

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 769**

51 Int. Cl.:
A01C 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **04805168 .4**
96 Fecha de presentación: **17.12.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1694110**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.08.2006**

54 Título: **Procedimiento de fertilización con azufre**

30 Prioridad:
17.12.2003 FI 20031847

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
12.07.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
12.07.2012

73 Titular/es:
**Yara Suomi Oy
P.O. Box 900
00181 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:
**KLEEMOLA, Jouko y
PELTONEN, Jari**

74 Agente/Representante:
Pons Ariño, Ángel

ES 2 384 769 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fertilización con azufre

La presente invención se refiere a un procedimiento para la fertilización óptima de plantas cultivadas y a un sistema para su implementación.

- 5 Una nutrición equilibrada de las plantas garantiza una producción eficaz de alimentos de alta calidad e industrias basadas en materias primas vegetales, así como su capacidad para proporcionar las reservas de alimentos de un país. Junto con unas condiciones de crecimiento buenas de los campos, la nutrición equilibrada de las plantas crea una buena base para un rendimiento de cultivo alto y contribuye a la utilización eficaz de los nutrientes proporcionados como una entrada de producción, reduciendo así el riesgo de nutrientes que se filtran al entorno, en especial a los sistemas de agua.

10 El azufre es un nutriente de planta indispensable, que la planta requiere al menos en la misma cantidad que el fósforo. En años anteriores, se añadía azufre a las composiciones fertilizantes químicas sólo en pequeñas cantidades, porque a lo largo de varias décadas, los depósitos de azufre provocados por lluvias ácidas se usaban para cumplir con el requisito de azufre de las plantas cultivadas. Sin embargo, para reducir el impacto ambiental, se determinaron los estándares de emisión para las industrias. Los estándares de emisión restringidos dieron como resultado una disminución notable en la disponibilidad de azufre utilizable por las plantas. Esto ya se experimenta como un grave problema en Europa Occidental. La producción de energía de Gran Bretaña, por ejemplo, depende mucho de la potencia alimentada por carbón. Como las emisiones de esta línea de industria están disminuyendo notablemente, los estudios realizados a mediados de los 90 ya indicaron que la disponibilidad de azufre para las plantas descendía gradualmente en el transcurso de la última década. Al mismo tiempo, el contenido en azufre en muestras de grano de trigo en Gran Bretaña ha disminuido continuamente. Los estudios también indicaron que el contenido en azufre confirmado en muestras de grano a principios de los 80 ha caído ahora y su distribución geográfica ha cambiado. Incluso en regiones fuertemente industrializadas, las muestras de grano ya no son notablemente más ricas en azufre en comparación con otras regiones. Un estudio preliminar, relativamente restringido del contenido en azufre en muestras de plantas de Finlandia y los países bálticos implicó una tendencia similar en Finlandia y sus regiones vecinas.

15 La observación más alarmante en los estudios sobre el contenido en azufre es que las plantas cultivadas actualmente sufren de forma obvia una deficiencia de azufre en un área muy grande. Esto se demuestra por la proporción de nitrógeno: azufre confirmado en las muestras, siendo una proporción superior a 16:1 un fuerte indicador de deficiencia de azufre. Aunque el azufre no pertenece a los nutrientes principales en términos de captación de cantidades, la deficiencia de azufre tiene un impacto excepcionalmente alto sobre el rendimiento del cultivo de las plantas cultivadas. De hecho, los estudios en Gran Bretaña han indicado que la deficiencia de azufre ha reducido los rendimientos de trigo en una quinta parte, mientras que la mejora en el efecto de la fertilización con azufre sobre el rendimiento de cultivo ha estado en el intervalo de un 30-40% dependiendo del año. Una fuerte reacción de este tipo en el rendimiento de cultivo se puede explicar en parte por la observación de que la deficiencia de azufre debilita la conductibilidad hidráulica del tejido fibro-vascular, incrementando así o incluso provocando tensión por sequía. Las diferentes especies de plantas tienen una susceptibilidad variable a la deficiencia de azufre. Así, por ejemplo, la nabina cultivada en Finlandia tiene una sensibilidad excepcional debido a los compuestos sulfurados que produce, lo que, a su vez desempeña una parte en las reacciones de defensa de las plantas frente a los parásitos de la planta. El debilitamiento de los cultivos de nabina observado durante la última década en Finlandia se puede deber en parte a la disminución gradual en la disponibilidad de azufre.

20 También se ha confirmado que la deficiencia de azufre está claramente relacionada con la producción de calidad. Sin embargo, esto no es necesariamente un resultado directo de la disminución en la capacidad de rendimiento del cultivo, ya que el azufre interacciona íntimamente con el principal nutriente de las plantas, el nitrógeno. Las funciones metabólicas de nitrógeno y azufre que interaccionan fuertemente en una planta que padece una deficiencia de azufre son mutuamente diferentes en comparación con una situación en la que se establece el suministro de azufre. El efecto en la calidad de la proteína es particularmente pronunciado. Bajo una deficiencia de azufre, los aminoácidos sulfurados se sintetizan en menor grado, y se reemplazan por otros aminoácidos a menudo menos valiosos en términos de nutrición. En consecuencia, el crecimiento de una planta con deficiencia de azufre no sólo produce un rendimiento del cultivo menor, sino que la calidad del cultivo también es marcadamente peor, considerada no sólo en términos de nutrición humana, tales como el maíz para el pan y la calidad de cocción, la cebada para malteo y la capacidad de malteo, sino también en términos de forraje, tales como el cereales para pienso, forraje verde o pienso de proteína obtenido a partir de la nabina después del prensado de aceite. Por tanto, la deficiencia de azufre tiene múltiples consecuencias para las industrias que usan cultivos de plantas cultivadas como materia prima. Puesto que los inconvenientes en la producción de materias primas, por ejemplo, el cultivo, se observan y se eliminan, la producción de materias primas se vuelve más fácil de controlar y el rendimiento de cultivo y las predicciones de producción de calidad mejoran, y esto es útil para los usuarios de la materia prima. Además, las materias primas de alta calidad incrementan necesariamente la eficacia de los procedimientos industriales y también de la producción de animales domésticos.

- 60 El documento EP813807 da a conocer un procedimiento para la fertilización con nitrógeno de suelo para plantas

- cultivadas en el que el fertilizante se pulveriza sobre el área cultivada junto con la siembra de plantas cultivadas. Junto con el cultivo, se establece un área de cultivo de referencia (ventana de fertilizante) con un cultivo máximo que corresponde a la cantidad máxima de fertilizante usado. Más tarde, durante la estación de crecimiento, se dispersa más fertilizante sobre el área cultivada en base a medidas de comparación en estas áreas cultivadas
- 5 simultáneamente con una cantidad de fertilización inicial y alta. Este procedimiento es eficaz para determinar la necesidad adicional de nitrógeno, pero no es adecuado para la optimización de azufre. Además, los inconvenientes principales son que la necesidad de establecer y medir ventana(s) de fertilizante en cada campo es laboriosa, y que la precisión de las comparaciones, por ejemplo, en explotaciones más grandes y/o en suelo de campo variable o para un equilibrio de nutrientes inesperado debido a factores externos, tales como el tiempo, debe ser mejor.
- 10 En principio, la industria de los fertilizantes está perfectamente preparada para producir fertilizantes artificiales más ricos en azufre. Una opción concebible implicaría un cambio de fertilizantes basados en cloro a fertilizantes basados en sulfatos, pero estos fertilizantes son un problema de costes para los cultivadores, debido a que los fertilizantes basados en sulfatos son indiscutiblemente más caros. Para fomentar a que los cultivadores en Finlandia y países bálticos usen fertilizantes ricos en azufre en el futuro, se debe probar en primer lugar la utilidad de estos fertilizantes.
- 15 Sólo en situaciones en las que un cultivador pueda establecer que la inversión adicional incrementa el valor de su producción, por ejemplo, en términos de cantidad y calidad del cultivo, se le puede convencer de la rentabilidad de una inversión de este tipo. El azufre que no utilizan las plantas tiende a retirarse por lavado, en especial de los suelos con minerales gruesos con un grado de descomposición bajo, mientras que se retiene de forma relativamente fácil en arcilla.
- 20 Por tanto, los aspectos cruciales a este respecto son la fertilización de azufre oportuna y la fertilización con un fertilizante sulfuroso sólo en sitios que padecen claramente de deficiencia de azufre durante la estación de crecimiento de las plantas. Realmente, el problema es cómo obtener información fiable sobre el tiempo, la ubicación y la cantidad de fertilización de azufre requerido. La patente FI del solicitante 107368B da a conocer un procedimiento para la fertilización de nitrógeno óptima de plantas cultivadas con vistas a una calidad y cantidad de cultivo optimizadas por medio de un bio-indicador, tales como una proteína o aminoácido, por ejemplo. Esto permitió
- 25 la determinación del requisito de fertilización de nitrógeno y la dispersión de un fertilizante que contiene nitrógeno en la cantidad óptima requerida durante o después de la siembra. Este procedimiento es imposible en lo que se refiere al azufre, ya que no hay un indicador directo equivalente para medir su contenido, el valor absoluto como tal no es igualmente descriptivo.
- 30 La solicitud de patente previa del solicitante FI 20021199 da a conocer un procedimiento para determinar factores que restringen la producción agrícola local o geográficamente y para evaluar su impacto mutuo por medio de un sistema experto. La solicitud también describe este ordenador o sistema asistido por una red de ordenadores, en el que la alimentación se da como una solución sobre la red de datos para otras líneas de acción. Esto se realizó con el fin de identificar los factores limitantes centrales, usando varias fuentes de información diferentes, con la atención
- 35 en definir el significado y el uso del sistema experto como instrumento.
- La patente de EE. UU. 5566069 describe una red de datos para recoger y analizar datos agronómicos. Se centra en el almacenamiento de datos bajo condiciones de campo y en el procesamiento adicional *in situ*. También menciona la posibilidad de proporcionar análisis para su uso por los cultivadores, sin especificarlos con más detalle. En la práctica, la agrimensura es difícil debido al muestreo que consume trabajo y tiempo, lo que tiende a limitarse a una
- 40 recogida de datos local restringida.
- La deficiencia de azufre en plantas se puede observar por diversos procedimientos, en general monitorizando desviaciones de cultivos, por ejemplo utilizando fotografías aéreas, o bien específicamente determinando el contenido en azufre en el suelo o bien directamente en las plantas. En el análisis de las muestras de planta, las medidas pueden comprender, por ejemplo, la cantidad de azufre total, el contenido en sulfato, o la variación de
- 45 glutatión en el transcurso del periodo de crecimiento. La determinación de la proporción malato:sulfato ha demostrado que es particularmente útil, como se ha descrito en la publicación Blake-Kalff, M. et al. 2002, Sulphur Deficiency Diagnosis using Plant Tissue Analysis. The Proceedings n.º 503, International Fertiliser Society, York, RU, 1-24. En este procedimiento, se coge una muestra de hoja que representa un campo por primera vez antes del inicio del crecimiento de la paja (grado de crecimiento 22-27) o antes del estadio de roseta de colza y nabina, a partir de
- 50 hojas jóvenes, en las que la deficiencia de azufre aparece inicialmente. La muestra se seca en un horno o bien, por ejemplo, entre papel de cocina antes del mismo análisis. El análisis apropiado se debe llevar a cabo en un laboratorio en el que esté disponible un aparato de análisis cromatográfico iónico. Si no aparece ninguna deficiencia en el primer muestreo, es aconsejable renovar el muestreo en el estadio de crecimiento de paja de los granos y en el estadio de roseta de las plantas oleaginosas. El procedimiento implica el problema de requerir un análisis por separado para cada campo, en una ubicación crucial, y lo que es más importante, por muestreo repetido. En especial, la necesidad de secar la muestra y enviarla a un laboratorio que tenga experiencia en análisis profesional, el análisis real y devolver la información junto con recomendaciones del fertilizante de azufre, ralentiza
- 55 sustancialmente el acceso del cultivador a la información, mientras que la deficiencia de azufre como tal pueda haber provocado ya pérdidas en términos de rendimiento de cultivo y calidad. Por otro lado, en los casos en los que no existe una deficiencia de azufre, se ha analizado una muestra principalmente por seguridad, de modo que el
- 60 coste de los análisis deteriora la rentabilidad obtenida del rendimiento de cultivo de un campo.

El objetivo de la presente invención es llevar la cantidad de azufre en un suelo necesario para las plantas hasta un nivel que sea beneficioso para las plantas antes del inicio del periodo de crecimiento y mantener una cantidad de azufre beneficiosa para la planta durante el periodo de crecimiento. Otro objetivo es reducir la necesidad de análisis de azufre innecesarios y para evitar la fertilización con azufre excesiva.

5 Ahora se ha encontrado que la monitorización todo el año, es decir, durante la estación de crecimiento y el período entre estaciones de crecimiento, el desarrollo del equilibrio de azufre específico de tiempo y sitio adecuado para la planta que se va a cultivar y la utilización de estos datos en la determinación de la cantidad de azufre utilizable por la planta permite, si es necesario, una recomendación altamente específica de fertilización de azufre adicional de plantas que padecen deficiencia de azufre.

10 El procedimiento de la invención se caracteriza por las características definidas en las reivindicaciones independientes.

En el procedimiento de la invención, se recogen datos específicos de sitio y tiempo, normalmente públicos, lo que permite la determinación de la cantidad de azufre utilizable por la planta en cada ubicación en un momento dado y para un tipo dado de planta que se va a cultivar.

15 En este contexto, el período de crecimiento puede implicar el tiempo en el que la planta cultivada está en el estadio de crecimiento y necesita nutrientes, tales como azufre, en su sustrato de crecimiento. El periodo intermedio, de nuevo, puede implicar el período comprendido entre dos periodos en crecimiento, durante los que la planta no requiere azufre del suelo. Dependiendo de las condiciones del entorno, un año de cultivo puede incluir diversos periodos de crecimiento y/o intermedios; por tanto, por ejemplo, puede haber dos rendimientos de cultivo al año en los países mediterráneos, tales como España.

20 En este contexto, el rendimiento del cultivo objetivo puede implicar la cantidad de cultivo equivalente al rendimiento del cultivo objetivo individual del cultivador en condiciones óptimas, o una estimación basada en la rentabilidad del crecimiento durante el periodo de crecimiento previo.

25 De acuerdo con la invención, el cultivo objetivo permite una estimación de la cantidad de azufre requerido para la planta cultivada en consideración. La cantidad de azufre utilizable por la planta se puede calcular, por ejemplo, considerando los cambios provocados por condiciones ambientales en el transcurso del periodo de crecimiento.

30 Antes del inicio del periodo de crecimiento, al final de un periodo intermedio, la demanda de azufre complementario se puede estimar en base al periodo intermedio previo, o bien calculando los cambios producidos en el equilibrio de azufre durante el periodo intermedio. El equilibrio proporciona la cantidad de azufre adicional posiblemente requerido, lo que se puede dar como una recomendación al cultivador, antes de que comience la fertilización de la siembra, por ejemplo.

35 Durante el periodo de crecimiento, es necesario comparar una estimación más temprana de la cantidad de azufre con la situación real, permitiendo tantas reacciones eficaces como sea posible para las desviaciones de la cantidad estimada de azufre utilizable por las plantas. Si una desviación es negativa, es decir, existe deficiencia de azufre, se puede realizar directamente una medida de verificación sobre la planta cultivada, si es necesario. Si se ha establecido una deficiencia de azufre, se da una recomendación de fertilización de azufre adicional al cultivador, en base a la magnitud de desviación.

40 La determinación de la cantidad de azufre utilizable por las plantas de la invención requiere información sobre factores específicos de sitio y tiempo que afectan al equilibrio de azufre. Estos factores pueden comprender, por ejemplo, datos de azufre, tales como datos de depósito de azufre, datos meteorológicos, tales como información sobre las condiciones climatológicas, y la información del suelo, tal como información sobre las propiedades del suelo. También se necesitan datos del sitio para la adaptación al sitio. Todos los datos se recogen como una función del tiempo.

45 Los datos del sitio del sustrato de la invención comprenden, por ejemplo, datos identificativos del terreno del cultivo y del estado de la explotación, tales como, por ejemplo, coordenadas y límites del terreno, donde la información del sitio se define de forma inequívoca.

50 Como fuente de información, se puede usar, por ejemplo, El sistema administrativo y de control integrado de la Unión Europea o fuentes públicas de información de autoridades administrativas agrícolas en diferentes estados, tales como, por ejemplo, departamentos de Ministerios de agricultura y silvicultura, tales como información del Centro de estadística del Ministerio de agricultura y silvicultura de Finlandia, o se pueden obtener datos directamente del cultivador.

55 La información del suelo de las realizaciones de la invención es necesaria para calcular una predicción del lavado de azufre. El tipo de suelo de cada terreno, tal como tipo de suelo mineral, de arcilla u orgánico, se puede identificar, por ejemplo, sobre datos enviados por los cultivadores, por los registros de laboratorios de análisis del suelo, tales como Viljavuuspalvelu Oy en Finlandia (Servicio de fertilidad) o registros de suelo públicos, que están disponibles, por ejemplo, del Centro de investigación geológica en Finlandia. Los tipos de suelo finlandeses típicos incluyen, por

ejemplo, marga (He), marga arcillosa (HeS), limo grueso (HHT), arcilla pesada (HsS), morrena de limo (HtMr), arcilla de limo (HtS) o arena fina media (KHt), comportamiento de lavado o permeabilidad del compuesto de azufre y agua que se conocen o se han modelado.

5 Además, la determinación de la cantidad de azufre utilizable por la planta de la invención requiere datos de azufre específicos de sitio y tiempo, que pueden ser la información sobre depósitos de azufre, la influencia de depósitos en el contenido en azufre del sustrato o la influencia de la capacidad de retención o la permeabilidad del sustrato en la cantidad de azufre. El depósito de azufre se puede determinar, por ejemplo, sobre toda la zona europea, o con respecto sólo a varios países individuales. En Finlandia, la información de depósito está disponible en la Oficina meteorológica. Los depósitos de azufre se pueden monitorizar de acuerdo con diferentes modelos como una función de cantidad y tiempo, tales como, por ejemplo, HIRLAM (Machenhauer, B.HIRLAM Informe final, Copenhague, diciembre 1988). Parte de este modelo se ha descrito en internet. El siguiente mapa se basa en los datos de este modelo o HILATAR (un modelo de red a escala regional para el transporte de compuestos de azufre y nitrógeno. Parte del informe Finnish Meteorological Institute Contributions N.º 21).

10 El depósito de azufre se puede determinar opcionalmente de forma simple, por ejemplo, las precipitaciones por medio de un pluviómetro ordinario y analizando el contenido en azufre o sulfato de las aguas recogidas en el indicador. Si es necesario, estos datos también se pueden interpolar a ubicaciones entre las estaciones de medida.

La interacción entre las precipitaciones, el depósito y el lavado se pueden monitorizar adicional y opcionalmente, por ejemplo, midiendo estas variables más de una vez al mes o, por ejemplo, simulando este sistema particular con modelos matemáticos para simular el sistema tierra-planta-atmósfera.

20 Para establecer la cantidad de azufre, también es necesario recoger datos meteorológicos regionales específicos de sitio y tiempo sobre periodos correspondientes, tales como, por ejemplo, la cantidad de precipitaciones y lluvia y variaciones de temperatura. Estos datos permiten el cálculo de cambios en el equilibrio de azufre provocados por datos meteorológicos.

Para determinar la cantidad de azufre, los diferentes datos se combinan con los datos de sitio del sustrato.

25 En una realización preferida de la invención, los datos específicos de sitio y tiempo se pueden procesar por medio de un sistema experto, que integra, por ejemplo, un sistema de planificación comercial usados en el sitio de producción de cada explotación específica, tal como, por ejemplo, Finnish FarmitWisu, Agrineuvos, LORIS o international Farm Works.

30 En una realización preferida, los datos del sitio del sustrato, por ejemplo, los datos de coordenadas, se forman en un registro de datos del sitio en el banco de datos del sistema experto para informes de monitorización, cálculo, pronóstico y realización específica de sitio. De este modo, cada uno de los datos recogidos a partir de diferentes fuentes estará unido al sitio específico por los datos de coordenadas.

35 El sistema experto es un programa de procesado de datos basado en ordenador, que puede consistir en un sistema de datos de sitio tal como ARCMAP, que contiene bases de datos tales como MS SQL, por ejemplo. Estos permiten diversas operaciones datos de sitio y el usuario puede desarrollar personalmente cualquier rutina de cálculo adicional necesaria en el sistema. El uso de un sistema experto tiene las ventajas de procesado y vinculación rápidos de grandes cantidades de datos de sitio y tiempo.

40 Los datos recogidos a partir de diferentes fuentes permiten la determinación de la cantidad de azufre adicional necesario para la planta que se va a cultivar restando la cantidad de azufre (kg/ha) utilizable por la planta al requisito calculado sobre el rendimiento de cultivo objetivo.

La cantidad de azufre utilizable por la planta es la suma acumulada del azufre que alcanza la zona bajo revisión y el azufre que deja esta zona, al que se añade la cantidad de azufre (kg/ha) que está presente en la zona en el momento inicial del estudio y es típica y natural para el tipo de suelo y utilizable por la planta.

45 El azufre que alcanza esta zona se compone de una porción introducida por el hombre (fertilización), una porción formada por precipitaciones desde el aire y azufre que ya está presente en la tierra y se convierte durante el período bajo revisión desde una forma no utilizable por las plantas a una forma utilizable por las plantas (mineralización).

El azufre se retira de la zona por lavado junto con agua.

Se puede dar el siguiente ejemplo de cálculo del requisito de azufre adicional, es decir, de fertilización de azufre:

50 El momento inicial del periodo de referencia se puede elegir libremente. El momento inicial se define como el momento en el que la cantidad de azufre en el suelo utilizable por la planta se determina midiendo o bien usando un valor medio por tipo de suelo (basado en medidas previas) o por cálculo (cálculo descrito anteriormente). El periodo de referencia termina en el momento en el que el cultivo, cuyo requisito de fertilización de azufre se está calculando, se recoge del campo. El periodo de referencia se puede dividir en dos partes: los datos medidos de forma real sobre los componentes que varían durante el periodo de referencia están disponibles (depósito, fertilización de azufre,

mineralización de azufre, lavado de azufre), o los datos previstos, basados en los datos históricos promedio están disponibles sobre estos componentes. El periodo de referencia puede comenzar al final de la cosecha en agosto de 2003 y terminar con la siguiente cosecha a finales de agosto de 2004. El cálculo se realiza a principios de mayo de 2004, de modo que los datos medidos reales están disponibles durante el periodo desde finales de agosto de 2003 hasta finales de abril de 2004, y las evaluaciones basadas en datos históricos sobre los componentes variables se usan durante el periodo desde principios de mayo de 2004 hasta finales de agosto de 2004.

Si es necesario, una recomendación de fertilización de azufre adicional se puede dar al cultivador en base a la cantidad de azufre realizada si la desviación (desviación = evaluación - valor real) es negativa en comparación con la cantidad de azufre evaluada.

La fertilización recomendada puede ser cuantitativa y/o cualitativa. Las cantidades se indican normalmente como kg/ha y la recomendación de calidad puede comprender, por ejemplo, sulfato de amonio, fertilizante mixto NPK sulfuroso o $MgSO_4$.

El procedimiento de la invención es utilizable para monitorizar y eliminar la deficiencia de azufre de plantas cultivadas, tales como, por ejemplo, plantas oleaginosas, preferentemente colza, nabina o girasol o mostaza, rábano o legumbres, preferentemente judía, guisantes o soja, o maíz, preferentemente, cebada, avena, trigo o millo.

Durante el periodo de crecimiento, la cantidad de azufre utilizable se puede ajustar a intervalos dados, por ejemplo, cuando se observa una desviación de la cantidad evaluada, por ejemplo, en base a datos meteorológicos, considerando desviaciones provocadas por el entorno, tales como efectos de precipitación y tipo de suelo sobre cualquier lavado de azufre, y también el efecto de la temperatura en la liberación de azufre del tipo de suelo. Si las precipitaciones son mayores que el valor establecido, la proporción de lavado se incrementa, y si la temperatura es mayor que el valor establecido, el azufre se liberará en una cantidad mayor que el valor establecido. También es posible evaluar la cantidad de azufre captado por las plantas durante la estación de crecimiento usando modelos de crecimiento basados en datos meteorológicos. Sin embargo, el contenido en azufre en plantas se puede considerar normalmente constante en el cálculo del equilibrio.

Si se prueba que la desviación es negativa durante el periodo de crecimiento, se pueden coger muestras de las plantas de la zona bajo revisión en los momentos requeridos para la determinación de malato-sulfato, mientras se verifica cualquier desviación evaluada del contenido en azufre.

De acuerdo con los ejemplos de la invención, el cultivador puede dar evaluaciones específicas de sitio y tiempo de la cantidad de azufre utilizable por la planta, junto con una recomendación de cualquier momento y ubicación de muestreo posible, para verificar la desviación calculada. Esto evita análisis superfluos de muestras de plantas en zonas donde, durante el periodo de crecimiento, la cantidad de azufre todavía es igual a la evaluación realizada antes del periodo de crecimiento, y la distrofia está provocada por algún otro factor aparte de la deficiencia de azufre, tal como, por ejemplo, falta de agua o nitrógeno.

Una recomendación de fertilización adicional se da para eliminar la deficiencia de azufre confirmada en una planta.

Al cultivador se le puede dar una recomendación sobre la verificación de una desviación y, si es necesario, sobre fertilización adicional, una o más veces durante el periodo de crecimiento, dependiendo de los cambios en las condiciones ambientales y de sus efectos sobre la cantidad de azufre. En una realización preferida de la invención, una desviación indicada por el sistema experto sobre la cantidad real de azufre utilizable por la planta en comparación con la cantidad de azufre evaluada se verifica por un análisis directo de la planta cultivada usando la determinación malato-sulfato mencionada anteriormente o la determinación de la proporción nitrógeno-azufre en las hojas. La determinación de equilibrio de azufre se puede llevar a cabo en un sistema de datos de sitio, en el que el requisito de fertilización de azufre se obtiene a una vez para un gran número de terrenos de campo, cuando se introducen los datos iniciales descritos anteriormente con respecto a todos los terrenos de campo. Opcionalmente, el cálculo se puede realizar con respecto a varios puntos dentro de un único terreno de campo, si los datos de partida necesarios se han medido en varios puntos dentro del terreno de campo.

La eficacia del presente procedimiento queda patente en particular por la característica de que las medidas de verificación de la condición de azufre se dirigen ahora durante el período de crecimiento a las zonas de deficiencia probables, en lugar de que los cultivadores tomen muestras al azar muchas veces de campos diferentes en el transcurso del periodo de crecimiento para monitorizar la condición de azufre, como se sugiere, por ejemplo, en la publicación Blake-Kalff, M. et al. 2002, Sulphur Deficiency Diagnosis using Plant Tissue Analysis. The Proceedings N.º 503, International Fertiliser Society, York, RU. 1-24.

La medida inicial del contenido en azufre en el suelo puede ser necesaria, sin embargo, mientras se lleva a cabo la monitorización, se puede iniciar utilizando datos monitorizados y calculados. Esto permite un cálculo de una estimación de las cantidades de azufre para la estación intermedia y/o de crecimiento posterior en base a las cantidades de azufre del periodo de crecimiento previo.

Los siguientes son ejemplos de fertilizaciones de azufre realizadas de acuerdo con la invención, pero sin confinar la invención a estos.

Ejemplo 1.

5 Se optimizó la fertilización de azufre como un terreno durante la estación intermedia que precedía al cultivo de cebada para malteo en Finlandia utilizando datos introducidos en el sistema experto antes del inicio del periodo de crecimiento en 1997.

10 Los datos básicos introducidos en el sistema comprendían datos identificativos sobre la explotación y datos del terreno de campo de 400 cultivos de cebada para malteo proporcionados por los cultivadores. Además, las autoridades administrativas agrícolas, el centro estadístico del Ministerio de agricultura y silvicultura (TIKE) proporcionaron los límites del terreno y las coordenadas de los terrenos de campo (identificadores de terreno) en forma de archivos de mapa digitales, de los que la figura 1 ilustra un ejemplo.

El tipo de suelo de cada terreno de campo, tal como tipo de suelo mineral, de arcilla u orgánico, se identificó en base a datos proporcionados por los cultivadores. Los cultivadores, a su vez, obtuvieron datos sobre el tipo de suelo enviando muestras de análisis de fertilidad de suelo al Servicio de fertilidad. La figura 2 da un ejemplo de datos del tipo de suelo.

15 Para todos los datos básicos, se dio un código de identificación de sitio, tal como un identificador de terreno, especies de plantas, tipo de suelo, y estos se combinaron en un registro de datos específico de sitio. Los datos básicos marcados con un código de identificación de sitio se transfirieron al banco de datos del sitio del sistema experto. La tabla 1 muestra un ejemplo de un registro de datos básicos.

Tabla 1.

Identificador de terreno básico	Especies de plantas	Tipo de suelo	Zona de tipo de suelo dentro del terreno
			ha
9270104989	Cebada	HsS	3,5
9270104989	Cebada	He	1,1
9270104989	Cebada	HeS	1,1
9270104989	Cebada	HHT	0,2

20 Los datos meteorológicos se recogieron mensualmente durante el periodo intermedio entre la cosecha previa y el nuevo periodo de crecimiento inicial. Los datos recogidos incluían datos meteorológicos regionales específicos de sitio sobre la cantidad de precipitación y datos sobre la temperatura de aire promedio.

Los datos de depósito de azufre se recogieron mensualmente durante el periodo intermedio. El cálculo de los depósitos de azufre se realizó con respecto a la cantidad y el tiempo midiendo las precipitaciones y el contenido en azufre de agua de lluvia. Las medidas del terreno ejemplar 9270104989 se muestran en la tabla 2.

25 Los datos de depósito de azufre y los datos meteorológicos se combinaron con los datos identificativos de sitio en un registro de datos específico de sitio y tiempo.

Tabla 2.

Identificador de terreno básico	Mes	Temperatura promedio, °C	Precipitaciones, mm	Depósito de azufre, kg/ha
9270104989	Septiembre	8,8	44	0,28
9270104989	Octubre	6,8	77	0,70
9270104989	Noviembre	3,4	216	1,62
9270104989	Diciembre	- 5,1	39	0,56
9270104989	Enero	- 4,1	43	0,30
9270104989	Febrero	- 3,3	66	0,52
9270104989	Marzo	0,0	26	0,54
9270104989	Abril	2,0	32	0,15

El depósito de azufre y los datos meteorológicos marcados con un código de identificación de sitio se transfirieron a partir del registro de datos específicos de terreno al banco de datos de sitio del sistema.

Después, la cantidad de azufre regional en el suelo utilizable por la planta se determinó durante el periodo

intermedio, antes de realizar la fertilización de siembra al comienzo del período de crecimiento. La cantidad de depósito de azufre se corrigió en base a los datos meteorológicos restando la porción (lavado) posiblemente provocada por lavado de azufre bajo el efecto de precipitación y tipo de suelo (depósito) y añadiendo por otro lado la cantidad de azufre liberado en el tipo de suelo (mineralización) bajo el efecto de la temperatura y como resultado de la actividad microbiana:

5

Cantidad de azufre utilizable por la planta = depósito - lavado + mineralización

De acuerdo con los datos del tipo de suelo del campo (tabla 1) el tipo de suelo de campo más frecuente HsS puede retener agua utilizable por las plantas a una tasa de aproximadamente un 15% de su volumen (Webb, R.S., C.E. Rosenweig y E.R.Levine.1993. Specifying Land Surface Characteristics in General Circulation Models: Soil Profile Data Set and Derived Water Holding Capacities. Global Biogeochemical Cycles 7(1):97-108).

10

Se realizó un cálculo del sitio promedio por separado para tipos del suelo en el terreno. Cuando se recogió el cultivo previo en 1996, la mitad del volumen disponible estaba en uso. Antes de que la tierra se hiele (durante septiembre, octubre y noviembre), las precipitaciones fueron de 337 mm, de modo que una capa superficial del suelo con un grosor de 1 metro (el grosor de suelo cultivado se considera igual a la capa de tierra en la parte superior de los drenajes a una profundidad de 1 metro) unió una porción de esa cantidad, drenándose lo restante, es decir $337 - 150 \times 0,5 = 262$ mm (78% de las precipitaciones) de los campos por los drenajes. El agua arrastró casi la misma porción de depósito de azufre que ya estaba presente en el suelo (2 kg/ha) y que había alcanzado el suelo durante el mismo periodo (2,6 kg/ha), es decir, 3,2 kg/ha.

15

La mayor porción del depósito de azufre formado cuando la tierra se congeló durante el periodo de diciembre - abril se retiró por lavado fuera del campo, puesto que la tierra estaba llena de agua en primavera mientras la tierra se derritió, y el sulfato sulfuro que ya se arrastró por el agua no se retuvo en el suelo. Comúnmente se sabe que sólo un 10 %, es decir, 0,2 kg/ha del depósito de invierno permaneció en el campo, y no se liberó de las reservas naturales de la tierra cuando se enfrió o se congeló la tierra en otoño, invierno y primavera hasta mayo, cuando se sembró y se fertilizó el campo.

20

En mayo, el agua ya se evapora del suelo y el depósito de azufre traído por nuevas precipitaciones se puede retener en el campo de un modo más eficaz. En el momento de la cosecha previa, el azufre utilizable por las plantas permaneció en el suelo sólo a una tasa de 2 kg/ha, y apenas se libera de las reservas naturales de la tierra cuando la tierra está fría o incluso congelada en otoño y primavera.

25

En consecuencia, estos datos permitieron que se formara un equilibrio de azufre para el terreno del campo, empleándose sustancialmente el equilibrio de azufre en la planificación de la fertilización de azufre en la estación intermedia de cebada malteada que crece en el terreno durante la estación de crecimiento de 1997 (tabla 3).

30

Tabla 3.

Clave	Equilibrio de azufre, kg/ha
En el suelo después del periodo de crecimiento previo	2
Depósito en el campo en otoño, antes de que se congelase la tierra	2,6
Azufre extraído por lavado en otoño	- 3,2
Depósito de invierno que queda en el campo	0,2
Azufre liberado del suelo durante el verano (estimación)	5
Equilibrio de azufre de cebada malteada con un rendimiento de objetivo de 4.000 kg/ha	-16
Fertilización requerida (si el equilibrio es negativo)	-9,4

Por tanto, se determinó la cantidad total de azufre requerido en base a la cantidad de azufre obtenida antes de que se fundara el cultivo nuevo.

En base a la determinación del equilibrio de azufre, a la explotación a la que pertenece el terreno del campo bajo revisión se le da una recomendación de fertilización de azufre de los campos de acuerdo con el requisito de azufre calculado por medio del sistema experto en el bando de datos del sitio. La recomendación de el tipo de suelo más frecuente en el terreno comprendió 9,4 kg de azufre/ha, es decir, 470 kg de fertilizante que contenía un 2% de azufre.

35

Se determinó el equilibrio de azufre para toda la zona bajo revisión en el sistema de datos del centro, en la que el requisito de fertilización de azufre se determinó de una vez para un gran número de terrenos de campo, siempre que los datos iniciales descritos para un terreno de campo en este ejemplo se hayan introducido para todos los terrenos de campo.

40

Ejemplo 2.

El requisito de fertilización de azufre se monitorizó durante el periodo de crecimiento de acuerdo con las estimaciones obtenidas por el sistema experto con respecto al terreno del ejemplo 1 (tabla 1).

5 La suficiencia del requisito de azufre para el potencial de cultivo se calculó al final de junio de 1997. Los factores que provocan desviaciones en el equilibrio incluían el rendimiento de objetivo, precipitaciones, cantidad de azufre liberado del suelo y depósito de azufre.

10 En este estadio del periodo en crecimiento, el cultivador estimó el potencial de cultivo a 5.000 kg/ha, es decir, ligeramente por encima de la estimación para la que se ha planeado la fertilización en primavera (4.000 kg/ha). En otras palabras, un nivel de cultivo superior requería azufre en una cantidad calculada por 4 kg/ha mayor que la cantidad dispersada durante la fertilización de siembra en primavera.

La temperatura promedio durante el período mayo - junio (12,4 °C) fue similar a la temperatura normal estimada (12,2 °C), en otras palabras, la desviación era muy pequeña, y por lo tanto no se exige una actualización de la estimación del azufre liberado.

15 Sin embargo, durante el período de mayo - junio, el depósito de azufre sólo había sido la mitad del depósito normal. Con un depósito de azufre de 2 kg/ha de acuerdo con la situación estimada durante el periodo de crecimiento de cebada, se tuvo que incrementar la fertilización de azufre en 1 kg/ha debido a la diferencia entre el depósito real y el depósito evaluado.

20 Las precipitaciones medidas fueron de 81 mm menos que la evaporación estimada durante el período de mayo - junio, de modo que el agua de lluvia permaneció en el campo en lugar de drenarse a lo largo de los drenajes. En consecuencia, no hubo lavado de azufre durante ese periodo.

De acuerdo con un cálculo realizado por medio del sistema experto, la fertilización de azufre requirió un incremento total de 5 kg/ha.

25 Esta es una desviación marcada, y se decidió realizar un análisis de azufre del cultivo en el terreno determinando el contenido en nitrógeno de la planta y comparándolo con su contenido en azufre. Estos análisis confirmaron que el cultivo sufría deficiencia de azufre, porque la proporción de nitrógeno - azufre fue superior a 20 en todas las muestras. En el caso de la cebada, se considera que los valores superiores a 15 pertenecen al grupo vulnerable de deficiencia.

30 Al comienzo de julio, se aconseja al cultivador para que realice una aplicación por pulverización de sulfato de magnesio para compensar la deficiencia de azufre y para evitar que la deficiencia de azufre deteriore la calidad de la cebada y disminuya el rendimiento de cosecha. La recomendación implicó la aplicación por pulverización de sulfato de magnesio a una tasa de 38 kg/ha con el rendimiento de azufre objetivo de 5 kg/ha. En este caso, se llevó a cabo la fertilización como fertilización igual, es decir, con la misma cantidad de fertilizante aplicada en cada ubicación del terreno de campo.

Ejemplo 3.

35 Durante el periodo de crecimiento de 2000, la suficiencia de la fertilización de azufre llevada a cabo durante la estación de intermedio que precede a la estación de crecimiento se monitorizó sobre 659 terrenos de cebada.

Al final de junio, se recogieron los siguientes datos sobre el período de mayo - junio de acuerdo con el ejemplo 2 en el sistema de datos del sitio: la temperatura de aire, precipitaciones, depósito de azufre y la estimación de cultivo de los cultivadores por terreno basado en las condiciones de crecimiento al principio del verano.

40 En base a esta información, se revisó el cálculo del equilibrio de azufre en el ejemplo 2 con respecto a los siguientes datos: estimación de cultivo - > cantidad de azufre requerido para el rendimiento de cultivo, temperatura de aire - > cantidad de azufre liberado del suelo, precipitaciones - > lavado de azufre, depósito de azufre - > cantidad de azufre que cae del aire disponible para las plantas.

45 La monitorización reveló las plantas en el terreno de campo para las que el requisito de azufre como se determinó antes de sembrar había sido demasiado bajo en comparación con la nueva situación y cuyo crecimiento se retrasó obviamente por la deficiencia de azufre.

50 La monitorización indicó que el riesgo de deficiencia de azufre fue alto en determinadas zonas (figura 3: zonas oscurecidas). Estas zonas comprendían un total de 28 terrenos de cebada bajo revisión. Se verificó la situación sobre estos 28 terrenos que parecían requerir azufre adicional (equilibrio de azufre negativo) por medio de muestras de cultivo y analizando la suficiencia de azufre para el crecimiento óptimo en estas muestras.

Se analizó la situación de azufre de la planta determinando la proporción de nitrógeno con respecto a azufre en las hojas de la planta. La proporción de contenido en nitrógeno con respecto al contenido en azufre en las hojas fue de 20 en todas las muestras. En consecuencia, las muestras confirmaron la deficiencia de azufre en estos terrenos

particulares, y a los cultivadores se les dio una recomendación de fertilizante de azufre. Se calculó la recomendación para cada terreno en el sistema de datos del sitio, mientras que los datos del comienzo del verano se actualizaron en la manera descrita en el ejemplo 2.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la fertilización de azufre óptima de plantas cultivadas, **caracterizado porque** durante un año de cultivo que comprende uno o más periodos de crecimiento y/o periodos de intermedio, las siguientes etapas se realizan de forma específica de sitio y tiempo al menos una vez:
 - 5 a. determinar un requisito de azufre adicional por medio de un rendimiento de cultivo objetivo y un equilibrio de azufre antes del inicio del periodo de crecimiento y dar una recomendación para una posible fertilización adicional,
 - 10 b. estimar el requisito de azufre por medio del rendimiento de cultivo objetivo al inicio del período de crecimiento y determinar una desviación de la estimación provocada por condiciones ambientales durante el periodo de crecimiento,
 - c. si la desviación es negativa, verificar experimentalmente una deficiencia de azufre en la planta cultivada durante el periodo de crecimiento,
 - d. si la desviación es negativa, dar una recomendación para la fertilización de azufre adicional,

en el que los datos de azufre requeridos para determinar el requisito de azufre adicional y para calcular el equilibrio de azufre comprende el efecto de unión calculado de la cantidad de azufre arrastrado por agua de lluvia, una disminución en la cantidad de azufre provocada por lavado y disminución en la cantidad de azufre provocada por la permeabilidad del suelo.
- 15 2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por** la recogida para calcular el equilibrio de azufre y para determinar el requisito de azufre adicional, de datos específicos de sitio y tiempo sobre factores que influyen el equilibrio de azufre, preferentemente datos de azufre, meteorológicos y del suelo.
- 20 3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** los datos meteorológicos comprenden la cantidad de precipitaciones y la temperatura.
4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** los datos del suelo comprenden capacidad de retención o permeabilidad del tipo de suelo con respecto a agua y/o compuestos de azufre.
- 25 5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el requisito de azufre adicional específico de tiempo y sitio es el requisito de azufre calculado sobre el rendimiento de cultivo objetivo, del que se ha restado una cantidad de azufre utilizable por la planta, obteniéndose esta cantidad de azufre partir de cantidades de azufre que entran y salen de la zona de equilibrio, al la que se añade la cantidad de azufre (kg/ha) ya presente en la zona y utilizable por la planta.
- 30 6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** los datos específicos de tiempo y sitio se almacenan en un sistema experto.
7. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el rendimiento de cultivo objetivo de la planta cultivada iguala al rendimiento de cultivo objetivo individual del cultivador bajo condiciones óptimas, o una estimación basada en la cobertura de cultivo durante el periodo de crecimiento previo.
- 35 8. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la fertilización de azufre adicional que precede al inicio del periodo de crecimiento se lleva a cabo junto con la fertilización de siembra o en el estadio de crecimiento inicial durante una primera fertilización de la parte superior del suelo.
9. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la planta cultivada es una planta oleaginosa, preferentemente colza, nabina o girasol o mostaza, o rábano, o legumbres, preferentemente judía, guisantes o soja, o maíz, preferentemente, cebada, avena, trigo o millo.
- 40 10. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la verificación experimental se realiza midiendo el contenido de azufre directamente en la planta cultivada, usando preferentemente una prueba de malato-sulfato.
- 45 11. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la recomendación de la fertilización adicional puede ser cuantitativa y/o cualitativa, con relación preferentemente a sulfato de amonio, un fertilizante mixto de NPK sulfuroso o $MgSO_4$.
12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la recomendación de fertilizante se da si la magnitud de desviación es superior a 0,5 kg/ha.
- 50 13. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** las etapas a-d en la reivindicación 1 se toman 1-10 veces durante el año.

14. Un sistema para calcular el requisito de azufre adicional específico de tiempo y sitio de la reivindicación 1, comprendiendo los datos de inicio datos de azufre medidos y monitorizados, datos meteorológicos, datos del suelo y los rendimientos de cultivo objetivo.

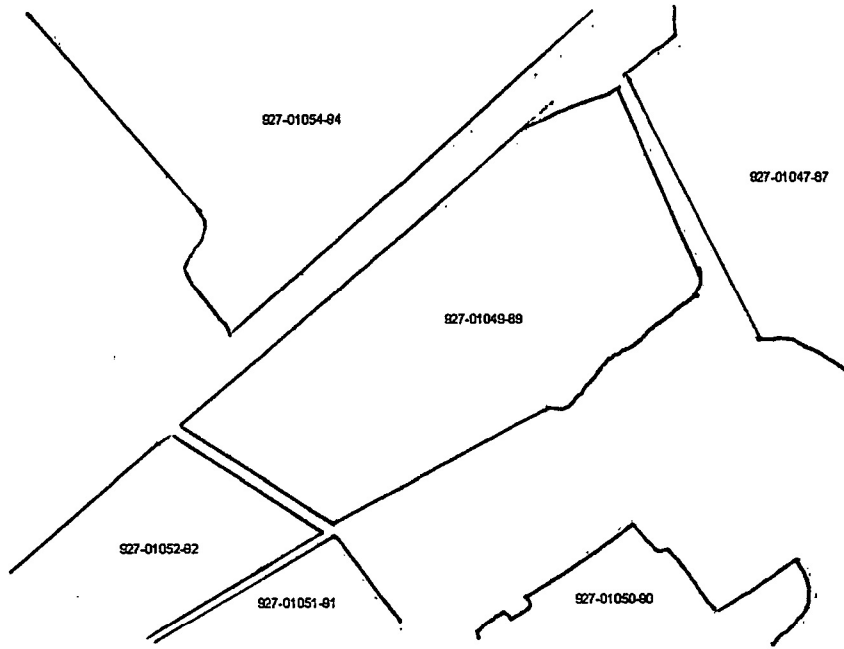


Fig. 1.



Fig. 2.

Requisito de fertilización de azufre a finales de junio

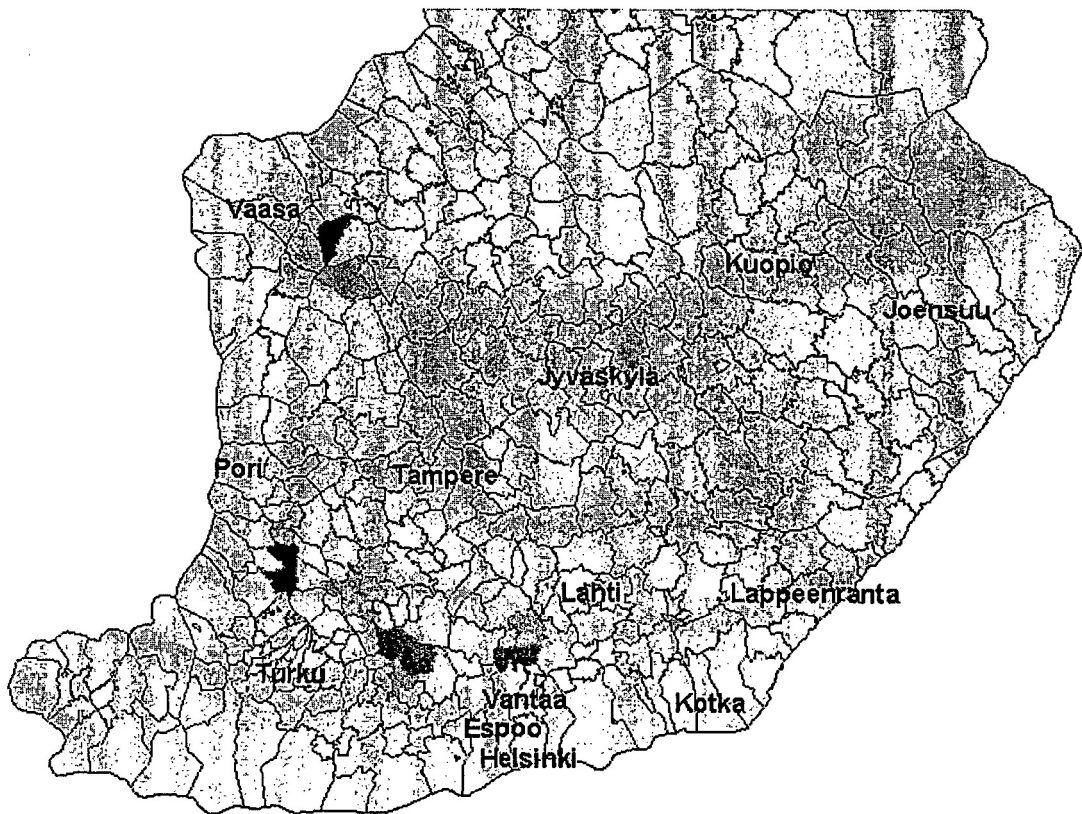
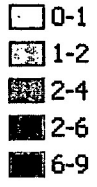


Fig. 3.