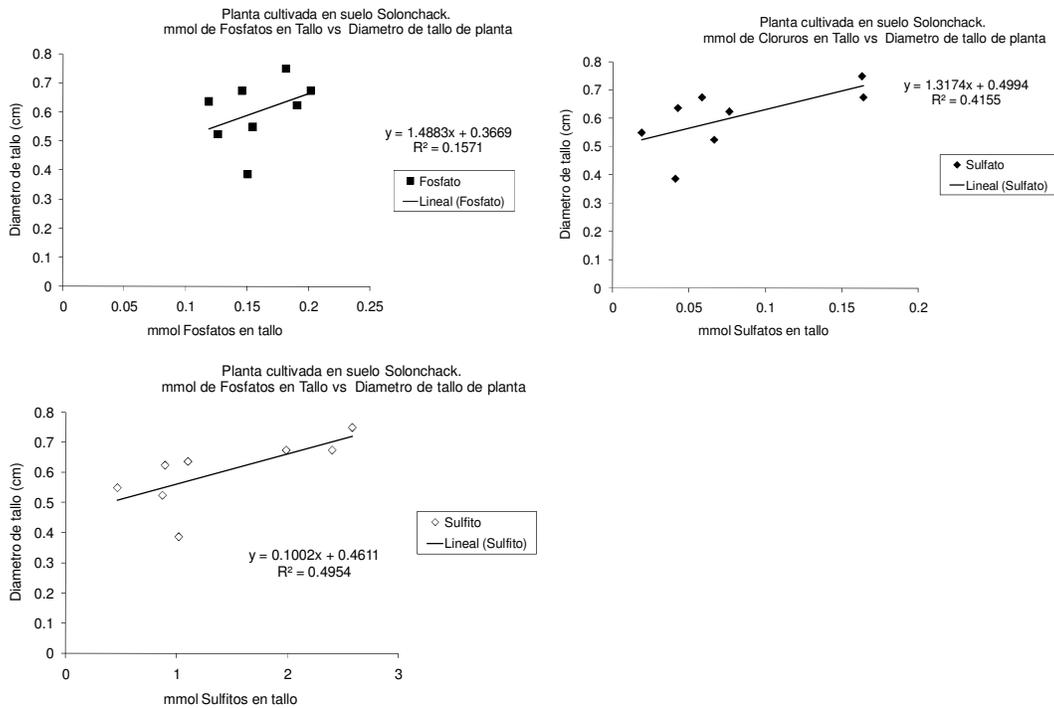
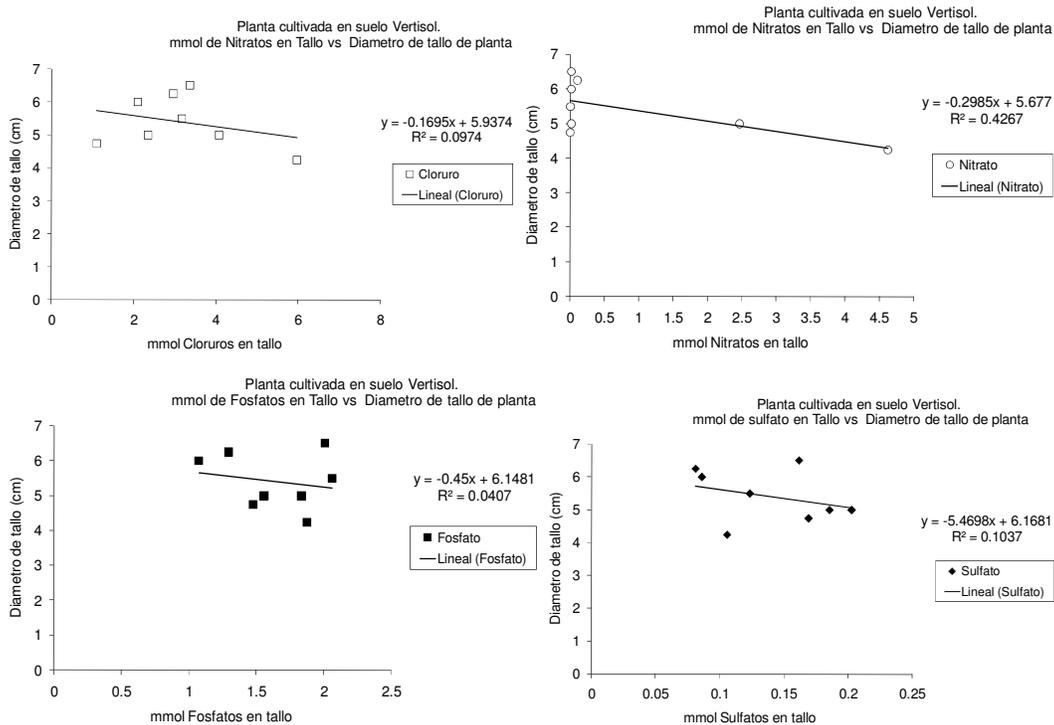


Figura 47: Variación de los contenido de aniones en tallo con el diámetro de tallo de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 48 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en tallo con el diámetro de plantas cultivadas en suelo Vertisol.



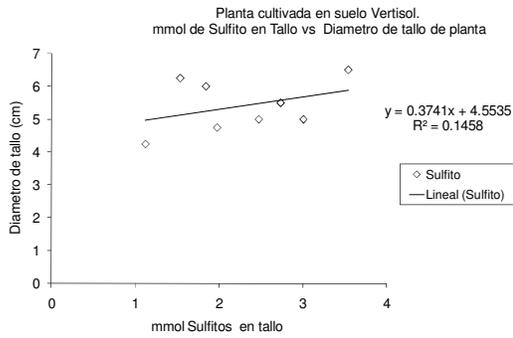


Figura 48: Variación de los contenido de aniones en tallo con el diámetro de tallo de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 49 se observó una ligera tendencia entre los aniones sulfato y sulfito con el diámetro de tallo de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo tuvieron una baja correlación y posiblemente no tengan relación directa.

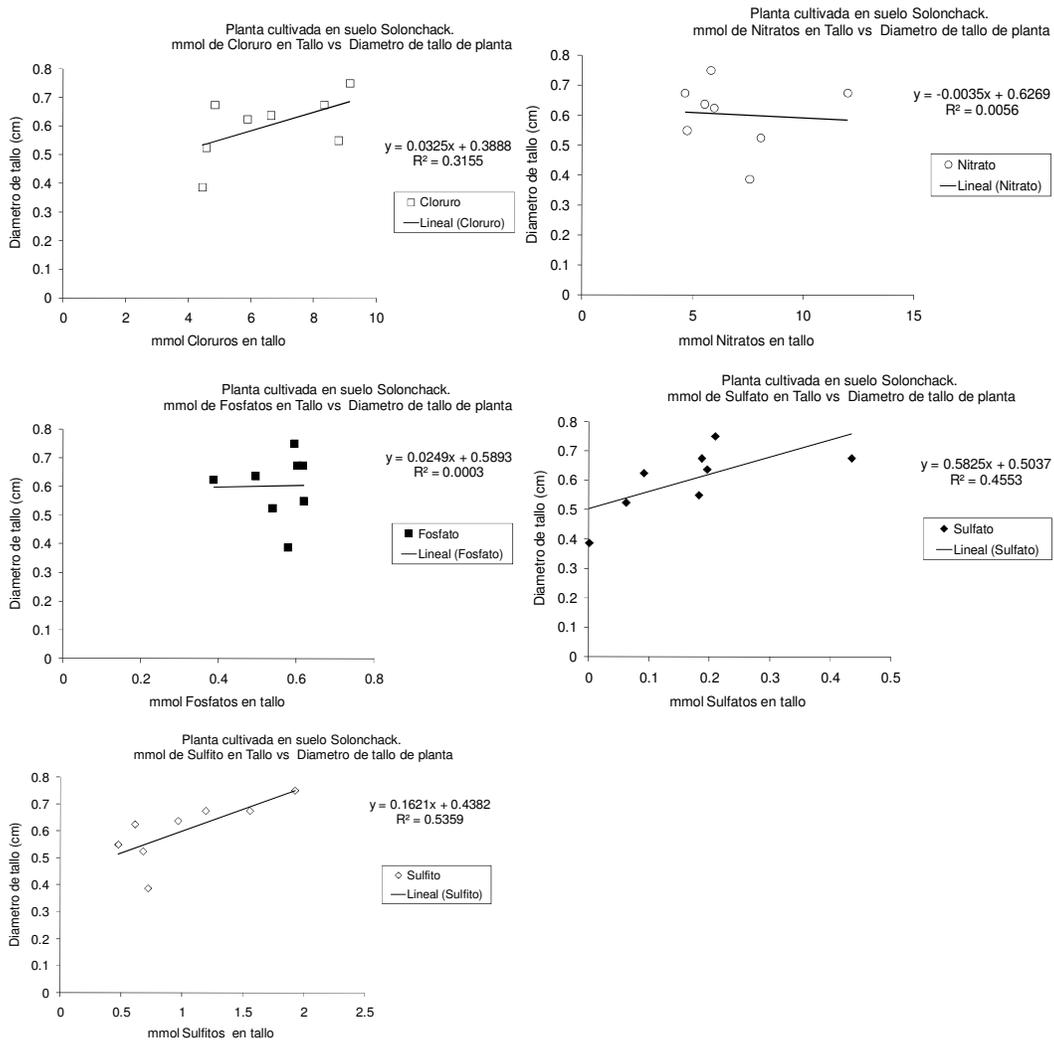


Figura 49: Variación de los contenido de aniones en tallo con el diámetro de tallo de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

### 3.4.3. Largo de hojas basales y apicales.

En la figura 50 se observó una tendencia entre los aniones nitrato, sulfato en tallo con el largo de hojas basales sin embargo tuvo una baja correlación y posiblemente no haya influencia directa con la hoja, mientras que los sulfitos mostraron una alta correlación y teniendo influencia en el largo de las hojas basales cultivada en suelos Luvisol.

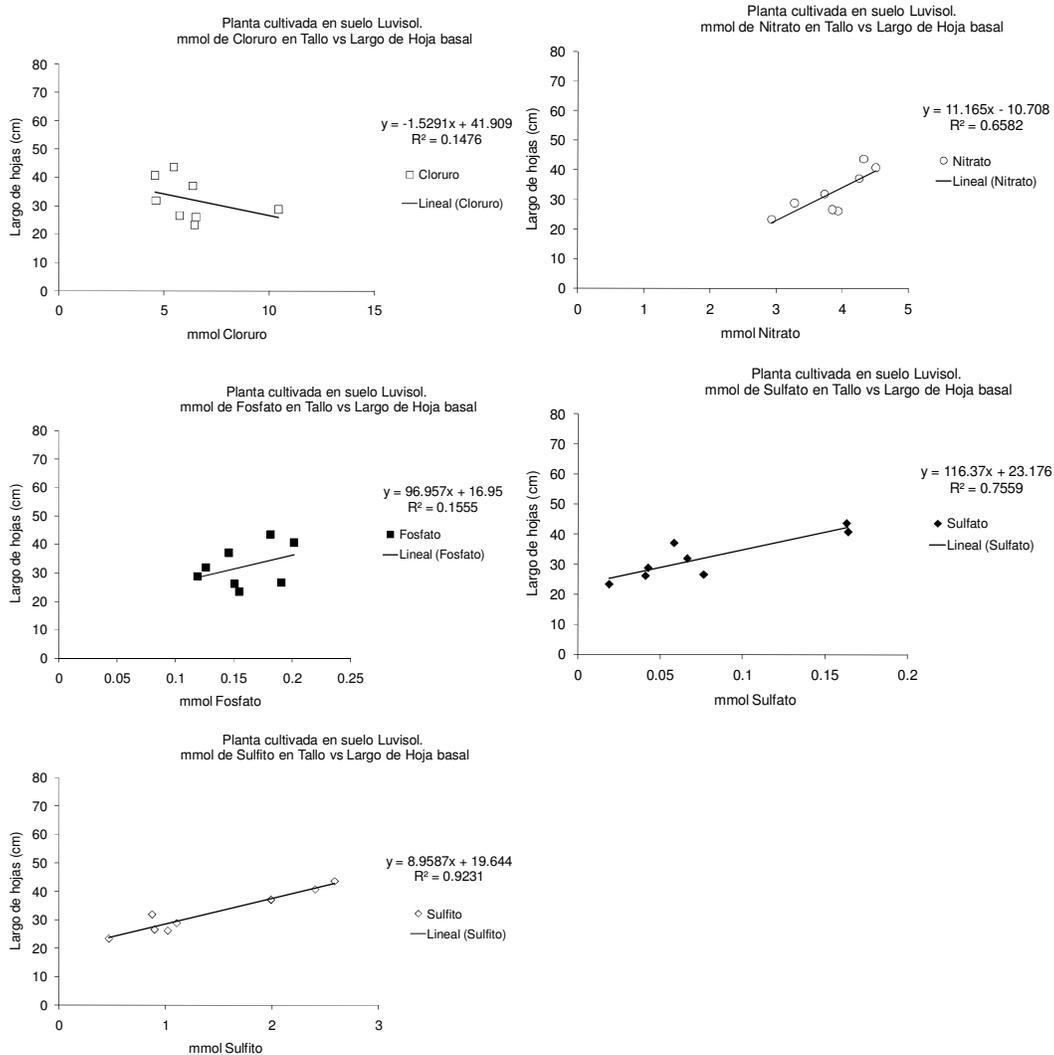


Figura 50: Variación de los contenido de aniones en tallo con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 51 se observó una tendencia entre los aniones cloruro y sulfato en tallo con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo se encontró una baja correlación y posiblemente no estén relacionados entre ellos.

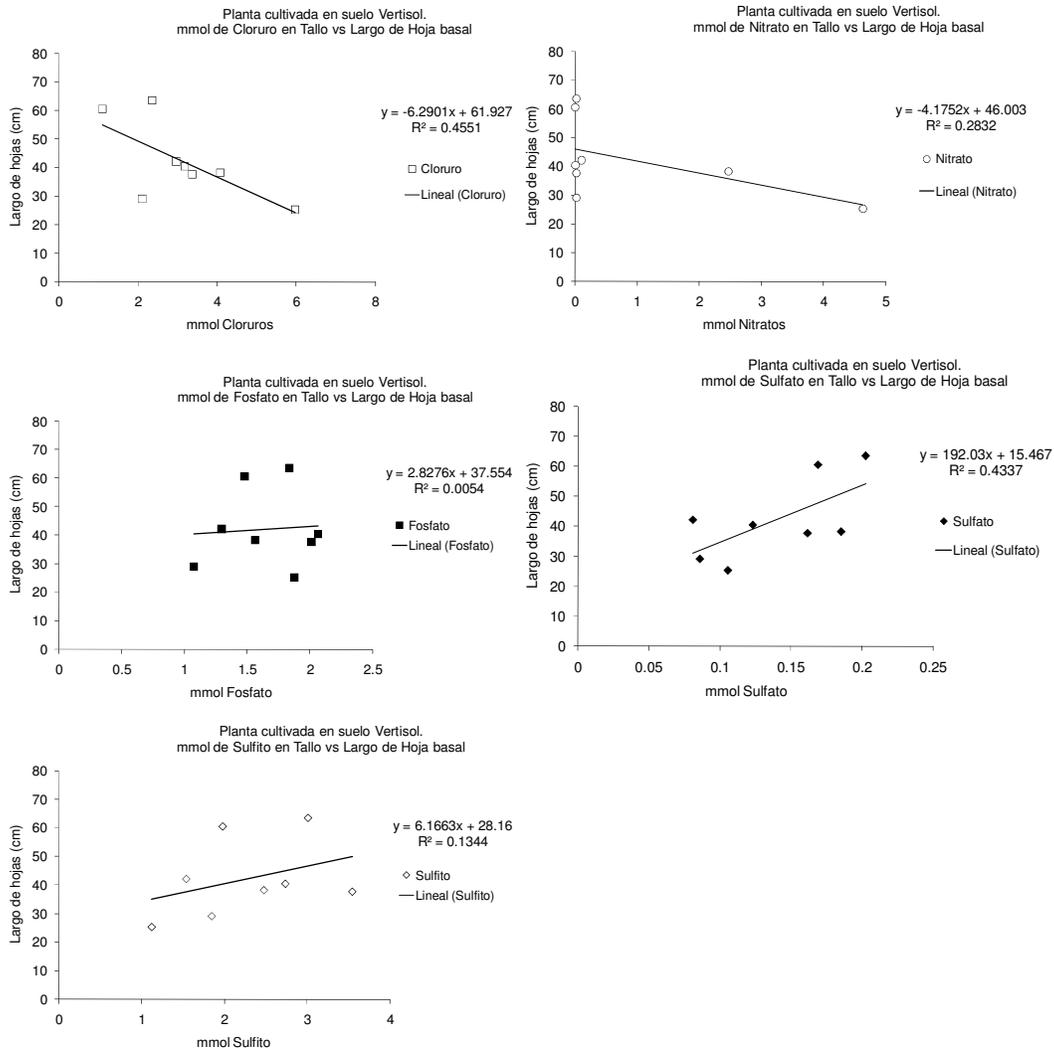
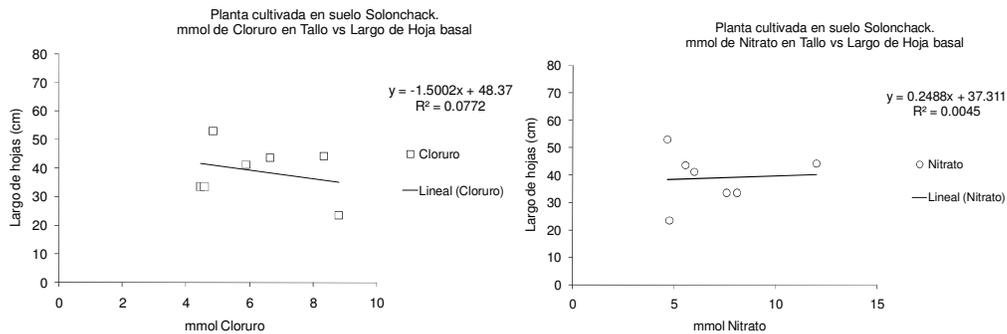


Figura 51: Variación de los contenido de aniones en tallo con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 51 se observó una tendencia entre los aniones sulfato en tallo y el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo con baja correlación y posiblemente sin relación.



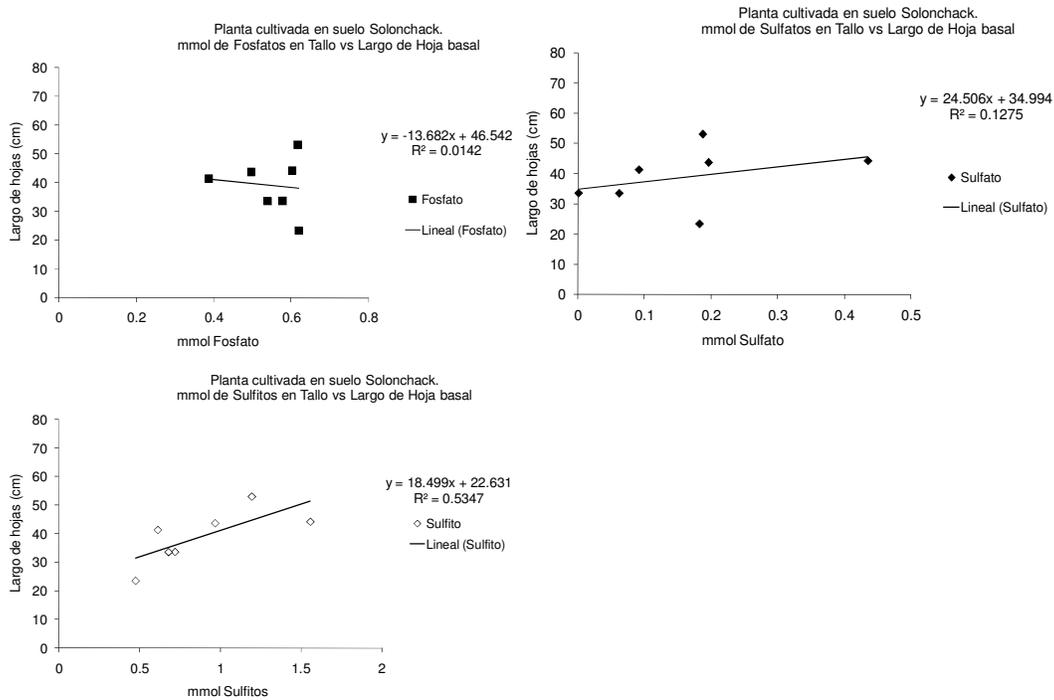
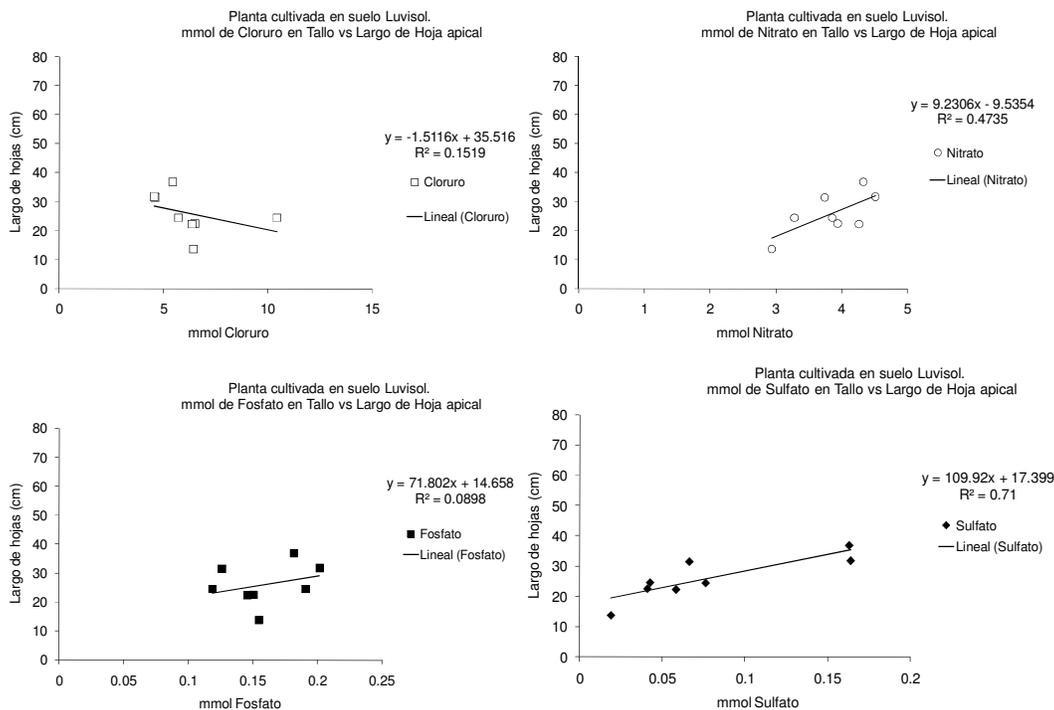


Figura 52: Variación de los contenido de aniones en tallo con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 52 se observó una tendencia entre los aniones sulfato en tallo con el largo de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo con baja correlación y posiblemente sin relación directa entre ellos.



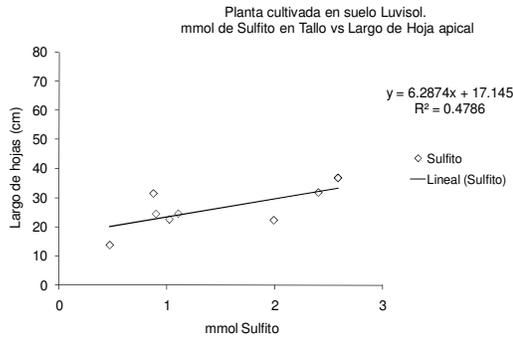


Figura 53: Variación de los contenido de aniones en tallo con el largo de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 53 se observó una tendencia lineal entre los aniones cloruro en tallo con el largo de hojas apicales sin embargo con una baja correlación y posiblemente sin relación entre ellos. Mientras que los nitratos muestran una tendencia y tienen una alta correlación lo que establece que los nitratos tienen influencia en el largo de hojas cultivadas en suelo Luvisol.

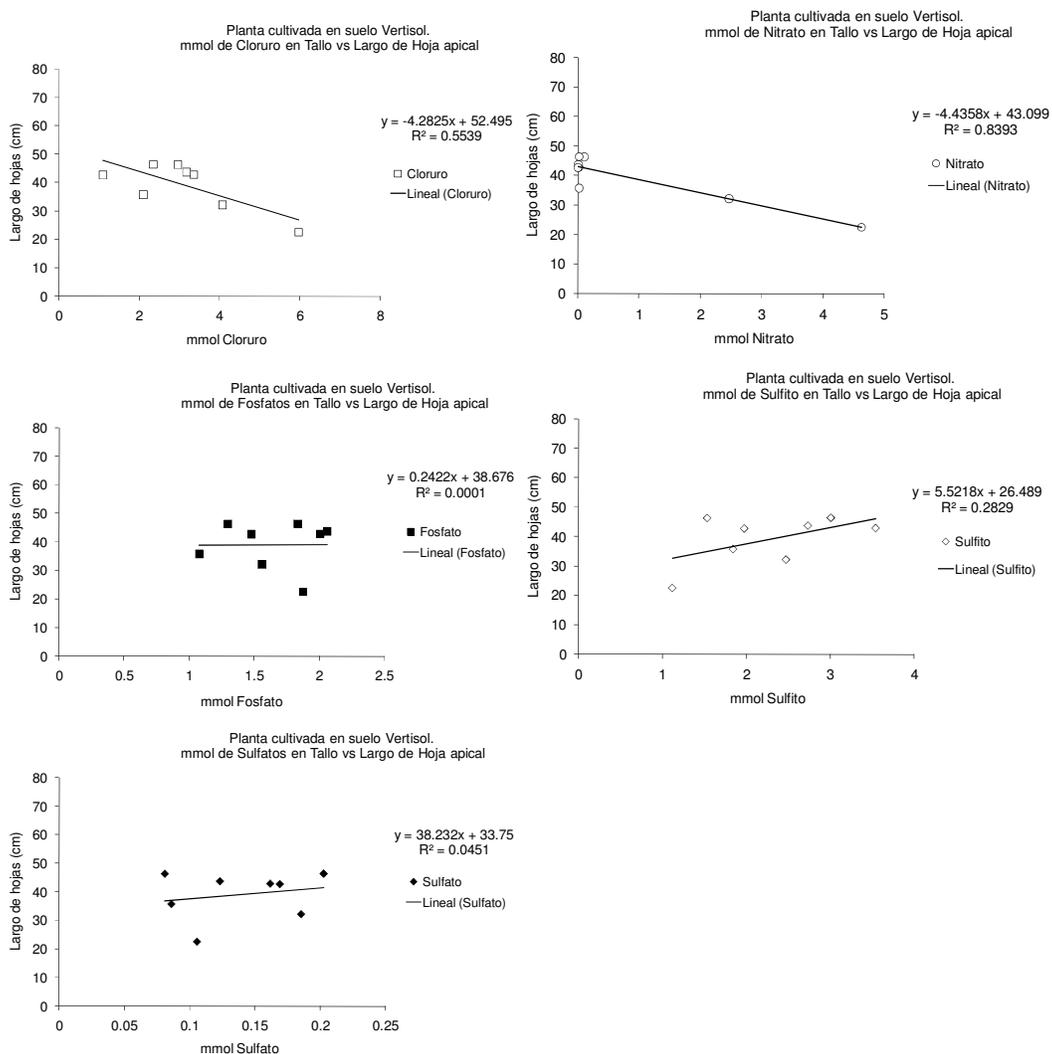


Figura 54: Variación de los contenido de aniones en tallo con el largo de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 54 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en tallo con el largo de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

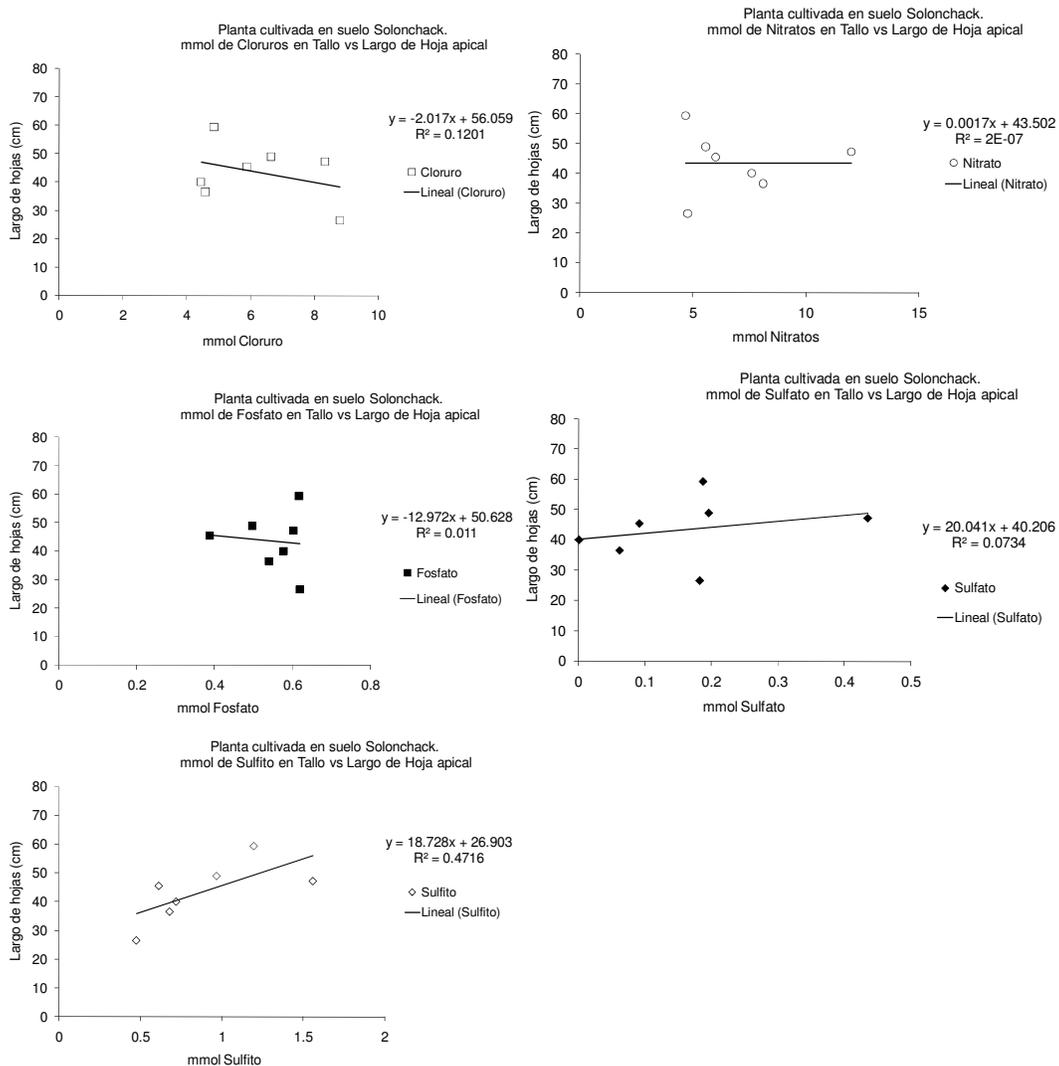


Figura 55: Variación de los contenido de aniones en tallo con el largo de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 55 se observó una tendencia entre los aniones nitrato en hoja basal con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo con una baja correlación y posiblemente sin influencia entre ellos.

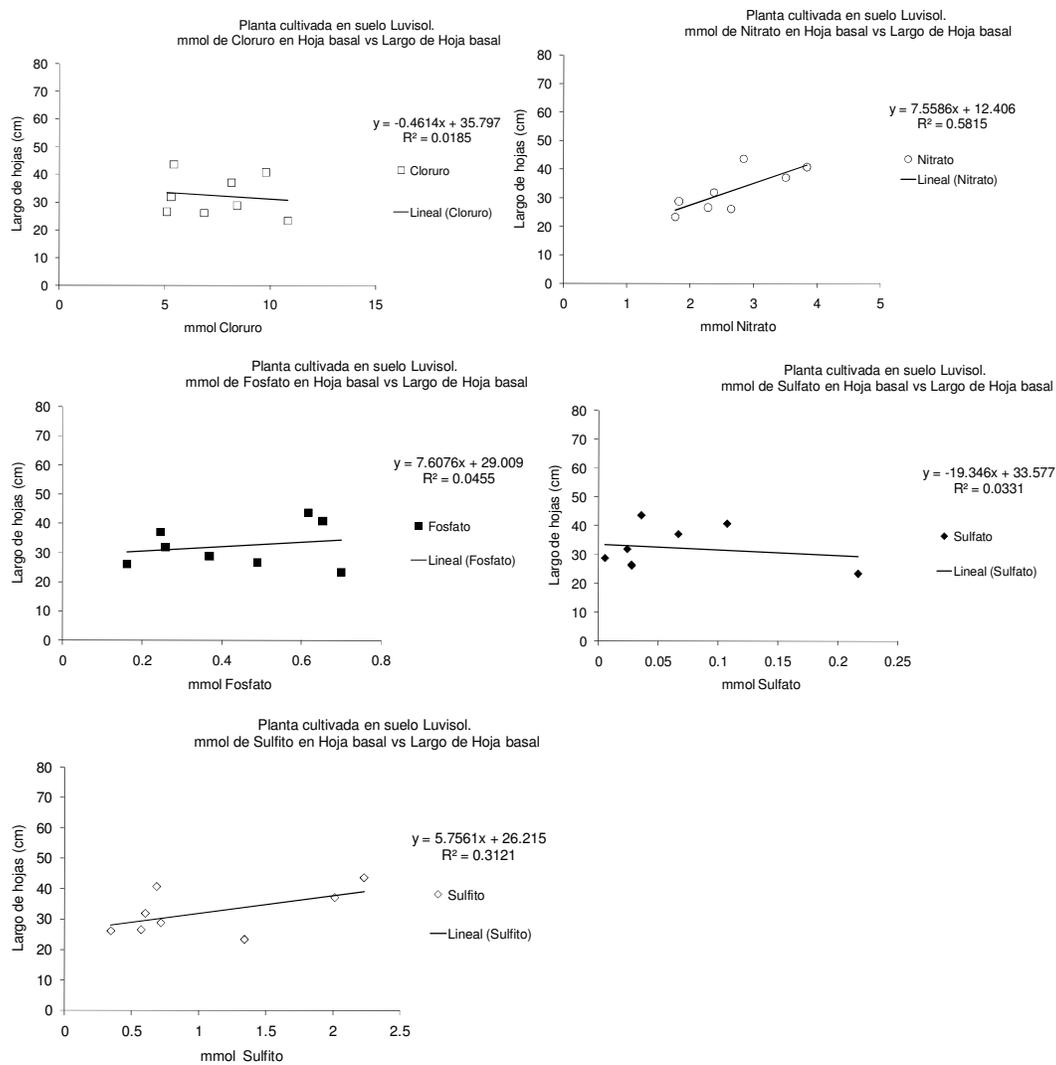
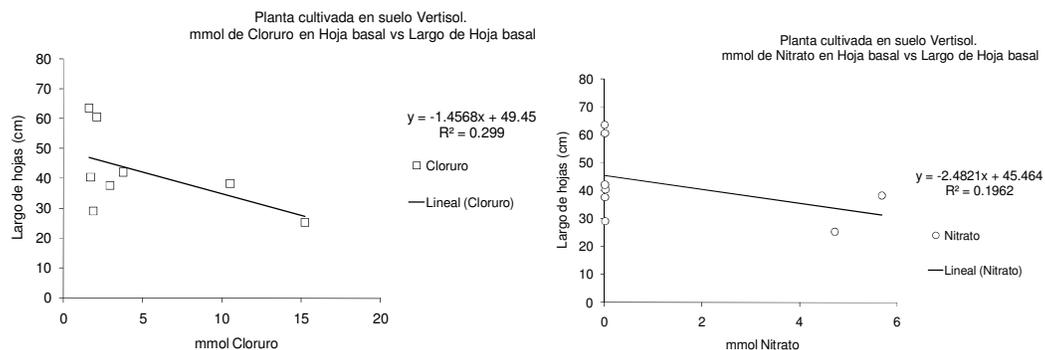


Figura 56: Variación de los contenido de aniones en hoja basal con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 56 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en hoja basal con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.



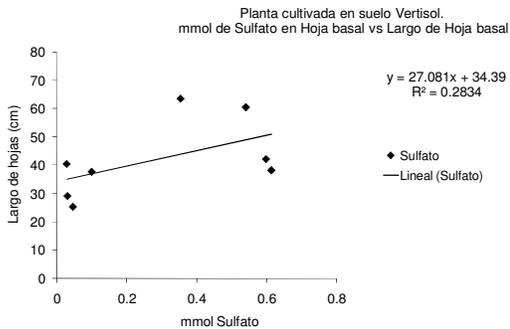
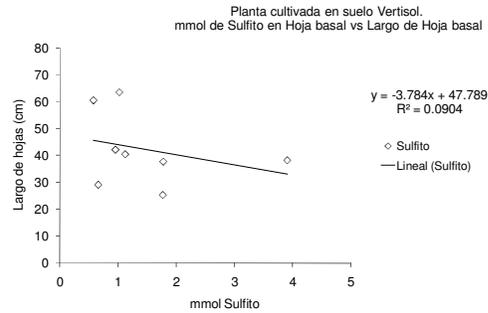
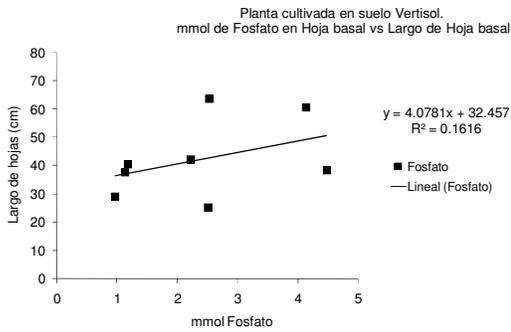
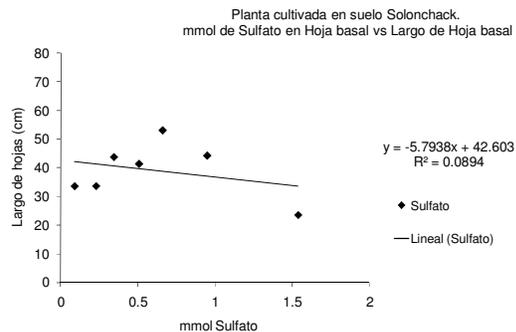
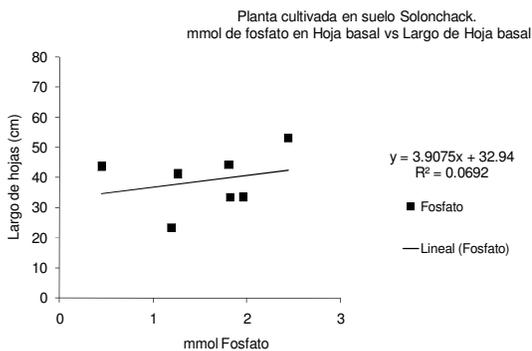
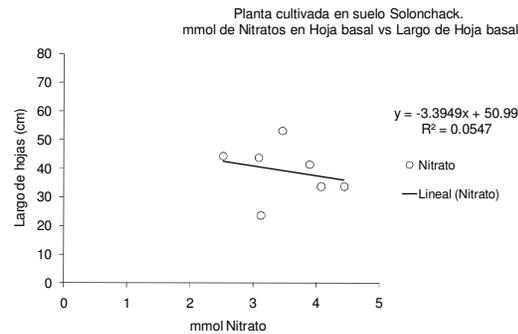
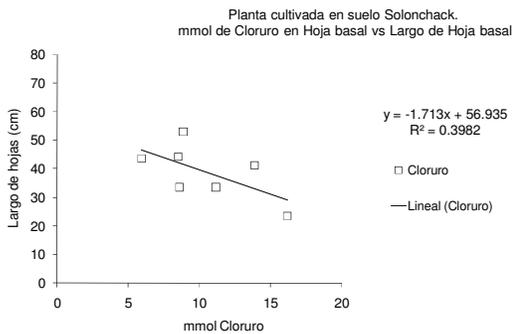


Figura 57: Variación de los contenidos de aniones en hoja basal con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 57 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en hoja basal con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.



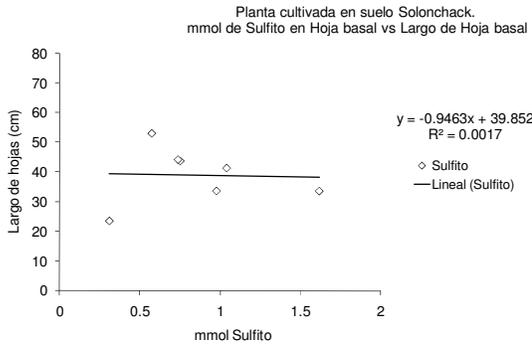


Figura 58: Variación de los contenido de aniones en hoja basal con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 58 se observó una tendencia entre los aniones fosfato y sulfito en hoja basal con el largo de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo con una baja correlación y posiblemente sin influencia entre ellos.

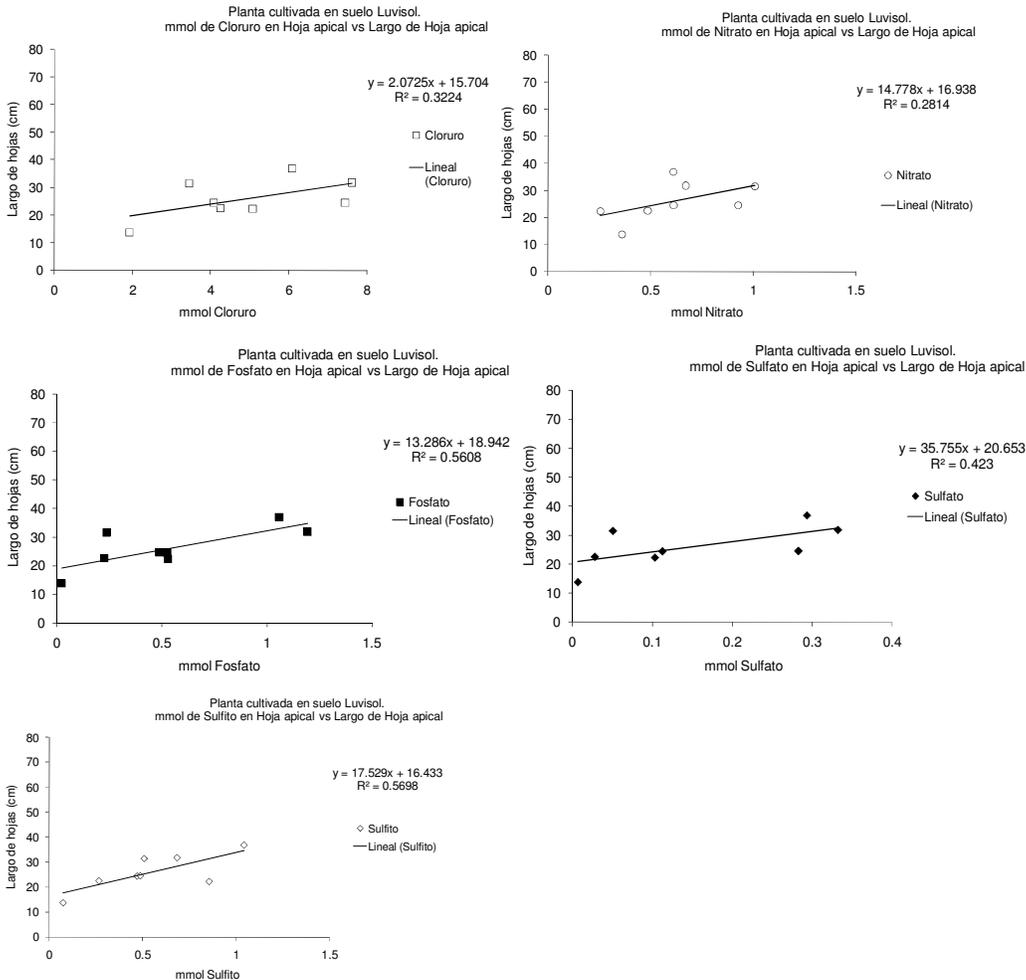


Figura 59: Variación de los contenido de aniones en hoja apical con largo hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 59 se observó una tendencia entre los aniones nitrato y fosfatos en hoja apical con el largo de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

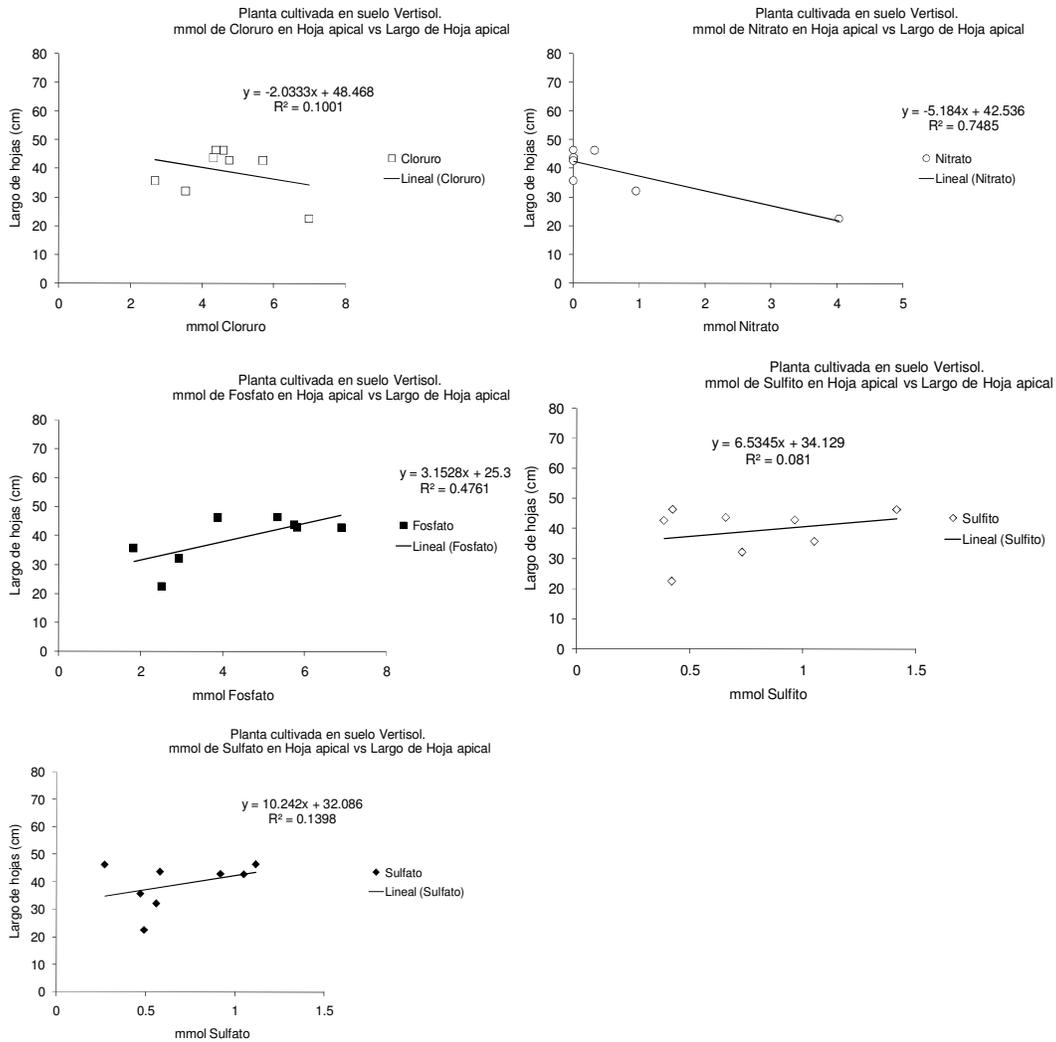


Figura 60: Variación de los contenido de aniones en hoja apical con el largo de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 61 se observó una tendencia entre los aniones sulfito y sulfato en hoja apical con el largo de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

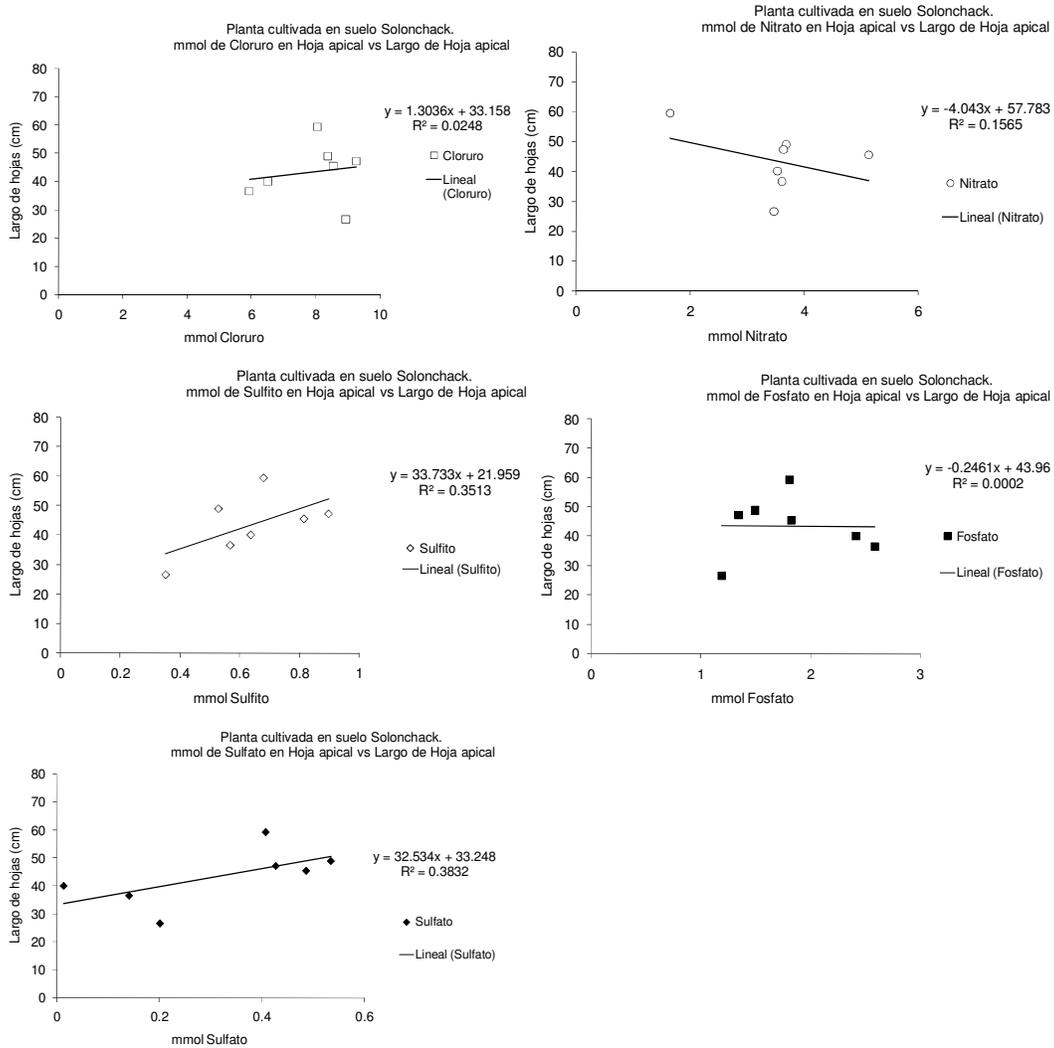


Figura 61: Variación de los contenido de aniones en hoja apical con el largo de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

### 3.4.4. Ancho de hojas basales y apicales.

En la figura 62 se observó una tendencia entre los aniones sulfito y nitrato en tallo con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

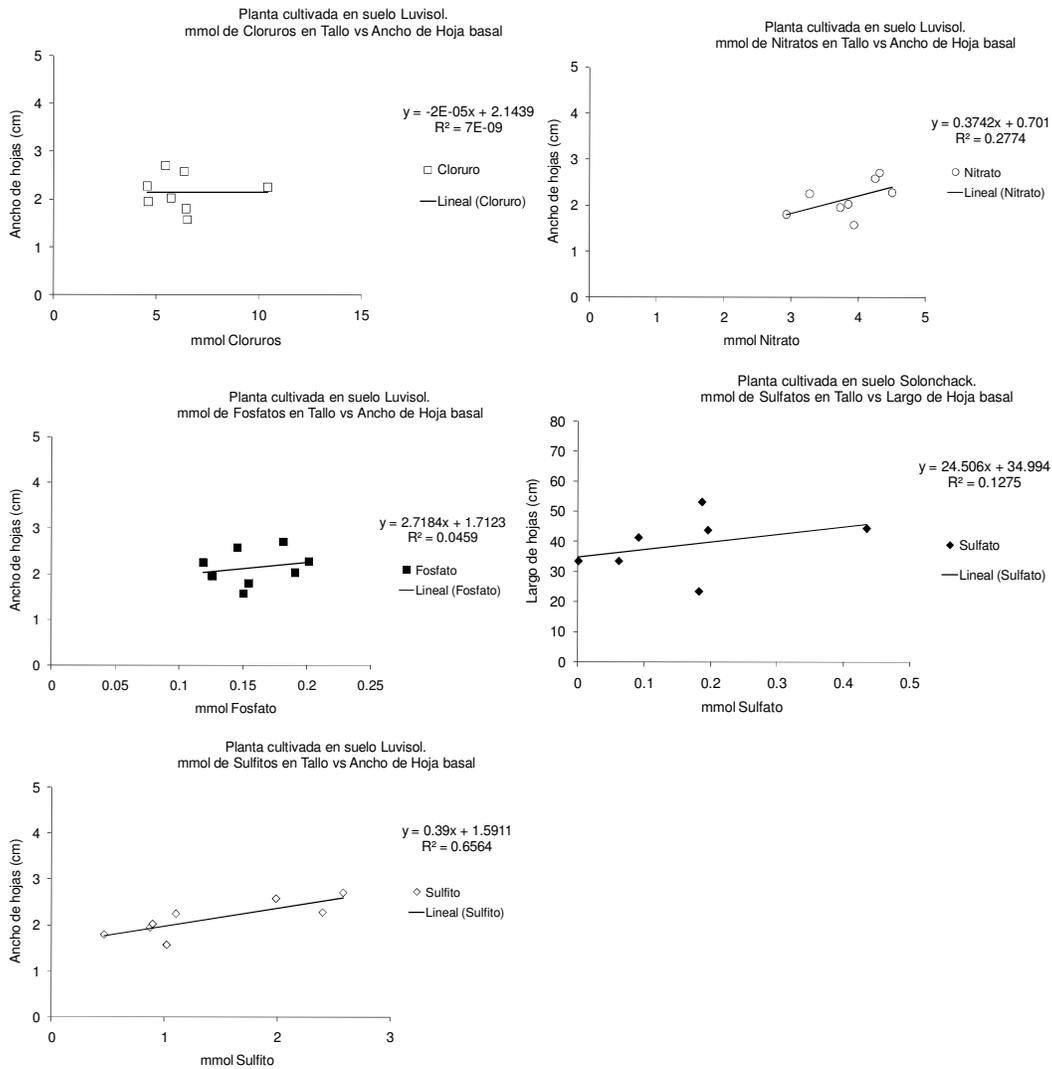


Figura 62: Variación de los contenido de aniones en tallo con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 63 se observó una tendencia lineal entre los aniones cloruro, sulfato y sulfito en tallo con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

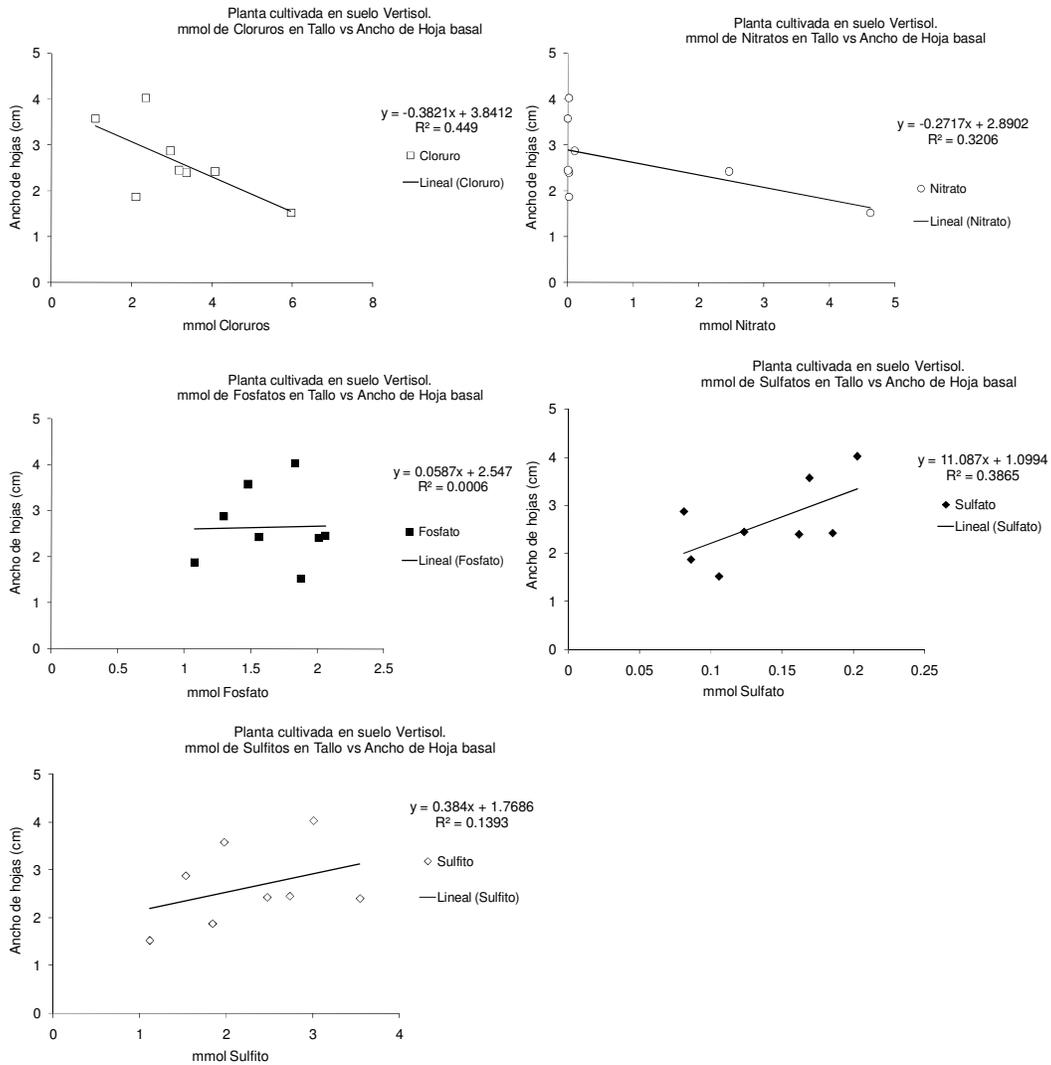
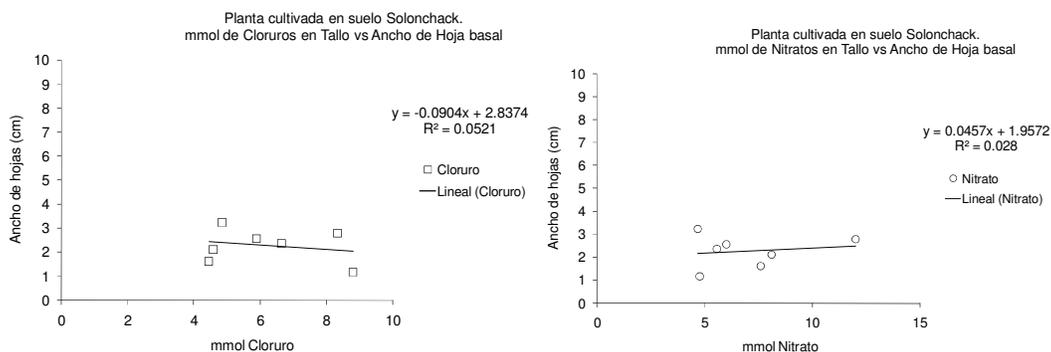


Figura 63: Variación de los contenido de aniones en tallo con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 64 se observó una tendencia entre los aniones sulfato y sulfito en tallo con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



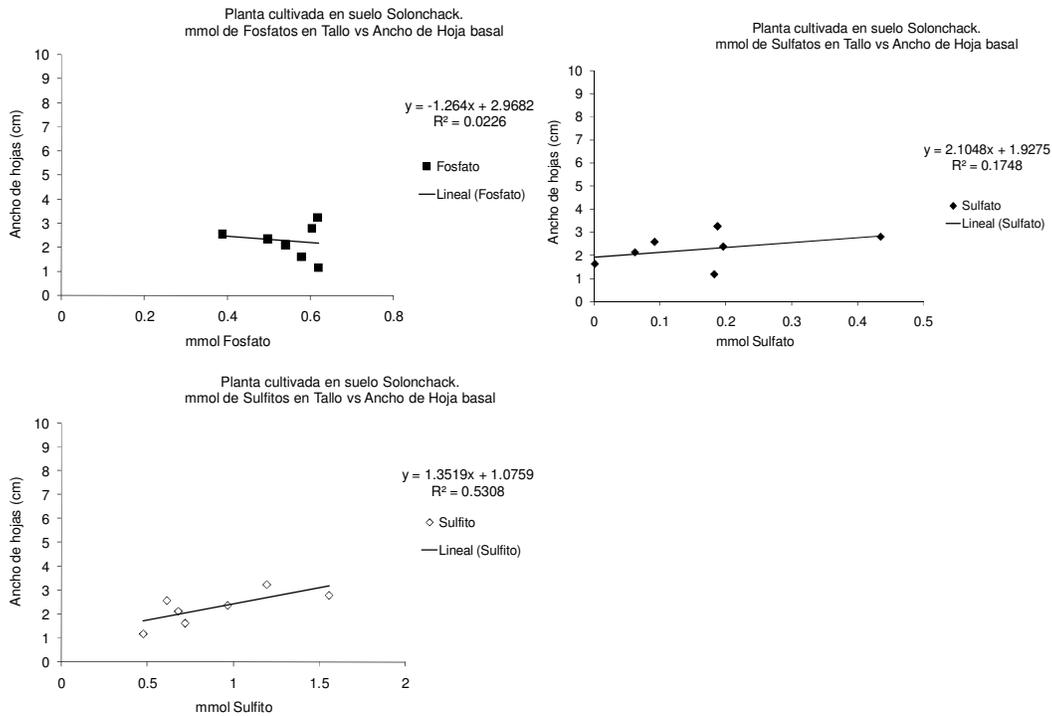
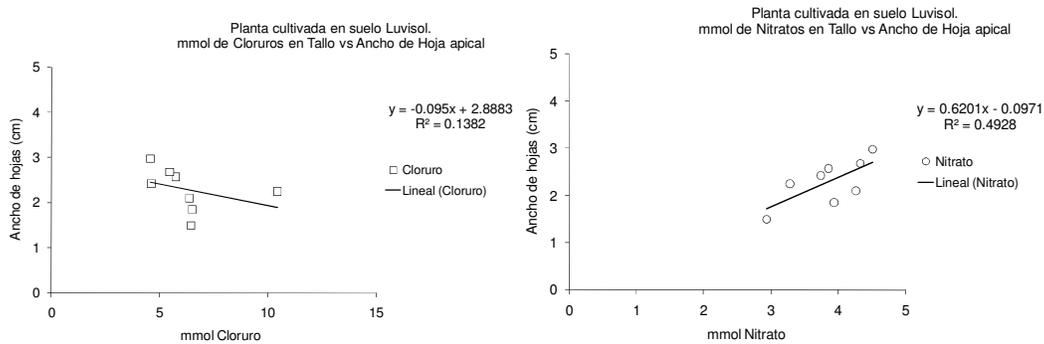


Figura 64: Variación de los contenido de aniones en tallo con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 65 se observó una tendencia entre los aniones nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en tallo con el ancho de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



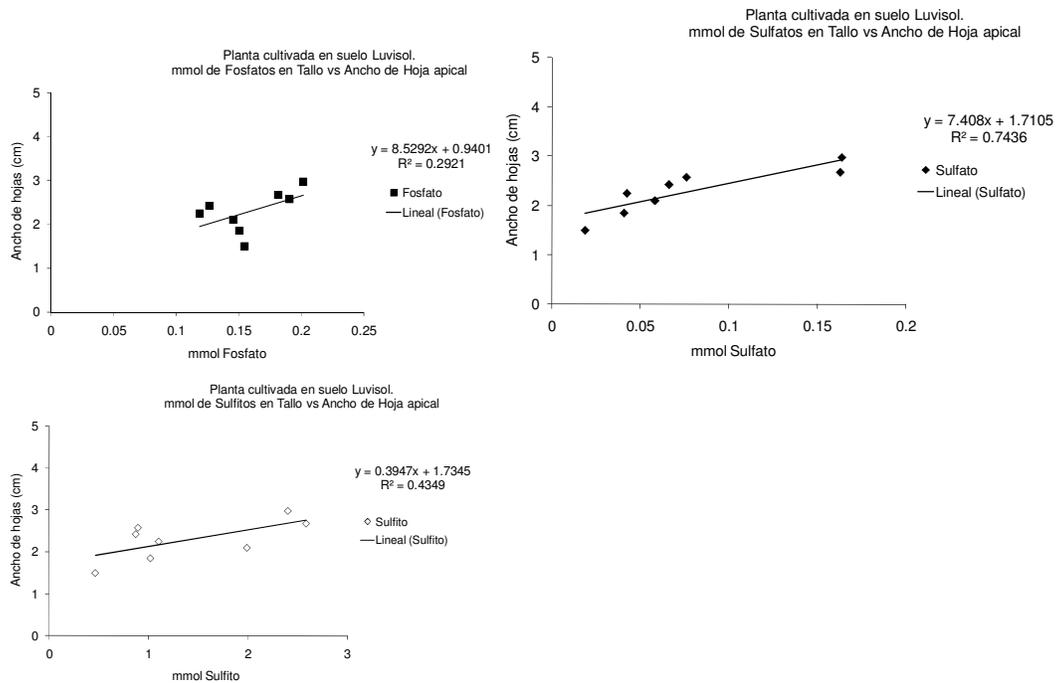
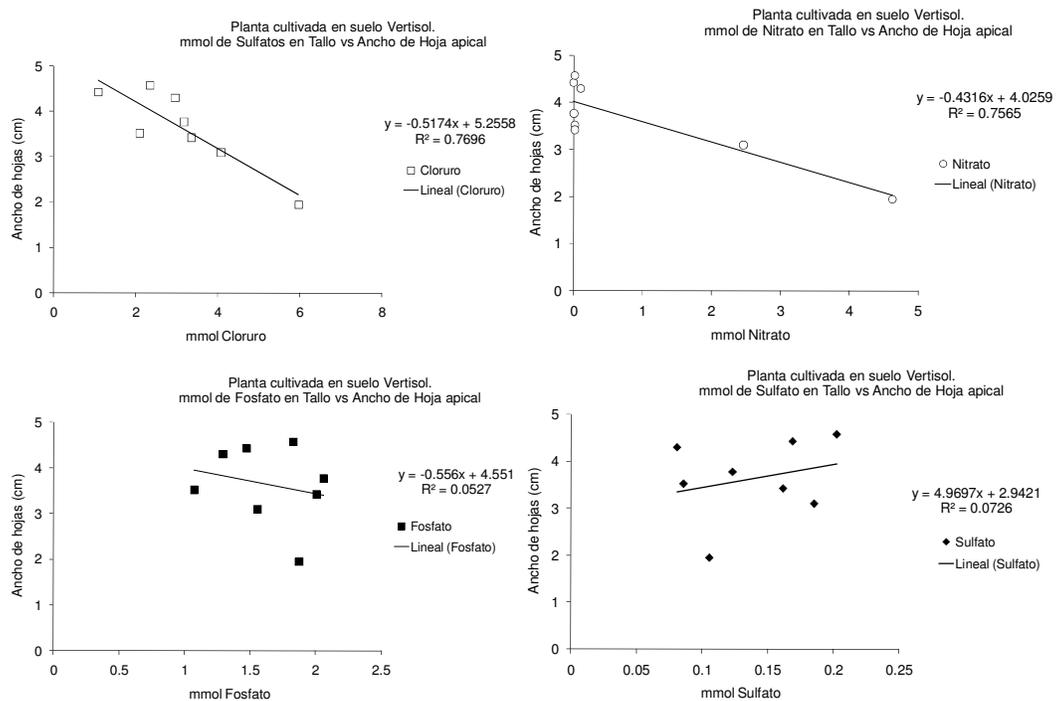


Figura 65: Variación de los contenido de aniones en tallo con el ancho de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 66 se observó una tendencia entre los aniones cloruro y nitrato en tallo con el ancho de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



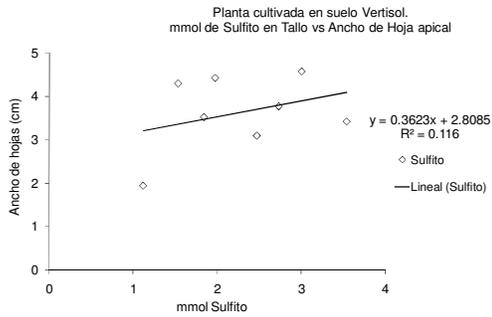


Figura 66: Variación de los contenido de aniones en tallo con el ancho de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 67 se observó una tendencia entre los aniones sulfato y sulfito en tallo con el ancho de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

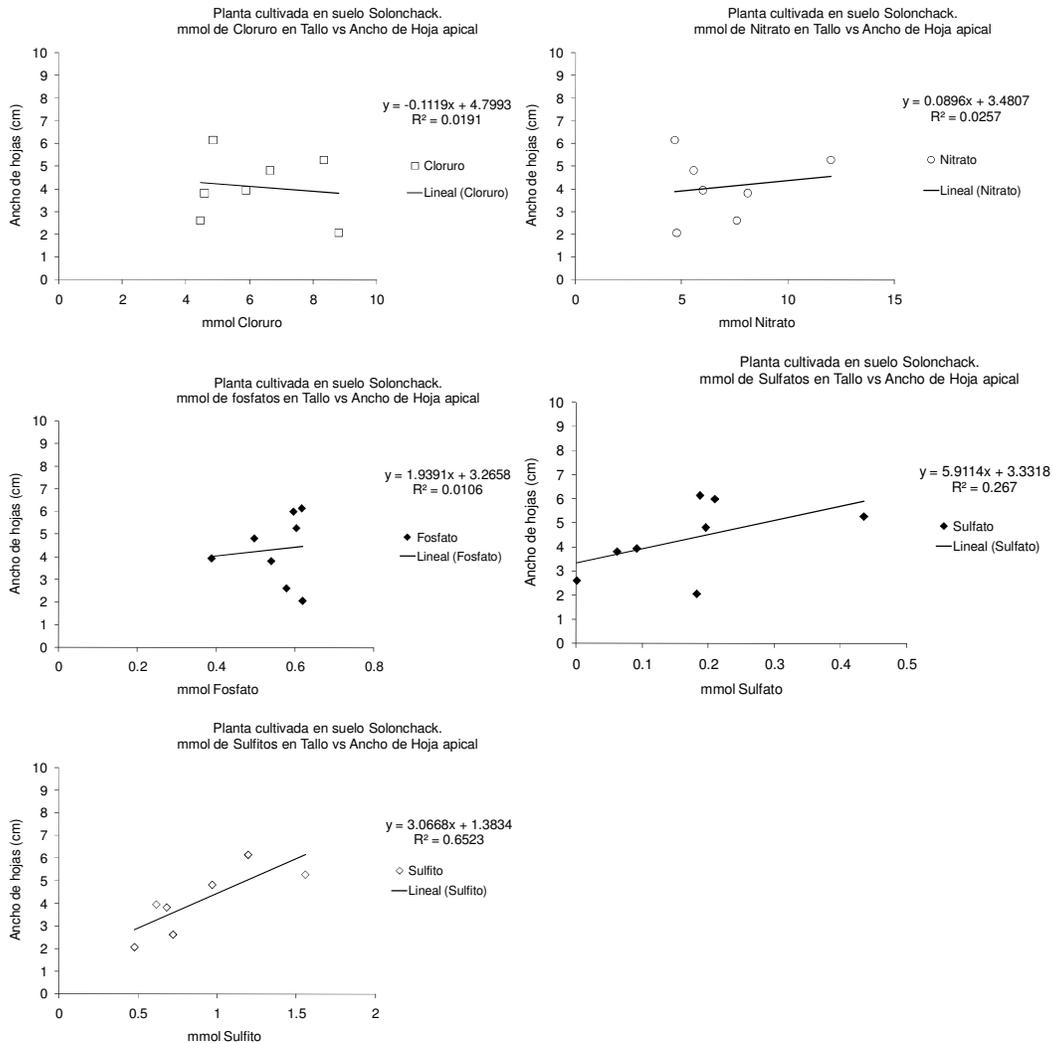


Figura 67: Variación de los contenido de aniones en tallo con el ancho de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 68 se observó una tendencia entre los aniones nitrato y sulfito en hoja basal con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

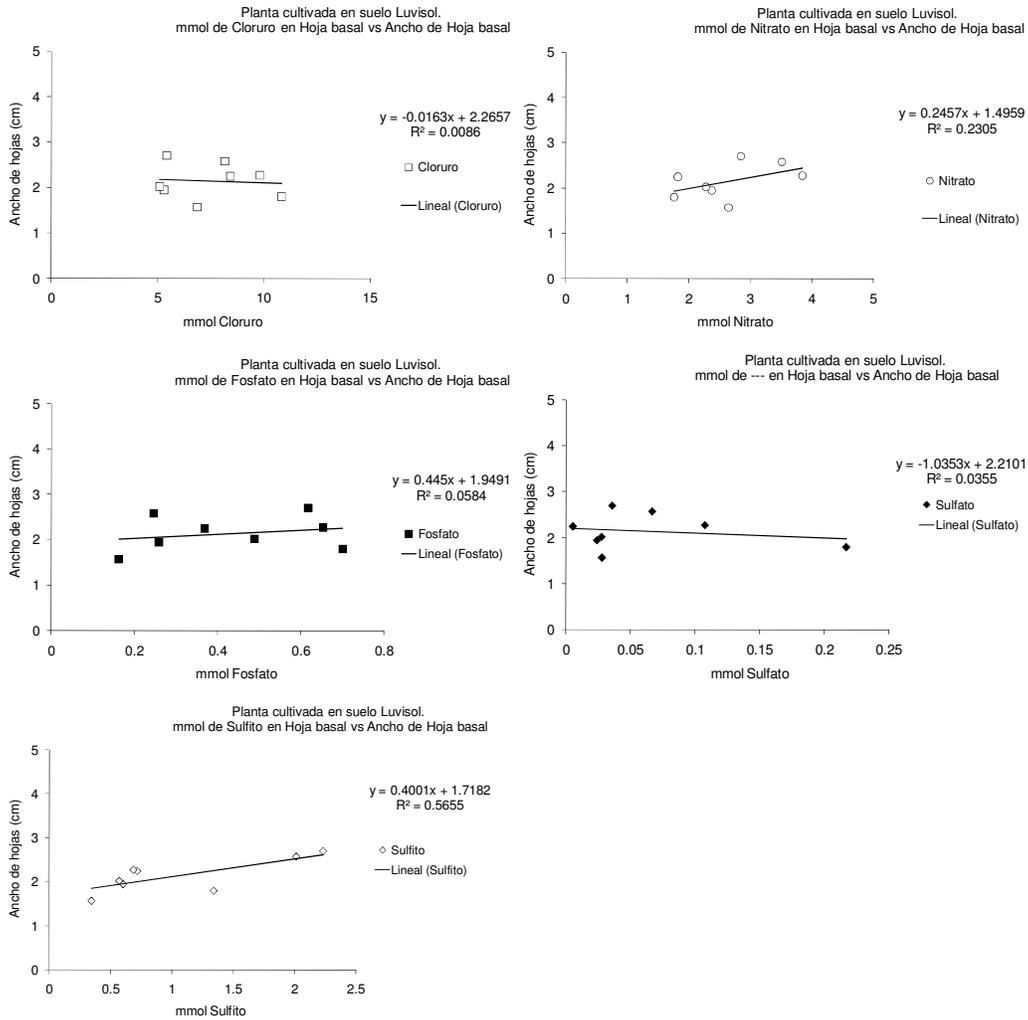


Figura 68: Variación de los contenido de aniones en hoja basal con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 69 se observó una tendencia entre los aniones sulfato y fosfato en hoja basal con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

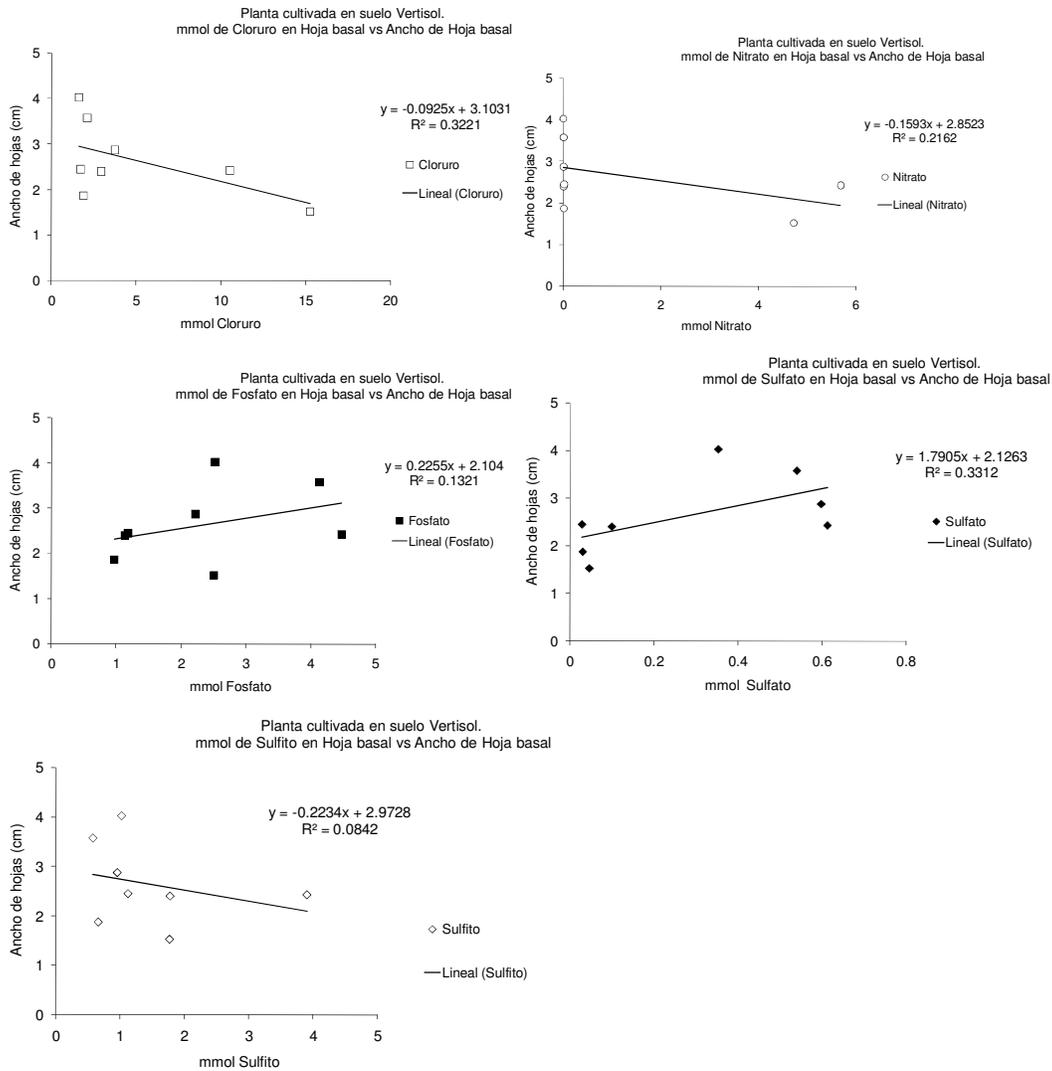
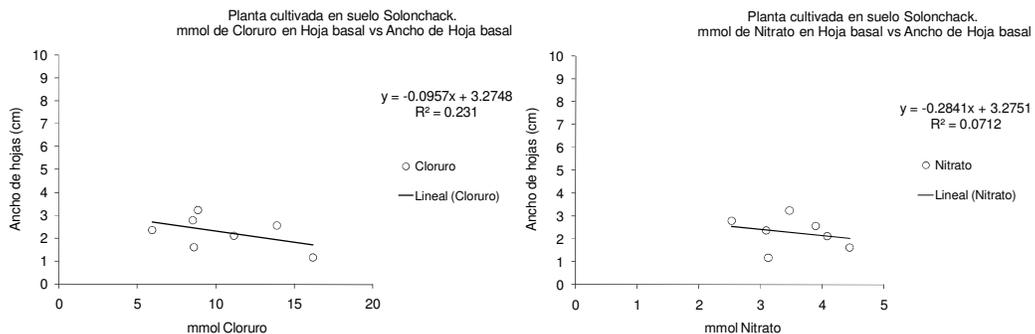


Figura 69: Variación de los contenido de aniones en hoja basal con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 70 se observó una tendencia entre los aniones cloruro y fosfato en hoja basal con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



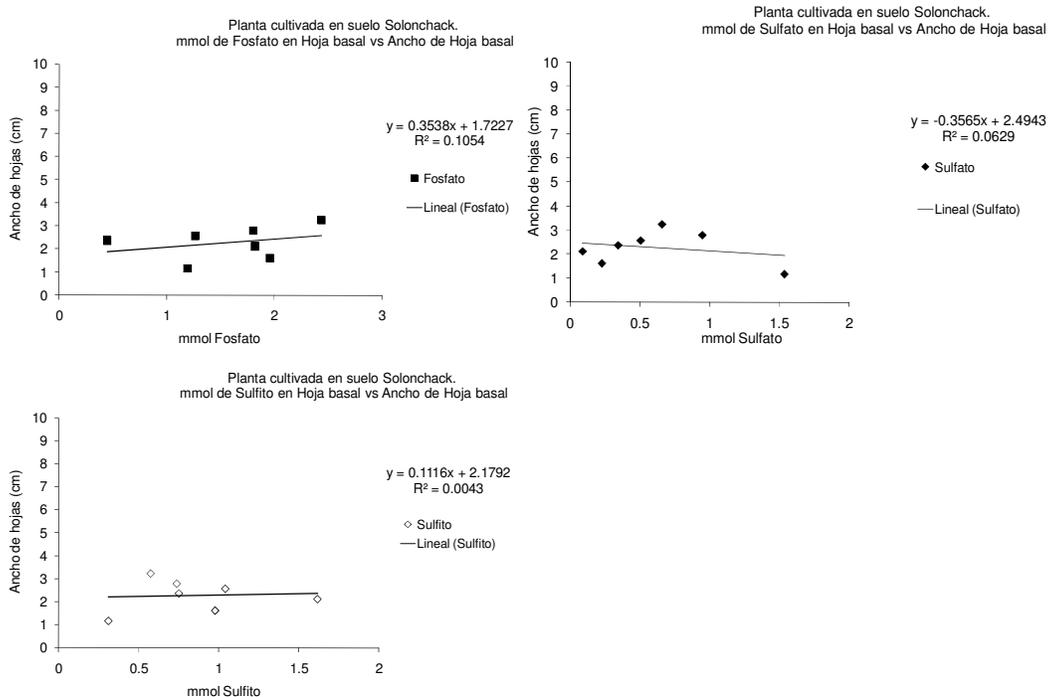
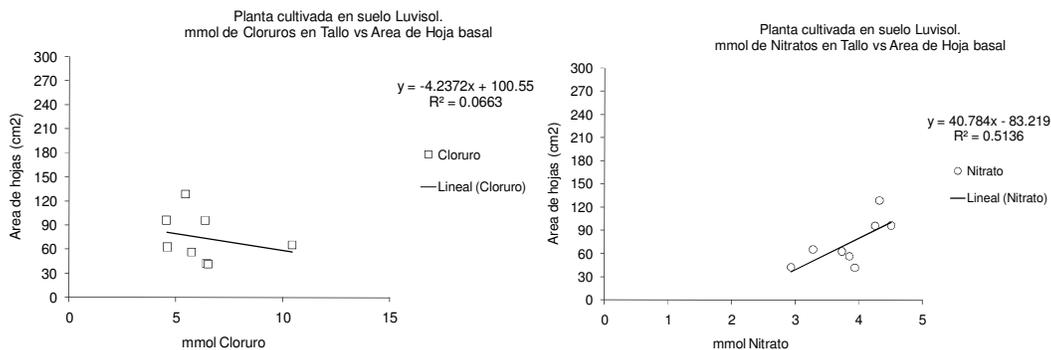


Figura 70: Variación de los contenido de aniones en hoja basal con el ancho de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

### 3.4.5. Área de hojas basales y apicales

En la figura 71 se observó una tendencia entre los aniones nitrato, sulfato en tallo con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros. Mientras que el sulfito tuvo una marcada tendencia y una buena correlación, lo que indica que deben tener influencia en el área de las hojas basales.



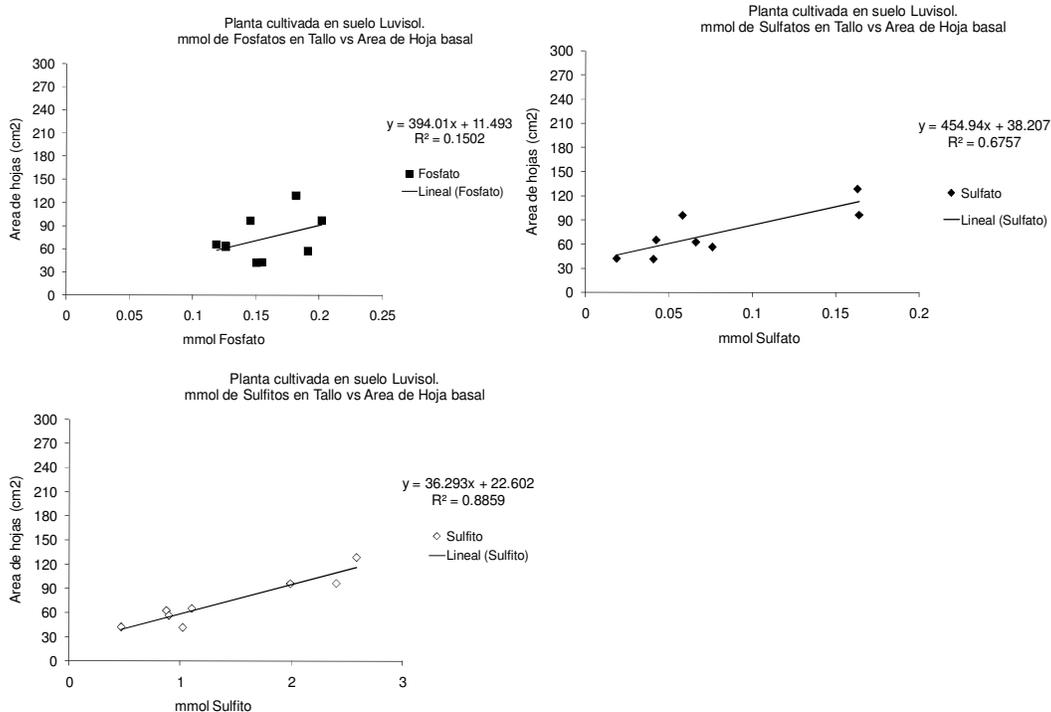
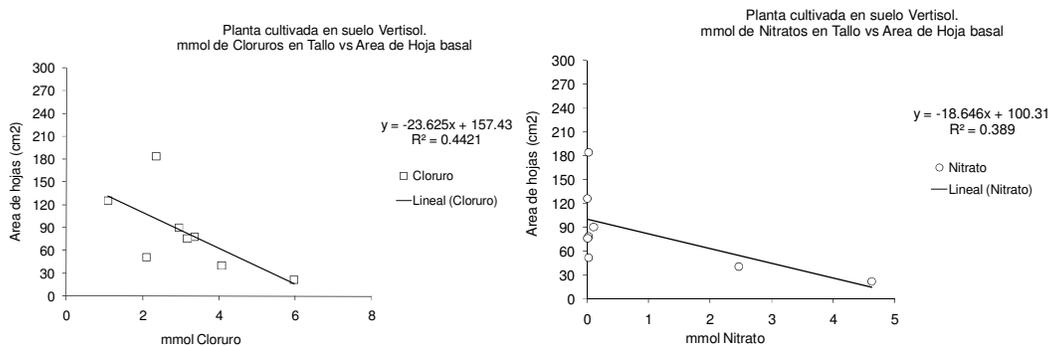


Figura 71: Variación de los contenido de aniones en tallo con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 72 se observó una tendencia entre los aniones cloruro, sulfato, sulfito y nitrato en tallo con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



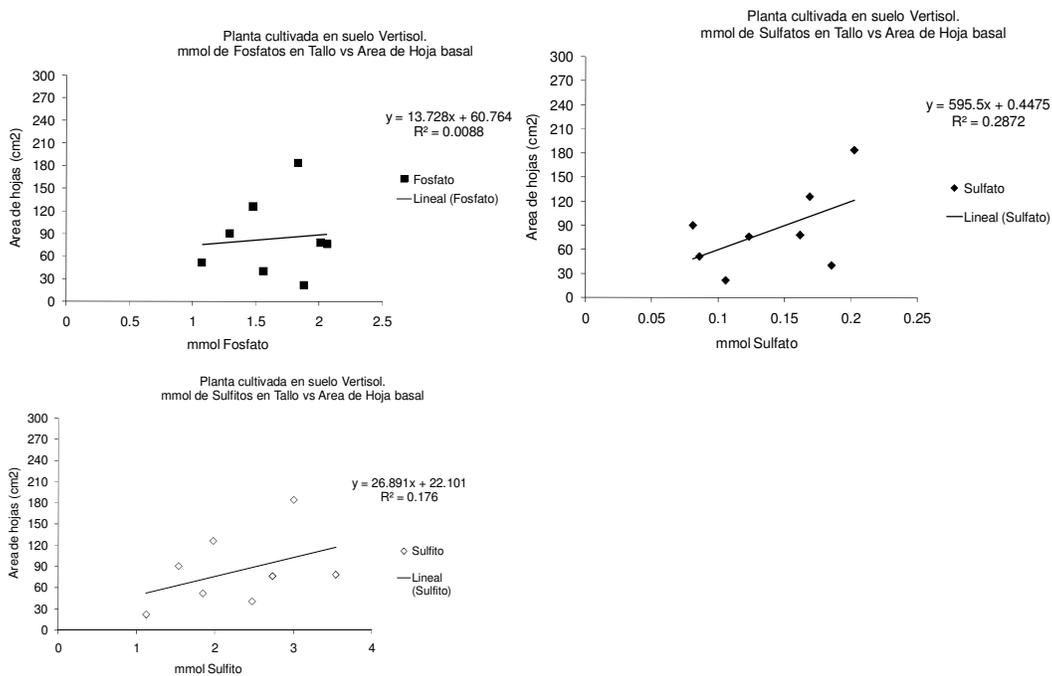


Figura 72: Variación de los contenido de aniones en tallo con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 73 se observó una tendencia entre los aniones sulfato en tallo con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

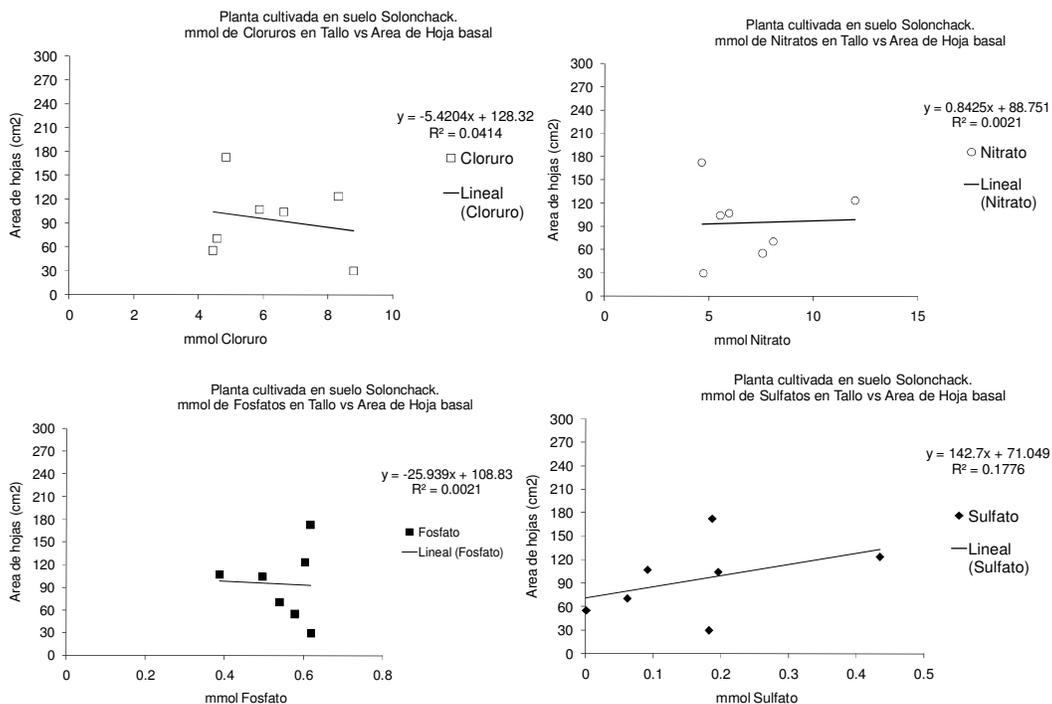




Figura 73: Variación de los contenido de aniones en tallo con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 74 se observó una tendencia entre los aniones nitrato, sulfato y sulfito en tallo con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

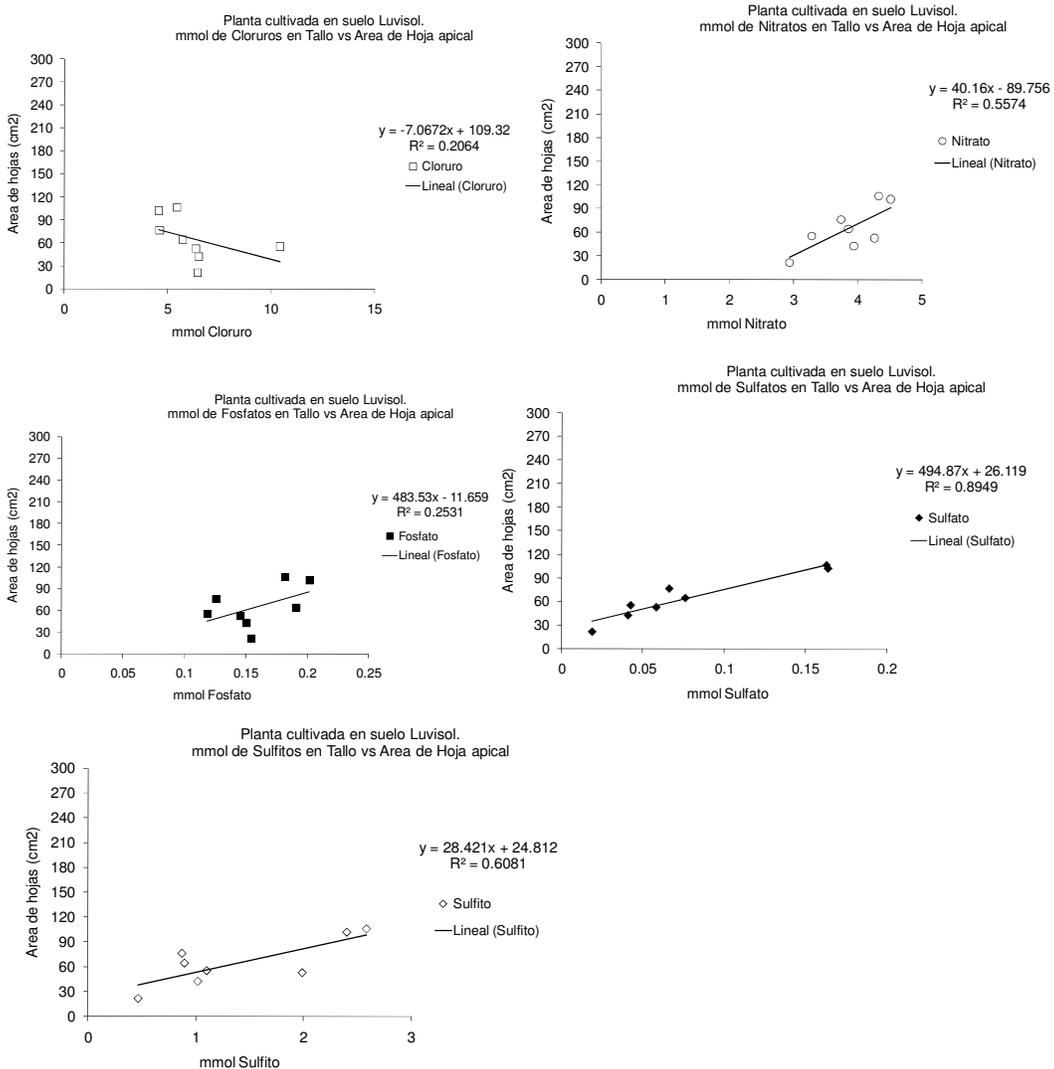


Figura 74: Variación de los contenido de aniones en tallo con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 75 se observó una tendencia entre los aniones cloruro, nitrato en tallo con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

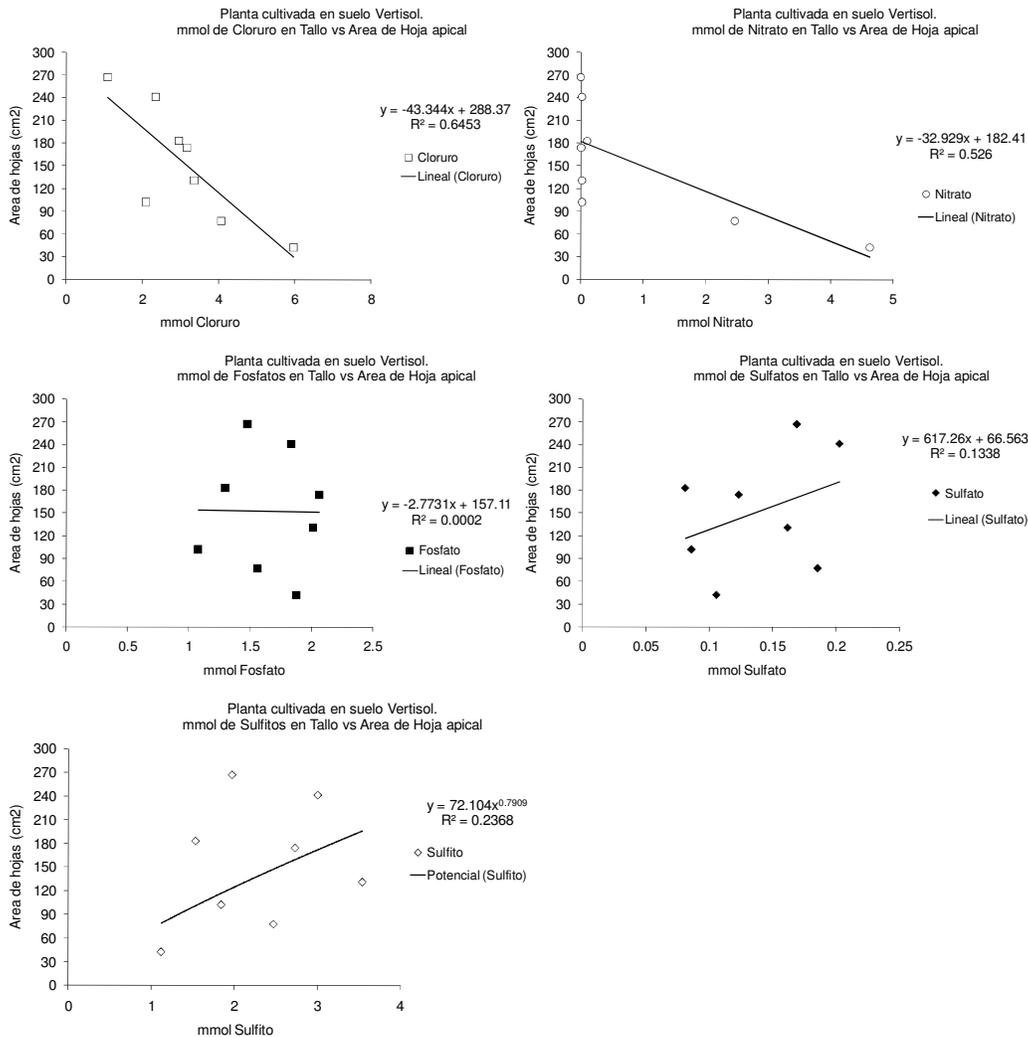


Figura 75: Variación de los contenido de aniones en tallo con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 76 se observó una tendencia entre los aniones sulfato y sulfito en tallo con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

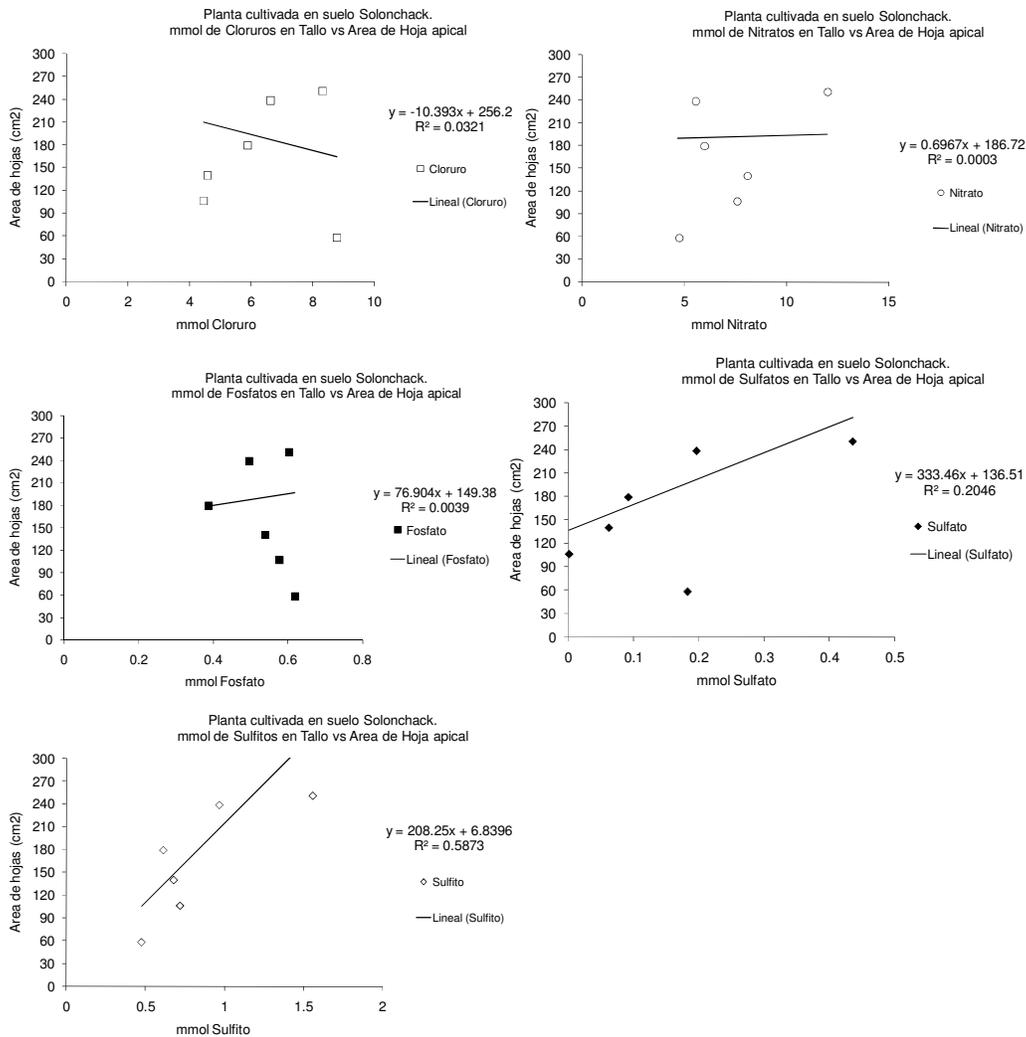
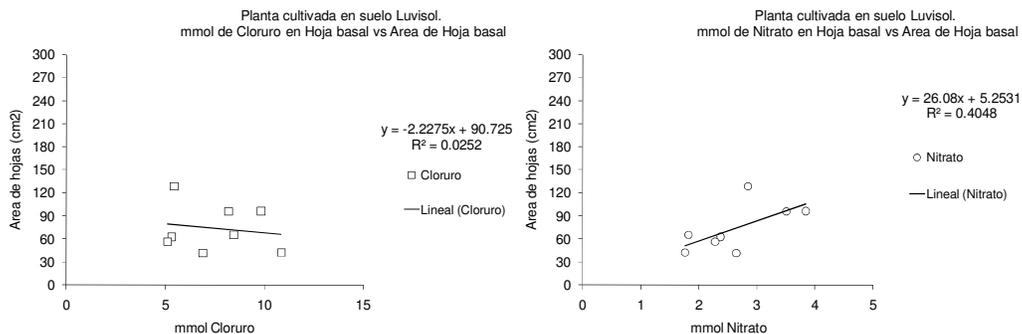


Figura 76: Variación de los contenidos de aniones en tallo con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 77 se observó una tendencia entre los aniones nitrato y sulfato en tallo con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



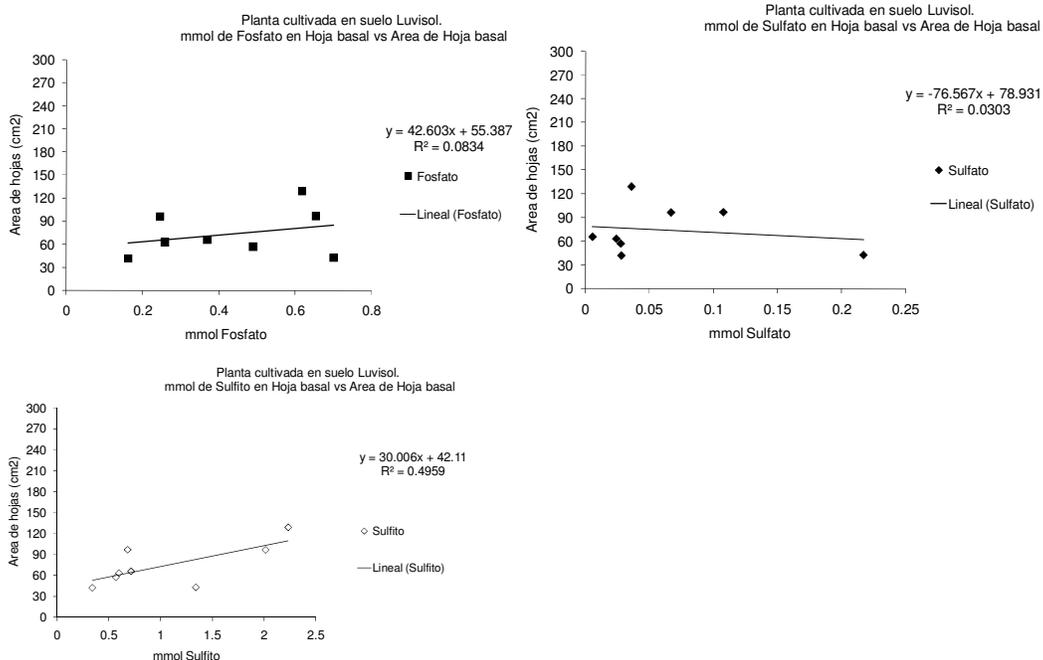
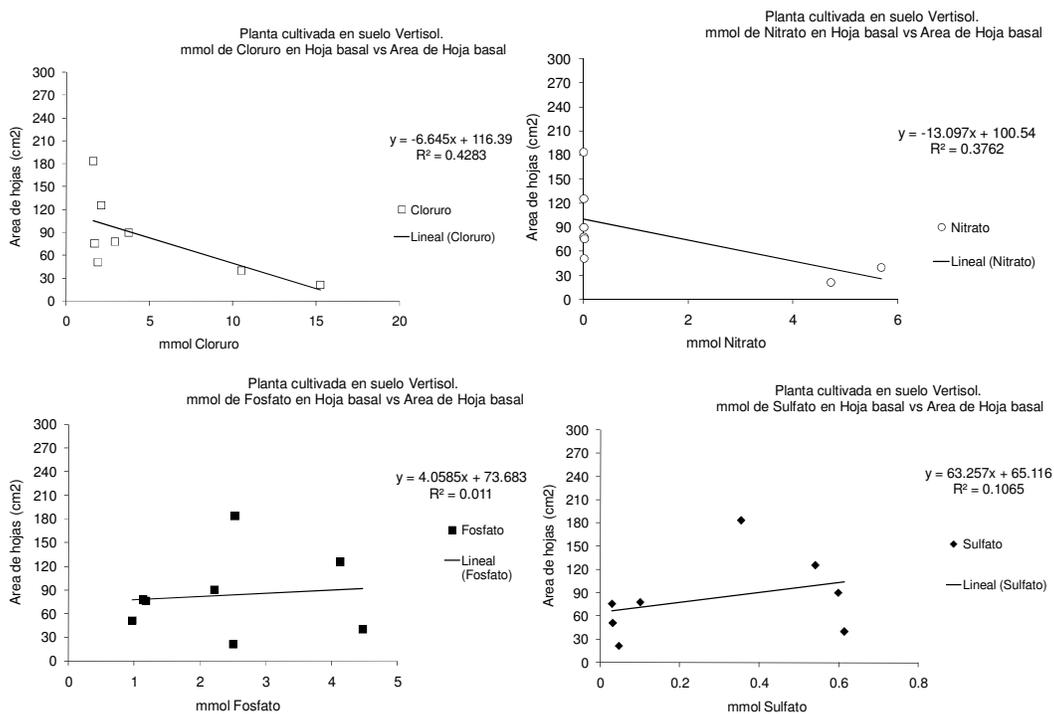


Figura 77: Variación de los contenido de aniones en hoja basal con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 78 se observó una tendencia entre los aniones cloruro, nitrato y sulfato en hoja basal con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



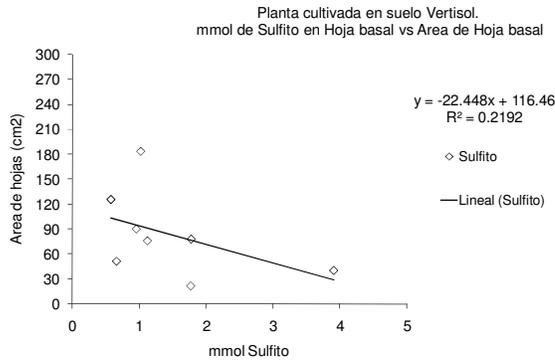


Figura 78: Variación de los contenido de aniones en hoja basal con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 79 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en hoja basal con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

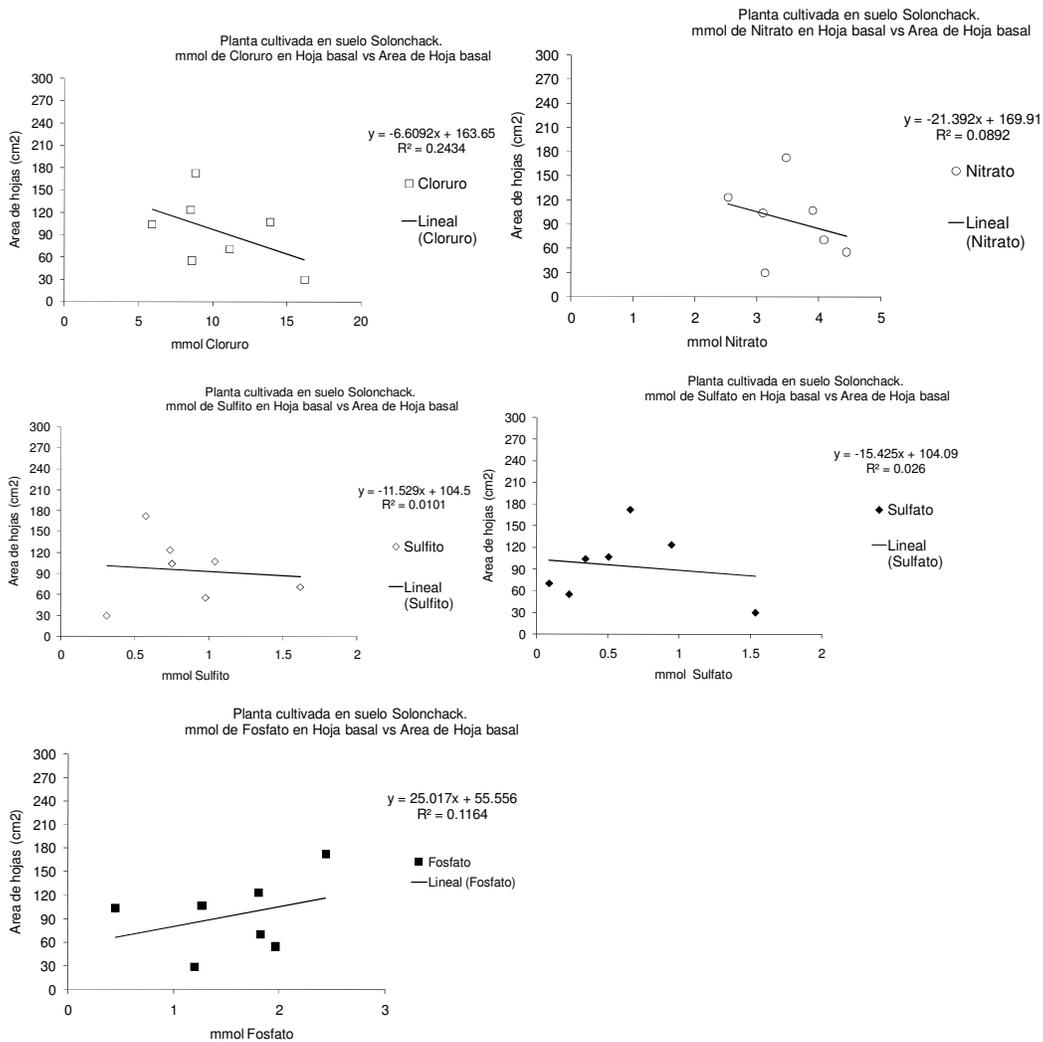


Figura 79: Variación de los contenido de aniones en hoja basal con el área de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 80 no se observó una tendencia entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en hoja apical con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

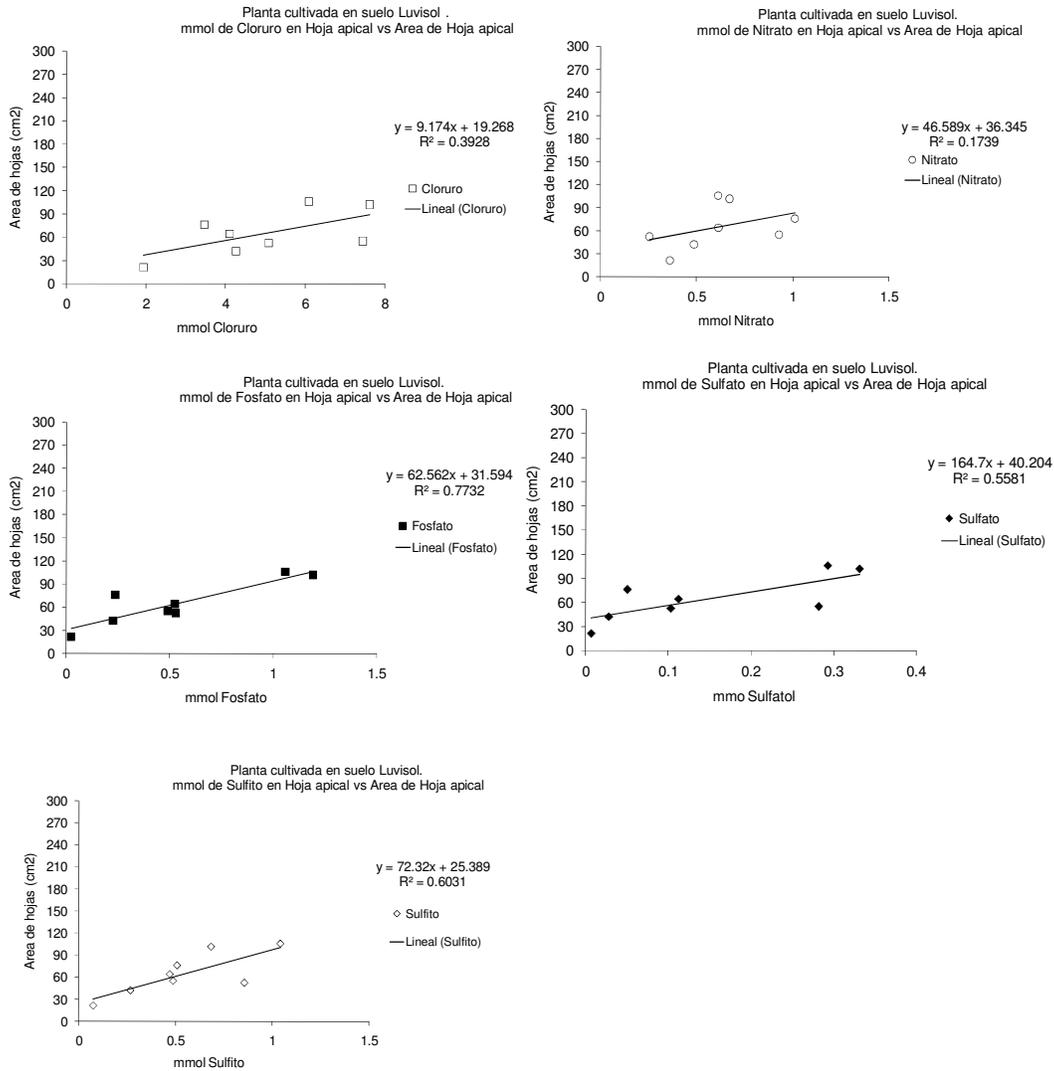


Figura 80: Variación de los contenidos de aniones en hoja apical con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 81 se observó una tendencia entre los aniones nitrato, fosfato y sulfato en hoja apical con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

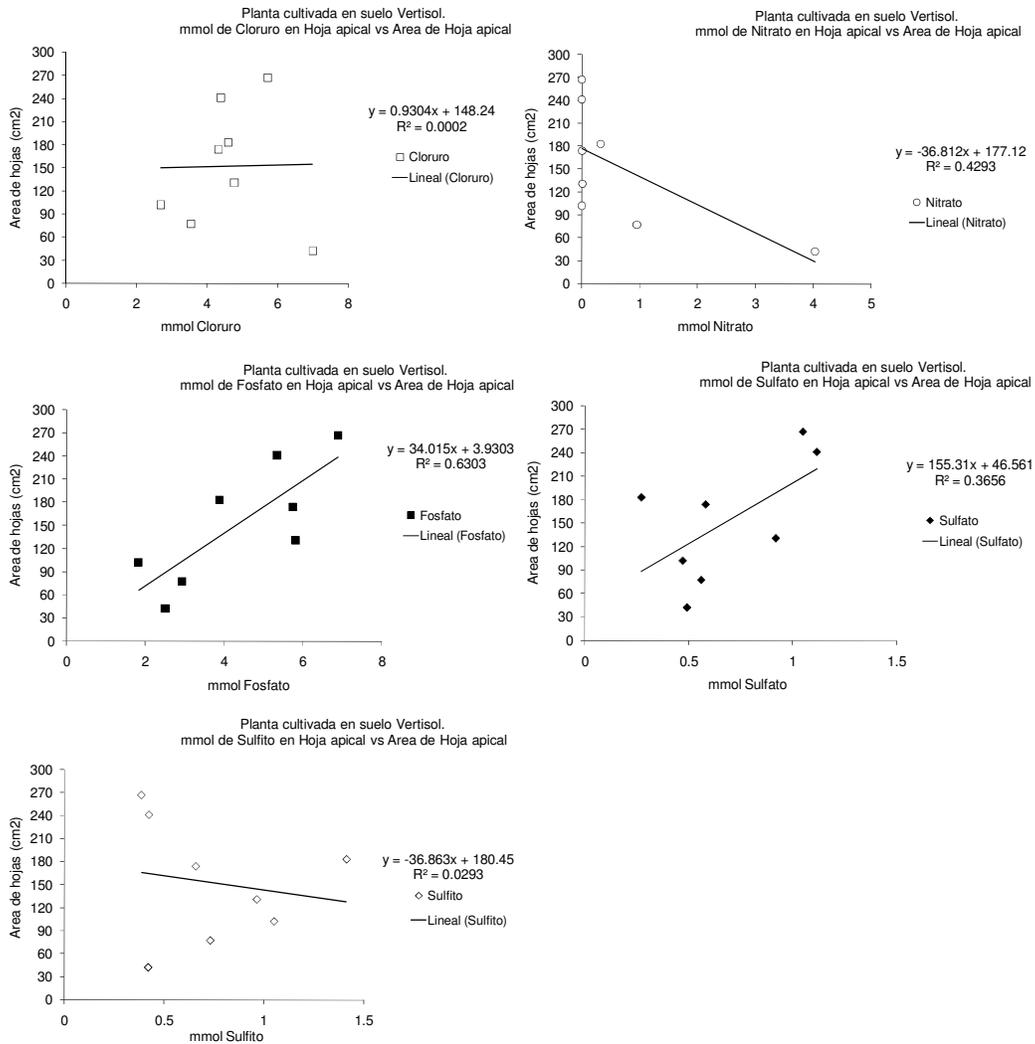


Figura 81: Variación de los contenido de aniones en hoja apical con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 82 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en hoja apical con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

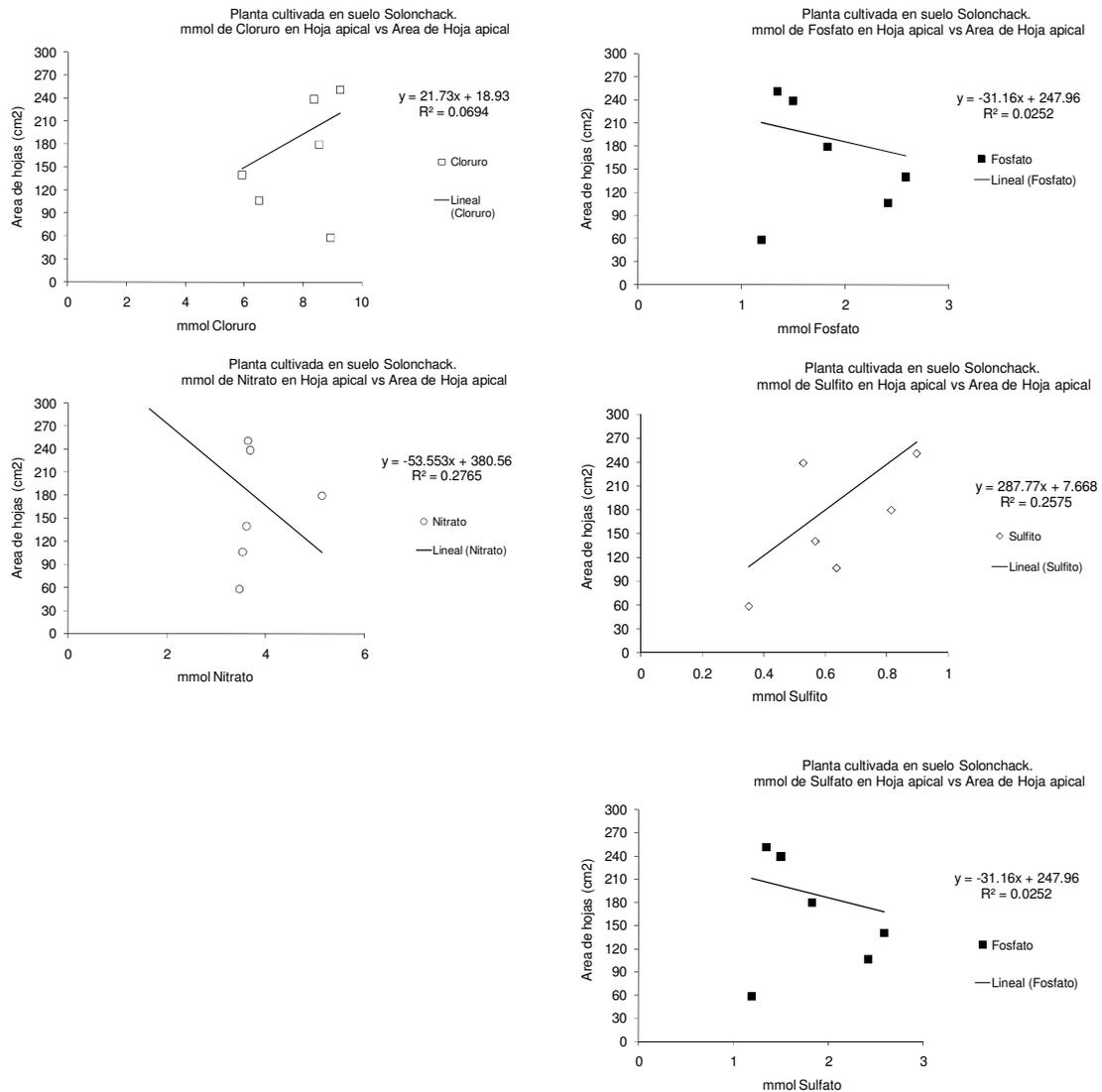


Figura 82: Variación de los contenidos de aniones en hoja apical con el área de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

### 3.4.6. Contenidos de Clorofila en hojas basales y apicales.

En la figura 83 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en tallo con la clorofila medida en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

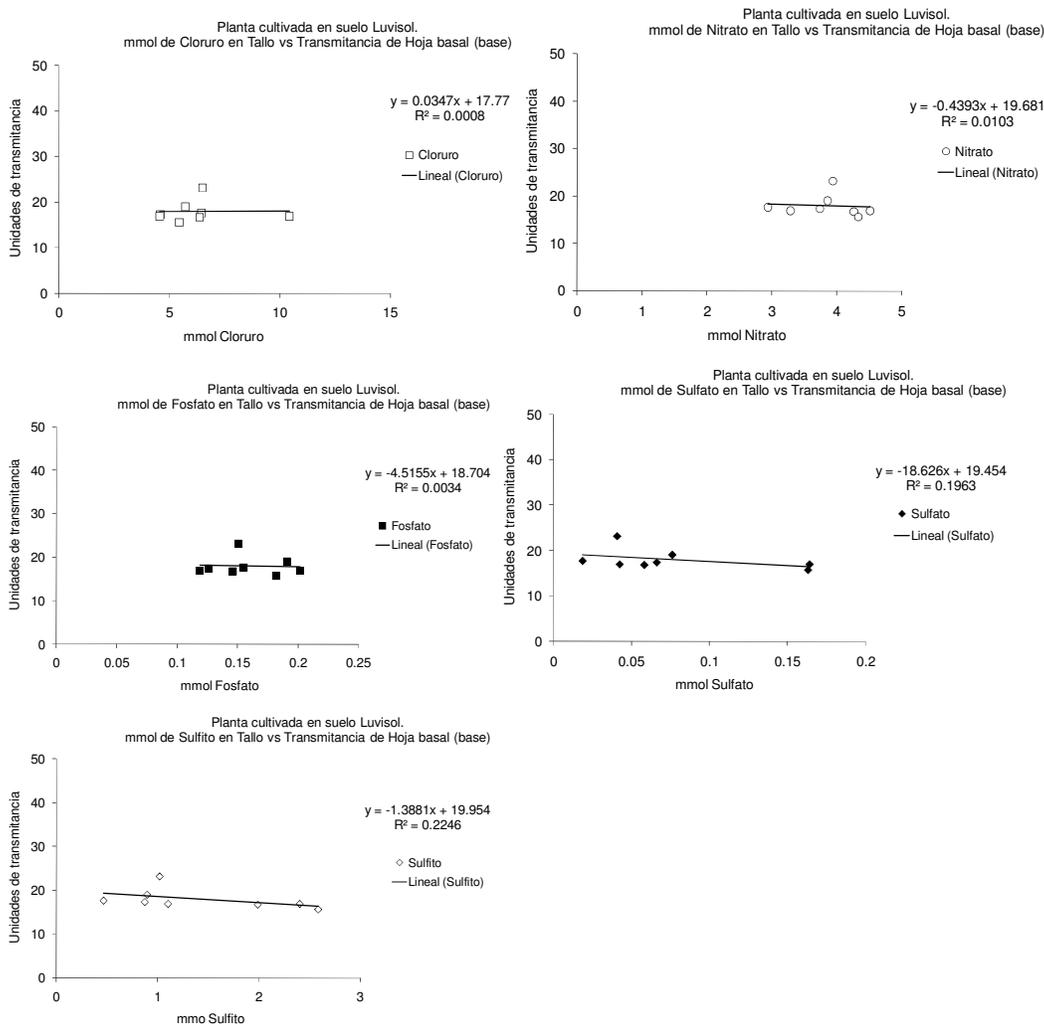
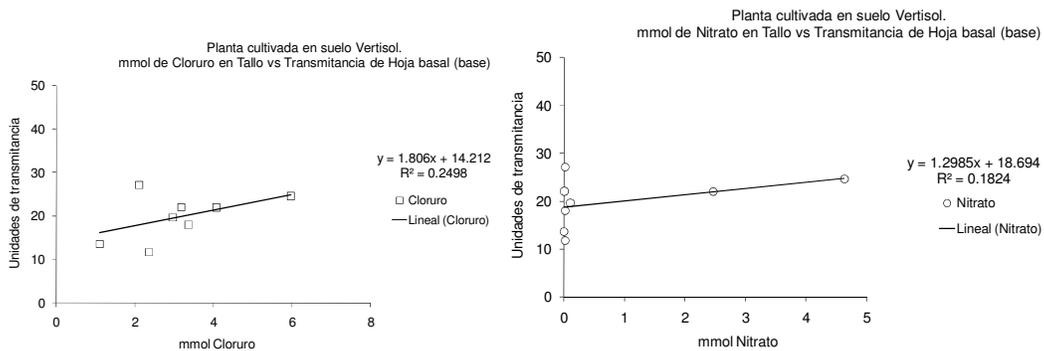


Figura 83: Variación de los contenidos de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 84 se observó una tendencia entre los aniones cloruro y sulfito en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



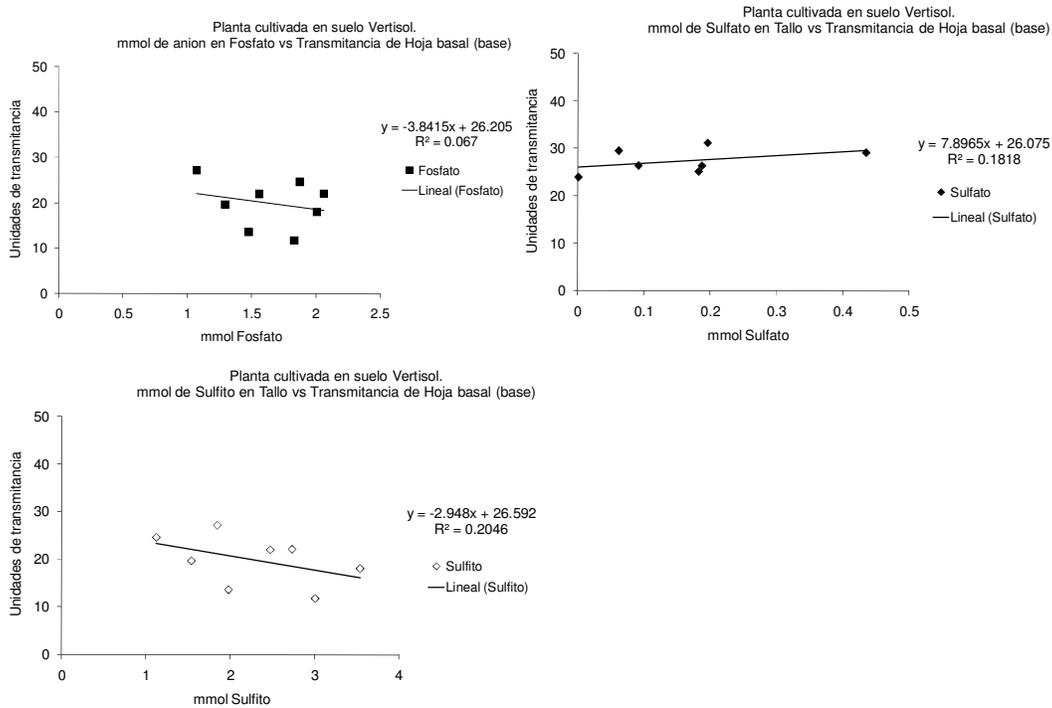
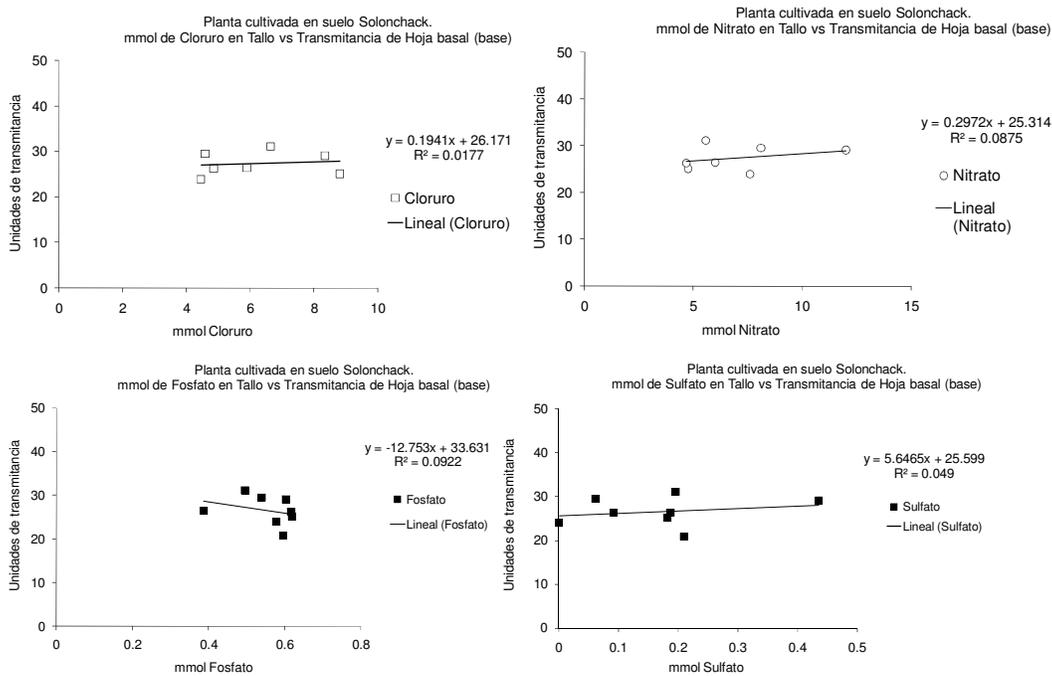


Figura 84: Variación de los contenido de aniones en tallo con la clorofila medida en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 85 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en tallo con la clorofila medida en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.



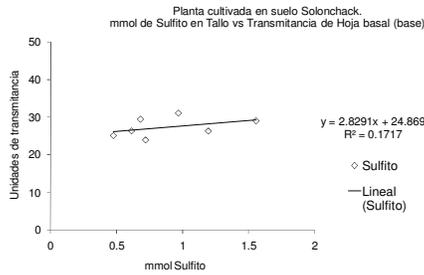


Figura 85: Variación de los contenidos de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 86 se observó una tendencia entre los aniones nitrato, sulfato y sulfito en tallo con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

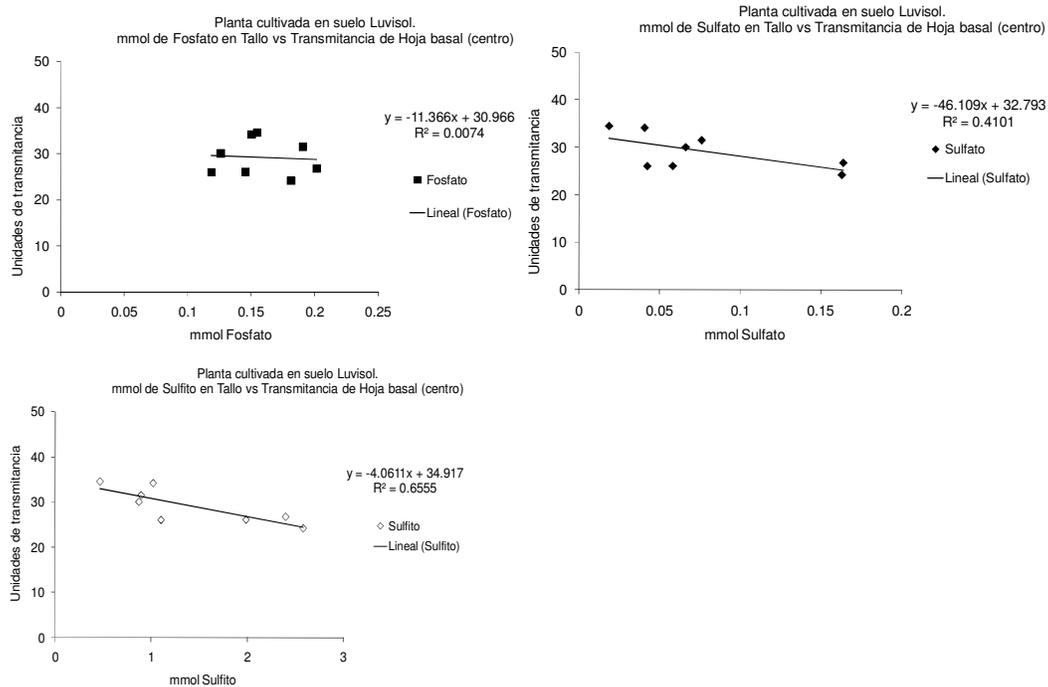


Figura 86: Variación de los contenidos de aniones en tallo con la clorofila medida en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 87 se observó una tendencia entre los aniones cloruro, nitrato y sulfato en tallo con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

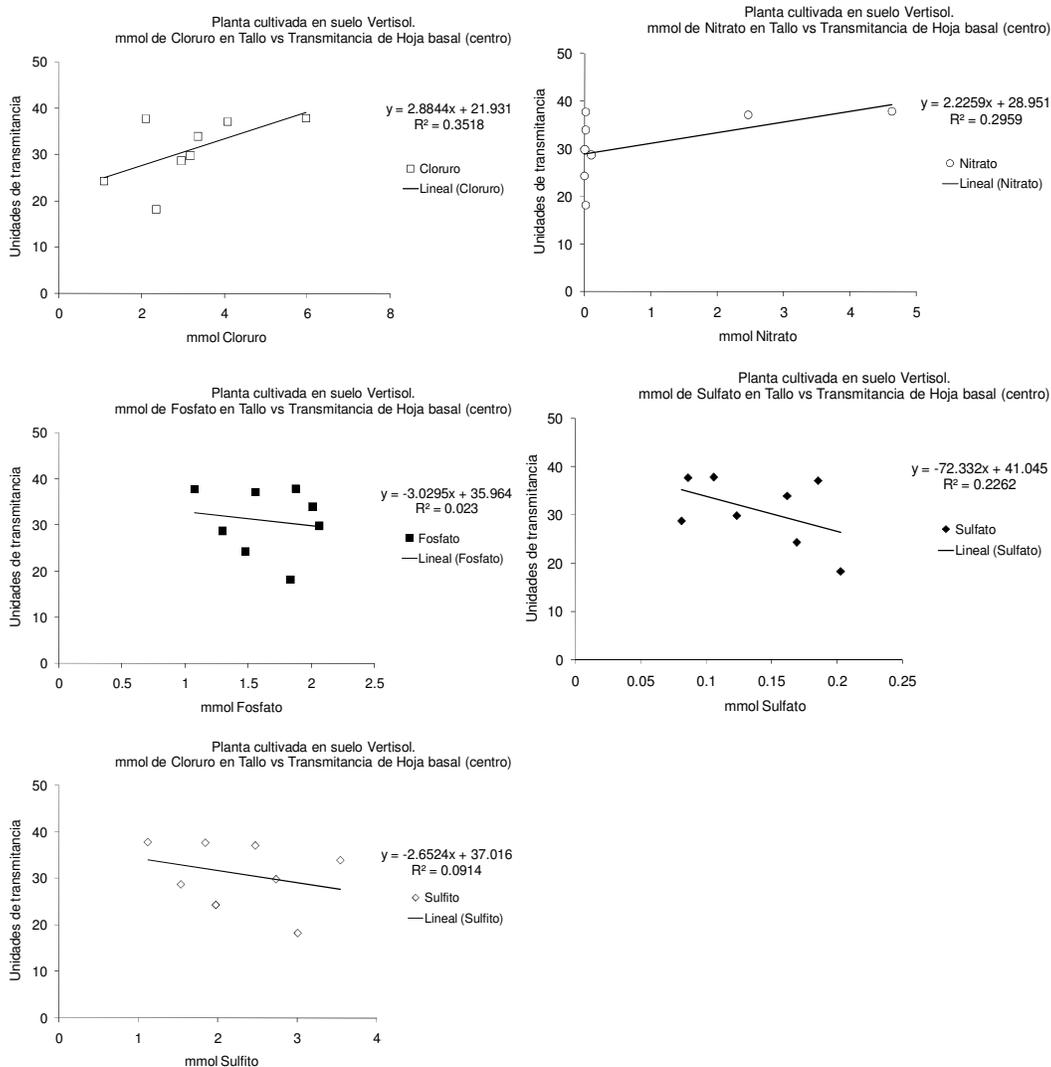
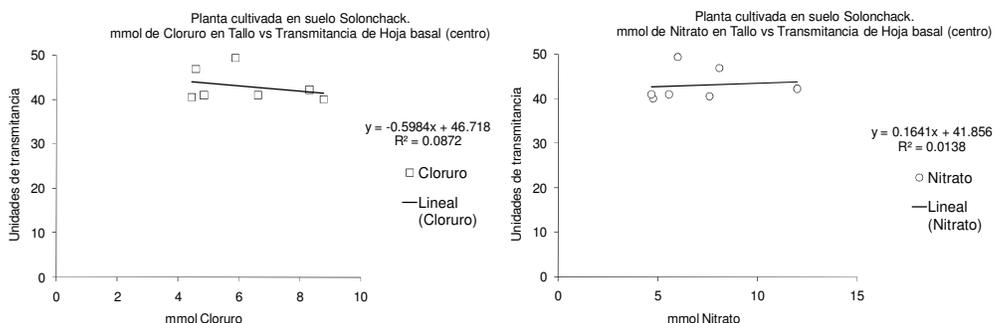


Figura 87: Variación de los contenidos de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 88 se observó una tendencia entre los aniones fosfato en tallo con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



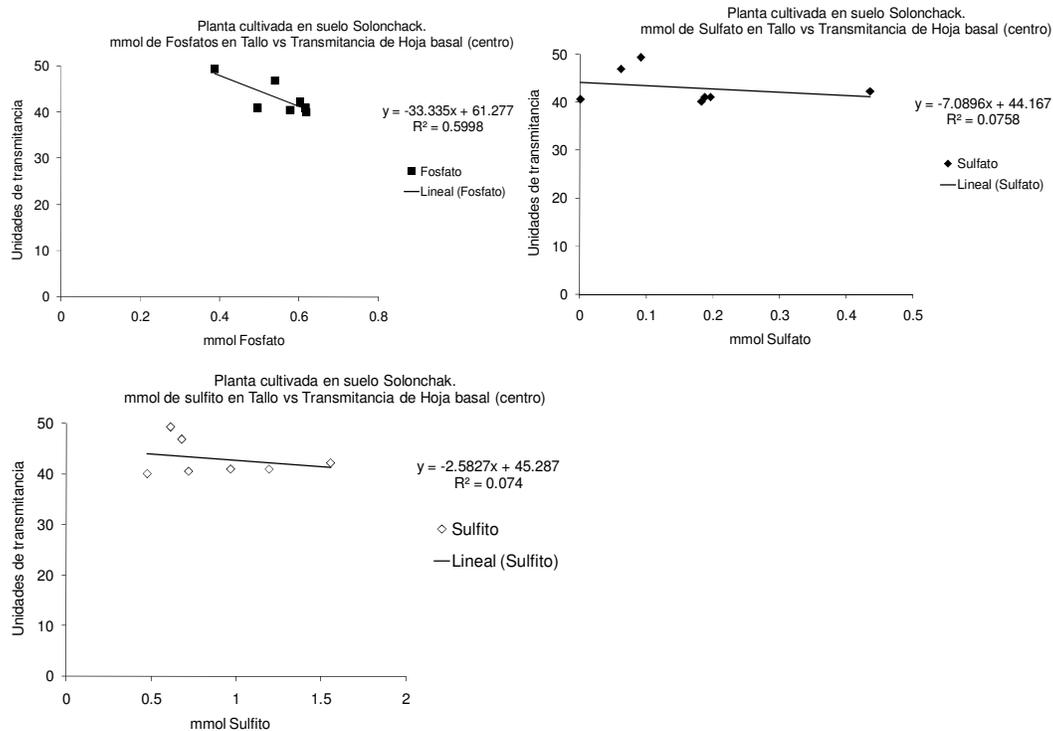
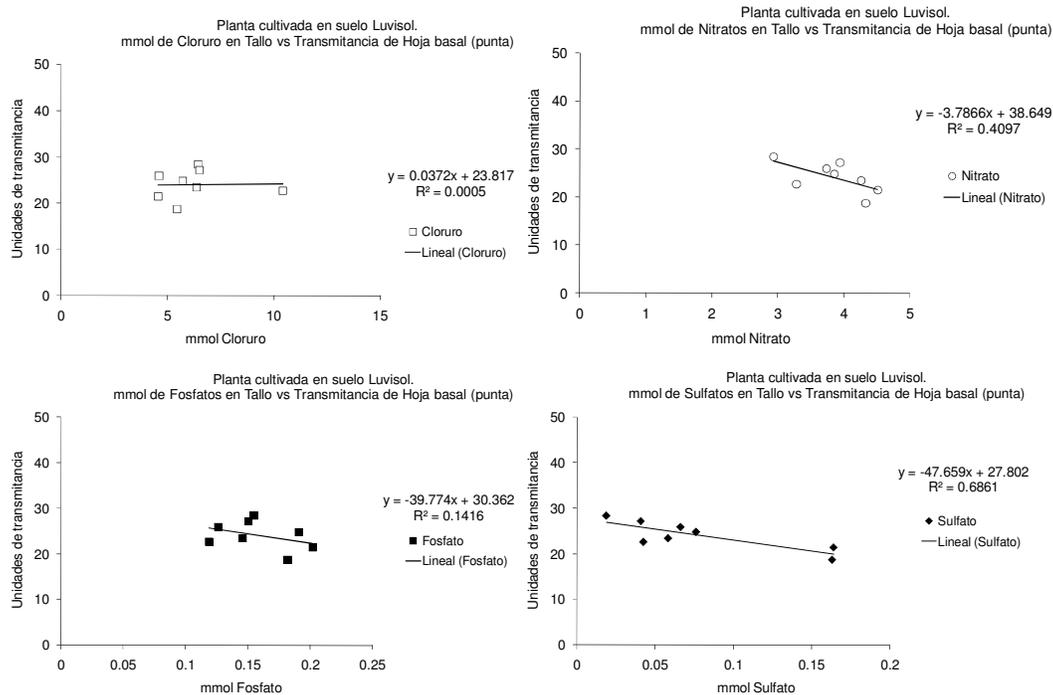


Figura 88: Variación del contenido de aniones en tallo con la clorofila medida en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 89 se observó una tendencia entre los aniones nitrato, sulfato y sulfitos en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



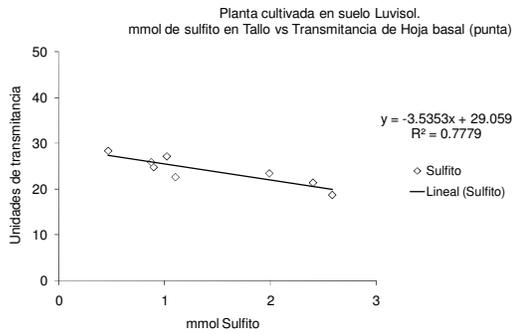


Figura 89: Variación del contenido de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 90 se observó una tendencia entre los aniones cloruros y nitrato en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

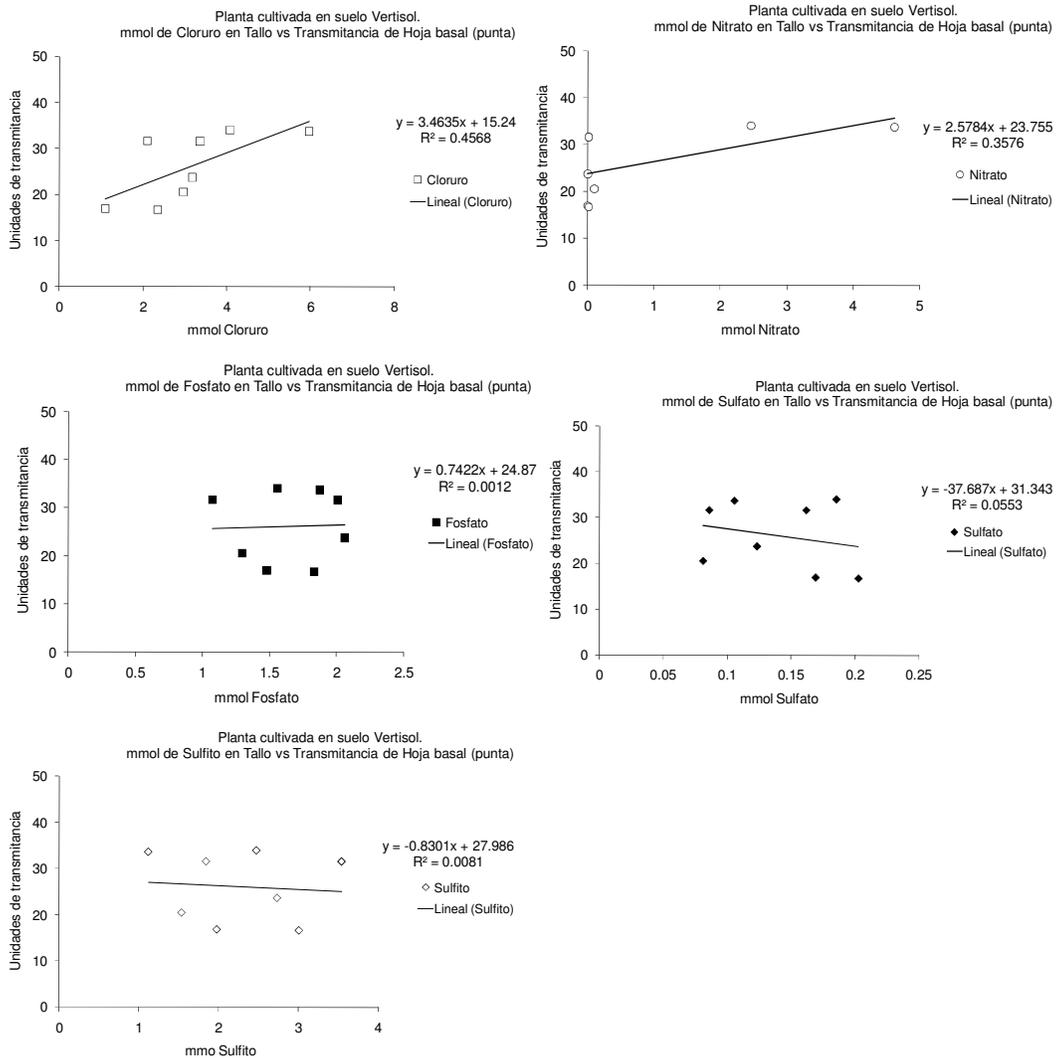


Figura 90: Variación del contenido de aniones en tallo con la clorofila medida en la punta de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 91 se observó una tendencia entre los aniones nitrato y fosfato en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

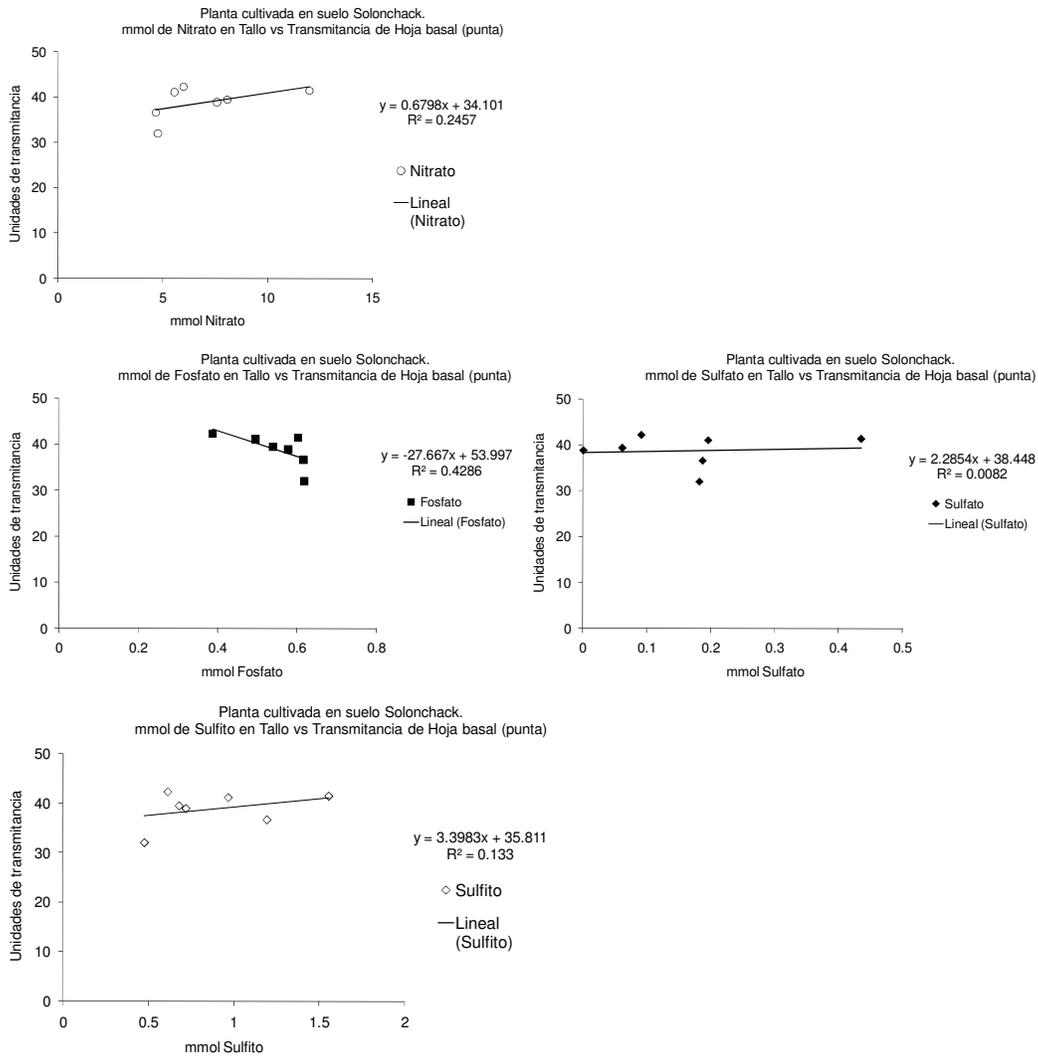


Figura 91: Variación del contenido de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 92 observó una tendencia entre los aniones cloruro en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

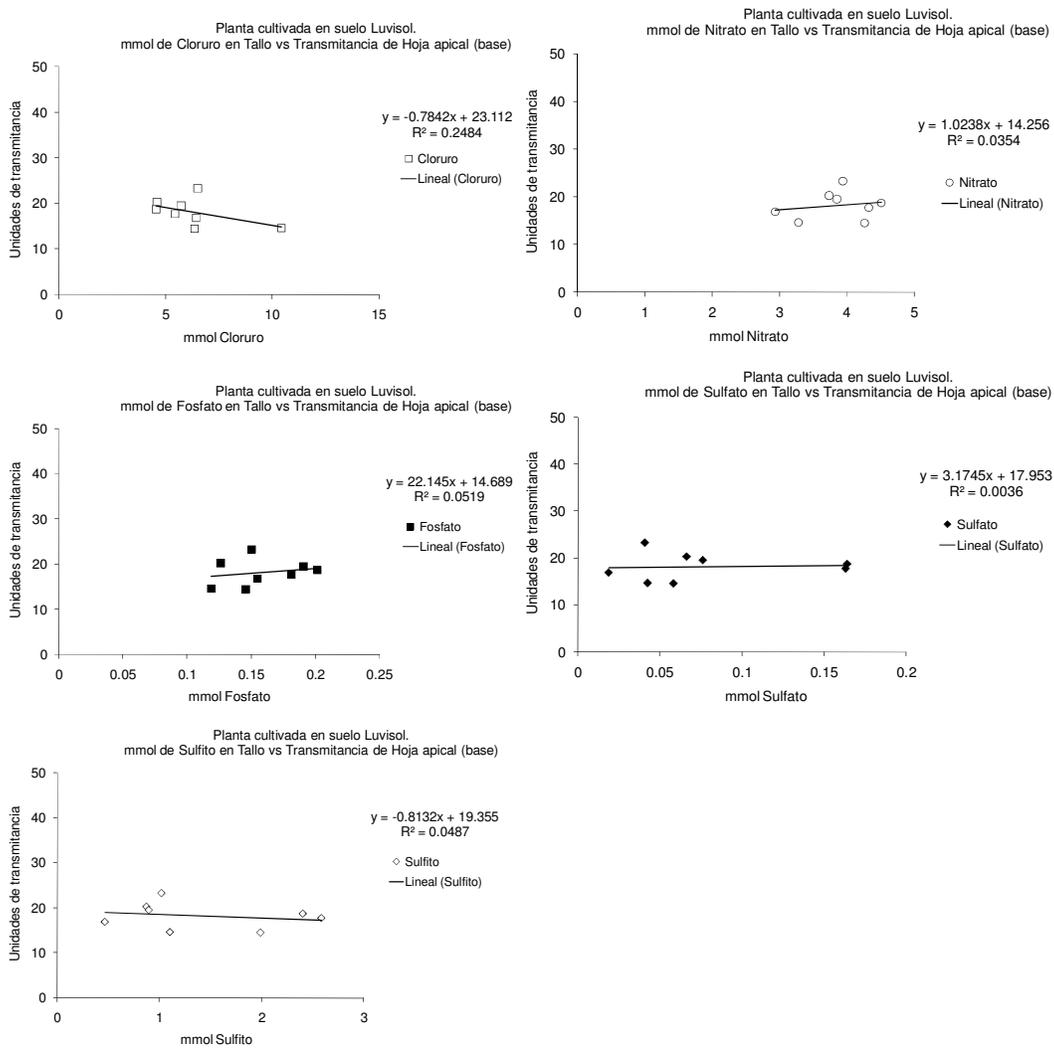
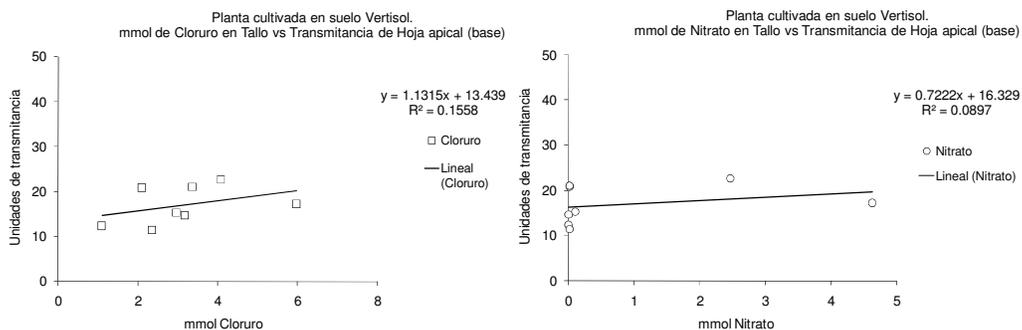


Figura 92: Variación del contenido de aniones en tallo con la clorofila medida en la base de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 93 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.



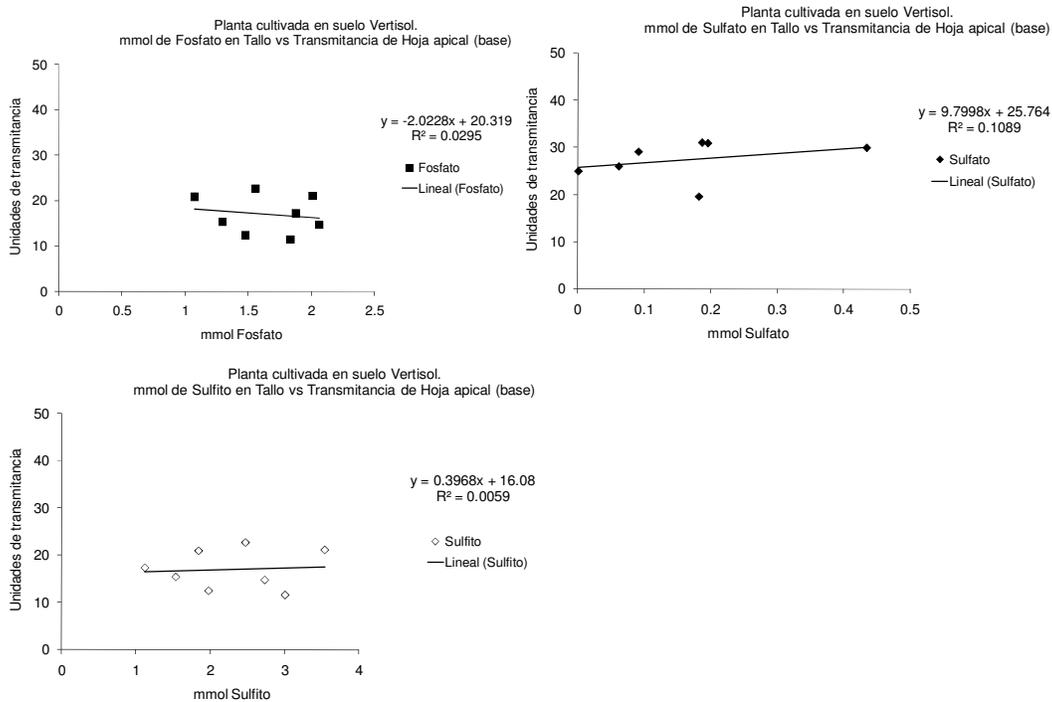
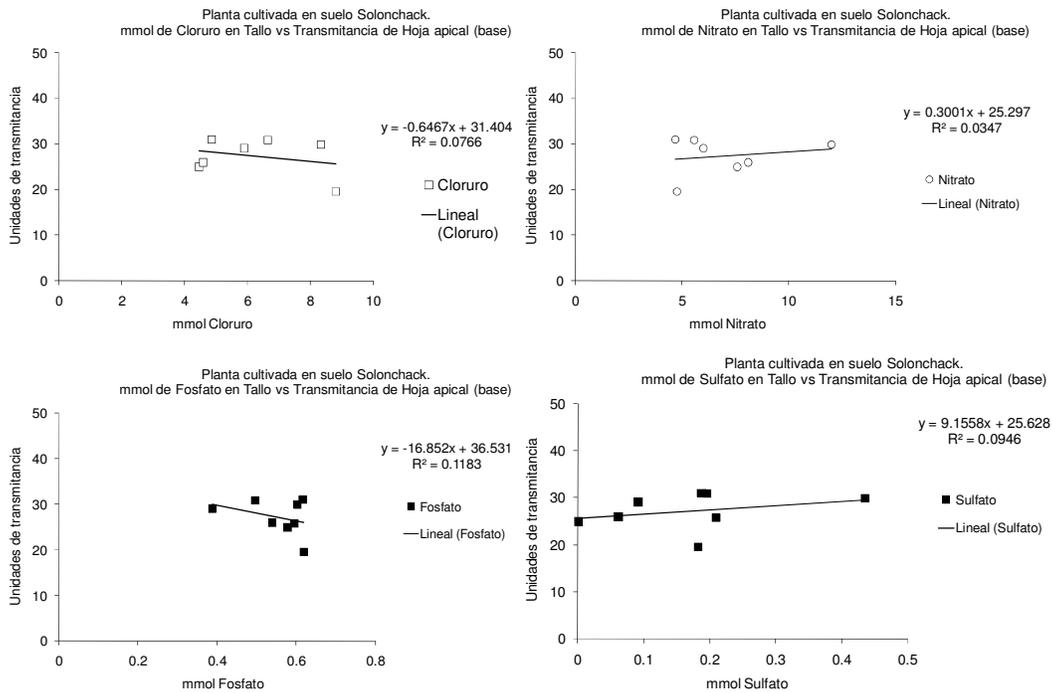


Figura 93: Variación del contenido de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 94 se observó una tendencia entre los aniones sulfato en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



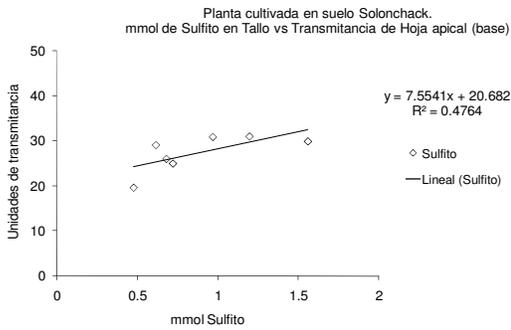


Figura 94: Variación del contenido de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la base de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 95 se observó una tendencia entre los aniones sulfito en tallo con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

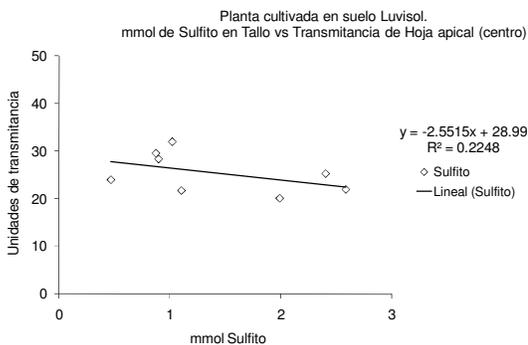
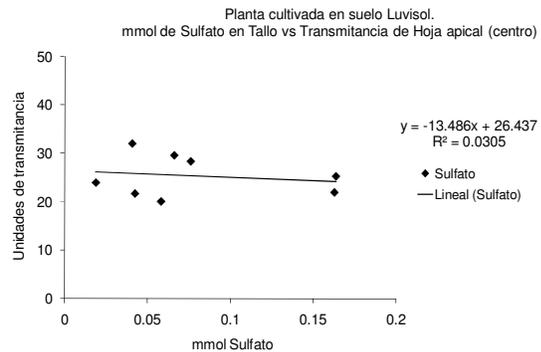
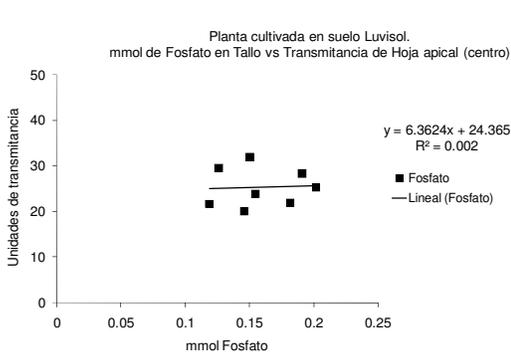
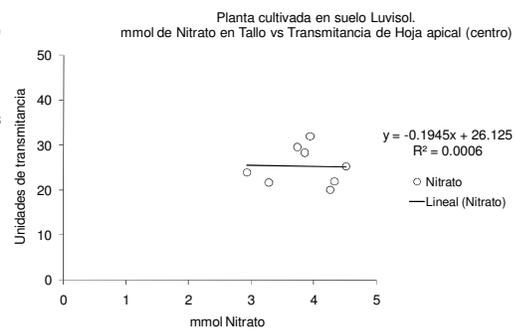
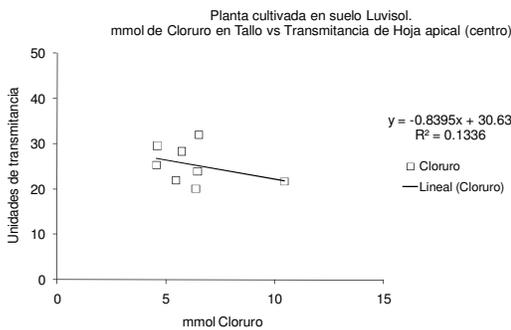


Figura 95: Variación del contenido de aniones en tallo con la clorofila medida en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 96 se observó una tendencia entre los aniones cloruro y nitrato en tallo con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

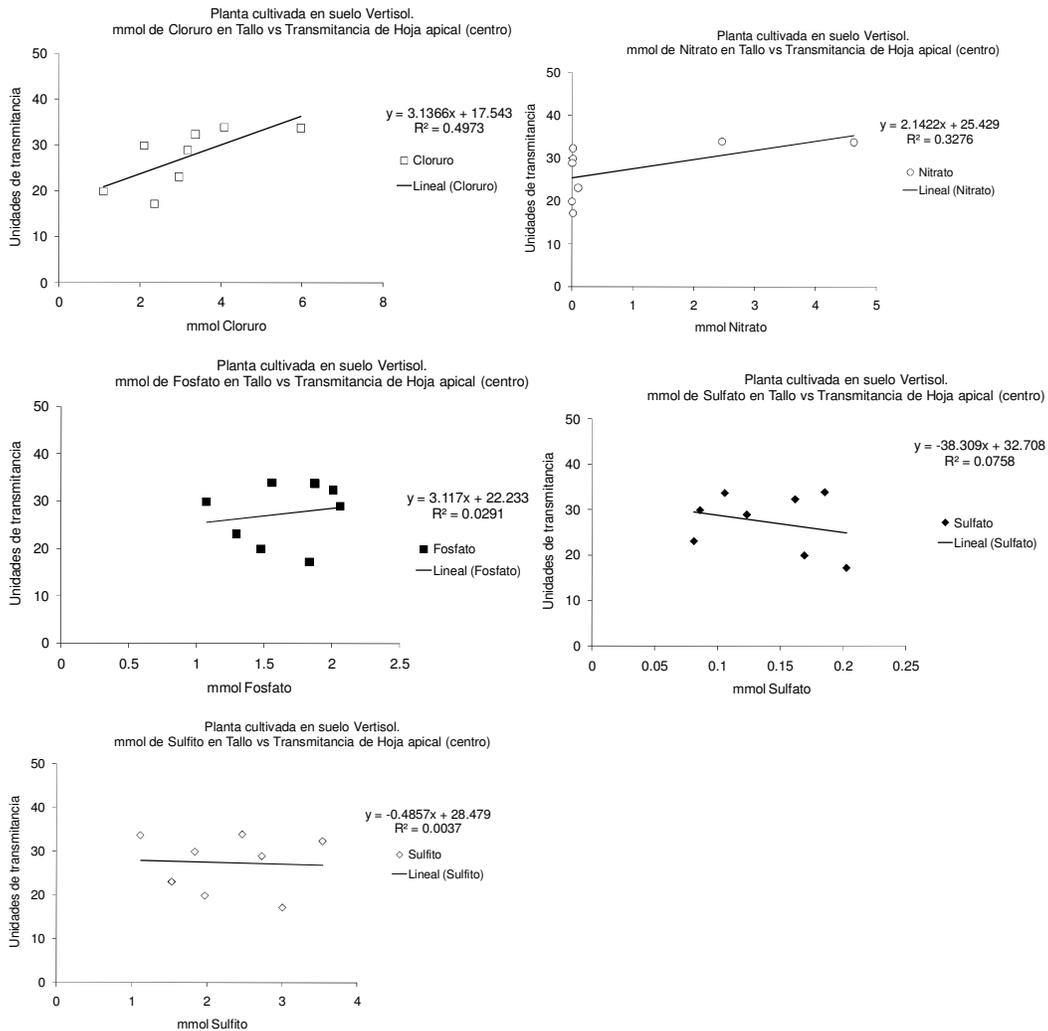


Figura 96: Variación del contenido de aniones en tallo con la clorofila medida en el centro de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 97 se observó una tendencia entre los aniones fosfato, sulfato y sulfito en tallo con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

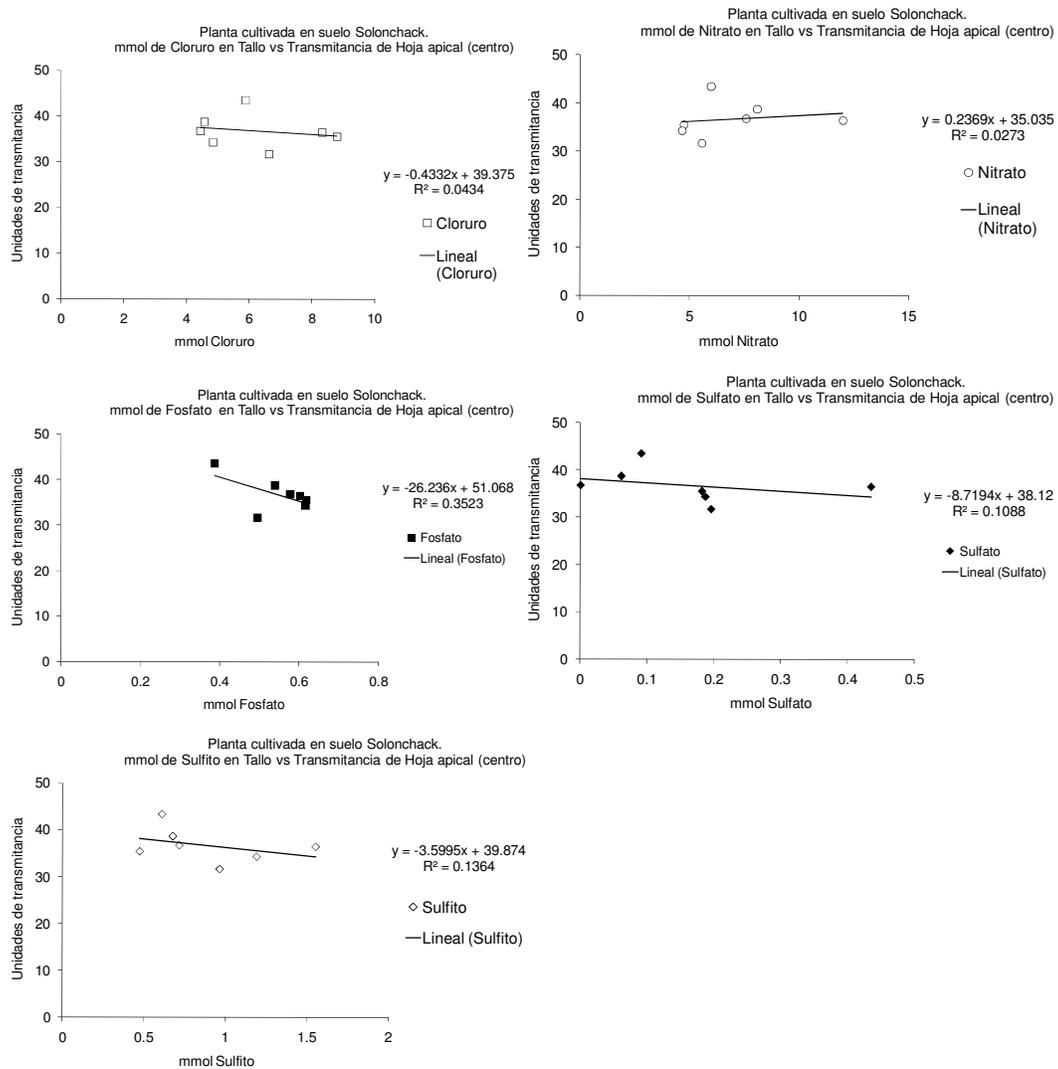


Figura 97: Variación del contenido de aniones en tallo con la clorofila medida en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 98 se observó una tendencia entre los aniones sulfito y sulfato en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

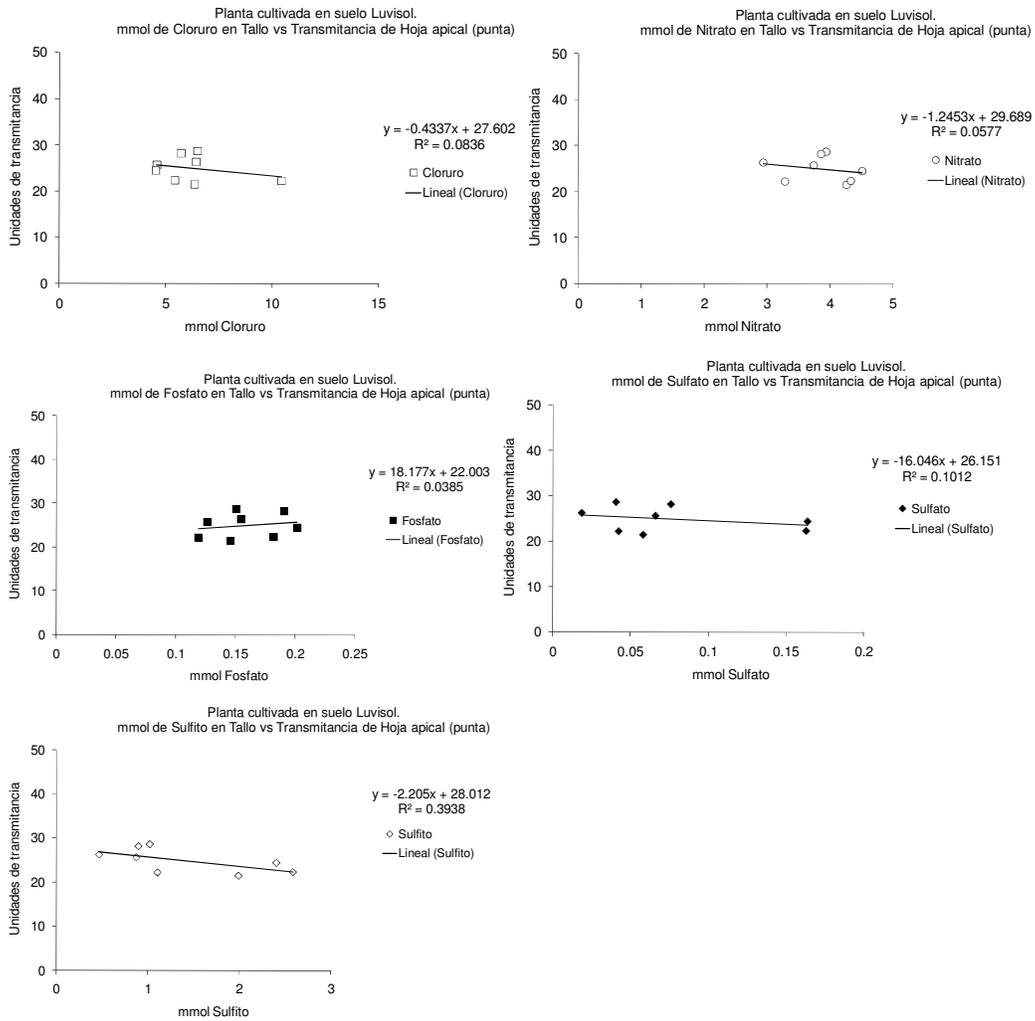
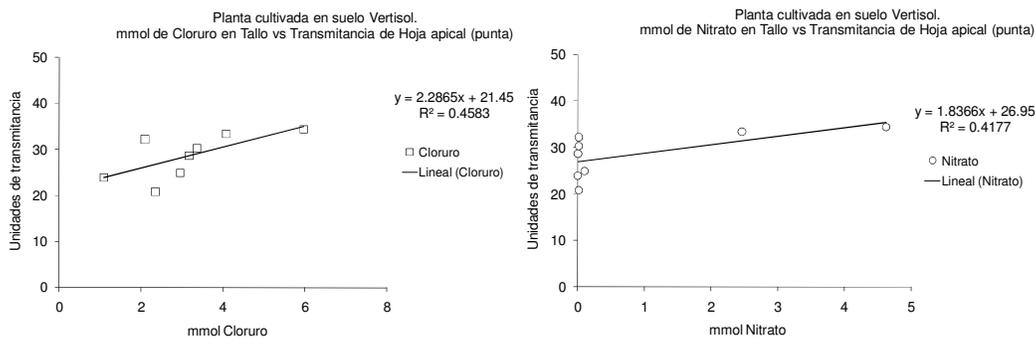


Figura 98: Variación del contenido de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 99 se observó una tendencia entre los aniones cloruro y nitrato en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



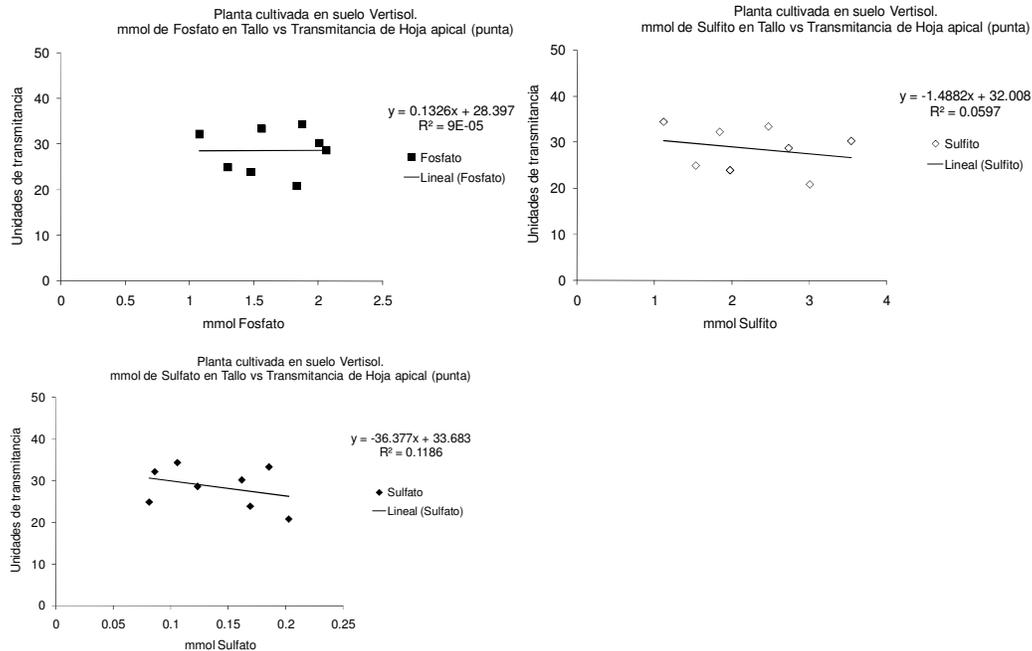
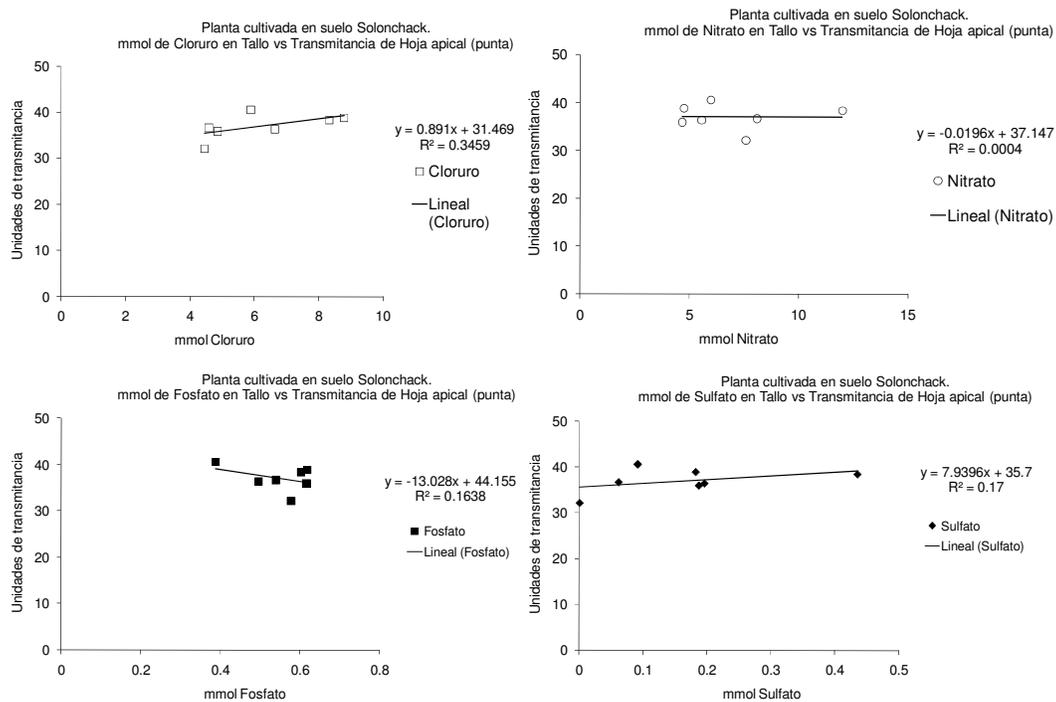


Figura 99: Variación del contenido de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 100 se observó una tendencia entre los aniones cloruro y sulfato en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



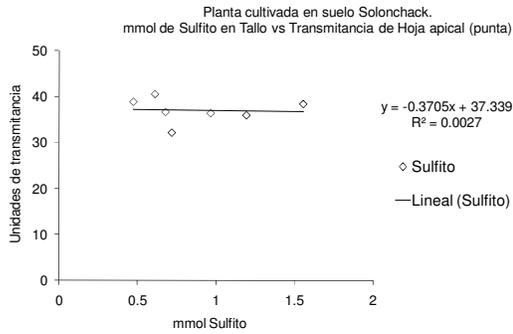


Figura 100: Variación del contenido de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la punta de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 101 Se observó una tendencia entre los aniones sulfito en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

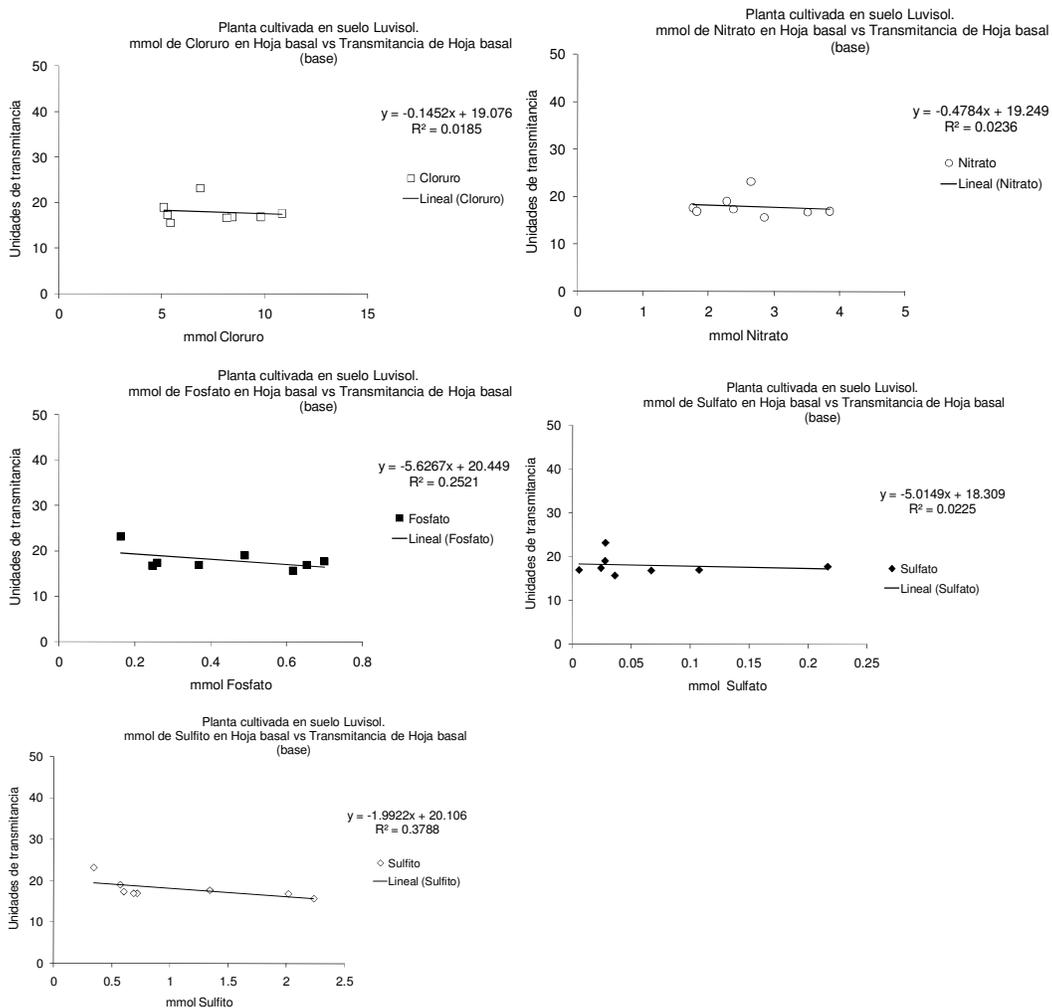


Figura 101: Variación del contenido de aniones en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la base de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 102 no se observó tendencia ni correlación entre los aniones cloruro, nitrato, fosfato, sulfato y sulfito en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

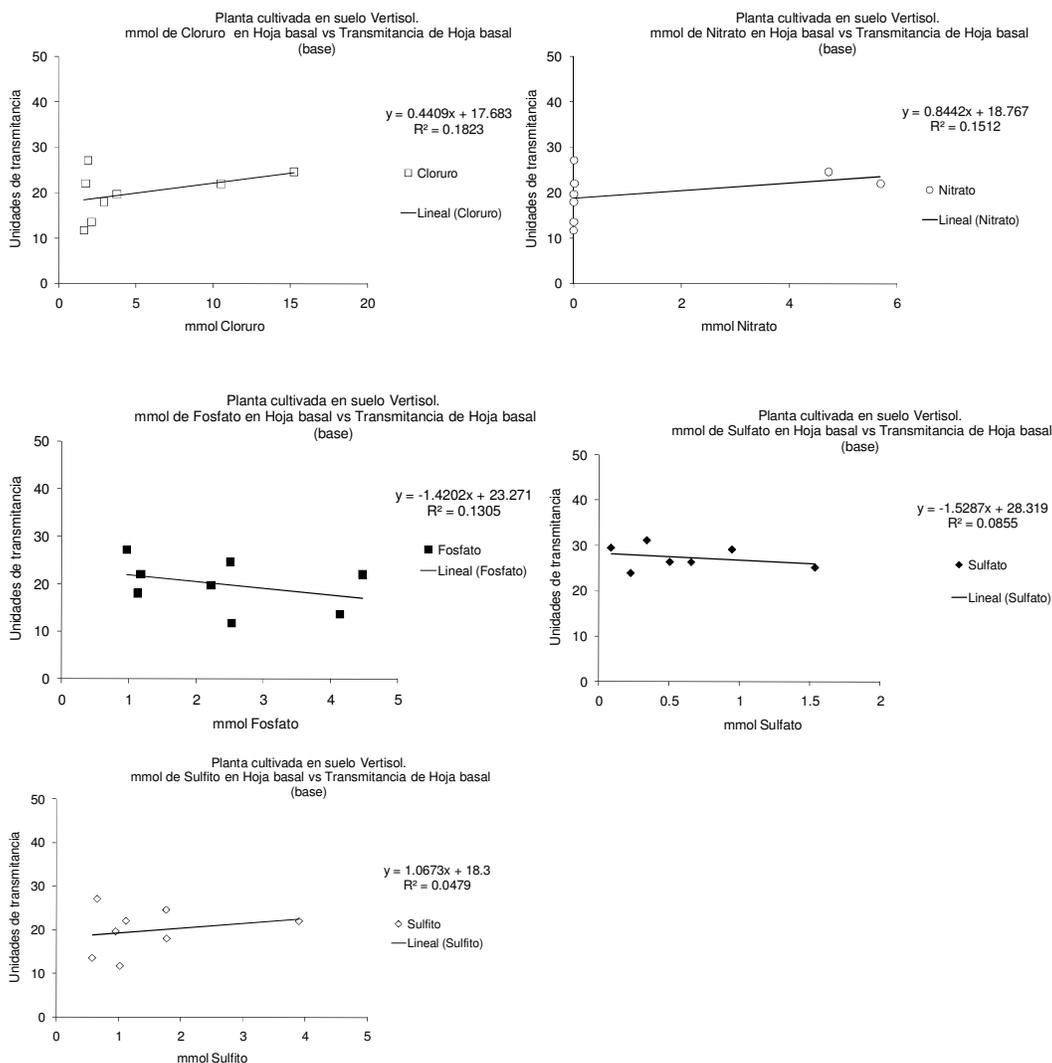


Figura 102: Variación del contenido de aniones en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la base de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 103 se observó una tendencia entre los aniones cloruro y nitrato en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

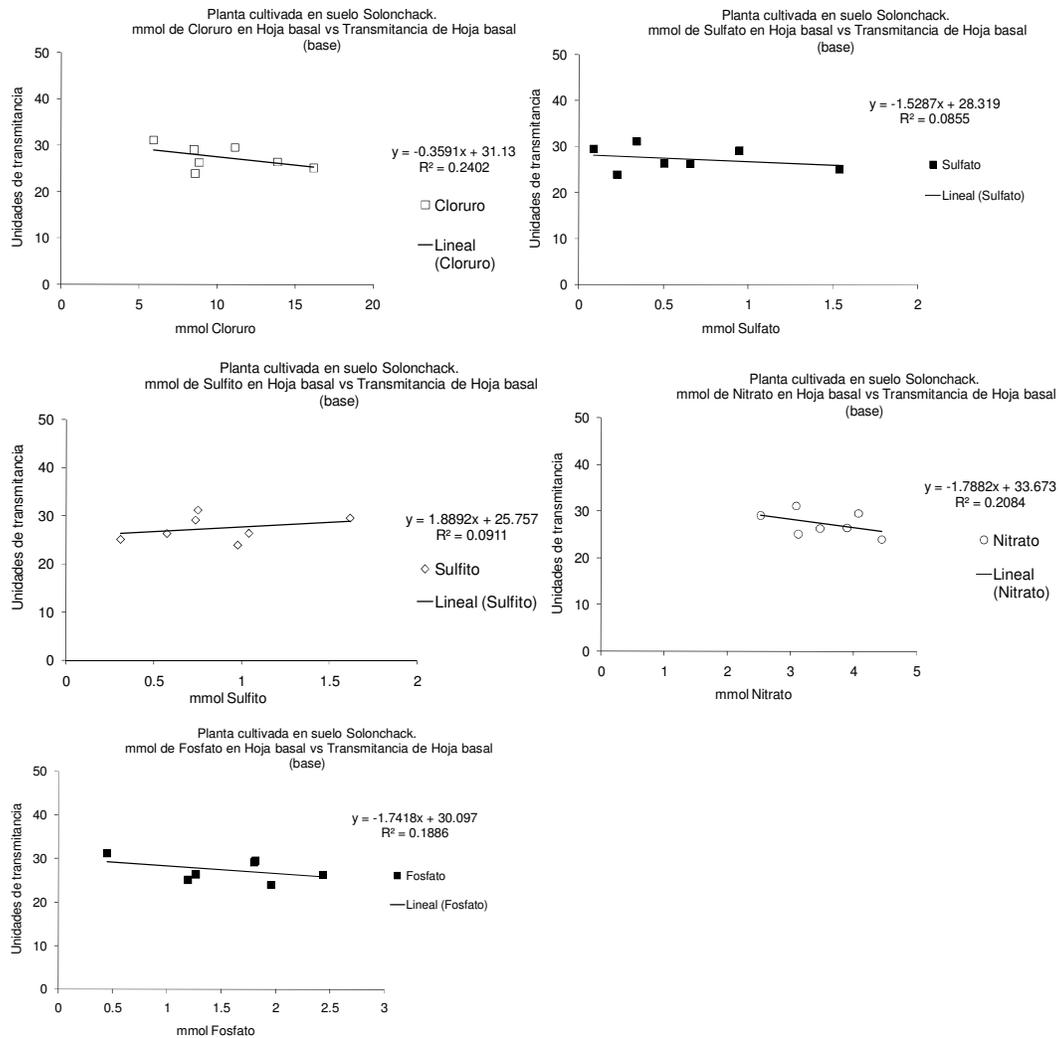
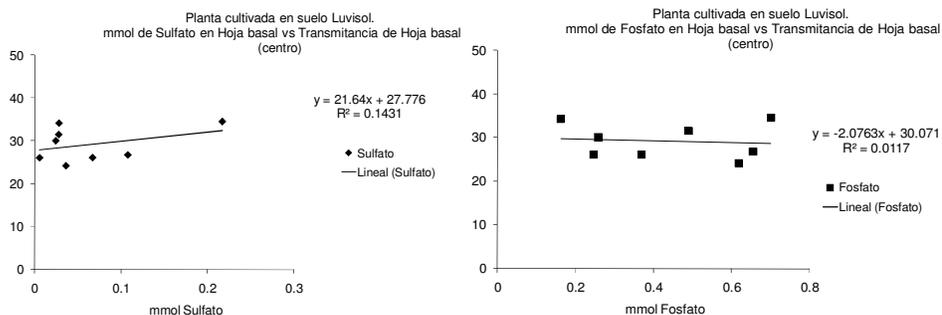


Figura 103: Variación del contenido de aniones en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 104 se observó una tendencia entre los aniones nitrato y sulfato en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



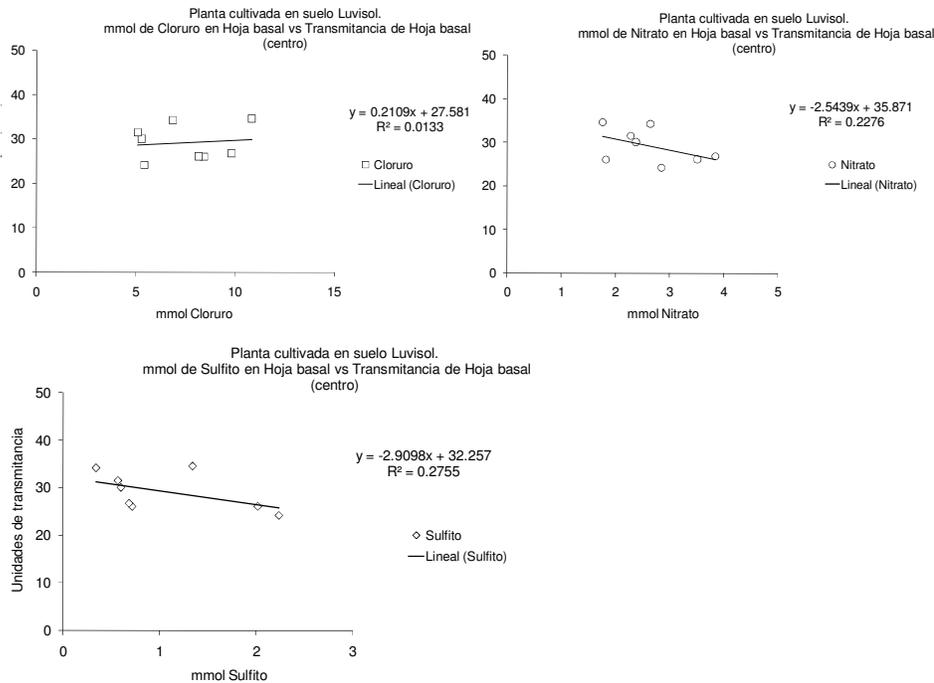
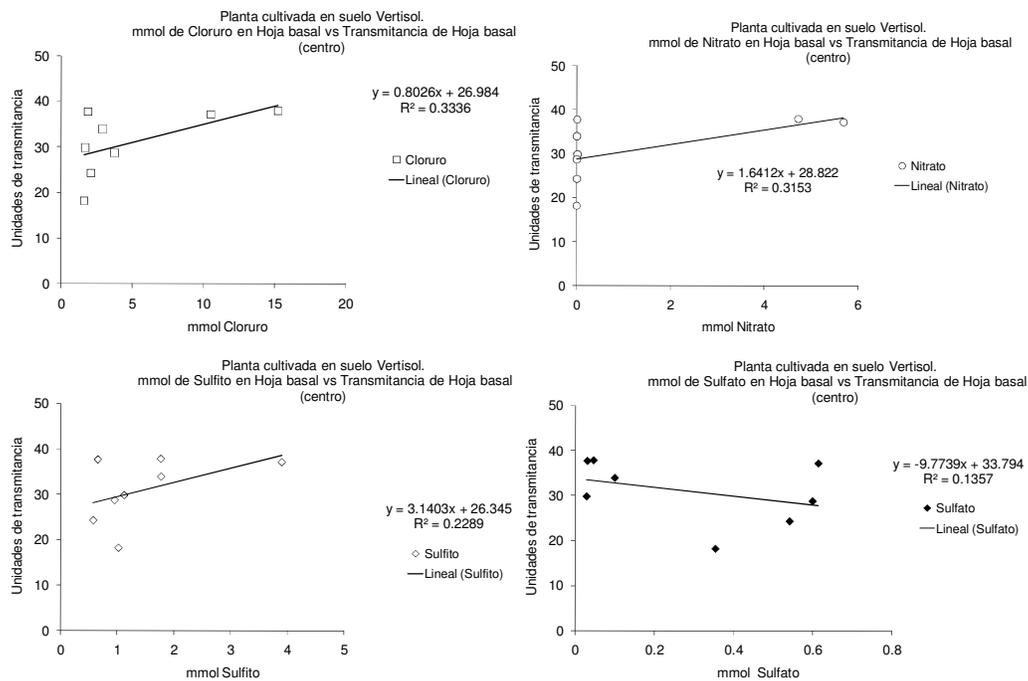


Figura 104: Variación del contenido de aniones en hoja basal con la clorofila medida en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 105 se observó una tendencia entre los aniones cloruro, nitrato y sulfato en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



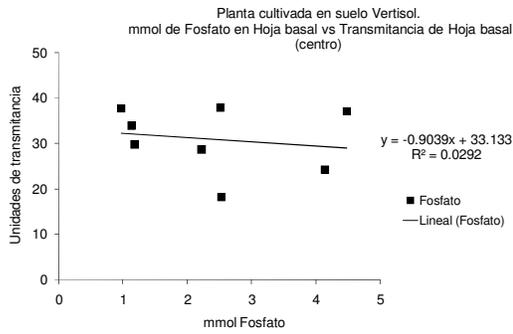


Figura 105: Variación del contenido de aniones en hoja basal con los contenidos de clorofila medida en el centro de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 106 se observó una tendencia entre los aniones sulfito en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

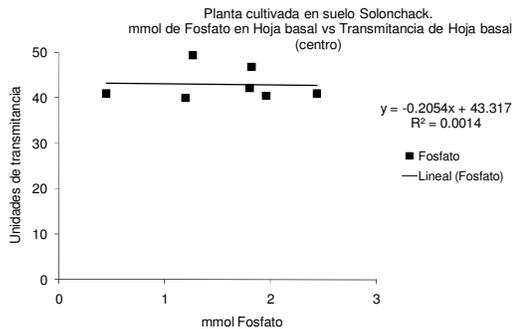
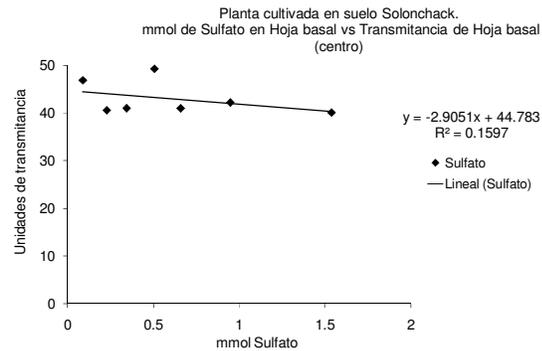
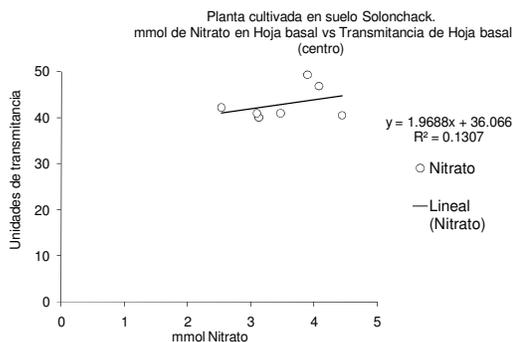
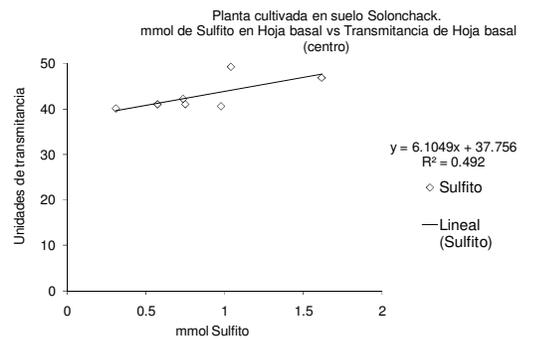
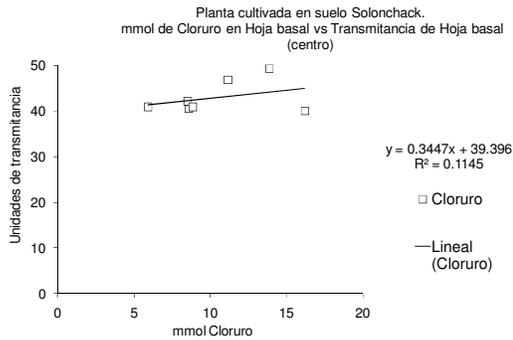


Figura 106: Variación del contenido de aniones en hoja basal con la clorofila medida en el centro de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 107 se observó una tendencia entre los aniones nitrato y sulfito en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

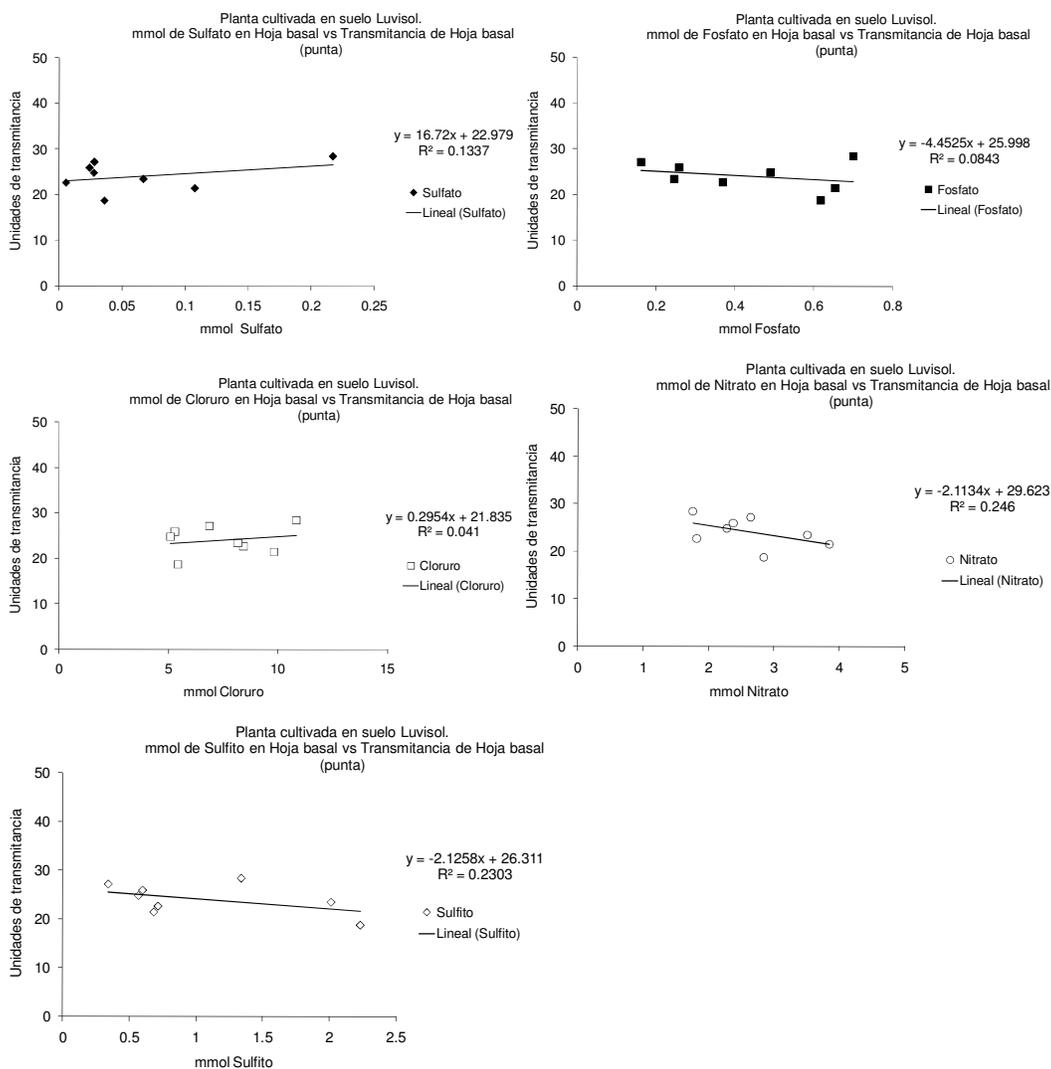


Figura 107: Variación del contenido de aniones en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 108 se observó una tendencia entre los aniones cloruro, nitrato y sulfito en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

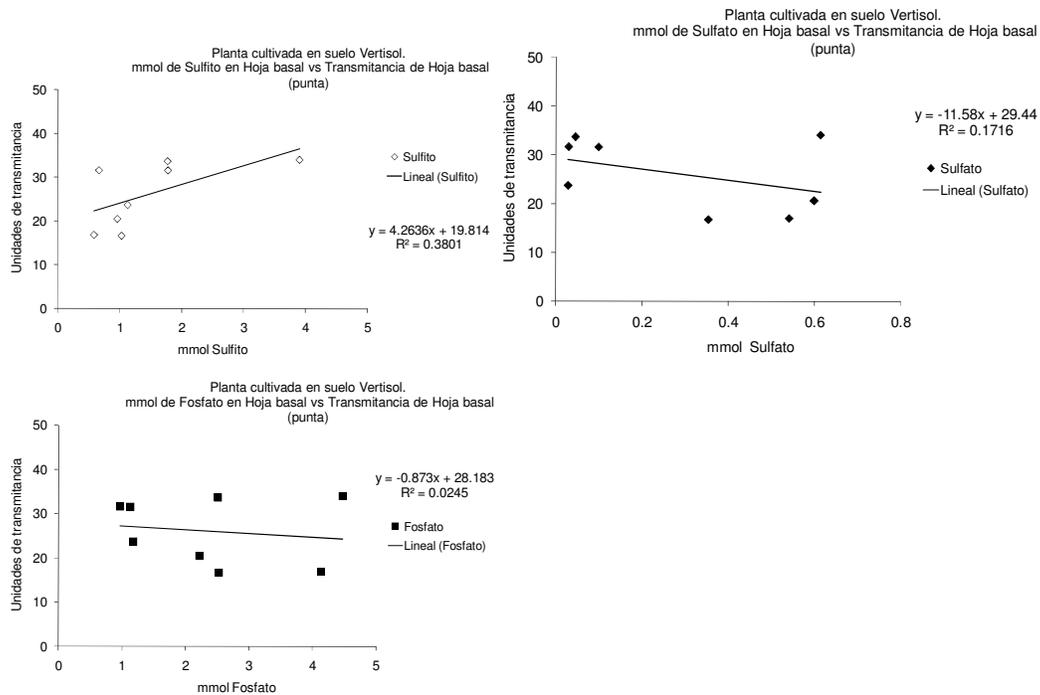
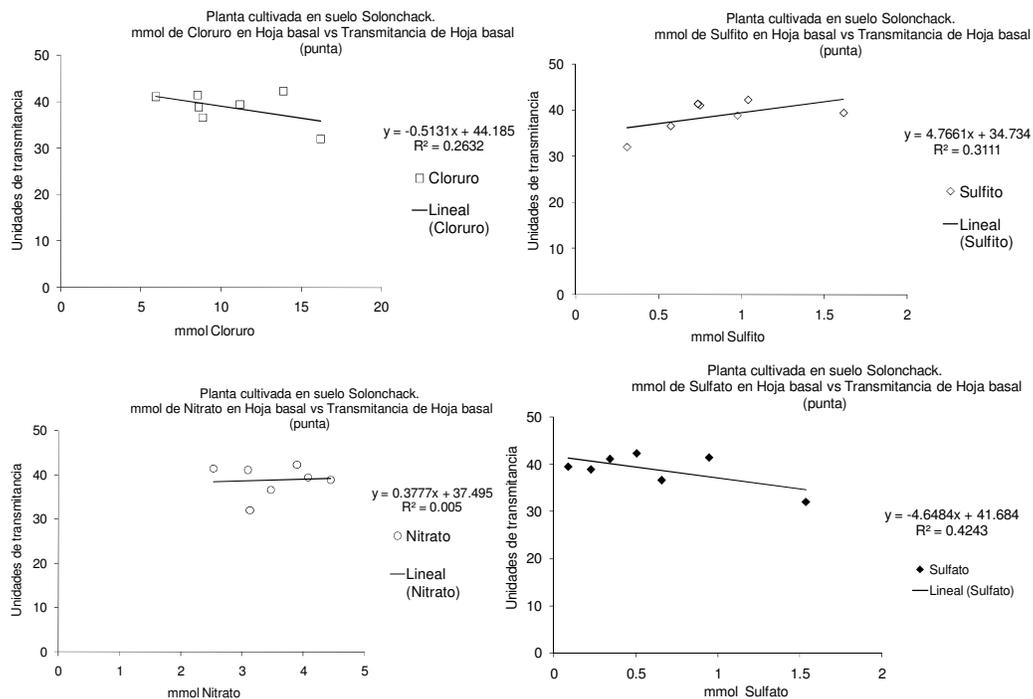


Figura 108: Variación del contenido de aniones en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la punta de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 109 se observó una tendencia entre los aniones cloruro, sulfato y sulfito en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas basales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



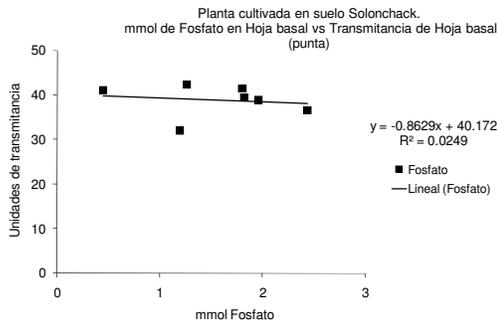
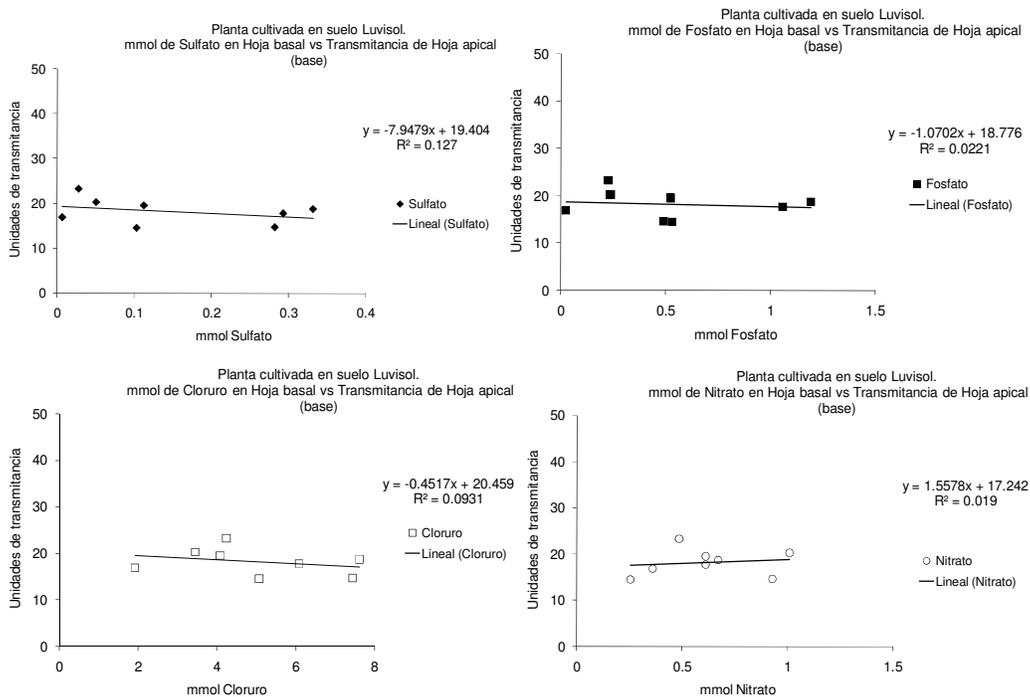


Figura 109: Variación del contenido de aniones en hoja basal con los contenidos de clorofila medidos en la base de hojas basales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 110 se observó una tendencia entre los aniones cloruro, sulfato y sulfito en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



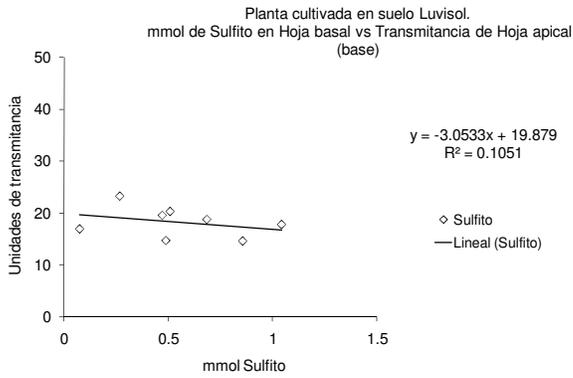
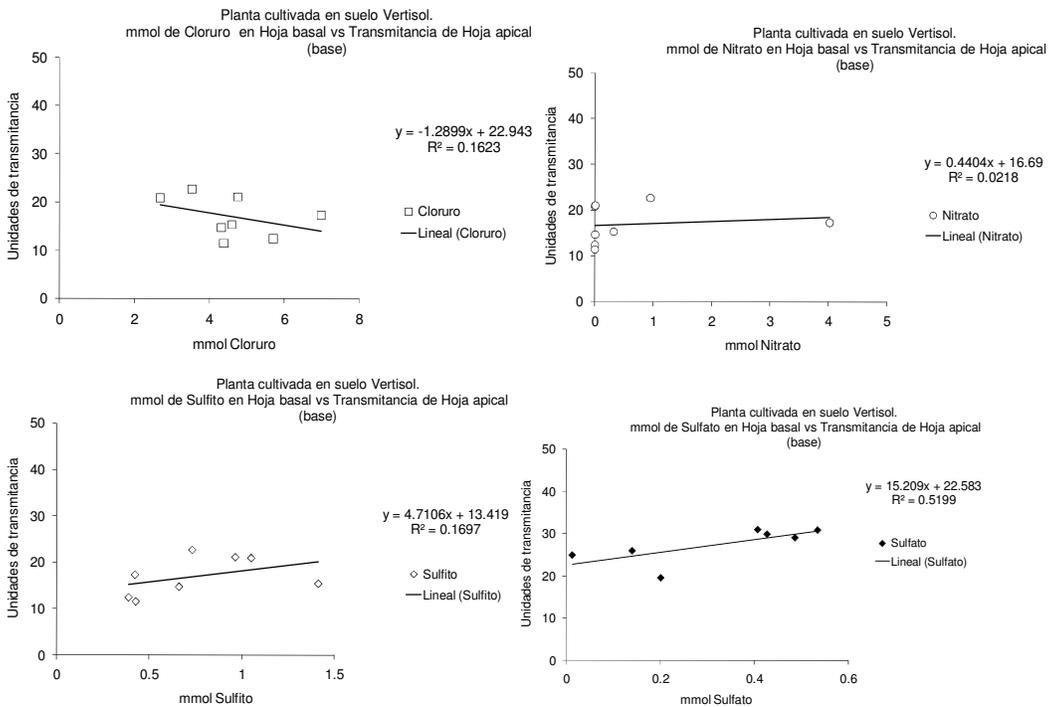


Figura 110: Variación del contenido de aniones en hoja apical con la clorofila medida en la base de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 111 se observó una tendencia entre los aniones sulfato y fosfato en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en la base de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



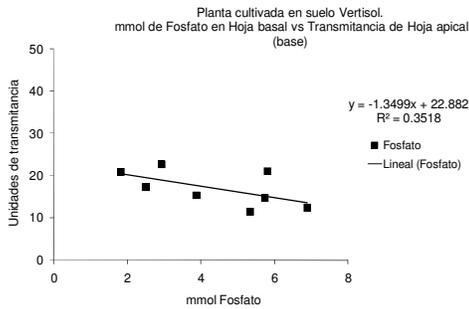


Figura 111: Variación del contenido de aniones en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en la base de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 112 Se observó una tendencia entre los aniones sulfato y sulfito en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

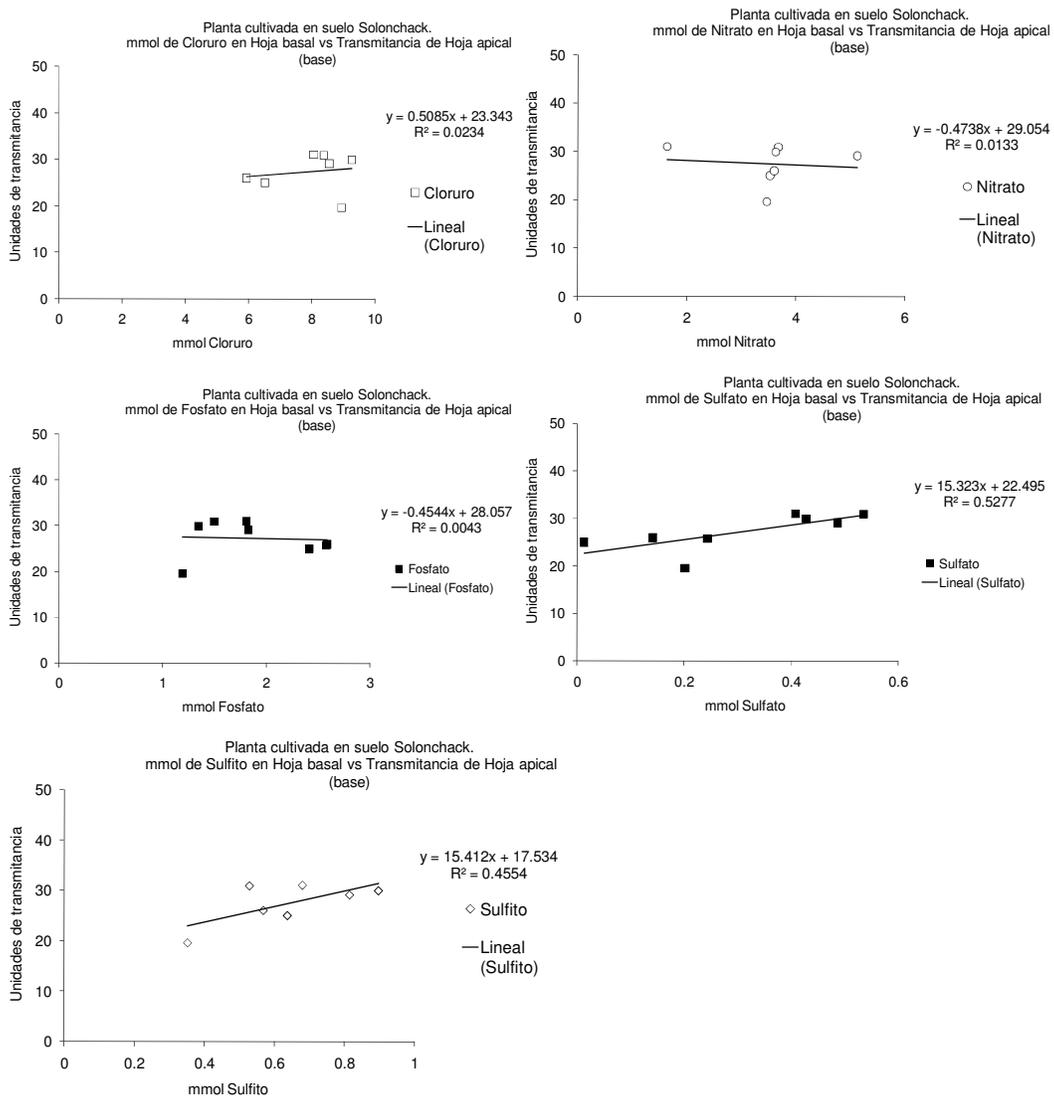


Figura 112: Variación del contenido de aniones en tallo con los contenidos de clorofila medidos en la base de hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 113 se observó una tendencia entre los aniones sulfato y sulfito en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

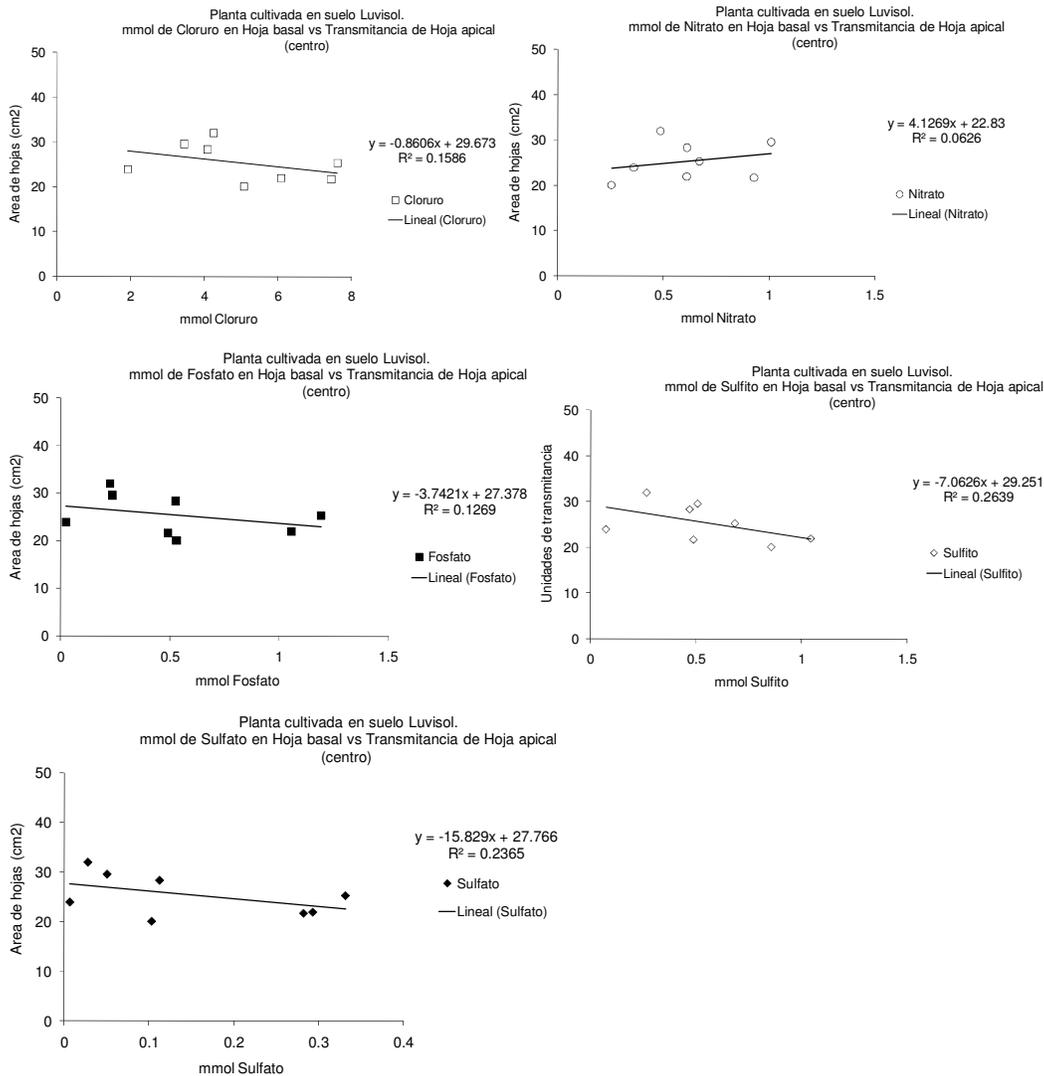


Figura 113: Variación del contenido de aniones en hoja apical con la clorofila medida en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 114 se observó una tendencia entre los aniones fosfato, sulfato y nitrato en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

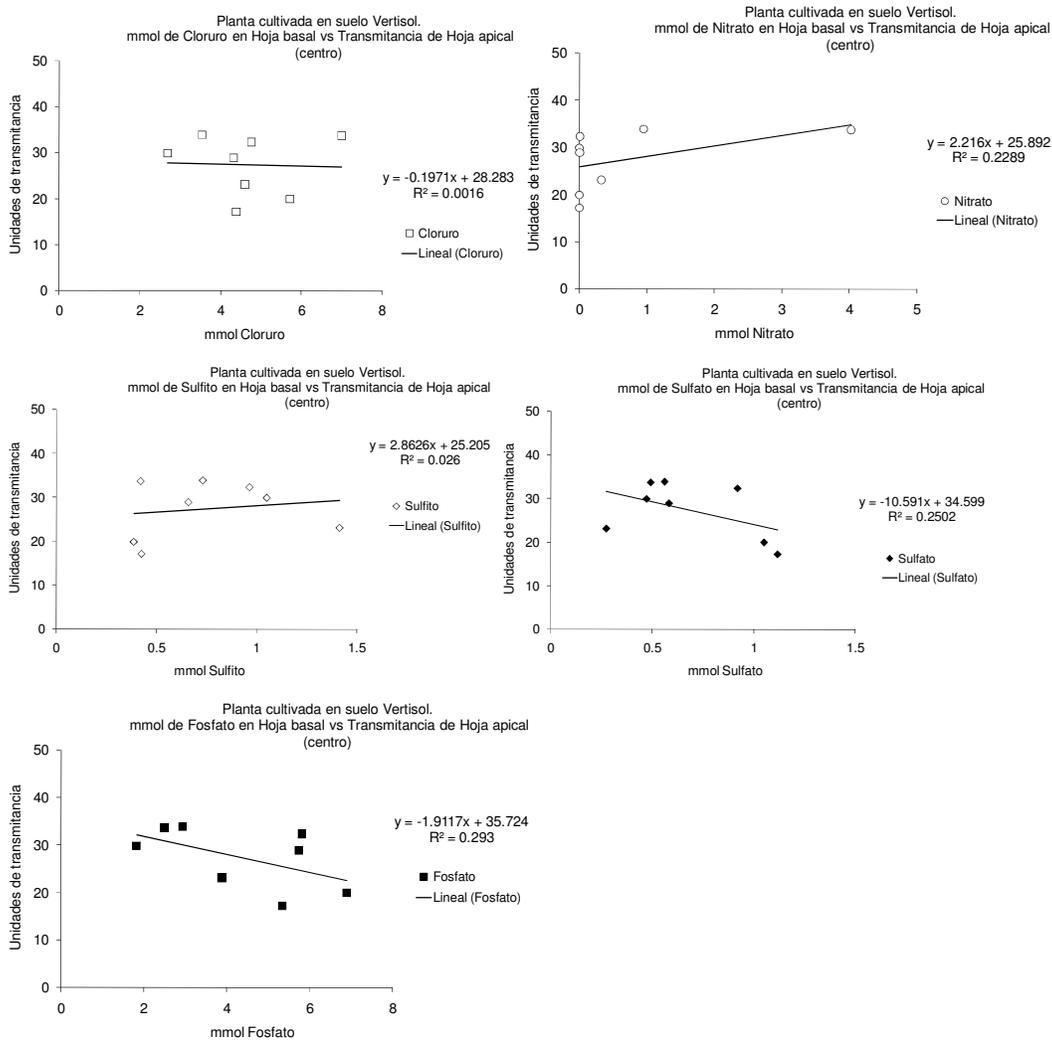
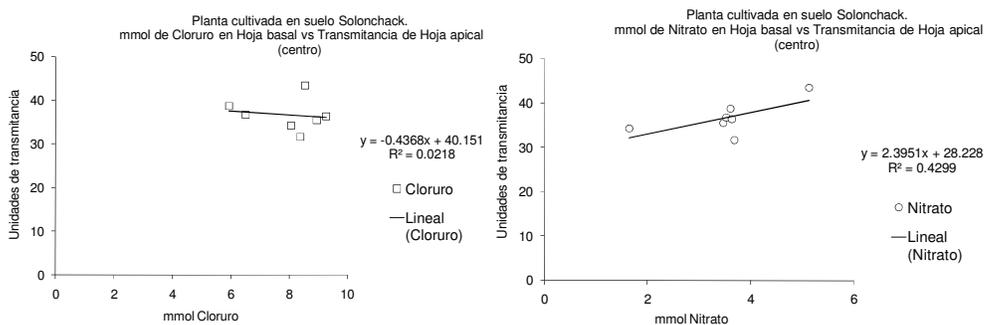


Figura 114: Variación del contenido de aniones en hoja apical con la clorofila medida en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 115 se observó una tendencia entre los aniones nitrato en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



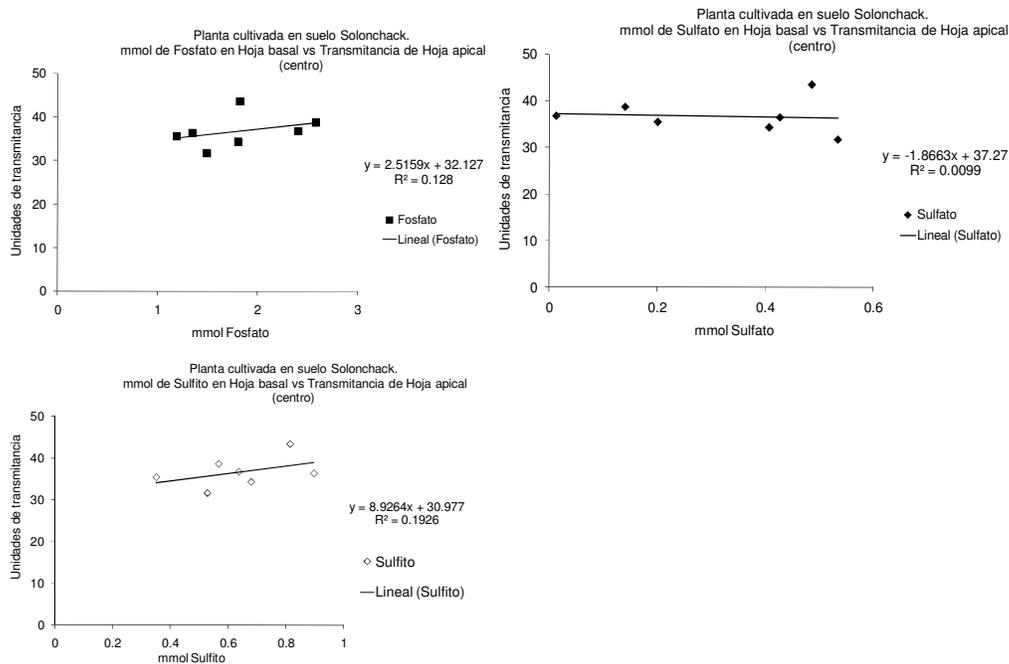
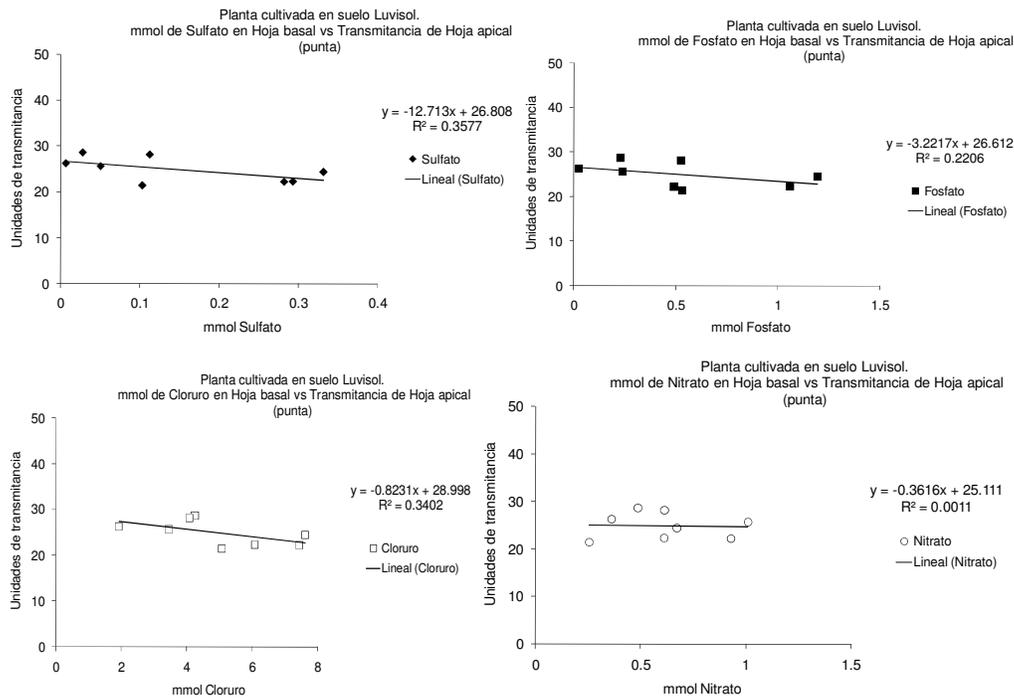


Figura 115: Variación del contenido de aniones en hoja apical con la clorofila medida en el centro de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

En la figura 116 se observó una tendencia entre los aniones sulfato, fosfato, cloruro y sulfito en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.



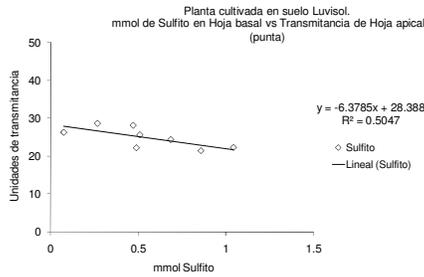


Figura 116: Variación del contenido de aniones en hoja apical con la clorofila medida en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Luvisol.

En la figura 117 se observó una tendencia entre los aniones nitrato, sulfato, fosfato en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

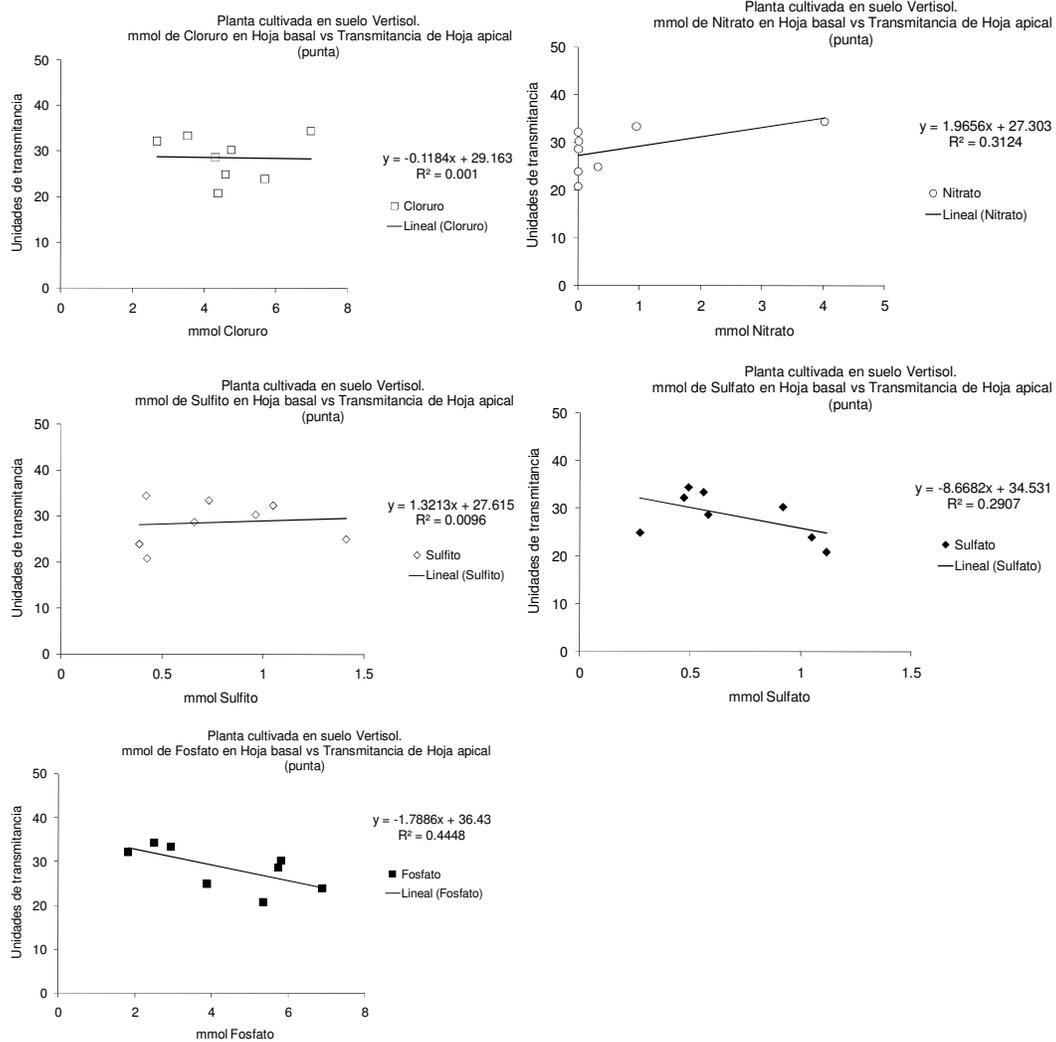


Figura 117: Variación del contenido de aniones en hoja apical con la clorofila medida en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Vertisol.

En la figura 118 se observó una tendencia entre los aniones cloruro, nitrato, sulfato, fosfato en hoja apical con los contenidos de clorofila medidos en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack, sin embargo la correlación es baja y posiblemente no haya influencia directa entre estos parámetros.

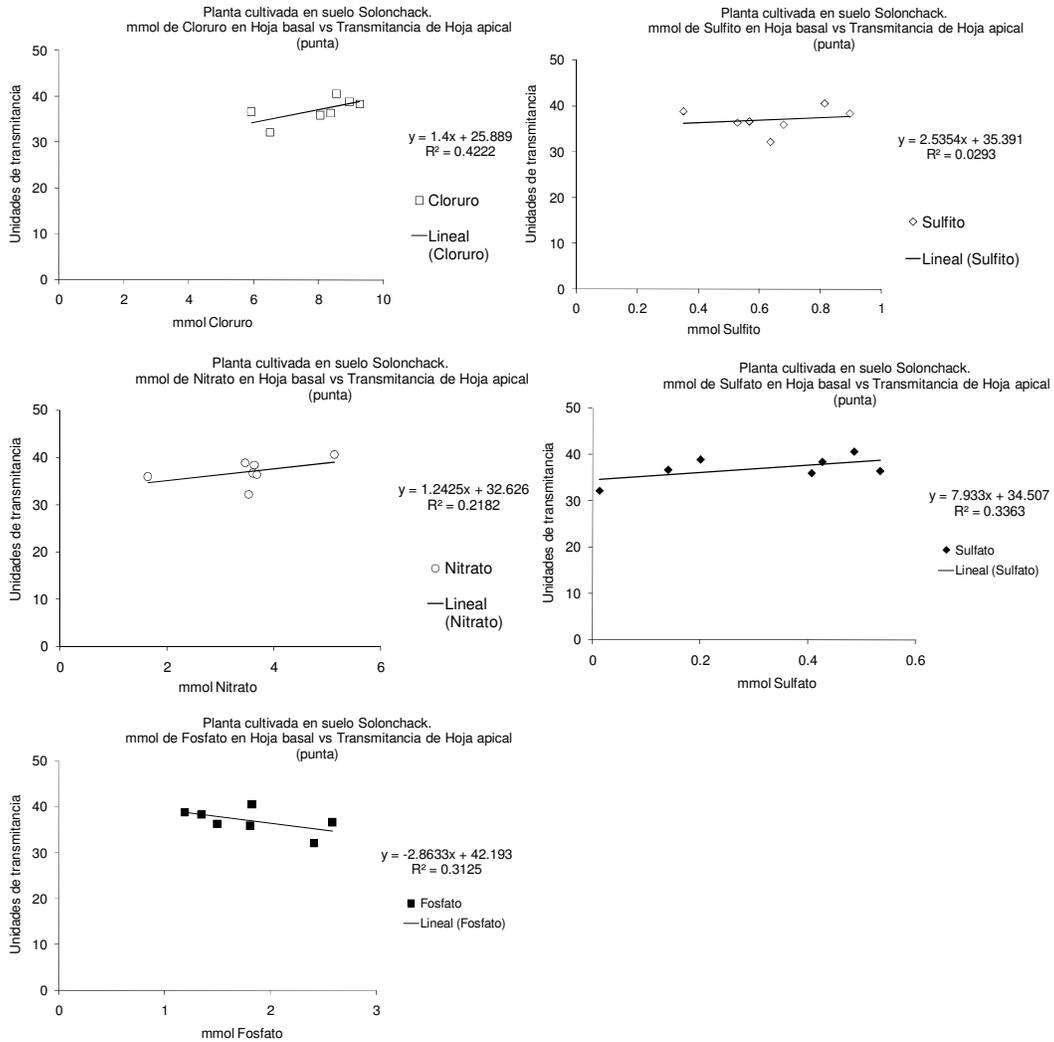


Figura 118: Variación del contenido de aniones en hoja apical con la clorofila medida en la punta de las hojas apicales de plantas cultivadas en suelo Solonchack.

#### 4. CONCLUSIONES.

En el desarrollo de experimento se observó un aumento exponencial de la biomasa aérea (peso fresco y seco), comparando los resultados del experimento se observo que el desarrollo de las plantas cultivadas en el suelo Solonchack fue mayor, intermedio para las del Vertisol y menor para las del Luvisol.

Se observó un aumento lineal de la altura de planta; diámetro de tallo; largo, ancho y área foliar, obteniéndose un desarrollo mayor en el suelo Solonchack, intermedio en suelo Vertisol y menor en el suelo Luvisol.

Se encontró que en plantas de maíz híbrido Puma-1076 , la biomasa fresca y la biomasa seca se relacionan de forma constante y proporcional, es decir que por cada 100g de planta fresca siempre corresponden 10g de planta seca y para fines prácticos puede utilizarse el siguiente factor de conversión: 0.1 g planta seca/g planta fresca.

Se observó un aumento lineal de la altura de planta; diámetro de tallo; largo, ancho y área foliar, obteniéndose un desarrollo mayor en el suelo Solonchack, intermedio en suelo Vertisol y menor en el suelo Luvisol.

Las plantas cultivadas en suelo Solonchack desarrollaron alturas de planta, biomasa, clorofila, diámetros de tallo, largo, ancho y área foliar mayores que las plantas de suelo Luvisol y Vertisol, sin embargo manifestaron acumulación de sulfatos y cloruros en hojas que podrían causarles intoxicación y afectar su crecimiento en el largo plazo.

Las plantas cultivadas en suelo Vertisol manifestaron problemas en la generación de clorofila, experimentaron niveles de nitrato menores que las de suelo Solonchack y Luvisol, mostrando alturas de planta, biomasa, diámetros de tallo, largo, ancho y área foliar mayores que las plantas de suelo Luvisol y menor que las de Solonchack, sin embargo es importante resaltar que las plantas de suelo Solonchack mantuvieron un nivel de fosfatos superior a las plantas de los otros suelos y que su nivel de nitratos cercano a cero están relacionados con la transformación de nitratos a proteína.

Las plantas cultivadas en suelo Vertisol son las que más mayor cantidad de nitratos transformaron y a su vez son las plantas con el mayor rendimiento en el experimento, mientras que las plantas cultivadas en suelo Vertisol no realizaron acumulación de sulfatos y realizaron mayor transformación de azufre que las plantas cultivadas en suelo Luvisol y Solonchack.

Las plantas cultivadas en suelo Luvisol experimentaron una deficiencia de fosfatos que se manifestó con la acumulación de sulfatos y nitratos en hojas y tallos, problemas en la generación de clorofila y limitando el desarrollo de la altura de planta, biomasa, diámetro de tallo, largo, ancho y área foliar durante el desarrollo del experimento.

Las deficiencias de fosfatos en las plantas cultivadas en suelo Luvisol afectaron directamente el metabolismo del nitrógeno y el azufre, causando acumulación de nitratos y sulfatos y generaron serio problemas en el crecimiento de los cultivos, debido a que limitaron procesos como la respiración, la generación de clorofila y la síntesis de proteínas las cuales se manifestaron en generando plantas con problemas de crecimiento, tallos delgados, hojas pequeñas, hojas amarillas y con manchas rojas.

Las deficiencias de nitratos en las plantas cultivadas en suelo Vertisol afectaron el crecimiento de los cultivos y la generación de clorofila, sin embargo sus contenidos de fosfatos ayudo a la planta a desarrollar un crecimiento mayor que las plantas de suelo Luvisol.

Con la información obtenida en esta investigación podemos establecer que la escasez de fosfatos es la deficiencia que más afecta el desarrollo de las plantas de Maíz híbrido Puma-1076, durante los primeros 30 días de crecimiento.

Es necesario realizar más estudios al transporte de minerales y solutos (azucares, aminoácidos, etc.) en los tallos y hojas, con la finalidad de generar conocimientos que amplíen la relación entre los nutrientes y las funciones biológicas como la fotosíntesis, el crecimiento, la transpiración y la respiración de las plantas.

No se observó una correlación directa de los aniones con los parámetros agronómicos de las plantas. Probablemente esto se deba a que el proceso del desarrollo de las plantas no está relacionado directamente con la absorción o el flujo de los aniones en la planta, y posiblemente se relacione directamente con la generación, activación o producción de enzimas, coenzimas y proteínas, generadas como producto de la transformación de los aniones.

Aunque no fue posible establecer con exactitud la dependencia lineal de las variables, debido a que muchas de las gráficas muestran valores de correlación débiles y las gráficas que muestran altos valores de correlación no aplican de igual forma para parámetros iguales de plantas cultivadas en distintos suelos si hay relaciones entre las variables medidas en el experimento, sin embargo, es necesario realizar más estudios para establecer en forma definitiva las relaciones matemáticas que describan los comportamientos químicos con los parámetros agronómicos de crecimiento de las plantas.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. F. López-Millán, F. Morales, A. Abadía, J. Abadía (2000). Effects of iron deficiency on the composition of the leaf apoplastic fluid and xylem sap in sugar beet. Implications for iron and carbon transport. *Plant Physiol.* (2000) 124: 873–884.
2. Aguirre G. A. (1993), Química de los suelos salinos y sódicos, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
3. Aguirre G. A. (2001), Química de los suelos ácidos, templados y tropicales, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
4. Aguirre G. A. (2009), Introducción a la nutrición vegetal, Vol.1 Mecanismos, procesos y fertilización. Aceptado para publicación 2009.
5. AOAC (2005). Official Method 975.03 metals in plants and pet foods atomic absorption, spectrophotometric method, first action 1975, final action 1988 18th Edition,
6. Barber S.A., (1995) Soil Nutrient Bioavailability. A mechanistic Approach, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.
7. Bartolini Roberto. (1990). El Maíz. ediciones. mundi-prensa 28001 Madrid.
8. Buchanan B.B., Gruissem W., Jones, R.L. (2000): Biochemistry & molecular biology of plants. American Society of Plant Physiologist.
9. D. G. Eguiarte y S.A.E. Reyes (2001). Nitrogen reference levels in plant tissue of potato *cv. alpha*. *Agrociencia* vol.35, num.6, nov-dic.
10. Dwyer, L.M., and D.W. Stewart (1986): Leaf area development in field-grown maize. *Agron. J.* 78, 334-343.
11. van der Zalm, E., A. Schneider, H. Rennenberg. (2005). Regulation of sulfate uptake and xylem loading of poplar roots ( *Populus tremula* x *P. alba*). *Trees* 19: 204–212.
12. Enikó-Tatár, Viktor, G. Mihucz, A. Varga, G. Zaray, (1999). Edit Cseh. Effect of lead, nickel and vanadium contamination on organic acid transport in xylem sap of cucumber. *Journal of Inorganic Biochemistry* 75: 219–223.
13. F.B.Salisbury, C.W.Ross. (1994). Fisiología vegetal Edit. Iberoamerican S.A de C.V. pps: 141-147.
14. FAO-ISRIC (1990). Guidelines for soil description. FAO, 70 pp, Rome.
15. FAO-UNESCO (1974). Mapa mundial de los suelos. Vol. I. Paris.
16. FAO-UNESCO (1988). Soil map of the world, Revised Legend, World Soil Resources Report 60, Roma.
17. G.M. Kertulisa, L.Q. Maa, G.E. MacDonald, R. Chenc J.D. Winefordner, Y. Caid. (2004), Arsenic, Environmental and Experimental Botany Speciation and transport in *Pteris vittata* L. and the effects on phosphorus in the xylem sap.
18. J. M. Fournier, A.M. Roldán, C. Sánchez, G. Alexandre, M. Benlloch. (2005) *Plant Science* 168 823–829. K<sup>+</sup> starvation increases water uptake in whole Sunflower plants.
19. Jones J.B., Jr. (1998), Plant Nutrition Manual, CRC Press, Inc, Boca Raton, FL.
20. L. Taiz, E. Zeiger (1998) Plant Physiology 2<sup>a</sup> Edition. S.A.Inc. Publishers. pps: 108-113.
21. M. Ray Tucker, NCDA&CS (1999). Essential Plant Nutrients: their presence in North Carolina soils and role in plant nutrition.
22. Marschner H., (1995) Mineral nutrition of Higher Plants. Academic press inc, San Diego, CA 92101.

23. McKee, G.W. (1964): A coefficient for computing leaf area hybrid corn. *Agron. J.* 56, 240-241.
24. McLaughlin, S.B., Wimmer, R. (1999): Transley review No.104 Calcium physiology terrestrial ecosystem processes. *New Phytol.* 142, 373-417.
25. P. Lombnaes, B. R. Singh. (2003). Varietal Tolerance to Zinc in wheat and barley grown in a chelator buffered nutrient solution and its effect on uptake of Cu, Fe, and Mn. *J Plant Nutr. Soil Sci.* 166, 76-83.
26. Pacheco, H.R. (2002). Estudio de algunos síntomas de deficiencia nutrimental en Zea Mays híbrido cargill 908, en 5 diferentes tipos de suelo, bajo tratamientos de mejoramiento. Tesis de Biología, Los Reyes Iztacala.Tlalnepantla, México. pp23.
27. Bidwell, R.G.S. (1993). Fisiología Vegetal. AGT editores S.A.
28. S.Graeff,D.Steffens, S.Schubert (2001). Use of reflectance measurements for the early detection of N,P,Mg and Fe deficiencies in *Zea Mays* L. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164, 445-450.
29. Sommers, L. E. and D. W. Nelson. (1972). Determination of total phosphorus in soils: A rapid perchloric acid digestion procedure. *Soil Science society of america proceedings*, Vol. 36, 6: p.902-904. Madison, WI.
30. Schurr, U. (1998). Xylem sap sampling-new approaches to an old topic review. T. in *Plant. Science.* August Vol.3 No.8.
31. V. G. Mihucz , E. Tatár , B. Kmethy , G. Záray , E. Cseh, (2000). Investigation of the transported heavy metal ions in xylem sap of cucumber plants by size exclusion chromatography and atomic absorption spectrometry. *J. of Inorganic. Biochem.* 81 81-87.
32. Watson R., Pritchard J., Malone M. (2001). Direct measurement of sodium and potassium in the transpiration stream of salt-excluding and non excluding varieties of wheat. *J. Exp. Bot.*52: 1873-1881.
33. Wei, W. X., Bilsborrow, P.E., Hooley, P., Fichman, D. A., Lombi, E., Forster, B.P. (2003): Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant golden promise. *Plant Soil* 250, 182-191.
34. Woome, P.L. and M.J. Swift (Eds). (1994). The Biological management of tropical soil fertility. John Wiley and Sons: New York.
35. Yufera Primo E., Dorrién Carrasco J.M. (1973), Química Agrícola. Editorial Alhambra.
36. Yuncai Hu, Urs Schmidhalter, (2005) Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 268, 541-549.