

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 942 267**

51 Int. Cl.:

A01B 79/00 (2006.01)

A01C 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.04.2016** **PCT/US2016/029385**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2017** **WO17011053**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2016** **E 16723200 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2023** **EP 3322279**

54 Título: **Generación de modelos digitales de nutrientes disponibles en un cultivo durante el curso del desarrollo del cultivo en función de datos meteorológicos y del suelo**

30 Prioridad:

15.07.2015 US 201562192754 P

01.09.2015 US 201514842321

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

31.05.2023

73 Titular/es:

CLIMATE LLC (100.0%)

4 City Place, Suite 100

St. Louis, Missouri 63141, US

72 Inventor/es:

GATES, JOHN y

DE GRYZE, STEVEN

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 942 267 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

Generación de modelos digitales de nutrientes disponibles en un cultivo durante el curso del desarrollo del cultivo en función de datos meteorológicos y del suelo

Campo de la divulgación

5 La presente divulgación se refiere a la simulación digital por computadora de los nutrientes en un campo, tales como nitrógeno, fósforo y potasio, mediante la utilización de datos meteorológicos, datos del suelo, y datos del manejo de cultivos recibidos a través de una red. Además, la presente divulgación se refiere a la generación por computadora de notificaciones, recomendaciones e interfaces gráficas de usuario en base a los modelos digitales de los nutrientes disponibles.

10 Antecedentes

Los procedimientos descritos en esta sección son procedimientos que podrían buscarse, pero no necesariamente procedimientos que se han concebido y buscado previamente. Por lo tanto, a menos que se indique de otro modo, no debe suponerse que cualquiera de los procedimientos descritos en esta sección califican como arte previo simplemente en virtud de su inclusión en esta sección.

15 Los nutrientes son esenciales en el crecimiento y el desarrollo de los cultivos. Los cultivos absorben nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo cercano para facilitar el crecimiento del cultivo. Los distintos tipos de cultivo tienen distintos requerimientos de cada nutriente. Cuando un cultivo es incapaz de alcanzar sus necesidades nutricionales, el cultivo sufre. Por ejemplo, una carencia de nitrógeno puede conducir a la destrucción de las hojas del cultivo. Además, una vez que la concentración de nitrógeno en una planta disminuye por debajo de un umbral crítico, la fotosíntesis y la acumulación de materia seca recibe un impacto negativo. Un resultado final es que la producción de un cultivo que no recibe los nutrientes suficientes se reduce.

20 Mientras que los nutrientes en el suelo son importantes para el crecimiento de las plantas, es difícil determinar cuando el suelo carece de uno o más nutrientes sin realizar los análisis de los nutrientes. Además, el impacto de la aplicación de un nutriente específico no es ampliamente evidente. Por ejemplo, una aplicación de cuarenta libras por acre de nitrógeno en un momento puede producir un aumento neto de diez libras de nitrógeno por acre disponibles en un cultivo debido a la pérdida de nitrógeno a través de una variedad de factores y las bajas tasas de transmisión al cultivo. La misma aplicación de cuarenta libras por acre de nitrógeno en otro momento puede hacer que la mayor parte del nitrógeno aplicado esté disponible para un cultivo. Sin una comprensión de la totalidad de los factores que afectan si un cultivo recibirá el nitrógeno agregado a un campo, la aplicación de nitrógeno tiende a ser relativamente ciega. Un granjero puede aplicar nitrógeno a un campo en etapas específicas del desarrollo de un cultivo o cuando el cultivo está sufriendo por la carencia de nitrógeno. Dichas aplicaciones de nitrógeno no son eficientes ya que involucran nitrógeno de desecho o la falta de agregado de nitrógeno suficiente para satisfacer las necesidades de una planta. Además, la pérdida de nitrógeno al campo a través del drenaje puede crear problemas al medio ambiente cuando el nitrógeno se une a la cuenca.

35 La cantidad de cada nutriente disponible para un cultivo tiende a ser dependiente de una amplia variedad de factores. Por ejemplo, el contenido de humedad, el tipo de suelo y la temperatura del suelo afectan al flujo de nitrógeno a través del suelo, la transmisión lateral de nitrógeno a las raíces de la planta, y la pérdida de nitrógeno a través de la desnitrificación, la volatilización y el drenaje. Además, la captación de nutrientes realizada por un cultivo varía de un cultivo a otro y varía en base a la etapa de desarrollo de un cultivo específico. Además, las distintas capas de suelo pueden tener distintas composiciones, distintas temperaturas y distintos contenidos de humedad. Así, la transmisión de nutrientes a través del suelo puede variar de una capa de suelo a otra.

40 Existe la necesidad de lograr un sistema que reciba los datos sobre un campo particular, que oscilan de los datos del suelo a los datos meteorológicos, y simule la disponibilidad de nutrientes en el campo particular en base a los datos recibidos. Algunas dificultades surgen en el contexto de la simulación de la disponibilidad de nutrientes en base a la amplia variedad de factores. Una primera dificultad en la simulación de la disponibilidad de nutrientes es la determinación de la disponibilidad de nutrientes en el futuro, de manera tal que puedan tomarse decisiones inteligentes sobre la aplicación de nutrientes antes de que comiencen a surgir los problemas. Mientras que pueden usarse muestras de suelo actuales para determinar la disponibilidad de nutrientes en un momento dado, la disponibilidad de nutrientes en el futuro es difícil de simular sin datos sobre temperatura y precipitaciones futuras.

50 Una segunda dificultad en la simulación de la disponibilidad de nutrientes es el gasto de computación de los factores de simulación que afectan la disponibilidad de los nutrientes. Por ejemplo, los procedimientos para simular el contenido de humedad en el suelo tienden a ser extremadamente costosos desde el punto de vista informático, al requerir un esquema iterativo para resolver una ecuación diferencial no lineal, o no costosos desde el punto de vista informático pero extremadamente imprecisos. La patente de Estados Unidos número 5.668.719 desvela un modelo de rendimiento para un cultivo que calcula una captación de un nutriente mediante un cultivo basado en un conjunto de datos determinados.

55

Síntesis de la divulgación

Los objetos anteriores se cumplen mediante un procedimiento según la reivindicación 1 y un sistema de procesamiento de datos según la reivindicación 9. Otras realizaciones se definen en las reivindicaciones dependientes correspondientes.

Breve descripción de las figuras

5 En las figuras:

La FIG. 1 ilustra un sistema informático a modo de ejemplo que está configurado para realizar las funciones descritas en este documento, que se muestran en un entorno del campo con otro aparato con el cual puede interactuar el sistema.

10 La FIG. 2 ilustra dos vistas de una organización lógica a modo de ejemplo de conjuntos de instrucciones en la memoria principal cuando se carga para ejecución una aplicación móvil a modo de ejemplo.

La FIG. 3 ilustra un proceso programado mediante el cual el sistema informático de inteligencia agrícola genera una o más simulaciones agronómicas previamente configuradas mediante la utilización de los datos agronómicos provistos por una o más fuentes de datos externas.

15 La FIG. 4 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema informático sobre el cual pueden implementarse las formas de realización.

La FIG. 5 representa un procedimiento a modo de ejemplo para crear un modelo digital de la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

La FIG. 6 representa un procedimiento a modo de ejemplo de combinación de los datos de una pluralidad de simulaciones digitales para determinar la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

20 La FIG. 7 representa un procedimiento a modo de ejemplo para simular el flujo de agua en el suelo.

La FIG. 8 representa un gráfico a modo de ejemplo del potencial mátrico con respecto al contenido de humedad del suelo.

La FIG. 9 representa un gráfico a modo de ejemplo de la disponibilidad de nutrientes para el hidrógeno.

Descripción detallada

25 En la siguiente descripción, con fines explicativos, se establecen numerosos detalles específicos con el objetivo de proporcionar una comprensión exhaustiva de la presente divulgación. Resultará evidente, sin embargo, que las formas de realización pueden llevarse a la práctica sin estos detalles específicos. En otras instancias, se muestran estructuras y dispositivos conocidos en forma de diagrama de bloques para evitar complicar innecesariamente la presente divulgación. Las formas de realización se divulgan en las secciones de acuerdo con el siguiente esquema:

30 1. RESUMEN GENERAL

2. SISTEMA INFORMÁTICO DE INTELIGENCIA AGRÍCOLA A MODO DE EJEMPLO

2.1. RESUMEN ESTRUCTURAL

2.2. RESUMEN DEL PROGRAMA DE APLICACIÓN

2.3. INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS AL SISTEMA INFORMÁTICO

35 2.4. RESUMEN DEL PROCESO - ENTRENAMIENTO DE LA SIMULACIÓN AGRONÓMICA

2.5. EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN- RESUMEN DEL HARDWARE

3. ASESOR DE FERTILIDAD

3.1. DATOS RECIBIDOS

3.2. SIMULACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

40 3.2.1. DISPONIBILIDAD INICIAL DE NUTRIENTES

3.2.2. GANANCIAS Y PÉRDIDAS DE NUTRIENTES

3.3. SIMULACIÓN DE LA TEMPERATURA

3.4. SIMULACIÓN DE HIDROLOGÍA

3.4.1. INCREMENTOS DE TIEMPO FLEXIBLES

3.4.2. PARAMETRIZACIÓN

3.5. SIMULACIÓN DEL CULTIVO

4. UTILIZACIÓN DE LOS DATOS

5 4.1. GRÁFICOS DE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

4.2. SIMULACIONES AGRONÓMICAS

4.3. RECOMENDACIONES

4.4. NOTIFICACIONES

4.5. PROPUESTAS DEFINIDAS POR EL USUARIO

10 5. BENEFICIOS DE CIERTAS FORMAS DE REALIZACIÓN

6. EXTENSIONES Y ALTERNATIVAS

1. RESUMEN GENERAL

Los aspectos de la divulgación se refieren en general a técnicas implementadas por computadora para generar simulaciones de la disponibilidad de nutrientes y transmitir los datos de la disponibilidad de nutrientes a un dispositivo informático. En una forma de realización, un sistema informático de inteligencia agrícola se programa o se configura para recibir, a través de una red, datos del campo de un dispositivo informático administrador del campo y datos externos, tales como los datos del suelo, y las predicciones meteorológicas, de un dispositivo informático servidor externo. Un módulo de temperatura del sistema informático de inteligencia agrícola simula los cambios de temperatura de cada capa de suelo en un campo en base, por lo menos en parte, a factores del suelo, el contenido de humedad y la radiación solar estimada. Un módulo de hidrología del sistema informático de inteligencia agrícola simula los cambios en el contenido de humedad de cada capa de suelo en un campo en base, por lo menos en parte, a factores del suelo, las simulaciones de temperatura y las precipitaciones estimadas. Un módulo de cultivo del sistema informático de inteligencia agrícola simula una captación del nitrógeno y el agua realizada por un cultivo en el campo en base, al menos en parte, en el contenido de humedad estimado, la temperatura estimada, los factores del suelo, los factores del cultivo y los factores de disponibilidad de nitrógeno. En base a los datos modelados y los datos recibidos a través de la red, un módulo asesor de fertilidad crea una simulación digital de la disponibilidad de nutrientes para el cultivo en el campo. El sistema informático de inteligencia agrícola puede generar entonces alertas, recomendaciones, simulaciones agronómicas y/o visualizaciones de la disponibilidad de nutrientes y las envía al dispositivo informático administrador del campo.

Según la invención, el procedimiento comprende: recibir a través de una red en un sistema informático de inteligencia agrícola que comprende uno o más procesadores y memoria digital, datos digitales electrónicos que comprenden una pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos para uno o más campos; mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en un módulo de temperatura del sistema informático de inteligencia agrícola, crear y almacenar en la memoria informática una primera simulación digital de la temperatura del suelo en uno o más campos en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos; mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en un módulo de hidrología del sistema informático de inteligencia agrícola, crear y almacenar en la memoria informática una segunda simulación digital del flujo de agua a través de uno o más campos en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos; mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en un módulo de cultivo del sistema informático de inteligencia agrícola, crear y almacenar una tercera simulación digital de una captación de agua de uno o más cultivos en uno o más campos en base, al menos en parte, a la segunda simulación digital de flujo de agua a través de uno o más campos y a pluralidad de los valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos; mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en el módulo del cultivo del sistema informático de inteligencia agrícola, crear y almacenar un cuarto modelo digital de una captación de un nutriente del uno o más cultivos en uno o más campos en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos; mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en un módulo asesor de fertilidad del sistema informático de inteligencia agrícola, crear y visualizar una quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos en base, por lo menos en parte, a la primera simulación de temperatura del suelo, la segunda simulación digital del flujo de agua, la tercera simulación digital de la captación de agua del uno o más cultivos, la cuarta simulación digital de la captación de nutrientes en el uno o más cultivos, y una pluralidad de los valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos para el uno o más campos.

Otros atributos y aspectos de la divulgación se tornarán evidentes en las figuras, la descripción y las reivindicaciones.

2. SISTEMA INFORMÁTICO DE INTELIGENCIA AGRÍCOLA A MODO DE EJEMPLO

2.1 RESUMEN ESTRUCTURAL

La FIG. 1 ilustra un sistema informático a modo de ejemplo que está configurado para realizar las funciones descritas en este documento, que se muestran en un entorno del campo con otro aparato con el cual puede interactuar el sistema. En una forma de realización, un usuario 102 es dueño de, opera o posee un dispositivo informático administrador del campo 104 en una ubicación del campo o asociado con una ubicación del campo tal como un campo destinado a actividades agrícolas o una ubicación de administración para uno o más campos agrícolas. El dispositivo informático administrador del campo 104 está programado o configurado para proporcionar datos del campo 106 a un sistema informático de inteligencia agrícola 130 a través de una o más redes 109.

Los ejemplos de datos de campo 106 incluyen (a) los datos de identificación (por ejemplo, la extensión, el nombre del campo, los identificadores del campo, los identificadores geográficos, los identificadores de límites, los identificadores de cultivos y cualquier otro dato disponible que pueda utilizarse para identificar la tierra de la granja, tales como una unidad de tierra común (CLU, por sus siglas en inglés), el número de lote y manzana, un número de parcela, las coordenadas y los límites geográficos, el Número de Serie de la Granja (FSN, por sus siglas en inglés), el número de granja, el número de tramo, el número de campo, la sección, el municipio y/o el rango), (b) los datos de la cosecha (por ejemplo, el tipo de cultivo, la variedad de cultivo, la rotación del cultivo, si el cultivo crece en forma orgánica, la fecha de la cosecha, la Historia de Producción Real (APH, por sus siglas en inglés), la producción esperada, el precio del cultivo, la ganancia del cultivo, la humedad de los granos, la práctica de labranza y la información sobre la estación de cultivo anterior), (c) los datos del suelo (por ejemplo, el tipo, la composición, el pH, el material orgánico (OM), la capacidad de intercambio de cationes (CEC)), (d) los datos de plantación (por ejemplo, la fecha de plantación, el tipo de semilla(s), la madurez relativa (RM) de la(s) semilla(s) plantada(s), la población de semillas), (e) los datos del fertilizante (por ejemplo, el tipo de nutriente (Nitrógeno, Fósforo, Potasio), el tipo de aplicación, la fecha de aplicación, la cantidad, el origen), (f) los datos sobre plaguicidas (por ejemplo, plaguicida, herbicida, fungicida, otra sustancia o mezclas de sustancias destinadas a usar como regulador de plantas, defoliante o desecante), (g) datos sobre riego (por ejemplo, la fecha de aplicación, la cantidad, el origen), (h) los datos meteorológicos (por ejemplo, precipitaciones, temperatura, viento, pronóstico, presión, visibilidad, nubosidad, índice de calor, punto de rocío, humedad, profundidad de la nieve, calidad del aire, amanecer, puesta de sol), (i) datos de la galería de imágenes (por ejemplo, información de la galería de imágenes y espectro de luz obtenida de un sensor del aparato agrícola, una cámara, una computadora, un Smartphone, una Tablet, un vehículo aéreo sin tripulación, aviones o satélite), (j) observaciones de exploración (fotos, vídeos, notas en formato libre, grabaciones de voz, transcripciones de voz, condiciones meteorológicas (temperatura, precipitación (actual y futura), humedad del suelo, etapa de crecimiento del cultivo, velocidad del viento, humedad relativa, punto de rocío, capa de sombras)), y (k) fenología del suelo, de las semillas, del cultivo, informes de plagas y enfermedades y origen y bases de datos de las predicciones.

Una computadora de datos externa que actúa como servidor 108 está acoplada en forma comunicativa con el sistema informático de inteligencia agrícola 130 y está programada o configurada para enviar los datos externos 110 al sistema informático de inteligencia agrícola 130 a través de la(s) red(es) 109. La computadora de datos externa que actúa como servidor 108 puede ser de propiedad de, o puede ser operada por, la misma persona o entidad legal que el sistema informático de inteligencia agrícola 130, o por una persona o entidad distinta tal como una agencia gubernamental, una organización no gubernamental (NGO, por sus siglas en inglés), y/o un prestador de servicios de datos privado. Los ejemplos de datos externos incluyen datos meteorológicos, datos de imágenes, datos del suelo o datos estadísticos relacionados con los rendimientos del cultivo, entre otros. Los datos externos 110 pueden consistir en el mismo tipo de información que los datos del campo 106. En algunas formas de realización, los datos externos 110 se proporcionan mediante un servidor de datos externo 108 de propiedad de la misma entidad que posee y/u opera el sistema informático de inteligencia agrícola 130. Por ejemplo, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede incluir un servidor de datos enfocado exclusivamente en un tipo que podría obtenerse de otro modo de terceros, tales como los datos meteorológicos.

Un aparato agrícola 111 tiene uno o más sensores remotos 112 fijados sobre este, cuyos sensores están acoplados en forma comunicativa, ya sea directa o indirectamente, a través del aparato agrícola 111 al sistema informático de inteligencia agrícola 130 y están programados o configurados para enviar los datos del sensor al sistema informático de inteligencia agrícola 130. Los ejemplos de aparato agrícola 111 incluyen tractores, cosechadoras, segadoras, plantadoras, camiones, equipamiento para fertilizantes, vehículos aéreos sin tripulación, y cualquier otro elemento de maquinaria física o hardware, normalmente maquinaria móvil, y que puede utilizarse en las tareas asociadas con la agricultura. En algunas formas de realización, una unidad individual del aparato 111 puede comprender una pluralidad de sensores 112 que están acoplados en forma local en una red sobre el aparato; la red de área del controlador (CAN) es un ejemplo de dicha red que puede instalarse en las cosechadoras o en las segadoras. El controlador de aplicación 114 está acoplado de manera comunicativa al sistema informático de inteligencia agrícola 130 a través de la(s) red(es) 109 y está programado o configurado para recibir una o más secuencias de comandos para controlar un parámetro operativo de un vehículo o implemento agrícola del sistema informático de inteligencia

agrícola 130. Por ejemplo, puede usarse una interfaz del bus de una red de área del controlador (CAN) para activar las comunicaciones del sistema informático de inteligencia agrícola 130 con el aparato agrícola 111, tal como se usa el CLIMATE FIELDVIEW DRIVE, que puede adquirirse de The Climate Corporation, San Francisco, California. Los datos de los sensores pueden consistir en el mismo tipo de información que los datos del campo 106.

El aparato 111 puede comprender una computadora de cabina 115 que está programada con una aplicación de la cabina, que puede comprender una versión o una variante de la aplicación móvil para el dispositivo 104 que se describe en forma adicional en otra sección de la presente invención. En una forma de realización, la computadora de cabina 115 comprende una computadora compacta, con frecuencia una computadora del tamaño de una Tablet o un Smartphone, con un monitor gráfico a color, que está montado dentro de la cabina del operador del aparato 111. La computadora de cabina 115 puede implementar algunas o todas las operaciones y las funciones que se describen en este documento en forma adicional para el dispositivo informático móvil 104.

La(s) red(es) 109 representan en sentido amplio cualquier combinación de una o más redes de comunicación de datos tales como las redes de área local, las redes de área amplia, inter-redes o redes internas, mediante la utilización de cualquiera de conexiones por cable o inalámbricas, incluso conexiones terrestres o satelitales. La(s) red(es) pueden implementarse por cualquier medio o mecanismo que proporcione el intercambio de datos entre los varios elementos de la FTG. 1. Los varios elementos de la FIG. 1 también puede tener enlaces de comunicaciones directos (por cable o inalámbricos). Los sensores 112, el controlador 114, la computadora servidor de datos externos 108, y otros elementos del sistema comprenden, cada uno, una interfaz compatible con la(s) red(es) 109 y están programados o configurados para usar protocolos estandarizados para comunicación a través de las redes tales como el protocolo TCP/IP, CAN, y protocolos de capas superiores tales como HTTP, TLS y lo similar.

El sistema informático de inteligencia agrícola 130 está programado o configurado para recibir datos del campo 106 del dispositivo informático administrador del campo 104, datos externos 110 de la computadora servidor de datos externos 108, y los datos del sensor del sensor remoto 112. El sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede configurarse además para albergar, usar o ejecutar uno o más programas informáticos, otros elementos de software, lógica programada de manera digital tales como FPGAs o ASICs, o cualquier combinación de los anteriores para realizar la traducción y el almacenamiento de valores de datos, la construcción de modelos digitales de uno o más cultivos en uno o más campos, la generación de recomendaciones y notificaciones, y la generación y el envío de secuencias de comandos al controlador de la aplicación 114, en un modo descrito en mayor detalle en otra secciones de esta divulgación.

En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 está programado con, o comprende, un nivel de comunicaciones 132, un nivel de presentación 134, un nivel de administración de datos 140, un nivel de hardware/virtualización 150, y un depósito de datos de simulación y de campo 160. "Nivel", en este contexto, se refiere a cualquier combinación de circuitos de interfaz electrónica digital, microcontroladores, firmware tal como unidades, y/o programas informáticos u otros elementos del software.

El nivel de comunicaciones 132 puede estar programado o configurado para realizar las funciones de interfaz de entrada/salida que incluyen enviar las solicitudes al dispositivo informático administrador del campo 104, la computadora servidor de datos externos 108, y el sensor remoto 112 para los datos del campo, los datos externos y los datos del sensor, respectivamente. El nivel de comunicaciones 132 puede estar programado o configurado para enviar los datos recibidos para simular y el depósito de datos del campo 160 que se almacenarán como datos del campo 106.

El nivel de presentación 134 puede estar programado o configurado para generar una interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) que se mostrará en el dispositivo informático administrador del campo 104, en la computadora de cabina 115 o en otras computadoras que estén acopladas al sistema 130 a través de la red 109. La GUI puede comprender controles para el ingreso de datos que serán enviados al sistema informático de inteligencia agrícola 130. La generación de solicitudes de simulaciones y/o recomendaciones y/o la visualización de recomendaciones, notificaciones, simulaciones y otros datos de campo.

El nivel de administración de datos 140 puede estar programado o configurado para administrar las operaciones de lectura y las operaciones de escritura que involucran el depósito 160 y otros elementos funcionales del sistema, incluso las búsquedas y los conjuntos de resultados comunicados entre los elementos funcionales del sistema y el depósito. Los ejemplos del nivel de administración de datos 140 incluyen JDBC, el código de interfaz del servidor SQL, y/o el código de interfaz HADOOP, entre otros. El depósito 160 puede comprender una base de datos. Como se usa en este documento, el término "base de datos" puede referirse a un conjunto de datos, un sistema de manejo de bases de datos relacionales (RDBMS), o a ambos. Como se usa en este documento, una base de datos puede comprender cualquier colección de datos que incluyen bases de datos jerárquicas, bases de datos relacionales, bases de datos de archivos planos, bases de datos objeto-relacionales, bases de datos orientadas al objeto y cualquier otra colección estructurada de registros o datos que se almacenan en un sistema informático. Algunos ejemplos de RDBMS incluyen, sin carácter limitativo, ORACLE®, MYSQL, IBM® DB2, MICROSOFT® SQL SERVER, SYBASE®, y POSTGRESQL. Sin embargo, puede utilizarse cualquier base de datos que active los sistemas y los procedimientos descritos en este documento.

Quando los datos del campo 106 no se proporcionan directamente a un sistema informático de inteligencia agrícola a través de una o más máquinas agrícolas o dispositivos de máquinas agrícolas que interactúa con el sistema informático de inteligencia agrícola, puede instarse al usuario 102 a través de una o más interfaces de usuario en el dispositivo del usuario (asistido por el sistema informático de inteligencia agrícola) a ingresar dicha información. En una forma de realización de ejemplo, el usuario 102 puede especificar los datos de identificación mediante el acceso a un mapa en el dispositivo del usuario (asistido por el sistema informático de inteligencia agrícola) y la selección de CLUs específicas que se han mostrado gráficamente en el mapa. En una forma de realización alternativa, el usuario 102 puede especificar los datos de identificación mediante el acceso a un mapa en el dispositivo del usuario (asistido por el sistema informático de inteligencia agrícola 130) y el trazado de los límites del campo sobre el mapa. Dicha selección de CLU o los dibujos del mapa representan identificadores geográficos. En formas de realización alternativas, el usuario 102 puede especificar datos de identificación mediante el acceso a los datos de identificación del campo (proporcionados como archivos de forma o en un formato similar) de la Agencia de Servicios Agrícolas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos o de otra fuente a través del dispositivo del usuario y mediante la proporción de dichos datos de identificación del campo al sistema informático de inteligencia agrícola.

En una forma de realización, la simulación y los datos del campo se almacenan en el depósito de simulaciones y datos del campo 160. Los datos de la simulación comprenden simulaciones de datos creadas para uno o más campos. Por ejemplo, una simulación de un cultivo puede incluir una simulación construida en forma digital del desarrollo de un cultivo en uno o más campos. "Simulación", en este contexto, se refiere a un conjunto de instrucciones ejecutables y valores de datos electrónicos almacenados de manera digital, asociados entre sí, que son capaces de recibir y responder a un llamado programático o a otro llamado digital, invocación o solicitud de resolución en base a los valores de entrada específicos, para producir uno o más valores de salida almacenados que pueden servir como base de recomendaciones implementadas por computadora, visualizaciones de datos de salida, o control de la máquina, entre otras cosas. Las personas capacitadas en la técnica encuentran convencional expresar las simulaciones mediante la utilización de ecuaciones matemáticas, pero esa forma de expresión no limita a las simulaciones divulgadas en este documento a conceptos abstractos, más bien, cada simulación de este documento tiene una aplicación práctica en una computadora en forma de instrucciones ejecutables almacenadas y datos que implementan la simulación mediante la utilización de la computadora. Los datos de la simulación pueden incluir una simulación de eventos pasados en uno o más campos, una simulación del estado actual de uno o más campos y/o un modelo de eventos anticipados en uno o más campos. La simulación y los datos del campo pueden almacenarse en estructuras de datos en memoria, filas en una tabla de base de datos, en archivos planos o en planillas desplegables, o en otros formatos de datos digitales almacenados.

En una forma de realización, cada uno del módulo asesor de fertilidad 136, el módulo de temperatura 142, el módulo de hidrología 144, el módulo de cultivos 146, el módulo de visualización de nutrientes 148, el módulo de recomendaciones 152 y el módulo de simulación agronómica 154 comprende un grupo de una o más páginas de memoria principal, tales como la RAM, en el sistema informático de inteligencia agrícola 130 en el cual las instrucciones ejecutables se han cargado y el cual, cuando se ejecuta, hace que el sistema informático de inteligencia agrícola realice las funciones o las operaciones que se describen en este documento con referencia a esos módulos. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede comprender un conjunto de páginas en la RAM que contengan instrucciones que cuando se ejecutan hagan que el asesor de fertilidad realice las funciones que se describen en este documento. Las instrucciones pueden estar en código ejecutable mediante máquina en el conjunto de instrucciones de una CPU y pueden haberse compilado en base al código fuente escrito en JAVA, C, C++, OBJECTIVE-C o en cualquier otro lenguaje o plataforma de programación legible por los humanos, solas o combinadas con secuencias de comandos en JAVASCRIPT, otros lenguajes de secuencias de comandos y otro texto fuente de programación. El término "páginas" tiene como intención referirse en sentido amplio a cualquier región dentro de la memoria principal y la terminología específica usada en un sistema puede variar dependiendo de la arquitectura de la memoria o de la arquitectura del procesador. En otra forma de realización, cada uno del módulo asesor de fertilidad 136, el módulo de temperatura 142, el módulo de hidrología 144, el módulo de cultivos 146, el módulo de visualización de nutrientes 148, el módulo de recomendaciones 152 y el módulo de simulación agronómica 154 también puede representar uno o más archivos o proyectos del código fuente que se almacenan en forma digital en un dispositivo de almacenamiento en masa tal como la RAM no volátil o almacenamiento en disco, en el sistema informático de inteligencia agrícola 130 o en un sistema de depósito separado, el cual, cuando se ejecuta, hace que el sistema informático de inteligencia agrícola realice las funciones o las operaciones que se describen en este documento con referencia a esos módulos. En otras palabras, la figura del dibujo puede representar el modo en el cual los programadores o los desarrolladores de software organizan y disponen el código fuente para posterior compilación en un ejecutable, o la interpretación en código de bytes o el equivalente, para su ejecución mediante el sistema informático de inteligencia agrícola 130. Las instrucciones ejecutables en la memoria, o el código fuente almacenado, especificados en este párrafo son ejemplos de "módulos" como se usa el término en esta divulgación.

El módulo asesor de fertilidad 136 en general está configurado o programado para realizar la traducción y el almacenamiento de los valores de datos, la construcción de las simulaciones digitales de uno o más cultivos en uno o más campos, la construcción de las simulaciones digitales de efectos externos en uno o más cultivos o uno o más campos, y la construcción de una o más simulaciones digitales de la disponibilidad de nutrientes en uno o más campos para uno o más cultivos. El módulo de temperatura 142 está programado o configurado para simular

cambios a la temperatura del uno o más campos en base, al menos en parte, a los valores de datos que representan las condiciones meteorológicas sobre el uno o más campos. El módulo de hidrología 144 está programado o configurado para construir una o más simulaciones digitales del flujo de agua por encima y por debajo de la superficie del uno o más campos. El módulo de cultivo 146 está programado o configurado para construir una o más simulaciones digitales de la captación de agua y de nutrientes del uno o más cultivos en el uno o más campos. El módulo de visualización de nutrientes 148 está programado o configurado para construir uno o más gráficos de la disponibilidad de los nutrientes basados, al menos en parte, en la construcción de la una o más simulaciones digitales de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos para el uno o más cultivos. El módulo de recomendaciones 152 está programado o configurado para crear una o más recomendaciones para la aplicación de los nutrientes, la aplicación de agua o los procedimientos de labranza futura, en base a la una o más simulaciones digitales de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos para el uno o más cultivos.

En una forma de realización, el módulo de simulación agronómica 154 está programado o configurado para realizar el cálculo y el almacenamiento de factores agronómicos mediante la utilización de los datos del campo 106, los datos externos 110 y los datos recibidos del módulo asesor de fertilidad 136. El módulo de simulación agronómica puede estar configurado para generar alertas en base a los factores agronómicos almacenados y para enviar las alertas al nivel de presentación 134 o al nivel de comunicación 132.

El nivel de hardware/virtualización 150 comprende una o más unidades de procesamiento central (CPUs), controladores de memoria y otros dispositivos, componentes o elementos de un sistema informático tales como memoria volátil o no volátil, almacenamiento no volátil tal como un disco, y dispositivos o interfaces I/O (del inglés In/Out: entrada y salida) como se ilustra y se describe, por ejemplo, con respecto a la FIG. 4. El nivel 150 también puede comprender instrucciones programadas que están configuradas para soportar la visualización, el envío en contenedores u otras tecnologías.

Con el objetivo de ilustrar un ejemplo claro, la FIG. 1 muestra un número limitado de instancias de ciertos elementos funcionales. Sin embargo, en otras formas de realización, puede presentarse cualquier número de dichos elementos. Por ejemplo, las formas de realización pueden utilizar miles o millones de dispositivos informáticos móviles diferentes asociados con diferentes usuarios. Además, el sistema 130 y/o la computadora servidor de datos externos puede implementarse con el uso de dos o más procesadores, núcleos, clústers, o instancias de máquinas físicas o máquinas virtuales, configurados en una ubicación individual o ubicados en forma conjunta con otros elementos en un centro de datos, una dependencia informática compartida o una dependencia informática en forma de nube.

2.2. RESUMEN DEL PROGRAMA DE APLICACIÓN

En una forma de realización, la implementación de las funciones descritas en este documento mediante la utilización de uno o más programas informáticos u otros elementos de software que se cargan en, y se ejecutan con el uso de, computadoras de fines generales, hará que las computadoras de fines generales se configuren como una máquina particular o como una computadora que esté especialmente adaptada para realizar las funciones que se describen en este documento. Además, cada uno de los diagramas de flujo que se describen en mayor detalle en este documento pueden servir, solo o en combinación con las descripciones de los procesos y las funciones en forma de texto en este documento, como algoritmos, planos o direcciones que pueden usarse para programar una computadora o lógica para implementar las funciones que se describen. En otras palabras, la totalidad del texto de este documento, y la totalidad de las figuras, juntos, tienen como finalidad proporcionar la divulgación de algoritmos, planos o instrucciones que sean suficientes para permitir que una persona con experiencia en el arte programe una computadora para realizar las funciones que se describen en este documento, en combinación con la capacidad y el conocimiento de dicha persona dado el nivel de capacidad que es apropiado para las invenciones y las divulgaciones de este tipo.

En una forma de realización, el usuario 102 interactúa con el sistema informático de inteligencia agrícola 130 mediante la utilización del dispositivo informático administrador del campo 104 configurado con un sistema operativo y uno o más programas o una o más aplicaciones, en el que el dispositivo informático administrador del campo 104 también puede operar en forma conjunta con el sistema informático de inteligencia agrícola 130 en forma independiente y automática bajo el control del programa o el control lógico y la interacción directa del usuario no siempre se requiere. El dispositivo informático administrador del campo 104 representa en sentido amplio uno o más de un Smartphone, PDA, dispositivo informático tipo tableta, computadora portátil, una computadora de escritorio, una estación de trabajo o cualquier otro dispositivo informático capaz de transmitir y recibir información y realizar las funciones descritas en este documento. El dispositivo informático administrador del campo 104 puede comunicarse a través de una red mediante la utilización de una aplicación móvil almacenada en el dispositivo informático administrador del campo 104, y en algunas formas de realización, el dispositivo puede acoplarse mediante la utilización de un cable 113 o un conector al sensor 112 y/o al controlador 114. Un usuario particular 102 puede ser dueño de, operar o poseer y usar, en conexión con el sistema 130, más de un dispositivo informático administrador del campo 104 a la vez.

La aplicación móvil puede proporcionar funcionalidad del lado del servidor, a través de la red 109 a uno o más dispositivos informáticos móviles. En una forma de realización a modo de ejemplo, el dispositivo informático administrador del campo 104 puede acceder a la aplicación móvil a través de un buscador de Internet o a aplicación

de cliente local. El dispositivo informático administrador del campo 104 puede transmitir datos a, y recibir datos de, uno o más servidores de interfaz, mediante la utilización de protocolos basados en Internet o formatos tales como HTTP, XML y/o JSON, o protocolos específicos de la aplicación. En una forma de realización a modo de ejemplo, los datos pueden tomar la forma de solicitudes y entrada de información del usuario, tales como datos del campo, en el dispositivo informático móvil. En algunas formas de realización, la aplicación móvil interactúa con el hardware y el software de rastreo de la ubicación en el dispositivo informático administrador del campo 104 que determina la ubicación del dispositivo informático administrador del campo 104 con el uso de técnicas de rastreo estándar tales como multilateración de señales de radio, los sistemas de posicionamiento global (GPS), los sistemas de posicionamiento de WiFi u otros procedimientos móviles de posicionamiento. En algunos casos, los datos de ubicación u otros datos asociados con el dispositivo 104, el usuario 102 y/o la(s) cuenta(s) del usuario pueden obtenerse mediante búsquedas a un sistema operativo del dispositivo o mediante la solicitud a una aplicación en el dispositivo que obtenga los datos del sistema operativo.

En una forma de realización, el dispositivo informático administrador del campo 104 envía datos del campo 106 a un sistema informático de inteligencia agrícola 130 que comprende o que incluye valores de datos que representan uno o más de: una ubicación geográfica de uno o más campos, la información de labranza para el uno o más campos, las cosechas plantadas en el uno o más campos, y los datos del suelo extraídos del uno o más campos. El dispositivo informático administrador del campo 104 puede enviar los datos del campo 106 en respuesta a la entrada de usuario del usuario 102 especificando los valores de datos para el uno o más campos. Además, el dispositivo informático administrador del campo 104 puede enviar automáticamente los datos del campo 106 cuando uno o más de los valores de datos se torna disponible al dispositivo informático administrador del campo 104. Por ejemplo, el dispositivo informático administrador del campo 104 puede estar acoplado en forma comunicativa con el sensor remoto 112 y/o el controlador de la aplicación 114. En respuesta a recibir los datos que indiquen que el controlador de la aplicación 114 liberó agua al uno o más campos, el dispositivo informático administrador del campo 104 puede enviar los datos del campo 106 al sistema informático de inteligencia agrícola 130 indicando que se liberó agua en uno o más campos. Los datos del campo 106 identificados en esta divulgación pueden ingresarse y comunicarse mediante la utilización de datos digitales electrónicos que se comunican entre los dispositivos mediante la utilización de URLs parametrizadas por HTTP, u otro protocolo adecuado de comunicación o mensajería.

Un ejemplo comercial de la aplicación móvil es CLIMATE FIELDVIEW, disponibles en el mercado de The Climate Corporation, San Francisco, California. La aplicación CLIMATE FIELDVIEW, u otras aplicaciones, pueden modificarse, extenderse o adaptarse para incluir características, funciones y programación que no se hayan divulgado con anterioridad a la fecha de esta divulgación. En una forma de realización, la aplicación móvil comprende una plataforma de software integrado que permite que un productor tome decisiones basadas en hechos para su operación porque combina los datos históricos sobre los campos del productor con cualquier otro dato que el productor desee comparar. Las combinaciones y las comparaciones pueden realizarse en tiempo real y se basan en simulaciones científicas que proporcionan escenarios potenciales para permitir que el productor tome decisiones mejores y más informadas.

La FIG. 2 ilustra dos vistas de una organización lógica a modo de ejemplo de conjuntos de instrucciones en la memoria principal cuando se carga para ejecución una aplicación móvil a modo de ejemplo. En la FIG. 2, cada elemento mencionado representa una región de una o más páginas de la RAM o de otra memoria principal, o uno o más bloques de almacenamiento en el disco u otro almacenamiento no volátil, y las instrucciones programadas dentro de esas regiones. En una forma de realización, en la vista (a), una aplicación informática móvil 200 comprende instrucciones de compartir la incorporación de los datos de los campos de informe 202, instrucciones de supervisión y alerta 204, instrucciones de libros de mapas digitales 206, instrucciones de semillas y plantaciones 208, instrucciones de nitrógeno 210, instrucciones meteorológicas 212, instrucciones de la salud del campo 214 e instrucciones de rendimiento 216.

En una forma de realización, una aplicación informática móvil 200 comprende instrucciones de compartir la incorporación de los datos de los campos de informe 202 programadas para recibir, traducir y consumir los datos del campo de los sistemas de terceros a través de la carga manual o APIs. Los tipos de datos pueden incluir los límites del campo, los mapas de rendimiento, los mapas según las plantaciones, los resultados de los análisis en el suelo, los mapas según la aplicación y/o las zonas de administración, entre otros. Los formatos de los datos pueden incluir archivos de forma, formatos de datos nativos de terceros y/o exportaciones del sistema de información de manejo de la granja (FMIS, por sus siglas en inglés), entre otros. La recepción de los datos puede ocurrir a través de la carga manual, los APIs externos que impulsan los datos a la aplicación móvil o las instrucciones que llaman los APIs de los sistemas externos para traer los datos a la aplicación móvil.

En una forma de realización, las instrucciones del libro de mapas digitales 206 comprenden los niveles de datos de los mapas del campo almacenados en la memoria del dispositivo y están programadas con herramientas de visualización de datos y notas geoespaciales del campo. Esto provee a los productores información conveniente cerca a mano para referencia, registro y análisis visuales en el rendimiento del campo. En una forma de realización, las instrucciones de supervisión y alerta 204 están programadas para proporcionar una vista de amplitud de operación de lo que es importante para el productor, y las recomendaciones oportunas de accionar o enfocarse en asuntos particulares. Esto permite que el productor enfoque su tiempo en lo que requiere atención, para ahorrar tiempo y conservar el rendimiento durante toda la temporada. En una forma de realización, las instrucciones de

semillas y plantaciones 208 están programadas para proporcionar herramientas para la selección de las semillas, la colocación de híbridos y la creación de secuencias de comandos, incluso la creación de la secuencia de comandos de tasa variable (VR), en base a los modelos científicos y los datos empíricos. Esto permite que los productores maximicen el rendimiento o la ganancia sobre la inversión a través de la compra, la colocación y la población optimizadas de semillas.

En una forma de realización, las instrucciones de nitrógeno 210 están programadas para proporcionar herramientas para informar las decisiones sobre el nitrógeno mediante la visualización de la disponibilidad de nitrógeno a los cultivos y crear secuencias de comandos de fertilidad de tasa variable (VR). Esto permite que los productores maximicen el rendimiento o la ganancia sobre la inversión a través de la aplicación optimizada de nitrógeno durante la temporada. Las funciones programadas de ejemplo incluyen la visualización de imágenes tales como imágenes SSURGO para permitir el dibujo de las zonas de aplicación; la carga de zonas existentes previamente definidas por el productor; la proporción de un gráfico de la aplicación para permitir el ajuste de las aplicaciones de nitrógeno a través de múltiples zonas; la generación de secuencias de comandos para conducir la maquinaria; herramientas para los datos el ingreso y el ajuste de los datos masivos; y/o los mapas para la visualización de los datos, entre otras. El "ingreso de datos masivos", en este contexto, puede significar el ingreso de datos una vez y luego la aplicación de los mismos datos a múltiples campos que se han definido en el sistema; los datos de ejemplo pueden incluir los datos de aplicación de nitrógeno que son los mismos para muchos campos del productor. Por ejemplo, las instrucciones de nitrógeno 210 pueden programarse para aceptar las definiciones de la plantación de nitrógeno y los programas de prácticas y aceptar el ingreso del usuario que especifique aplicar esos programas a través de múltiples campos. Los "programas de plantación de nitrógeno", en este contexto, se refieren a un conjunto de datos determinado, almacenado que asocia: un nombre, un código de color u otro identificador, una o más fechas de aplicación, tipos de material o producto para cada una de las fechas y las cantidades, el procedimiento de aplicación o incorporación tales como inyectado o aplicado con cuchillo y/o las cantidades o las tasas de aplicación para cada una de las fechas, los cultivos o los híbridos que son sujetos de la aplicación, entre otros. Los "programas de prácticas de nitrógeno", en este contexto, se refieren a un conjunto determinado y almacenado de datos que asocian: un nombre de prácticas; un cultivo anterior; un sistema de labranza; una fecha de la labranza previa; uno o más sistemas de labranza previos que se usaron; uno o más indicadores de la aplicación de abono que se usaron. Las instrucciones de nitrógeno 210 también pueden programarse para generar y producir la visualización de un gráfico de nitrógeno, una vez que se aplica un programa a un campo, lo cual indica las proyecciones del uso de la planta del nitrógeno especificado y si se anticipa una ganancia o una merma, en algunas formas de realización, los indicadores de colores distintos pueden indicar una magnitud de la ganancia o una magnitud de la merma. En una forma de realización, un gráfico de nitrógeno comprende un monitor gráfico en un dispositivo de visualización informático que comprende una pluralidad de filas, en el que cada fila está asociada con, e identifica, un campo; los datos que especifican qué cultivo se planta en el campo, el tamaño del campo, la ubicación del campo, y una representación gráfica del perímetro del campo; en cada fila, una línea de tiempo por mes con indicadores gráficos que especifiquen cada aplicación de nitrógeno y la cantidad en los puntos correlacionados con los nombres de los meses; y los indicadores numéricos y/o de color de la ganancia o la merma, en los cuales el color indica la magnitud.

En una forma de realización, las instrucciones meteorológicas 212 están programadas para proporcionar los datos meteorológicos recientes específicos del campo y la información del pronóstico meteorológico. Esto permite que los productores ahorren tiempo y tengan una visualización integrada eficiente con respecto a las decisiones operativas diarias.

En una forma de realización, las instrucciones de la salud del campo 214 están programadas para proporcionar imágenes de detección remota oportunas que destaquen la variación de cultivos dentro de la estación y los potenciales problemas. Las funciones programadas a modo de ejemplo incluyen el control de nubosidad, para identificar las posibles nubes o nubosidades; la determinación de los índices de nitrógeno en base a las imágenes del campo; la visualización gráfica de los niveles de exploración, incluso, por ejemplo, aquellos relacionados con la salud del campo, y la visualización y/o el reparto de las notas de exploración; y/o la descarga de imágenes satelitales de múltiples fuentes y priorización de las imágenes para el productor, entre otros.

En una forma de realización, las instrucciones de rendimiento 216 están programadas para proporcionar informes, análisis y herramientas de conocimiento mediante la utilización de los datos en la granja para la evaluación, el conocimiento y la toma de decisiones. Esto permite que el productor busque resultados mejorados para el año siguiente a través de conclusiones basadas en hechos sobre por qué la ganancia sobre inversión se encontró en los niveles previos, y conocimiento sobre los factores limitativos de la producción. Las instrucciones de rendimiento 216 pueden programarse para comunicar a través de la(s) red(es) 109 a los programas analíticos secundarios en la computadora servidor de datos externos 108 y configurarse para analizar la métrica de dicha producción, híbridos, población, SSURGO, análisis del suelo o elevación, entre otros. Los informes y el análisis programado pueden incluir el análisis de variabilidad de la producción, la comparativa de la producción y otras métricas contra otros productores en base a datos anónimos recolectados de muchos productores, o los datos para semillas y plantación, entre otros.

Las aplicaciones que tienen las instrucciones configuradas de este modo pueden implementarse para diferentes plataformas de dispositivos informáticos mientras que mantienen el mismo aspecto general de la interfaz de usuario. Por ejemplo, la aplicación móvil puede programarse para su ejecución en Tablets, Smartphones o computadoras que actúan de servidor a las que se accede mediante la utilización de buscadores en las computadoras del cliente.

Además, la aplicación móvil configurada para computadoras tipo Tablet o para Smartphones puede proporcionar una experiencia de la aplicación completa o una experiencia de la aplicación en cabina que es apta para las capacidades de visualización y procesamiento de la computadora de cabina 115. Por ejemplo, ahora con referencia a la vista (b) de la FIG. 2, en una forma de realización una aplicación para computadora de cabina 220 puede comprender instrucciones de cabina de mapas 222, instrucciones de monitor remoto 224, instrucciones de recolección y transferencia de datos 226, instrucciones de alertas en una máquina 228, instrucciones de transferencia de secuencias de comandos 230 e instrucciones de cabina para exploración 232. La base de código para las instrucciones de la vista (b) puede ser igual que para la vista (a) y los ejecutables que implementan el código pueden programarse para detectar el tipo de plataforma sobre la cual se ejecutan y para exponer, a través de una interfaz gráfica de usuario, solamente aquellas funciones que son apropiadas a una plataforma de cabina o una plataforma completa. Este procedimiento permite que el sistema reconozca la experiencia del usuario totalmente diferente que es apropiada para un entorno en cabina y el entorno de tecnología distinta de la cabina. Las instrucciones de cabina de mapas 222 puede programarse para proporcionar vistas de mapas de los campos, las granjas o las regiones que son útiles en la dirección del funcionamiento de la máquina. Las instrucciones de vistas remotas 224 pueden programarse para encender, administrar y proporcionar vistas de la actividad de la máquina en tiempo real o en tiempo casi real a otros dispositivos informáticos conectados al sistema 130 a través de redes inalámbricas, conectores o adaptadores por cable y lo similar. La recolección de datos y las instrucciones de transferencia 226 pueden programarse para encender, administrar y proporcionar la transferencia de los datos recolectados en los sensores y en los controladores de la máquina al sistema 130 a través de redes inalámbricas, conectores o adaptadores por cable y lo similar. Las instrucciones de alerta de la máquina 228 pueden programarse para detectar los problemas con las operaciones de la máquina o las herramientas que están asociadas con la cabina y generar las alertas al operador. Las instrucciones de transferencia de la secuencia de comandos 230 pueden configurarse para transferir en secuencias de comandos de instrucciones que están configuradas para dirigir las operaciones de la máquina o la recolección de datos. Las instrucciones de cabina de exploración 232 pueden programarse para mostrar las alertas basadas en la ubicación y la información recibida del sistema 130 en base a la ubicación del aparato agrícola 111 o los sensores 112 en el campo y captar, administrar y proporcionar la transferencia de las observaciones de exploración basada en la ubicación al sistema 130 en base a la ubicación del aparato agrícola 111 o los sensores 112 en el campo.

2.3. INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS AL SISTEMA INFORMÁTICO

En una forma de realización, la computadora servidor de datos externos 108 almacena los datos externos 110, tales como los datos del suelo que representan la composición del suelo para uno o más campos y datos meteorológicos que representan la temperatura y la precipitación en uno o más campos. Los datos meteorológicos pueden incluir los datos meteorológicos pasados y presentes además de los pronósticos para futuros datos meteorológicos. En una forma de realización, la computadora servidor de datos externos 108 comprende una pluralidad de servidores albergados por entidades diferentes. Por ejemplo, un primer servidor puede contener los datos de la composición del suelo mientras que un segundo servidor puede incluir los datos meteorológicos. Además, los datos de la composición del suelo pueden almacenarse en múltiples servidores. Por ejemplo, un servidor puede almacenar los datos que representan el porcentaje de arena, limo y arcilla en el suelo, mientras que un segundo servidor puede almacenar los datos que representan el porcentaje de material orgánico (OM, por sus siglas en inglés) en el suelo.

En una forma de realización, el sensor remoto 112 comprende uno o más sensores que están programados o configurados para producir una o más observaciones. El sensor remoto 112 puede ser sensores aéreos, tales como satélites, sensores de vehículos, sensores de los equipos de plantación, sensores de labranza, o sensores de aplicación de insecticidas, sensores de cosechadoras, y cualquier otro implemento de recepción de los datos del uno o más campos. En una forma de realización, el controlador de aplicación 114 está programado o configurado para recibir instrucciones del sistema informático de inteligencia agrícola 130. El controlador de aplicación 114 también puede estar programado o configurado para controlar un parámetro operativo de un vehículo o implemento agrícola. Por ejemplo, un controlador de aplicación puede estar programado o configurado para controlar un parámetro operativo de un vehículo, tal como un tractor, el equipo de plantación, el equipo de labranza, el equipo de fertilizantes o insecticidas, el equipo cosechador u otros implementos tales como la válvula de agua. Otras formas de realización pueden usar cualquier combinación de sensores y controladores, de los cuales los que siguen son simplemente ejemplos seleccionados.

El sistema 130 puede obtener o captar los datos bajo el control del usuario 102, en una base masiva de un gran número de productores que hayan aportado datos a un sistema de base de datos compartida. Esta forma de obtención de los datos puede denominarse "captación de datos manual" ya se solicita o se desencadena una o más operaciones informáticas controladas por el usuario para obtener los datos para ser utilizados por el sistema 130. Como ejemplo, el NITROGEN ADVISOR, disponibles en el mercado de The Climate Corporation, San Francisco, California, puede operarse para exportar los datos al sistema 130 para almacenar en el depósito 160.

Por ejemplo, los sistemas de monitoreo de semillas pueden a la vez controlar los componentes del aparato de plantación y obtener los datos de la plantación, tales como las señales de los sensores de semillas a través de un arnés de señales que comprende una cadena principal CAN y conexiones de un extremo a otro para registro y/o diagnóstico. Los sistemas monitores de semillas pueden programarse o configurarse para mostrar la separación de las semillas, la población y otra información al usuario a través de una computadora de cabina 115 u otros

dispositivos dentro del sistema 130. Algunos ejemplos se divulgan en la Patente de EE.UU. Nro. 8.738.243 y Publicación de patente de EE. UU. 20150094916 y la presente divulgación supone el conocimiento de esa otra divulgación de patente.

Del mismo modo, los sistemas monitores de producción pueden contener sensores de rendimiento para el aparato cosechador que envían los datos de la medición de la producción a la computadora de cabina 115 o a otros dispositivos dentro del sistema 130. Los sistemas monitores de producción pueden utilizar uno o más sensores remotos 112 para obtener las mediciones de la humedad de los granos en una combinación u otra cosechadora y transmitir esas mediciones al usuario a través de la computadora de cabina 115 u otros dispositivos dentro del sistema 130.

En una forma de realización, los ejemplos de sensores 112 que pueden usarse con cualquier vehículo o aparato en movimiento del tipo descrito en alguna otra parte de este documento incluyen sensores de cinemática y sensores de posición. Los sensores de cinemática pueden comprender cualquiera de los sensores de velocidad tales como sensores de radar o de velocidad de las ruedas, acelerómetros, o giroscopios. Los sensores de posición pueden comprender receptores o transceptores de GPS, o aplicaciones de mapeo y posición basadas en WiFi que están programadas para determinar la ubicación en base a las zonas de WiFi cercanas, entre otros.

En una forma de realización, los ejemplos de sensores 112 que pueden usarse con los tractores o con otros vehículos en movimiento incluyen los sensores de velocidad del motor, los sensores de consumo de combustible, los contadores de área o los contadores de distancia que interactúan con las señales de radar o del GPS, PTO (toma de fuerza, por sus siglas en inglés), sensores de velocidad, sensores de hidráulica del tractor configurados para detectar los parámetros de hidráulica tales como la presión o el flujo y/o la velocidad de la bomba hidráulica, los sensores de velocidad de las ruedas o los sensores de descenso de la rueda. En una forma de realización, los ejemplos de controladores que pueden usarse con los tractores incluyen los controladores direccionales hidráulicos, los controladores de presión, y/o los controladores de flujo, los controladores de velocidad de la bomba hidráulica, los controladores o reguladores de velocidad, el controlador de posición de engranajes, o los controladores de posición de la rueda proporcionan dirección automática.

En una forma de realización, los ejemplos de sensores 112 que pueden usarse con los equipos de plantación de semillas tales como plantadores, excavadoras o sembradores de aire incluyen los sensores de semillas, que pueden ser sensores ópticos, electromagnéticos o de impacto; sensores de fuerza descendente tales como pernos de carga, celdas de carga, sensores de presión, sensores de propiedades del suelo tales como los sensores de reflectividad, los sensores de humedad, los sensores de conductividad eléctrica, los sensores de residuos ópticos, o los sensores de temperatura; los sensores de criterios operativos de los componentes tales como los sensores de profundidad de la plantación, los sensores de presión del cilindro de fuerza descendente, los sensores de velocidad del disco de arado, los codificadores del motor de accionamiento de semillas, los sensores de velocidad del sistema transportador de semillas o los sensores de nivel de vacío; o los sensores de aplicación de plaguicidas tales como los sensores ópticos u otros sensores electromagnéticos, o los sensores de impacto. En una forma de realización, los ejemplos de controladores 114 que pueden usarse con dicho equipamiento de plantación de semillas incluyen: controladores de despliegue de la barra de herramientas, tales como los controladores para las válvulas asociadas con los cilindros hidráulicos; controladores de fuerza descendente, tales como los controladores para válvulas asociadas con los cilindros neumáticos, los airbags o los cilindros hidráulicos, y programados para aplicar fuerza descendente a unidades de filas individuales o a un almacén de plantador completo; controladores de profundidad de plantación, tales como los accionadores lineales; controladores de medición, tales como los motores de accionamiento eléctricos del medidor de semillas, los motores de accionamiento hidráulicos del medidor de semillas o los embragues de control de franjas; controladores de selección de híbridos, tales como los motores de conducción del medidor de semillas, u otros accionadores programados para permitir o evitar de manera selectiva que la mezcla de semillas o de semillas con el aire apliquen semillas a o de los medidores de semillas o las tolvas a granel centrales; controladores de medición, tales como los motores de conducción eléctricos del medidor de semillas, o los motores de conducción hidráulicos del medidor de semillas; controladores del sistema transportador de semillas, tales como los controladores para un motor transportador de administración de semillas por correa; controladores de marcador, tales como un controlador para un accionador neumático o hidráulico; o controladores de la tasa de aplicación de plaguicidas, tales como los controladores de conducción de la medición, controladores del tamaño de los orificios o de posición.

En una forma de realización, los ejemplos de sensores 112 que pueden usarse con el equipamiento de labranza incluyen sensores de posición para las herramientas tales como patas o discos; sensores de posición de las herramientas para dichas herramientas que están configurados para detectar la profundidad, el ángulo de cuadrilla, o la separación lateral; los sensores de fuerza descendente; o los sensores de fuerza de corriente. En una forma de realización, los ejemplos de controladores 114 que pueden usarse con el equipamiento de labranza incluyen los controladores de fuerza descendente o los controladores de posición de la herramienta, tales como los controladores configurados para controlar la profundidad de la herramienta, el ángulo de la cuadrilla o la separación lateral.

En una forma de realización, los ejemplos de sensores 112 que pueden usarse con relación al aparato para aplicar fertilizante, insecticida, fungicida y lo similar, tales como los sistemas fertilizantes en el plantador, los aplicadores de fertilizantes subterráneos o los aspersores de fertilizantes, incluyen: Los sensores de criterios del sistema de fluido,

tales como los sensores de flujo o los sensores de presión; los sensores que indiquen qué válvulas de cabezal aspersor o válvulas de la línea de fluidos están abiertas; los sensores asociados con tanques, tales como los sensores del nivel de llenado; los sensores de la línea de suministro seccionales o de amplitud del sistema, o los sensores de la línea de suministro específicos de la fila; o los sensores de cinemática tales como los acelerómetros dispuestos en las detonaciones del aspersor. En una forma de realización, los ejemplos de controladores 114 que pueden usarse con dicho aparato incluyen los controladores de velocidad de la bomba; los controladores de válvula que están programados para controlar la presión, el flujo, PWM y lo similar; o los accionadores de posición, tales como la altura de detonación, la profundidad de la excavadora o la posición de la detonación.

En una forma de realización, los ejemplos de sensores 112 que pueden usarse con las cosechadoras incluyen los monitores de producción, tales como los calibres de distensión de la placa de impacto o los sensores de posición, los sensores de flujo capacitivos, los sensores de carga, los sensores de peso, o los sensores de presión asociados con los elevadores o las barrenas, o los sensores de altura de grano ópticos u otros electromagnéticos, los sensores de humedad de los granos, tales como los sensores capacitivos, los sensores de la pérdida de granos, incluyendo los sensores de impacto, ópticos o capacitivos; los sensores de criterios operativos del cabezal, el tipo de cabezal, la separación de la placa de cubierta, la velocidad del alimentador, y los sensores de velocidad del rodillo; los sensores de criterios operativos del separador, tales como la depuración cóncava, la velocidad del rotor, la depuración de pie, o los sensores de depuración de la fricción; sensores de barrena para posición o velocidad; o los sensores de velocidad del motor. En una forma de realización, los ejemplos de controladores 114 que pueden usarse con las cosechadoras incluyen los controladores de criterios operativos de cabezales para elementos tales como la altura del cabezal, el tipo de cabezal, la separación de la placa de cubierta, la velocidad del alimentador, y los sensores de velocidad del rodillo; los sensores de criterios operativos del separador, tales como la depuración cóncava, la velocidad del rotor, la depuración de pie, o los sensores de depuración de la fricción; sensores de barrena para posición o velocidad; o los sensores de velocidad del motor.

En una forma de realización, los ejemplos de sensores 112 que pueden usarse con las carretillas de granos incluyen los sensores de peso o los sensores para la posición, el funcionamiento o la velocidad de la barrena. En una forma de realización, los ejemplos de controladores 114 que pueden usarse con las carretillas de granos incluyen los controladores para la posición, el funcionamiento o la velocidad de la barrena.

En una forma de realización, los ejemplos de sensores 112 y los controladores 114 pueden instalarse en un aparato tipo vehículo aéreo sin tripulación (UAV, por sus siglas en inglés) o "drones". Dichos sensores pueden incluir cámaras con detectores efectivos para cualquier rango de espectro electromagnético incluyendo luz visible, infrarroja, ultravioleta, casi infrarroja (NIR, por sus siglas en inglés) y lo similar; acelerómetros; altímetros; sensores de temperatura; sensores de humedad; sensores del tubo piloto u otros sensores de velocidad por viento o por velocidad del aire; sensores de vida de las baterías; o emisores de radar y aparato para detección de la energía reflejada de los radares. Dichos controladores pueden incluir aparatos para el control del motor o guía, controladores de la superficie de control, controladores de cámara, o controladores programados para encender, operar, obtener datos de, administrar y configurar cualquiera de los sensores que anteceden. Algunos ejemplos se divulgan en la Solic. de Patente de EE.UU. Nro. 14/831.165 y la presente divulgación supone el conocimiento de esa otra divulgación de patente.

En una forma de realización, los sensores 112 y los controladores 114 pueden estar fijados al aparato de muestreo y de medición del suelo que está configurado o programado para muestrear y realizar los análisis de química del suelo, los análisis de humedad del suelo, y otros análisis referidos al suelo. Por ejemplo, el aparato divulgado en la Patente de EE. UU. Nro. 8.767.194 y en la Patente de EE. UU. Nro. 8.712.148 puede usarse y la presente divulgación supone el conocimiento de esas otras divulgaciones de patentes.

2.4 RESUMEN DEL PROCESO - ENTRENAMIENTO DE LA SIMULACIÓN AGRONÓMICA

En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 está programado o configurado para crear una simulación agronómica. En este contexto, la simulación agronómica es una estructura de datos en la memoria del sistema informático de inteligencia agrícola 130 que comprende los datos del campo 106 tales como los datos de identificación y los datos de la cosecha para uno o más campos. La simulación agronómica también puede comprender propiedades agronómicas calculadas que describen indistintamente las condiciones que pueden afectar el crecimiento de uno o más cultivos en un campo, o las propiedades del uno o más cultivos, o ambos. Además, una simulación agronómica puede comprender recomendaciones basadas en factores agronómicos tales como las recomendaciones de los cultivos, las recomendaciones de riego, las recomendaciones de plantaciones, y las recomendaciones de cosecha. Los factores agronómicos también pueden usarse para estimar uno o más resultados relacionados con los cultivos, tales como el rendimiento agronómico. La producción agronómica en un cultivo es una estimación de la cantidad del cultivo que se produce, o en algunos ejemplos la ganancia o el beneficio obtenido del cultivo producido.

En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede usar una simulación agronómica configurada previamente para calcular las propiedades agronómicas relacionadas con la ubicación actualmente recibida y la información de los cultivos para el uno o más campos. La simulación agronómica previamente configurada se basa en los datos del campo procesados anteriormente, tales como, aunque sin

limitarse a, los datos de identificación, los datos de la cosecha, los datos del fertilizante y los datos meteorológicos. La simulación agronómica previamente configurada puede haberse validado en forma cruzada para asegurar la exactitud de la simulación. La validación cruzada puede incluir la comparación con los hechos de base que compara los resultados anticipados con los resultados reales en un campo, tal como una comparación de la estimación de precipitaciones con un calibre de lluvias en la misma ubicación o una estimación del contenido de nitrógeno con una medición de una muestra de suelo.

La FIG. 3 ilustra un proceso programado mediante el cual el sistema informático de inteligencia agrícola genera una o más simulaciones agronómicas previamente configuradas mediante la utilización de los datos del campo provistos por una o más fuentes de datos externas. La FIG. 3 puede servir como algoritmo o instrucciones para la programación de los elementos funcionales del sistema informático de inteligencia agrícola 130 para realizar las operaciones que se describen actualmente.

En el bloque 305, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 está configurado o programado para implementar el procesamiento de datos agronómicos de los datos del campo recibidos de uno o más recursos de datos externos. Los datos del campo recibidos de uno o más recursos de datos externos pueden volver a procesarse con el fin de eliminar el ruido y los efectos de distorsión dentro de los datos agronómicos tales como los valores atípicos medidos que sesgarían los valores de datos del campo recibidos. Las formas de realización del procesamiento previo de datos agronómicos pueden incluir, pero no se limitan a, quitar los valores de datos comúnmente asociados con los valores de datos de valores atípicos, puntos de referencia medidos específicos conocidos por desviar otros valores de datos, técnicas de suavizado de datos usadas para quitar o reducir los efectos aditivos o multiplicativos del ruido, y otras técnicas de filtración o derivación de datos usadas para proporcionar distinciones claras entre las entradas de datos positivos o negativos.

En el bloque 310, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 está configurado o programado para realizar la selección del subconjunto de datos mediante la utilización de los datos del campo previamente procesados para identificar los conjuntos de datos útiles para la generación de la simulación agronómica. El sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede implementar técnicas de selección del subconjunto de datos incluyendo, sin carácter limitativo, un procedimiento de algoritmo genético, un procedimiento de simulaciones de todos los subgrupos, un procedimiento de búsqueda secuencial, un procedimiento de regresión por etapas, un procedimiento de optimización de conjuntos de partículas, y un procedimiento de optimización de colonias de hormigas. Por ejemplo, una técnica de selección del algoritmo genético utiliza un algoritmo de búsqueda heurístico flexible, basado en los principios evolutivos de la selección natural y la genética, para determinar y evaluar conjuntos de datos dentro de los datos agronómicos previamente procesados.

En el bloque 315, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 está configurado o programado para implementar la evaluación del conjunto de datos del campo. En una forma de realización, un conjunto de datos específico del campo se evalúa mediante la creación de una simulación agronómica y mediante la utilización de umbrales de calidad específicos para la simulación agronómica creada. Las simulaciones agronómicas pueden compararse mediante la utilización de técnicas de validación cruzada que incluyen, sin carácter limitativo, la raíz del cuadrado medio del error de la validación cruzada dejando uno afuera (RMSECV, por sus siglas en inglés), el error absoluto promedio, y el porcentaje del error promedio. Por ejemplo, la RMSECV puede validar en forma cruzada las simulaciones agronómicas mediante la comparación de los valores de propiedad agronómica anticipada creados por la simulación agronómica contra los valores de propiedad agronómica histórica recolectados y analizados. En una forma de realización, se usa la lógica de la evaluación del conjunto de datos agronómicos como circuito de retroalimentación en el que los conjuntos de datos agronómicos que no cumplen con los umbrales de calidad configurados se usan durante los futuros pasos de selección del conjunto de datos (bloque 310).

En el bloque 320, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 está configurado o programado para implementar la creación de la simulación agronómica en base a los conjuntos de datos agronómicos validados en forma cruzada. En una forma de realización, la creación de la simulación agronómica puede implementar técnicas de regresión multivariada para crear simulaciones de datos agronómicos previamente configurados.

En el bloque 325, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 está configurado o programado para almacenar las simulaciones de datos agronómicos previamente configurados para futura evaluación de los datos del campo.

2.5 EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN- RESUMEN DEL HARDWARE

De acuerdo con una forma de realización, las técnicas descritas en este documento se implementan mediante uno o más dispositivos informáticos para fines especiales. Los dispositivos informáticos para fines especiales pueden conectarse directamente para realizar las técnicas, o pueden incluir dispositivos electrónicos digitales tales como uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC) o los arreglos de compuertas programables en campo (FPGA) que se programan en forma persistente para realizar las técnicas, o pueden incluir uno o más procesadores de hardware para fines generales programados para realizar las técnicas conforme a las instrucciones del programa en firmware, memoria, otro tipo de almacenamiento, o una combinación de los anteriores. Los dispositivos informáticos para fines especiales pueden combinar también lógica conectada directamente personalizada, ASIC o FPGA con programación personalizada para lograr las técnicas. Los dispositivos informáticos para fines especiales

pueden ser sistemas informáticos de escritorio, sistemas informáticos portátiles, sistemas de mano, dispositivos de trabajo en red o cualquier otro dispositivo que incorpore lógica de programa y/o incorporada directamente para implementar las técnicas.

Por ejemplo, la FIG. 4 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema informático 400 sobre el cual puede implementarse una forma de realización de la invención. El sistema informático 400 incluye un bus 402 u otro mecanismo de comunicaciones para comunicar información, y un procesador de hardware 404 acoplado con el bus 402 para procesar información. El procesador de hardware 404 puede ser, por ejemplo, un microprocesador de fines generales.

El sistema informático 400 incluye también una memoria principal 406, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM) u otro dispositivo de almacenamiento dinámico, acoplado al bus 402 para almacenar la información y las instrucciones que ejecutará el procesador 404. La memoria principal 406 también puede usarse para almacenar variables temporarias u otra información intermedia durante la ejecución de las instrucciones que ejecutará el procesador 404. Dichas instrucciones, cuando se almacenan en un medio de almacenamiento no transitorio accesible para el procesador 404, convierten el sistema informático 400 en una máquina para fines especiales que está personalizada para llevar a cabo las operaciones especificadas en las instrucciones.

El sistema informático 400 incluye además una memoria de solo lectura (ROM) 408 u otro dispositivo de almacenamiento estático acoplado al bus 402 para almacenar información estática e instrucciones para el procesador 404. Un dispositivo de almacenamiento 410, tal como un disco magnético, un disco óptico, o una unidad en estado sólido (transistorizado) se proporciona y se acopla al bus 402 para almacenar la información y las instrucciones.

El sistema informático 400 puede acoplarse a través del bus 402 a un monitor 412, tal como un tubo de rayos catódicos (CRT), para mostrar la información a un usuario de la computadora. Un dispositivo de entrada 414, que incluye teclas alfanuméricas u otras, se acopla al bus 402 para comunicar la información y dar órdenes de las selecciones al procesador 404. Otro tipo de dispositivo de entrada del usuario es el control del cursor 416, tal como un mouse, una bola de desplazamiento, o teclas de orientación del cursor para comunicar información sobre la orientación y dar órdenes de las selecciones al procesador 404 y para controlar el movimiento del cursor en el monitor 412. El dispositivo de entrada habitualmente tiene dos grados de libertad en dos ejes, un primer eje (p. ej., x) y un segundo eje (p. ej., y), que permiten que el dispositivo especifique las posiciones en un plano.

El sistema informático 400 puede implementar las técnicas descritas en este documento con el uso de lógica conectada directamente, uno o más ASIC o FPGA, firmware y/o lógica del programa que, en combinación con el sistema informático, hace que el sistema informático 400 sea una máquina para fines especiales, o la programa para que así sea. De acuerdo con una forma de realización, las técnicas divulgadas en este documento se realizan mediante el sistema informático 400 como respuesta al procesador 404 que ejecuta una o más secuencias de una o más instrucciones contenidas en la memoria principal 406. Dichas instrucciones pueden leerse en la memoria principal 406 de otro medio de almacenamiento, tal como el dispositivo de almacenamiento 410. La ejecución de las secuencias de instrucciones contenidas en la memoria principal 406 hace que el procesador 404 realice los pasos del proceso descrito en este documento. En formas de realización alternativas, el conjunto de circuitos conectados directamente puede utilizarse en lugar de, o en combinación con, las instrucciones de software.

El término "medios de almacenamiento" como se usa en este documento, se refiere a cualquier medio no transitorio que almacena datos y/o instrucciones que hacen que una máquina funcione de un modo específico. Dichos medios de almacenamiento pueden comprender medios no volátiles y/o medios volátiles. Los medios no volátiles incluyen, por ejemplo, discos ópticos, discos magnéticos, o unidades en estado sólido, tales como el dispositivo de almacenamiento 410. Los medios volátiles incluyen memoria dinámica, tal como la memoria principal 406. Las formas comunes de medios de almacenamiento incluyen, por ejemplo, un disquete, un disco flexible, un disco rígido, una unidad en estado sólido, cinta magnética o cualquier otro medio de almacenamiento magnético de datos, un CD-ROM, cualquier otro medio óptico de almacenamiento de datos, cualquier medio físico con patrones de orificios, una RAM, una PROM, una EPROM, una FLASH-EPROM, NVRAM, cualquier otro chip o cartucho de memoria.

Los medios de almacenamiento son distintos de los medios de transmisión, pero pueden usarse en conjunción con estos. El medio de transmisión participa en la transferencia de información entre medios de almacenamiento. Por ejemplo, los medios de transmisión incluyen cables coaxiales, cable de cobre y fibra óptica, incluso los cables que comprenden el bus 402. Los medios de transmisión también pueden tomar la forma de ondas acústicas o de luz, tales como las generadas durante las comunicaciones por onda de radio y de datos infrarrojos.

Pueden involucrarse varios medios en el transporte de una o más secuencias de una o más instrucciones al procesador 404 para su ejecución. Por ejemplo, las instrucciones pueden inicialmente transportarse en un disco magnético o una unidad en estado sólido de una computadora remota. La computadora remota puede cargar las instrucciones en su memoria dinámica y enviar las instrucciones a través de una línea telefónica con el uso de un módem. Un módem local al sistema informático 400 puede recibir los datos sobre la línea telefónica y usar un transmisor infrarrojo para convertir los datos en una señal infrarroja. Un detector de infrarrojo puede recibir los datos transportados en la señal infrarroja y el conjunto de circuitos apropiados puede colocar los datos en el bus 402. El

bus 402 transporta los datos a la memoria principal 406, de la cual el procesador 404 recupera y ejecuta las instrucciones. Las instrucciones recibidas por la memoria principal 406 pueden almacenarse opcionalmente en el dispositivo de almacenamiento 410 ya sea antes o después de la ejecución mediante el procesador 404.

El sistema informático 400 también incluye una interfaz de comunicación 418 acoplada al bus 402. La interfaz de comunicación 418 proporciona un acoplamiento de comunicaciones de datos de dos vías a un enlace de red 420 que está conectado a una red local 422. Por ejemplo, la interfaz de comunicación 418 puede ser una placa de red digital de servicios integrados (ISDN), módem por cable, módem satelital, o un módem para proporcionar una conexión de comunicación de datos a un tipo correspondiente de línea telefónica. Como otro ejemplo, la interfaz de comunicación 418 puede ser una placa de red de área local (LAN, por sus siglas en inglés) para proporcionar una conexión para comunicación de datos a una LAN compatible. También pueden implementarse enlaces inalámbricos. En cualquiera de dichas implementaciones, la interfaz de comunicación 418 envía y recibe señales eléctricas, electromagnéticas u ópticas que transportan torrentes de datos digitales que representan varios tipos de información.

El enlace de red 420 habitualmente proporciona comunicación de datos a través de una o más redes a otros dispositivos de datos. Por ejemplo, el enlace de red 420 puede proporcionar una conexión a través de la red local 422 a una computadora central 424 o a equipos de datos operados por un Proveedor de Servicios de Internet (ISP, por sus siglas en inglés) 426. El ISP 426 a su vez presta servicios de comunicación de datos a través de la red mundial de comunicación de paquetes de datos actualmente denominada "Internet" 428. La red local 422 y la Internet 428 utilizan, ambas, señales eléctricas, electromagnéticas u ópticas que transportan torrentes de datos digitales. Las señales a través de las varias redes y las señales en el enlace de red 420 y a través de la interfaz de comunicación 418, que transportan los datos digitales hacia y desde el sistema informático 400, son formas a modo de ejemplo de medios de transmisión.

El sistema informático 400 puede enviar mensajes y recibir datos, tales como un código de programa, a través de la(s) red(es), el enlace de red 420 y la interfaz de comunicación 418. En el ejemplo de la Internet, un servidor 430 podría transmitir un código solicitado para un programa de aplicación a través de Internet 428, el ISP 426, la red local 422 y la interfaz de comunicación 418.

El código recibido puede ser ejecutado por el procesador 404 como se recibe, y/o almacenarse en el dispositivo de almacenamiento 410, u otro almacenamiento no volátil para su posterior ejecución.

3. ASESOR DE FERTILIDAD

3.1. DATOS RECIBIDOS

La FIG. 5 representa un procedimiento a modo de ejemplo para crear un modelo digital de la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

En el paso 502, se reciben datos del cultivo, del campo y meteorológicos. Por ejemplo, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede recibir los datos del campo 106 del dispositivo informático administrador del campo 104 y/o los datos externos de la computadora servidor de datos externos 108. Los datos del campo 106 pueden incluir información relacionada con el campo mismo, tal como los nombres y los identificadores del campo, los tipos o las clasificaciones del suelo, el estado de labranza, el estado de los riegos, la composición del suelo, los datos de aplicación de nutrientes, las prácticas de actividades de granja y los datos de los riegos. Como se usa en este documento, un 'campo' se refiere a un área con límites geográficos que comprende un campo superior que también puede comprender uno o más campos secundarios. Los datos del campo 106 también pueden incluir información relacionada con uno o más cultivos actuales, tales como los datos de plantación, el tipo o los tipos de semillas, los niveles de madurez relativa de la semilla o de las semillas plantadas y la población de semillas. Además, los datos del campo 106 pueden incluir información relacionada con los datos de las cosechas históricas que incluyen el tipo o la clasificación de cultivos, la fecha de las cosechas, la historia de producción real, el rendimiento, la humedad de los granos y las prácticas de labranza.

En una forma de realización, los datos del campo 106 se reciben del dispositivo informático administrador del campo 104. Por ejemplo, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede producir la visualización de una interfaz sobre el dispositivo informático administrador del campo 104 para ingresar información, tal como los límites del campo, los tipos de semillas plantadas y otra información relacionada con el cultivo o con el campo. Además y/o alternativamente, las muestras del suelo y de las semillas pueden recibirse y analizarse en el campo y el dispositivo informático administrador del campo 104 puede enviar los datos analizados al sistema informático de inteligencia agrícola 130. Por ejemplo, puede usarse un implemento en uno o más campos para extraer el suelo del campo y determinar el porcentaje de arena, limo, arcilla y carbono orgánico en el suelo. Los datos del suelo pueden luego enviarse del implemento al dispositivo informático administrador del campo 104 o directamente a un sistema informático de inteligencia agrícola 130.

Los datos externos 110 pueden incluir cualquier dato adicional sobre el campo, el uno o más cultivos, el clima, las precipitaciones, la meteorología y/o la fenología del suelo y de los cultivos. El clima, las precipitaciones y la meteorología pueden recibirse como datos de temperatura/precipitaciones y datos de pronósticos futuros para el uno o más campos. Además y/o alternativamente, los datos de la temperatura/las precipitaciones actuales y los datos del

pronóstico pueden incluir los datos en postes de observación específicos que se interpolan con ubicaciones entre los postes de observación, tales como se indica en la Solicitud No Provisional 14/640.900, cuyos contenidos completos se incorporan a la presente a modo de referencia como se incluyera en este documento en forma completa. Los datos externos 110 también pueden incluir los datos del suelo para uno o más campos. Por ejemplo, la base de datos Geográfica de Relevamiento del Suelo (SSURGO) contiene los datos del suelo por capa en el nivel del campo secundario para áreas dentro de los Estados Unidos, incluso el porcentaje de arena, de limo y de arcilla para cada capa de suelo. En una forma de realización, los datos externos 110 incluyen los datos recibidos de SSURGO o de otras fuentes de datos del suelo. En una forma de realización, los datos externos se suplementan con datos del productor y/o con datos de laboratorio. Por ejemplo, el suelo tomado del uno o más campos pueden usarse para ajustar los datos externos recibidos de SSURGO en el que los datos son imprecisos. Además, en el que es probable que la información sea imprecisa, tal como en el que ciertas estadísticas de un suelo sean inconsistentes con otras estadísticas del suelo, los datos de los alrededores y/o los datos del suelo del uno o más campos pueden usarse para estimar las estadísticas correctas.

3.2. SIMULACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

En el paso 502, se crea una simulación digital de los nutrientes disponibles en el suelo del uno o más campos. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear una simulación digital de los nutrientes disponibles en el suelo en base a una o más simulaciones digitales relacionadas con un cultivo en el uno o más campos, la temperatura del suelo del uno o más campos y/o el flujo de agua a través del uno o más campos. La disponibilidad de nutrientes se refiere a los nutrientes en el suelo que están disponibles para ser utilizados por el uno o más cultivos en el uno o más campos. Los nutrientes pueden existir dentro del suelo cercano a un cultivo, pero no estar disponibles para el cultivo por una variedad de motivos. Por ejemplo, algunos de los nutrientes dentro del suelo pueden estar demasiado profundos en el suelo para que los alcance el cultivo. Algunos de los nutrientes pueden perderse antes de que el cultivo pueda utilizarlos. Por ejemplo, el nitrógeno en el suelo puede perderse por filtración, desnitrificación o volatilización. Además, algunos nutrientes pueden no estar disponibles para el cultivo en base a la disponibilidad del suelo de transferir los nutrientes al cultivo en base a la temperatura del suelo o la humedad del suelo. La simulación digital de los nutrientes disponibles tiene en cuenta no solamente los nutrientes en el sistema, sino también los nutrientes a los que puede acceder y utilizar el cultivo debido a una variedad de factores.

La FIG. 6 representa un procedimiento a modo de ejemplo de combinación de los datos de una pluralidad de simulaciones digitales para determinar la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El procedimiento que se presenta en la FIG. 6 tiene en cuenta la disponibilidad inicial de nutrientes 610, la captación de nutrientes de parte del cultivo 620 y la pérdida/ganancia de nutrientes 630 para determinar la disponibilidad general de nutrientes en el suelo 640. Cada una de la disponibilidad inicial de nutrientes 610, la captación de nutrientes de parte del cultivo 620 y la pérdida/ganancia de nutrientes 630 puede determinarse mediante el módulo asesor de fertilidad 136 en base a una o más simulaciones digitales relacionadas con el uno o más cultivos y el uno o más campos. Por ejemplo, el uno o más módulos pueden utilizar los datos del campo de entrada 106 y los datos externos 110 para crear simulaciones independientes de las interacciones de la temperatura, el flujo de agua y los cultivos con el suelo. Las técnicas de simulación utilizadas por el uno o más módulos se describen en este documento en mayor detalle.

3.2.1. DISPONIBILIDAD INICIAL DE NUTRIENTES

La disponibilidad de nutrientes inicial 610 puede determinarse en base a los efectos de la composición del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes 612, los efectos de la humedad del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes 614 y los efectos de los procedimientos de labranza sobre la disponibilidad de nutrientes 616. La composición del suelo, la humedad del suelo y los procedimientos de labranza también pueden tener efectos continuos sobre la simulación de la disponibilidad de nutrientes. Así, en una forma de realización, la humedad del suelo, la composición del suelo y los procedimientos de labranza se factorizan en cada medición de la disponibilidad de nutrientes con la estimación inicial de los nutrientes disponibles en el sistema.

La composición del suelo puede identificarse como una combinación de los datos de las capas del suelo recibidos de la computadora servidor de datos externos 108 y los datos del abono recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104. Los datos del abono pueden describir una composición del abono con respecto a cada nutriente. Por ejemplo, el abono puede descomponerse en general en tres componentes: nitrógeno inorgánico, nitrógeno orgánico lábil y nitrógeno orgánico estable. El nitrógeno orgánico lábil se descompone dentro de apenas un año mientras que el nitrógeno orgánico estable tiende a descomponerse durante el transcurso de cinco a diez años. Así, la composición específica del abono no solamente afecta el nitrógeno actual disponible para la planta, sino también la disponibilidad de nitrógeno en el suelo con el paso del tiempo. En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 recibe una indicación de un tipo de abono usado en el uno o más campos del dispositivo informático administrador del campo 104. El sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede determinar la composición del abono en base al tipo de abono ingresado. Por ejemplo, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede acceder a una base de datos que enumera los tipos de abono con la composición del tipo de abono. En otras forma de realización, puede utilizarse un dispositivo para analizar la composición de los nutrientes en una muestra del abono utilizado en el campo. El análisis de la composición de los nutrientes en la muestra puede enviarse luego al sistema informático de inteligencia agrícola 130.

Los efectos de la humedad del suelo sobre la disponibilidad de los nutrientes 614 pueden utilizarse para determinar una disponibilidad inicial de nutrientes para el uno o más cultivos y para ajustar la disponibilidad de los nutrientes para el uno o más cultivos con el paso del tiempo. La humedad del suelo puede determinarse mediante el módulo de hidrología 144 como se describe a continuación en mayor detalle. La humedad del suelo inicialmente afecta el transporte lateral de nutrientes al cultivo. Por ejemplo, cuando el suelo está lo suficientemente húmedo, el transporte lateral de nitrógeno a las raíces del cultivo es más efectivo. Así, si todas las otras condiciones son equivalentes, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar que más nitrógeno se encuentra disponible inicialmente en un campo con alto contenido de humedad que un campo con bajo contenido de humedad. Además, a medida que el contenido de humedad del suelo disminuye, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar que el nitrógeno disponible para el cultivo disminuye. Cuando el contenido de humedad del suelo aumenta, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar que el nitrógeno disponible para el cultivo aumenta.

Los efectos de los procedimientos de labranza sobre la disponibilidad de nutrientes 616 pueden determinarse mediante el módulo asesor de fertilidad 136 sobre los datos del campo 106 recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104. Labranza se refiere a la preparación agrícola de un campo. Los distintos procedimientos de labranza tienen diferentes efectos sobre los nutrientes disponibles en las diferentes capas del suelo. Por ejemplo, los procedimientos de labranza intensa, tales como la labranza con arados de vertedera dejan detrás residuo extremadamente pequeño de la cosecha anterior. Los grupos de residuos de la cosecha anterior pueden contener niveles variables de nutrientes en base, por lo menos en parte, en el cultivo plantado anterior y los nutrientes restantes disponibles en la superficie del suelo al momento de la cosecha. Así, el procedimiento de labranza previo a la plantación de un nuevo cultivo puede impactar sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo restante. En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 recibe una indicación del tipo de procedimiento de labranza usado en el suelo del dispositivo informático administrador del campo 104. Por ejemplo, el nivel de presentación 134 puede producir la visualización de una interfaz para ingresar un tipo de labranza en el dispositivo informático administrador del campo 104. En una forma de realización, el monitor acepta la entrada que identifique un tipo de labranza de una lista de tipos de labranzas, tales como un menú desplegable que incluya varios tipos de labranza, una fecha de cosecha para una copia anterior y una o más fechas de labranza. En formas de realización adicionales, el monitor acepta la entrada que especifique una profundidad de labranza, los implementos de labranza y otras variables específicas para una instancia de la labranza mediante la utilización de un procedimiento particular.

3.2.2. PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE NUTRIENTES

Los nutrientes disponibles en el suelo se reducen mediante la captación de los nutrientes 620. La cantidad de nutrientes a los que accede y los cuales utiliza un cultivo pueden variar en base a los efectos de los cambios en la humedad del suelo sobre la captación de nutrientes 622, los efectos de la información del cultivo sobre la captación de nutrientes 624 y los efectos de los cambios en la temperatura del suelo sobre la captación de nutrientes 626. En una forma de realización, el módulo de cultivos 146 simula la captación de los nutrientes en base, al menos en parte, a la temperatura, el contenido de humedad, y la información de los cultivos tales como el tipo de cultivo. La temperatura y el contenido de humedad del suelo pueden simularse mediante el módulo de temperatura 142 y el módulo de hidrología 144, respectivamente. Dado que la captación de nutrientes mediante el cultivo es parcialmente dependiente de los nutrientes disponibles para el cultivo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede actualizar la captación de los nutrientes de parte de los cultivos 620 en forma iterativa a medida que la disponibilidad de nutrientes disminuye. La simulación del cultivo se describe en este documento en mayor detalle.

Además, el módulo asesor de fertilidad 136 puede estimar la pérdida/ganancia de nutrientes 630 a partir de los elementos fuera del cultivo. La pérdida/ganancia de nutrientes 630 incluye los nutrientes perdidos a la atmósfera 632, los nutrientes perdidos por filtración 634, y los nutrientes y la aplicación agroquímica de eficiencia mejorada 636. Los nutrientes pueden perderse a la atmósfera a través de una cantidad de procesos químicos. Por ejemplo, el nitrógeno puede perderse a la atmósfera a través de un proceso llamado desnitrificación en el que el NO_3 se convierte en N_2 y se pierde a la atmósfera. En una forma de realización, el módulo asesor de fertilidad 136 simula la pérdida de nitrógeno a través de la desnitrificación en base a los datos del campo 106 recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104 y/o los datos externos 110 recibidos de la computadora servidor de datos externos 108. La cantidad de nitrógeno perdido a través de la desnitrificación puede simularse como factor de la temperatura del suelo y el contenido de humedad del suelo. Además, el nitrógeno puede perderse a la atmósfera a través de la volatilización, un proceso que incluye la conversión de amonio (NH_4) en amoniaco gaseoso (NH_3). El módulo asesor de fertilidad 136 puede simular la pérdida de nitrógeno a través de la volatilización como función de la humedad del suelo, la temperatura y el pH del suelo. Así, el módulo asesor de fertilidad 136 puede utilizar las simulaciones de temperatura y flujo de agua para determinar una temperatura y un contenido de humedad en cada instancia y utilizar las simulaciones de temperatura y flujo de agua para determinar cuánto de cada nutriente se pierde a través de los procesos químicos tales como a través de la desnitrificación y la volatilización. Al hacerlo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede rastrear las cantidades de cada forma de cada nutriente, tales como las cantidades de nitrógeno disponible como NO_3 y las cantidades de nitrógeno disponible como NH_4 . Mediante el rastreo de los diferentes tipos de nutrientes en la simulación, el módulo asesor de fertilidad 136 puede simular en forma exacta la cantidad de cada nutriente perdido mediante cada proceso.

Los nutrientes pueden perderse a través de filtrado cuando el nitrógeno se transfiere hacia abajo a través del suelo y

se pierde en el sistema. La cantidad de pérdida de nutrientes a través del filtrado puede determinarse como función del contenido de humedad del suelo. Como el contenido de humedad más alto aumenta el flujo de algunos nutrientes a través del suelo, aumentando de este modo la cantidad de los nutrientes disponibles para un cultivo, el mayor flujo también aumenta la cantidad de los nutrientes que fluyen corriente abajo, reduciendo de este modo la cantidad de nutrientes disponible para el sistema. Así, cuando el contenido de humedad aumenta, un mayor porcentaje de los nutrientes en el suelo pueden identificarse como disponibles mientras que la cantidad total de los nutrientes en el suelo disminuye. Cuando el módulo asesor de fertilidad 136 simula la disponibilidad de nutrientes durante el tiempo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede tener en cuenta el mayor porcentaje de cada nutriente disponible mientras que resta una cantidad total de cada nutriente perdido a través del filtrado.

El módulo asesor de fertilidad 136 puede estar programado o configurado, además, para medir los nutrientes agregados al sistema o los nutrientes que están protegidos a través de la aplicación de agroquímicos de eficiencia mejorada. Los nutrientes pueden agregarse al sistema a través de la aplicación de fertilizante o amoníaco a los campos. El módulo asesor de fertilidad 136 puede simular el movimiento de nutrientes a través del uno o más campos. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede simular la absorción y la desorción de NH_4^+ a y de las superficies minerales sólidas, la conversión de amoníaco acuoso a amonio acuoso, y la exsolución de amoníaco disuelto para producir amoníaco gaseoso. Cada vez que el módulo asesor de fertilidad 136 recibe una indicación de que se ha agregado un nutriente al sistema, el módulo asesor de fertilidad 136 puede agregar el nutriente a la simulación existente de nutrientes en el sistema. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede agregar los valores de nitrógeno nuevos a los valores de nitrógeno actuales para la capa superior del suelo y actualizar la simulación de la disponibilidad de nitrógeno en la madurez del uno o más cultivos en base a las interacciones del nitrógeno recientemente agregado con el sistema actual.

Los agroquímicos de eficiencia mejorada son productos químicos que pueden aplicarse al uno o más campos para mejorar la eficiencia de uno o más de los productos químicos dentro del campo o proteger uno o más de los productos químicos de pérdida. Por ejemplo, los estabilizadores de nitrógeno, tales como la nitrapirina, pueden agregarse al sistema a través de la aplicación directa o a través de la aplicación como parte del fertilizante con base de amonio. La nitrapirina puede reducir la tasa de nitrificación en los suelos, lo cual en algunos casos puede reducir la filtración posterior. En una forma de realización, el módulo asesor de fertilidad 136 rastrea la concentración de agroquímicos de eficiencia mejorada, tales como nitrapirina, con el paso del tiempo. Por ejemplo, puede fijarse un estado variable en 1 en la aplicación de nitrapirina para indicar una aplicación nueva de nitrapirina. En la medida que la concentración permanezca por encima de un umbral específico, tal como 0,9, puede suponerse que toda la nitrificación está bloqueada. El módulo asesor de fertilidad 136 puede rastrear la reducción de nitrapirina con el tiempo e introducir la filtración producida por nitrificación cuando la concentración se reduzca más allá del umbral específico. Cuando el valor del estado equivale a cero, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar que no se bloquea ninguna nitrificación desde la aplicación inicial de nitrapirina. Mientras que la presente divulgación describe el rastreo de nitrapirina, pueden utilizarse procedimientos similares para rastrear la concentración y el efecto de otros agroquímicos de eficiencia mejorada.

En una forma de realización, el módulo asesor de fertilidad 136 actualiza la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos como respuesta a la recepción de una indicación de que uno o más nutrientes y/o agroquímicos de eficiencia mejorada se han agregado al campo. El nivel de presentación 134 puede producir la visualización de una interfaz en el dispositivo informático administrador del campo 104 para ingresar los datos que indiquen una aplicación de uno o más nutrientes y/o agroquímicos mejorados al uno o más campos. En respuesta a la recepción de una indicación de que se ha agregado un nutriente al uno o más campos, el módulo asesor de fertilidad 136 puede actualizar la disponibilidad de nutrientes para los cultivos y simular el flujo del nutriente agregado a través del uno o más campos. En respuesta a la recepción de una indicación de que se han agregado al campo agroquímicos de eficiencia mejorada, tales como inhibidores de nitrapirina, el módulo asesor de fertilidad 136 puede actualizar las simulaciones de la pérdida de nutrientes para medir los agroquímicos de eficiencia mejorada, tales como la reducción de la pérdida de nitrógeno debido al nitrógeno protegido por los inhibidores de nitrapirina.

El módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar la disponibilidad general del nutriente en el suelo 640 como una combinación de los nutrientes iniciales y los nutrientes agregados menos los nutrientes perdidos y los nutrientes usados por el uno o más cultivos. El módulo asesor de fertilidad 136 puede estimar la disponibilidad general de nutrientes en el suelo 640 durante un período asociado con uno o más cultivos en el uno o más campos. En base a las simulaciones del flujo de agua, los cambios en la temperatura y la captación de nutrientes mediante el cultivo, el módulo asesor de fertilidad 136 determina los nutrientes disponibles para un cultivo en cada etapa del desarrollo del cultivo. El módulo asesor de fertilidad 136 puede estar programado o configurado también para determinar si, en base a los datos actuales, el uno o más campos tendrán una ganancia o una merma en cada nutriente cuando el uno o más cultivos alcancen la madurez. Además, el módulo asesor de fertilidad 136 puede simular las aplicaciones de los nutrientes y/o del agua en diferentes etapas de cada desarrollo para determinar los tiempos óptimos para agregar agua o nutrientes al sistema con el fin de aumentar la cantidad de nutrientes disponibles para un cultivo cuando el cultivo alcance la madurez.

3.3. SIMULACIÓN DE LA TEMPERATURA

Con referencia a la FIG. 5, en el paso 506 se crea una simulación digital de la temperatura del suelo en el uno o más

campos. Por ejemplo, el módulo de temperatura 142 puede simular cambios en la temperatura del suelo para el uno o más campos en el transcurso del desarrollo del cultivo. Las simulaciones de temperatura pueden separarse por capa del suelo o simularse como una distribución continua de la temperatura a través del suelo. Las temperaturas de cada capa de suelo en cada período de tiempo pueden usarse mediante el módulo asesor de fertilidad 136 para determinar el flujo de nutrientes a través del suelo. Por ejemplo, la volatilización de nitrógeno aumenta a medida que la temperatura aumenta. Así, cuando la temperatura del suelo se eleva, el módulo asesor de fertilidad 136 puede estimar una pérdida más grande de nitrógeno por volatilización. Las temperaturas para cada capa de suelo también pueden ser utilizadas por el módulo de hidrología 144 para determinar el flujo de agua a través del suelo y por el módulo de cultivos 146 para determinar la captación de nutrientes mediante el uno o más cultivos, como se describen en este documento en mayor detalle.

La temperatura del suelo depende en gran medida de la radiación solar, de la composición del suelo y del contenido de humedad del suelo. Así, el módulo de temperatura 142 puede tomar como entrada los datos del campo 106, datos externos 110 y como emisiones del módulo asesor de fertilidad 136 y del módulo de hidrología 144. Los datos externos 110 pueden incluir las mediciones actuales de temperatura además de los pronósticos para futuras temperaturas. Si no se encuentran disponibles datos de la temperatura en la ubicación del uno o más campos o en un nivel de detalle que pueda ser utilizado por el uno o más campos, el módulo de temperaturas 142 puede interpolar las temperaturas actuales o los pronósticos de temperatura, tales como se menciona en la Solicitud No Provisional 14/640.900. Durante períodos de tiempo en los cuales no se encuentran disponibles pronósticos de temperatura, el módulo de temperatura 142 puede utilizar promedios de clase para la temperatura para esos períodos de tiempo. Por ejemplo, si las temperaturas máximas para los meses invernales en la ubicación del uno o más campos tienden a oscilar desde 18,33°C (65° F) hasta 23,88° C (75° F), el módulo de temperatura 142 puede utilizar el rango para estimar la temperatura máxima para cada día en el transcurso de los meses invernales. El módulo de temperatura 142 puede estimar las temperaturas para futuros meses a un nivel superior de detalle, basado en parte en los patrones meteorológicos actuales. Así, si las temperaturas en una región específica aumentan de manera uniforme, un aumento en las temperaturas máximas actuales puede hacer que el módulo de temperatura 142 estime un aumento en las temperaturas máximas para meses futuros. El módulo de temperatura 142 puede alterar de manera continua las estimaciones de temperatura y se tornan disponibles más datos.

Por ejemplo, las estimaciones para la temperatura en enero que se realizan en julio pueden actualizarse con el paso del tiempo de manera tal que en diciembre las estimaciones para las temperaturas en enero se basen en los pronósticos de temperatura actuales además de las estimaciones realizadas en julio.

En una forma de realización, el módulo de temperatura 142 está programado o configurado para estimar la radiación solar entrante en el uno o más campos en base a los pronósticos de temperaturas mínima y máxima. Por ejemplo, el módulo de temperatura 142 puede tomar como entrada las temperaturas mínima y máxima en una ubicación específica durante días consecutivos y determinar la cantidad de radiación solar entrante en base a las diferencias entre las temperaturas venideras y las temperaturas anteriores. Por ejemplo, si en una primera noche la temperatura cae hasta 10° C (50° F) y la temperatura para el día siguiente es de 18,33° C (65° F), el módulo de temperatura 142 puede estimar la cantidad de radiación solar requerida para calentar la ubicación específica mediante 9,44° C (15° F) y mantener la temperatura actual durante el día. La radiación solar estimada resultante puede simularse como incidente en el suelo para el uno o más cultivos. En una forma de realización, el módulo de temperatura 142 está programado o configurado, además, para tener en cuenta heladas y nieve acumulada en la actualización de las estimaciones de temperatura. Por ejemplo, la nieve acumulada crea un efecto aislante, reduciendo de este modo los cambios de temperatura en base a la radiación solar incidente. El módulo de temperatura 142 puede reducir los cambios en la temperatura del suelo en base a la radiación solar en respuesta a la identificación de la nieve acumulada en el uno o más campos.

En una forma de realización, los datos externos 110 incluyen estimaciones de la temperatura del suelo por capa. El sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede recibir simulaciones de la temperatura para las capas del suelo a partir de una base de datos de las temperaturas del suelo estimadas sobre una región extensa. El módulo de temperatura 142 puede alterar, entonces, las estimaciones de temperatura recibidas en base a la información de la composición del suelo, del contenido de humedad, y de la nieve acumulada para el uno o más campos. Por ejemplo, una simulación recibida puede, en general, estimar la temperatura para un área espacial extensa en base a los datos en común, pero podría no ser capaz de tener en cuenta el contenido de humedad actual del suelo o la composición química del suelo sin recibir una entrada que especifique los procedimientos de labranza, la aplicación de riegos, la aplicación de nutrientes, la aplicación de agroquímicos de eficiencia mejorada, u otra información específica del campo. Así, el módulo de temperatura 142 puede estar programado o configurado para tomar como entrada las estimaciones de temperatura generales para el uno o más campos y actualizar las estimaciones de temperatura en base, al menos en parte, al contenido de humedad estimado y los datos del campo 106 recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104. Además, el módulo de temperatura 142 puede estar programado o configurado para reconocer las condiciones de la nieve, tales como la probable nieve acumulada, y actualizar las estimaciones recibidas para el suelo moderado en base a la reducción del cambio de temperatura creado por la nieve acumulada. Por ejemplo, el módulo de temperatura 142 puede recibir un pronóstico que indique una cierta cantidad de nieve para una ubicación dada y estimar la formación de nieve en base al pronóstico.

En una forma de realización, el módulo de temperatura 142 actualiza las estimaciones de temperatura en base a la

información recibida de otras simulaciones que utilizan la temperatura como entrada. Por ejemplo, la temperatura del suelo puede verse afectada parcialmente por el contenido de humedad dentro del uno o más campos. El módulo de temperatura 142 puede, así, usar la emisión del módulo de hidrología 144 para determinar los cambios a la temperatura del suelo. En algunos casos, también ocurre lo inverso. Por ejemplo, el caudal de flujo de agua en el suelo puede depender parcialmente de la temperatura del suelo. Así, en un momento dado, múltiples modelos pueden trabajar de manera concurrente. Por ejemplo, en un momento dado, el módulo de temperatura 142 puede determinar una temperatura actual en base al contenido de humedad actual del suelo y el módulo de hidrología 144 puede determinar un caudal de flujo actual de agua en el suelo en base a la temperatura actual del suelo. En un segundo momento dado, el módulo de hidrología 144 puede estimar el contenido de humedad actual del suelo en base al caudal de flujo determinado y enviar el contenido de humedad actual al módulo de temperatura 142 que luego determina la temperatura en el segundo momento dado en base al contenido de humedad en un segundo momento dado.

3.4. SIMULACIÓN DE HIDROLOGÍA

Con referencia a la FIG. 5, en el paso 508, se crea una simulación digital del flujo de agua. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede usar la lógica programada digitalmente para crear una simulación del flujo de agua a través del uno o más campos en base, al menos en parte, a los datos meteorológicos recibidos de la computadora servidor de datos externos 108, los datos de temperatura producidos por el módulo de temperatura 142 y los datos del suelo recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104 y la computadora servidor de datos externos 108. Los datos meteorológicos pueden incluir pronósticos de precipitaciones durante un período de tiempo específico. Por ejemplo, un pronóstico meteorológico puede incluir los valores de precipitaciones con un tiempo de anticipación de catorce días. En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 crea pronósticos de precipitaciones mejorados a partir de los datos recibidos, tales como en la Solicitud No Provisional 14/681.886, cuyos contenidos completos se incorporan a modo de referencia y como si se establecieran en forma completa en este documento.

En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 ejecuta la lógica programada digitalmente para crear los pronósticos de precipitaciones durante períodos de tiempo en los que no se encuentran disponibles datos. Por ejemplo, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede usar los valores de precipitaciones promedio de los últimos años para estimar la probabilidad de precipitaciones para el uno o más cultivos durante el desarrollo del uno o más cultivos. En una forma de realización, las estimaciones de precipitaciones se restringen mediante los datos de precipitaciones actuales disponibles. Por ejemplo, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede identificar una correlación entre una ausencia de lluvia en junio y fuertes tormentas en julio en una ubicación específica. Así, si los datos meteorológicos para junio indican la ausencia de precipitaciones, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede determinar que es probable la ocurrencia de una tormenta en julio. Además, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede identificar una probabilidad de precipitaciones y la intensidad probable de la precipitación para áreas sin datos. Por ejemplo, si sólo se encuentran disponibles los datos de precipitaciones en las ubicaciones en el que se realiza la observación, o en altos niveles de detalle, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede interpolar los datos con cada ubicación específica, tal como se describe en la Solicitud No Provisional 14/798.256, cuyos contenidos completos se incorporan a la presente a modo de referencia como se establecieran en este documento en forma completa.

El movimiento del agua puede separarse en dos etapas. La primera etapa del movimiento del agua corresponde a los procesos de agua superficial. El objetivo de la primera etapa es estimar los almacenamientos y los flujos superficiales. Por ejemplo, el agua puede impactar sobre el uno o más campos debido a las condiciones meteorológicas, tales como la precipitación, o a través de la intervención físicas, tales como el riego programado del uno o más campos. Durante esta primera etapa, el módulo de hidrología 144 puede simular los efectos inmediatos del agua sobre el campo. Los efectos inmediatos pueden incluir la nieve acumulada, el almacenamiento en el residuo de plantas, el almacenamiento en la biomasa del cultivo, la infiltración, la formación de estanques, el deslizamiento, la evaporación de la biomasa, la evaporación del residuo y la ablación de la nieve, tales como sublimación, derretimiento y transporte con el viento.

En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 utiliza la lógica programada digitalmente para simular la primera etapa del movimiento del agua. Primero, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 separa la precipitación en precipitación sólida, o nieve, y precipitación líquida, o agua. Por ejemplo, en base a una medición de la temperatura actual en el uno o más campos, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede determinar un porcentaje de la precipitación que es sólida y un porcentaje de la precipitación que es líquida. Cualquier precipitación sólida se agrega a una simulación de una capa de nieve acumulada. El sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede simular los procesos de congelamiento y descongelamiento para la nieve acumulada como función del clima y las condiciones del suelo. Luego, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 simula la interceptación de la pluviosidad mediante varios componentes de la biomasa sobre el suelo y como función de los tipos de biomasa, las cantidades de biomasa y las condiciones meteorológicas. El sistema informático de inteligencia agrícola 130 también puede simular la redistribución lateral de un agua líquida que alcanza la superficie del suelo como función de las condiciones meteorológicas, los tipos de biomasa sobre el suelo, una cantidad de la biomasa sobre el suelo, las propiedades del suelo y la humedad del suelo. La evaporación del agua del suelo puede simularse como función de las condiciones meteorológicas, los tipos de biomasa sobre el

suelo, una cantidad de biomasa sobre el suelo, las propiedades del suelo y la humedad del suelo. La formación de estanques puede simularse para cualquier precipitación que exceda otras tasas de redistribución.

En una segunda etapa, el agua que se absorbe en el campo se mantiene activa debajo de la tierra. Durante esta segunda etapa, el módulo de hidrología 144 puede simular el movimiento del agua en el campo. En una forma de realización, la segunda etapa del flujo de agua comienza cuando el módulo de hidrología 144 determina que el agua ha fluído más allá de un límite superior separando la capa superficial del suelo de la capa debajo de la superficie del suelo. El módulo de hidrología 144 puede especificar una condición de límite superior para la capa del suelo debajo de la superficie de acuerdo con las condiciones meteorológicas, las condiciones del suelo simuladas y la condición de la biomasa simulada. El módulo de hidrología 144 puede utilizar una condición de límite de flujo variable para representar las tasas de flujo de agua a través del límite. Además y/o alternativamente, el módulo de hidrología 144 puede utilizar una condición de límite principal variable para representar el flujo de agua a través del límite, tal como cuando el módulo de hidrología 144 detecta la formación de estanques de agua. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede estar programado o configurado para conmutar de manera dinámica entre la condición del límite de flujo variable y la condición de límite principal variable en una región particular del uno o más campos en respuesta a la identificación de la formación de estanques en la región particular.

El módulo de hidrología 144 también puede especificar una condición de límite inferior para la capa de suelo debajo de la superficie que separa la capa de suelo debajo de la superficie de una capa de drenaje. Por ejemplo, si el sistema informático de inteligencia agrícola 130 recibe datos que indican que el uno o más campos están drenados por pizarra, el módulo de hidrología 144 puede especificar una condición de límite inferior principal constante para representar el efecto del drenaje en las líneas de pizarra. Si el sistema informático de inteligencia agrícola 130 determina que el uno o más campos no están drenados, el módulo de hidrología 144 puede especificar una condición de límite inferior de flujo variable para representar el drenaje libre desde la capa de suelo debajo de la superficie hasta una faceta superior de agua más profunda. En una forma de realización, el módulo de hidrología 144 simula múltiples facetas de agua debajo de la capa debajo de la superficie, tales como una faceta de agua más superficial y una faceta de agua más profunda. El módulo de hidrología 144 puede identificar las facetas de agua más profundas en base a los datos del campo 106, tales como los sensores remotos o las sondas de humedad del suelo, o en base a datos externos 110, tales como a través de estimaciones de la probabilidad de la presencia de una faceta de agua más superficial mediante la utilización de los datos del suelo recibidos de una base de datos del suelo.

Durante la segunda etapa, el módulo de hidrología 144 puede simular pérdidas de agua a través del movimiento más allá del límite inferior y a través de la evapotranspiración. La evapotranspiración es una estimación de la pérdida de agua a través de una combinación de evaporación y transpiración. Las pérdidas por evaporación y transpiración pueden asignarse a cada capa de suelo para cada incremento de tiempo de una pluralidad de incrementos de tiempo. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede estimar la absorción de agua, la transpiración y la evaporación para un cultivo particular en cada capa debajo de la superficie varias veces en intervalos de tiempo estáticos o en intervalos de tiempo que cambian de manera dinámica. En una forma de realización, los datos del sensor remoto pueden utilizarse para mejorar las estimaciones de evapotranspiración. Por ejemplo, puede usarse una sonda de la humedad del suelo para identificar, en una región particular del uno o más campos, la humedad real del suelo en cada capa de suelo debajo de la superficie. El módulo de hidrología 144 puede utilizar los datos de la sonda de humedad del suelo para corregir las estimaciones de evapotranspiración para las capas de suelo debajo de la superficie en otras porciones del uno o más campos.

Para simular el flujo de agua debajo de la superficie del suelo, el módulo de hidrología 144 puede aplicar la Ley de Darcy que indica que el caudal de flujo de agua en una matriz permeable saturada es igual al producto del gradiente hidráulico y la conductividad hidráulica del sedimento. Como ejemplo, para los sedimentos insaturados, tales como la mayoría de los suelos, la ecuación de Buckingham-Darcy describe el caudal de flujo del agua a través de la siguiente ecuación:

$$q = K(\theta, T) \cdot \left(\frac{dh}{dz} + 1 \right)$$

en el que q es el caudal de flujo, medido en mm/día, K es la conductividad hidráulica del suelo, medida en mm/día, y

$\frac{dh}{dz}$

es el gradiente principal hidráulico. La conductividad hidráulica del suelo describe la facilidad en la cual el agua puede moverse a través de un espacio poroso. La conductividad hidráulica del suelo es altamente dependiente de las propiedades físicas del suelo, el contenido de humedad actual del suelo (0) y la temperatura del suelo (T). El gradiente principal hidráulico describe una diferencia en el potencial entre dos ubicaciones aumentadas a su distancia vertical. El agua tiende a fluir desde una ubicación del potencial inferior hasta una ubicación del potencial superior. En este ejemplo, el flujo de agua se conduce mediante dos potenciales, gravitacional y mátrico. En otros ejemplos, la ecuación puede modificarse para tener en cuenta otros potenciales, tales como el potencial osmótico o

el potencial hidrostático. Por ejemplo, la siguiente ecuación representa un subgrupo de potenciales que confirman un potencial total en una ubicación dada:

$$\psi_t = \psi_z + \psi_m + \psi_o + \psi_s$$

en el que ψ_t es el potencial total, ψ_z es el potencial producido por la gravedad, ψ_m es el potencial mátrico, ψ_o es el potencial osmótico y ψ_s es el potencial hidrostático. El potencial producido por la gravedad describe la fuerza gravitacional del líquido. El potencial mátrico describe una fuerza del líquido debido a la absorción de agua y la acción de los capilares dentro de la matriz del sedimento. El potencial osmótico describe una fuerza del líquido debido a la diferencia en la salinidad de las dos ubicaciones. Finalmente, el potencial hidrostático describe una fuerza de un líquido en un segundo líquido en una ubicación saturada.

3.4.1. INCREMENTOS DE TIEMPO FLEXIBLES

Un primer procedimiento para simular el flujo de agua a través de la tierra es mediante la utilización de la ecuación de Richards. La ecuación de Richards resuelve dos ecuaciones de manera simultánea, la ley de Darcy y la conservación de la masa. La Ecuación de Richards unidimensional intenta determinar el cambio en el contenido de humedad en base al cambio en el caudal de flujo del líquido de la siguiente manera:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dz}(K(\theta, T) \cdot \left(\frac{dh}{dz} + 1\right))$$

Al resolver tanto la ley de Darcy como la conservación de la masa dentro de una ecuación, la ecuación de Richards proporciona un procedimiento preciso para la simulación del flujo de agua en el sedimento insaturado. Dado que la ecuación de Richards es una ecuación diferencial no lineal, las soluciones exactas de la ecuación de Richards solamente existen para condiciones extremadamente especializadas. La resolución de la ecuación de Richards incluye un esquema iterativo, lo que hace que la solución sea costosa desde el punto de vista informático. Muchas implementaciones de la ecuación de Richards tienden a ser poco eficientes o fallan en casos extremos.

Un segundo procedimiento para simular el flujo de agua a través de la tierra es un procedimiento de balde. El procedimiento de balde simula el flujo de agua mediante la suposición de que cada capa de sedimento actúa como un balde. Cuando un balde se llena, el agua se vierte en el balde siguiente debajo de este y así sucesivamente. En muchos procedimientos de balde, el agua que sale del balde más bajo se pierde completamente en el sistema. El procedimiento del balde, mientras que es físicamente poco realista y por lo tanto menos preciso, puede implementarse en lugar de la ecuación de Richards porque es más liviano desde el aspecto informático y puede implementarse con datos menos confiables.

En una forma de realización, el módulo de hidrología 144 utiliza un tercer procedimiento para simular el flujo de agua a través de la tierra que es poco costoso desde el punto de vista informático y físicamente realista. En lugar de usar la ecuación de Richards para resolver de manera simultánea la ley de Darcy y la conservación de la masa, el módulo de hidrología 144 puede separar la ecuación de Richards en una solución de la ecuación de Buckingham-Darcy y una solución separada para la conservación de la masa. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede separar la medición del flujo de agua en varios incrementos de tiempo y crear mediciones para cada incremento de tiempo. La extensión de los incrementos de tiempo puede variar desde veinte incrementos de tiempo por paso de forzado de un día hasta miles de incrementos de tiempo por paso de forzado de un día.

La FIG. 7 representa un procedimiento a modo de ejemplo para simular el flujo de agua en el suelo. En el paso 702, se determina el contenido de humedad del suelo. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede determinar inicialmente el contenido de humedad para el suelo en base a las propiedades del suelo y/o los efectos de las condiciones meteorológicas previas. En una forma de realización, el contenido de humedad del suelo se determina en base a un contenido de humedad previo del suelo, la disponibilidad anterior de agua y el flujo previo del agua en el suelo.

En el paso 704, el flujo de agua en el suelo se determina en base al contenido de humedad actual para un incremento de tiempo dado, Δt . Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede implementar la lógica almacenada digitalmente para resolver la ecuación de Buckingham-Darcy. El módulo de hidrología 144 puede utilizar técnicas de parametrización, analizadas más adelante, para determinar la conductividad hidráulica y el gradiente principal hidráulico en la ecuación de Buckingham-Darcy en base, al menos en parte, a los datos conocidos sobre el suelo y el contenido de humedad actual. La solución de la ecuación de Buckingham-Darcy produce la determinación del caudal de flujo de agua en el suelo.

En el paso 706, el caudal de flujo de agua en el suelo se usa para actualizar el contenido de humedad del suelo. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede utilizar la lógica almacenada digitalmente para determinar el contenido de humedad del suelo en base a una suposición de un flujo consistente de agua en base a la ecuación de Buckingham-Darcy durante el incremento de tiempo dado de Δt . Por ejemplo, si el módulo de hidrología 144

determina que el caudal de flujo del agua en el suelo es de dos milímetros por hora, entonces durante un incremento de tiempo de una hora, el módulo de hidrología 144 puede determinar que han ingresado al suelo dos milímetros de agua. El nuevo contenido de humedad del suelo se determina entonces en base al contenido de humedad anterior, el volumen del suelo que recibe el flujo de agua y la cantidad total de agua que ha fluido al suelo.

- 5 En una forma de realización simple, en el paso 710 se determina un nuevo flujo de agua en el suelo en base a un contenido de humedad actualizado para el siguiente incremento de tiempo. En una forma de realización, cada incremento de tiempo es equivalente, en su longitud al incremento de tiempo anterior. Por ejemplo, si un día dado incluye veinticuatro incrementos de tiempo, cada incremento de tiempo se fijaría en una hora. Así, en el paso 710, el proceso del paso 704 se repite en base al contenido de humedad actualizado. El módulo de hidrología 144 puede utilizar la parametrización previa de la ecuación de Buckingham-Darcy para determinar la conductividad hidráulica y el gradiente principal hidráulico en base 1 contenido de humedad actualizado del suelo. Para cada incremento de tiempo, el módulo de hidrología 144 puede repetir el proceso de determinar el caudal de flujo del agua en el suelo, determinar la cantidad de agua que ha ingresado al suelo y actualizar el contenido de humedad del suelo.

- 15 En el paso 708, en algunas formas de realización, el incremento de tiempo varía antes de la nueva determinación del flujo de agua en el suelo. La varianza del incremento de tiempo crea estabilidad en el proceso y asegura los resultados precisos con mínimo costo a nivel informático. Un incremento de tiempo uniformemente pequeño podría ser costoso a nivel informático porque incluiría un gran número de iteraciones para resolver la ecuación de Buckingham-Darcy y actualizar el contenido de humedad del suelo. Un incremento de tiempo uniformemente extenso, mientras que es poco costoso a nivel informático, se torna inestable durante las condiciones meteorológicas extremas. Por ejemplo, durante una tormenta fuerte, una gran cantidad de agua queda a disposición del suelo. En estas situaciones, el contenido de humedad del suelo puede cambiar extremadamente rápido, haciendo que el flujo de agua en el suelo cambie rápidamente. Estas variaciones grandes pueden conducir a inestabilidad en los cálculos si no se utilizan incrementos de tiempo pequeños.

- 25 En una forma de realización, el módulo de hidrología 144 varía el incremento del tiempo en base a uno o más factores, tales como el contenido de humedad, el gradiente hidráulico del suelo, el tipo de suelo o las condiciones meteorológicas extremas. Por ejemplo, si el módulo de hidrología 144 determina que el contenido de humedad del suelo se ha elevado o caído por más de un valor umbral durante el incremento de paso previo, el módulo de hidrología 144 puede variar el incremento de tiempo para medir las condiciones cambiantes. Como otro ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede almacenar longitudes diferentes de incrementos de tiempo en asociación con diferentes contenidos de humedad y conductividad hidráulica. Si el contenido de humedad y la conductividad hidráulica del suelo caen dentro de los parámetros descritos por una primera categoría, el módulo de hidrología 144 puede implementar un incremento de tiempo de una primera extensión. Si el contenido de humedad y la conductividad hidráulica caen en los parámetros descritos por una segunda categoría, el módulo de hidrología 144 puede implementar un incremento de tiempo de una segunda extensión. Al aumentar la extensión de los incrementos de tiempo durante los períodos de condiciones menos volátiles, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 es capaz de hacer cálculos más eficiente desde el punto de vista informático del flujo de agua en el suelo.

- 40 En una forma de realización, el módulo de hidrología 144 calcula el incremento de tiempo en base a una variedad de factores. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede factorizar en el contenido de humedad actual, el gradiente hidráulico actual entre las capas del suelo y el agua disponible actual para determinar si el contenido de humedad del suelo es probable que sufra cambios dinámicos. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede disminuir la extensión del incremento de tiempo en respuesta a la determinación de que el suelo contiene actualmente un alto contenido de humedad o que el gradiente hidráulico entre dos capas de suelo es relativamente alto, lo que indica de este modo una gran diferencia entre el contenido de humedad de una primera capa de suelo y un contenido de humedad de una segunda capa de suelo. El módulo de hidrología 144 también puede tener en cuenta factores distintos que tienen un efecto sobre el flujo de agua en el suelo cuando se calcula el intervalo de tiempo. Por ejemplo, cuando todas las otras condiciones son iguales, un tipo de suelo uniforme puede someterse a cambios menos dinámicos que un tipo de suelo estratificado. El módulo de hidrología 144 puede, así, tener en cuenta el tipo de suelo cuando se estima el nuevo incremento de tiempo.

- 50 En una forma de realización, el procedimiento del incremento de tiempo flexible favorece incrementos de tiempo más extensos. Por ejemplo, con un incremento de tiempo mínimo de veinte incrementos de tiempo por día, una mediana del valor de la extensión de los incrementos de tiempo puede ser de aproximadamente treinta incrementos de tiempo por día con valore atípicos en miles de incrementos de tiempo por día. La simulación del incremento de tiempo flexible puede, así, implementarse para simular en forma precisa el contenido de humedad durante las condiciones meteorológicas extremas y poco frecuentes mientras se mantienen estimaciones precisas con un bajo costo desde el punto de vista informático durante los tiempos de condiciones meteorológicas poco comunes.

- 60 En una forma de realización, el módulo de hidrología 144 determina si variar cada incremento de tiempo. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede usar la lógica programada digitalmente para determinar una extensión de incremento de tiempo óptima en base a la conductividad hidráulica y el contenido de humedad del suelo después de cada paso de solución. En otras formas de realización, el módulo de hidrología 144 determina si variar el incremento de tiempo en intervalos dados. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede usar los datos de

predicción meteorológica, la humedad del suelo actual y la conductividad hidráulica actual del suelo para determinar un incremento de tiempo óptimo para cada intervalo de tiempo de un primer día. El módulo de hidrología 144 puede utilizar, entonces, los datos de predicciones meteorológicas, la última humedad del suelo simulada y la última conductividad hidráulica simulada para determinar la extensión de tiempo óptima para el día siguiente.

- 5 En las formas de realización en las cuales el intervalo de tiempo se actualiza en intervalos específicos, tales como una vez por día, pueden existir omisiones automáticas o manuales para alterar el intervalo de tiempo durante las condiciones meteorológicas inesperadas o extremas. El módulo de hidrología 144 puede estar configurado para determinar que uno o más factores han cambiado por más de un valor umbral y, en respuesta a la determinación de que el uno o más factores han cambiado inesperadamente por más que el valor umbral, actualizar el intervalo de tiempo. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede estar configurado para actualizar el intervalo de tiempo al final de cada día. Si durante la mitad del día, el módulo de hidrología 144 determina que la humedad del suelo ha aumentado por más de un valor umbral, tal como debido a una tormenta inesperada o el ingreso de un dispositivo del cliente que indique una aplicación de agua al suelo, el módulo de hidrología 144 puede hacer que el intervalo de tiempo se actualice en base a la nueva información.
- 15 Mediante la aplicación de la ecuación de Buckingham-Darcy seguida por una actualización a la humedad del suelo durante los incrementos de tiempo cambiantes flexibles, el módulo de hidrología 144 crea una solución técnica al costo informático de las técnicas anteriores sin sufrir las faltas de exactitud que ocurren debido al uso de técnicas más simples. El procedimiento que se describe en la FIG. 7 usa la lógica implementada digitalmente para reducir significativamente la carga sobre la CPU del sistema informático de inteligencia agrícola 130 mediante el retiro del esquema iterativo requerido para resolver una ecuación diferencial no lineal. Al actualizar en forma flexible el intervalo de tiempo, el módulo de hidrología 144 mantiene la eficiencia informática de la técnica sin sacrificar la exactitud durante las condiciones extremas.

3.4.2. PARAMETRIZACIÓN

- 25 Mientras que la aplicación descrita con anterioridad de la ecuación de Buckingham-Darcy es más exacta que los procedimientos menos complejos, la parametrización de la ecuación de Buckingham-Darcy puede incluir computaciones adicionales. Por ejemplo, la ecuación de Buckingham-Darcy usa como parámetros la conductividad hidráulica del suelo y la suma de las presiones del agua al suelo. Dado que la implementación de la ecuación de Buckingham-Darcy analizada con anterioridad resuelve el contenido de humedad del suelo en cada etapa, la parametrización de la ecuación de Buckingham-Darcy puede lograrse mediante la creación de una relación entre los factores desconocidos y el contenido de humedad del suelo.

- 35 Las diferencias en el contenido de humedad del suelo pueden tener potencialmente un gran impacto sobre la conductividad hidráulica insaturada. La relación entre el contenido de humedad del suelo en un punto dado y la conductividad hidráulica puede determinarse mediante la utilización de una o más funciones de pedotransferencia. Las funciones de pedotransferencia son relaciones estadísticas entre las características del suelo ampliamente observables y las propiedades hidráulicas. Por ejemplo, algunas funciones de pedotransferencia aceptan como entrada un porcentaje de arena, limo y arcilla del suelo para generar parámetros para un gráfico de la conductividad hidráulica para el contenido de humedad. Una función de pedotransferencia puede emplearse para determinar la relación entre el contenido de humedad del suelo y la conductividad hidráulica para uno o más campos.

- 40 Las presiones totales en el suelo también pueden variar con respecto al contenido de humedad del suelo. Como se describió con anterioridad, el potencial total para cada capa de suelo puede describirse mediante la siguiente ecuación:

$$\psi_t = \psi_z + \psi_m + \psi_o + \psi_s$$

- 45 El potencial hidráulico ψ_s a existe solamente en condiciones saturadas. En una forma de realización, cuando se aplica Buckingham-Darcy a condiciones no saturadas, el potencial hidrostático ψ_s puede ignorarse. En una forma de realización, puede suponerse que los gradientes de salinidad son pequeños dependiendo de la ubicación del campo. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede estar configurado para ignorar el potencial osmótico en áreas que generalmente tienen bajos contenidos de sal, pero para factorizar en el gradiente de salinidad para las condiciones extremas, tales como en áreas que emplean riego por goteo, o en áreas de alto contenido de sal. Así, el potencial total puede describirse como combinación del potencial gravitacional ψ_z y el potencial mátrico ψ_m . El potencial gravitacional ψ_z , basado en las fuerzas aplicadas por gravedad, no varía de un campo a otro dada una cantidad equivalente de agua. Así, el único parámetro desconocido para el potencial total ψ_t es el potencial mátrico ψ_m .

- 55 En una forma de realización, el módulo de hidrología 144 puede aplicar funciones de pedotransferencia para determinar la relación entre el contenido de humedad en el suelo y el potencial mátrico. Por ejemplo, algunas funciones de pedotransferencia aceptan como entrada un porcentaje de arena, limo y arcilla en el suelo y los parámetros de la forma generados para una función que describe la relación entre el potencial mátrico y el contenido de humedad del suelo. Las entradas adicionales pueden incluir la densidad volumétrica del suelo y un porcentaje de carbono orgánico en el suelo. En algunas formas de realización, el módulo de hidrología 144 determina los

parámetros de formas adicionales para que la curva del potencial mátrico aumente la exactitud de la estimación del potencial mátrico en base al contenido de humedad del suelo.

La FIG. 8 representa un gráfico a modo de ejemplo del potencial mátrico con respecto al contenido de humedad del suelo. El gráfico 800 incluye la curva de potencial mátrico 802. La curva de potencial mátrico 802 representa una relación general entre el potencial mátrico y el contenido de humedad del suelo para varios tipos de suelo. La curva de potencial mátrico 802 se grafica como relación entre el log negativo del potencial mátrico y el contenido de humedad. La forma de la curva de potencial mátrico 802, para cada tipo de suelo, puede definirse mediante la simulación de Van Genuchten como:

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\psi|)^n]^{1-1/n}}$$

Los límites horizontales de la curva se determina mediante el contenido de humedad residual θ_r , y el contenido de humedad saturada θ_s . El contenido de humedad residual define una cantidad mínima teórica de agua que permanece en el suelo después del drenaje y la evapotranspiración. El contenido de humedad saturada define una cantidad máxima teórica de agua que puede mantenerse en el suelo. El contenido de humedad saturada tiende a ser similar a la porosidad del suelo. El resto de la forma de la curva se define por dos parámetros, α y n . Por ejemplo, un mayor α , que es indicativo de un sedimento grueso, tiende a crear una inclinación más abrupta de la primera curvatura de la curva del potencial mátrico 802. La ubicación de la curvatura se ve afectada en general por cambios a n . Además, la curva del potencial mátrico 802 contiene dos puntos de limitación que son el punto de marchitez y la capacidad del campo.

En una forma de realización, las limitaciones sobre la curva del potencial mátrico 802 se imponen en base a las mediciones previas. Por ejemplo, las mediciones del porcentaje de arena, limo, arcilla y carbono orgánico pueden llevarse al campo o recibirse de una o más fuentes externas. Además, el contenido de humedad saturada para cada tipo de suelo puede medirse para el campo específico y almacenarse en una base de datos. Como ejemplo, SSURGO es una Base de Datos Geográfica de Relevamiento del Suelo que contiene el porcentaje de arena, limo, arcilla y carbono orgánico para las capas debajo de la superficie de los campos, además del contenido de carbono saturada, el punto de marchitez y la capacidad del campo en cada ubicación. Con el porcentaje de arena, limo, arcilla y carbono orgánico y el contenido de carbono saturada, el punto de marchitez y la capacidad de cada campo conocido, pueden usarse las funciones de pedotransferencia para determinar n y α .

En una forma de realización, las limitaciones recibidas y calculadas se aplican a la curva de potencial mátrico 802. Una vez que las limitaciones se han aplicado a la curva del potencial mátrico 802, la única limitación restante es la forma definida por α . En una forma de realización, el módulo de hidrología 144 genera múltiples iteraciones de la curva del potencial mátrico 802 bajo las limitaciones impuestas con diferentes valores para α . Una vez que se genera la familia de curvas que conforman las limitaciones impuestas, el módulo de hidrología 144 puede identificar el valor α que minimiza la suma de las diferencias cuadradas entre el punto de marchitez estimado y la capacidad del campo estimada.

Mediante la aplicación de limitaciones medidas y estimadas a la curva del potencial mátrico 802 y el uso de técnicas de minimización de errores para determinar la última de las limitaciones, el módulo de hidrología 144 crea de manera efectiva una simulación que describe el potencial mátrico y la conductividad hidráulica para un campo en base al contenido de humedad del campo en un momento dado. Para producir dicha simulación de manera tradicional, un laboratorio requeriría muestras de base sin alterar de un campo en el cual aplicar iterativamente caudales conocidos de flujo y medir la respuesta del contenido de humedad en base al caudal de flujo conocido.

En algunas formas de realización, el módulo de hidrología 144 está configurado para identificar situaciones en las cuales la simulación contiene datos improbables. Por ejemplo, en situaciones extremadamente raras, el módulo de hidrología 144 puede crear una simulación que incluye dos capas de suelo extremadamente húmedo separadas por una capa de suelo extremadamente seco. El módulo de hidrología 144 puede estar configurado para reconocer escenarios improbables, tales como los que se describieron con anterioridad, mediante la identificación de las diferencias entre los contenidos de humedad en cada capa y la determinación de si esas diferencias excede un umbral mínimo. Además, el módulo de hidrología 144 puede estar configurado para rastrear los contenidos mínimos y máximos teóricos de humedad para el suelo y determinar si alguna de las capas se acerca a los mínimos y a los máximos teóricos.

En una forma de realización, en respuesta a identificar una situación en la cual una simulación contiene datos improbables, el módulo de hidrología 144 puede crear una simulación corregida para el campo. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede determinar el promedio del agua en el sistema y homogeneizar el promedio de agua sobre el perfil del suelo. En el ejemplo descrito con anterioridad en el que se estimó el alto contenido de humedad en dos capas del suelo con un bajo contenido de humedad en la capa media, el módulo de hidrología 144 determinaría el contenido promedio de agua y aplicaría el promedio a cada capa del suelo, reiniciando de este modo el sistema de un modo que mantenga la cantidad de agua en el sistema sin incluir capas de humedad no realistas.

3.5. SIMULACIÓN DEL CULTIVO

Con referencia a la FIG. 8, en el paso 810, se crea una simulación digital de la captación de agua de parte del cultivo. Por ejemplo, el módulo de cultivos 146 puede ejecutar la lógica programada digitalmente para simular el crecimiento de uno o más cultivos y la captación de agua del uno o más cultivos durante varias etapas del crecimiento del cultivo, al menos en parte, sobre los datos de hidrología recibidos del módulo de hidrología 144, los datos de nutrientes recibidos del módulo asesor de fertilidad 136 y los datos del cultivo recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104. Además, el módulo de cultivos 146 puede incluir los datos de la temperatura recibidos del módulo de temperatura 142 y los datos del suelo recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104 o de la computadora servidor de datos externos 108 en la simulación del crecimiento del uno o más cultivos.

El módulo de cultivos 146 puede determinar la tasa a la cual el uno o más cultivos absorben el agua actualmente disponible en el suelo y libera el agua disponible a través de evapotranspiración. Por ejemplo, el módulo de cultivos 146 puede almacenar los valores que indiquen la tasa de captación de agua de parte de los cultivos de varios tipos durante varias etapas del desarrollo. El módulo de cultivos 146 puede identificar el tipo de cultivo particular de los datos del campo 106 recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104 y utilizar la tasa de captación de agua asociada con el tipo de cultivo particular. Para los fines de crear una estimación de la disponibilidad de nutrientes, la absorción de agua de parte del uno o más cultivos puede generar un contenido de humedad más bajo del suelo que afecta el movimiento de los nutrientes a través del suelo y la pérdida de nutrientes debido a las interacciones químicas, tales como filtración, volatilización y desnitrificación. Así, el módulo de cultivos 146 puede enviar actualizaciones al módulo de hidrología 144 para indicar la reducción de agua en el suelo debido a la captación de agua del uno o más cultivos.

En el paso 812, se crea una simulación digital de la captación de nutrientes de parte del cultivo. Por ejemplo, el módulo de cultivos 146 puede ejecutar la lógica programada digitalmente para simular el crecimiento de uno o más cultivos y la captación de nutrientes del uno o más cultivos durante varias etapas del crecimiento del cultivo, al menos en parte, sobre los datos de hidrología recibidos del módulo de hidrología 144, los datos de nutrientes recibidos del módulo asesor de fertilidad 136 y los datos del cultivo recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104. El módulo de cultivos 146 puede determinar inicialmente la etapa actual del desarrollo del uno o más cultivos. Además, el módulo de cultivos 146 puede determinar el crecimiento en el área de la hoja y el peso del tallo y sus concentraciones de nutrientes actuales. En base a estos valores, y en una identificación de un tipo de cultivo, el módulo de cultivos 146 puede determinar una o más demandas de nutrientes del cultivo. Las demandas de nutrientes pueden ajustarse por la acumulación máxima del uno o más cultivos, el suelo disponible y otros factores ambientales. En una forma de realización, el módulo de cultivos 146 utiliza una estimación de los nutrientes disponibles actualmente del módulo asesor de fertilidad 136 para cumplir con las demandas de nutrientes de parte del cultivo. Una vez que los nutrientes actualmente disponibles han sido utilizados por el cultivo, el módulo de cultivos 146 puede enviar los datos al módulo asesor de fertilidad 136 indicando la pérdida de nutrientes al suelo.

En una forma de realización, el módulo de cultivos 146 identifica días cuando los nutrientes disponibles o el agua disponible dentro del suelo no satisfacen la demanda del uno o más cultivos. Por ejemplo, el módulo de cultivos 146 puede determinar que en dos meses, el nitrógeno disponible en el uno o más campos caerá por debajo de la demanda del uno o más cultivos debido a una combinación de la captación de nitrógeno, filtrado, volatilización y desnitrificación. En respuesta a la determinación de que el uno o más cultivos no serán capaces de cumplir con sus demandas de nitrógeno, el módulo de cultivos 146 puede enviar datos al módulo asesor de fertilidad 136, al módulo de recomendaciones 152, al nivel de presentación 134 y/o al módulo de simulaciones agronómicas 154. Además, el módulo de cultivos 146 puede actualizar la simulación del desarrollo del cultivo en base a la carencia de nitrógeno y/o de agua. Por ejemplo, una deficiencia en el nitrógeno limita el desarrollo del área de la hoja para un cultivo. Además, el estrés de nitrógeno puede impactar sobre la fotosíntesis para un cultivo una vez que la concentración de nitrógeno para el cultivo caiga por debajo de un umbral crítico. En una forma de realización, el módulo de cultivos reduce el área de la hoja del cultivo y el crecimiento del cultivo en la simulación digital del cultivo en base, al menos en parte, a la determinación de que existe una escasez de nitrógeno en el sistema.

4. UTILIZACIÓN DE LOS DATOS

4.1. GRÁFICOS DE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

En una forma de realización, el módulo de visualización de nutrientes 148 crea uno o más gráficos de disponibilidad de nutrientes a partir de los datos de disponibilidad de nutrientes y envía el uno o más gráficos de la disponibilidad de nutrientes al dispositivo informático administrador del campo 104. La FIG. 9 representa un gráfico a modo de ejemplo de la disponibilidad de nutrientes para el hidrógeno. El gráfico de la disponibilidad de nutrientes 900 contiene el eje de nutrientes 902, el eje de fechas 904, la transición con la fecha actual 906, el estado de fertilidad 908, el rango potencial 910 y la información del evento 912. El eje de nutrientes 902 describe las cantidades de un nutriente particular que está disponible para el cultivo. Por ejemplo, el eje de nutrientes 901 en la FIG. 9 contiene las cantidades de nitrógeno que oscilan desde cero libras por acre hasta ciento cincuenta libras por acre. Pueden generarse gráficos de disponibilidad similares para otros nutrientes, tales como fósforo y potasio. El eje de la fecha 904 representa una línea de tiempo sobre la cual se representa la disponibilidad de nitrógeno para el uno o más

cultivos como función del tiempo. Por ejemplo, el eje de las fechas 904 representa los puntos de referencia que comprenden el primer día de cada mes entre el 1 de septiembre de un año y el 1 de diciembre del año siguiente. En una forma de realización, el eje de las fechas 904 se genera para corresponder con el ciclo de desarrollo de un cultivo. Por ejemplo, el eje de las fechas 904 en la FIG. 9 puede corresponder a un cultivo que se plantó el 1 de septiembre o después y alcanza la madurez el 1 de diciembre o antes del año siguiente. La transición de fechas actuales 906 representa un punto en el gráfico correspondiente a una fecha actual. La porción del gráfico previo a la transición de fecha actual 906 representa las cantidades pasadas de un nutriente disponible para el cultivo. La porción del gráfico que sigue a la transición de fecha actual 906 representa la disponibilidad de nutrientes simulada para el cultivo durante un período de tiempo entre la fecha actual y la madurez del cultivo.

El estado de fertilidad 908 representa el estado del cultivo con respecto al nutriente graficado. Por ejemplo, el estado de fertilidad 908 en la FIG. 9 se representa como ganancia o merma proyectada que indica una cantidad de nitrógeno disponible para el cultivo cuando el cultivo alcanza la madurez. En la forma de realización que se muestra en la FIG. 9, si el estado de fertilidad 908 representa una ganancia, tal como se visualiza en la FIG. 9, el estado de fertilidad 908 puede indicar la cantidad de nitrógeno disponible que excede las necesidades del cultivo. Si el estado de fertilidad 908 indica una merma, el estado de fertilidad 908 puede indicar una cantidad de nitrógeno que corresponde a las necesidades de nitrógeno del cultivo que no se cumplen. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede restar el nitrógeno disponible a la madurez de las semillas del cultivo para determinar la merma en la madurez. Mientras que la FIG. 9 representa una ganancia o una merma proyectadas, el estado de fertilidad 908 puede ser un indicador binario que describe meramente si se cumplirán las necesidades de nutrientes del cultivo. En una forma de realización, un aspecto del gráfico de disponibilidad de nutrientes 900 cambia dependiendo a la disponibilidad del nutriente a la madurez. Por ejemplo, si el estado de fertilidad 908 representa una ganancia, la porción del gráfico de nutrientes posterior a la transición de fechas actual 906 puede visualizarse en verde. Si el estado de fertilidad 908 representa una merma, la porción del gráfico de nutrientes posterior a la transición de fechas actual 906 puede visualizarse en rojo. Si una ganancia de un nutriente disponible a la madurez cae por debajo de un umbral particular o si el rango potencial de nutrientes disponibles incluye tanto una ganancia como una merma, la porción del gráfico de disponibilidad de nitrógeno 900 posterior a la transición de fechas actual 906 puede visualizarse como amarillo para indicar una posibilidad de una merma.

El rango potencial 910 representa un rango potencial de la disponibilidad de nutrientes en base a las incertidumbres en las estimaciones específicas. Por ejemplo, las estimaciones de las precipitaciones pasadas pueden ser bastante precisas ya que pueden basarse en las observaciones de precipitación actuales en los postes de observación. Las estimaciones de precipitaciones actuales en el futuro cercano pueden ser levemente menos precisas ya que pueden basarse en los pronósticos de precipitaciones para las áreas generalizadas. Las estimaciones de varios meses de precipitaciones en el futuro pueden ser incluso menos exactas ya que se basan en los promedios de clase de la precipitación en el pasado o en las tendencias de precipitación en el pasado. Las estimaciones de temperatura pueden contener incertidumbres similares. En una forma de realización, el módulo asesor de fertilidad 136 mide las incertidumbres mediante la creación de simulaciones digitales basadas en diferentes probabilidades de precipitaciones y escenarios de temperatura. El módulo asesor de fertilidad 136 puede usar la disponibilidad de nutrientes de las simulaciones que estiman la disponibilidad de nitrógeno más baja a la madurez y simulaciones que estiman la disponibilidad de nutrientes más alta en cada punto para crear el rango potencial 910. Por ejemplo, en la FIG. 9, el módulo asesor de fertilidad 136 puede tener que determinar que la simulación que representa la disponibilidad de nitrógeno más baja para el 1 de noviembre incluía la estimación de la disponibilidad de nitrógeno de treinta libras por acre mientras que la simulación que representa la disponibilidad de nitrógeno más alta incluía una estimación de la disponibilidad de nitrógeno de cuarenta libras por acre. Mientras que la línea blanca que indica la disponibilidad de nitrógeno estimada indica una probabilidad de disponibilidad de nitrógeno de treinta y cinco libras por acre, el área gris que representa el rango potencial 910 abarca valores comprendidos entre treinta libras por acre y cuarenta libras por acre para medir las incertidumbres en predicciones meteorológicas futuras.

En una forma de realización, el gráfico de la disponibilidad de nutrientes representa una cantidad del nutriente que está accesible para el uno o más cultivos. Por ejemplo, un usuario puede indicar una aplicación de sesenta libras por acre de nitrógeno a uno o más campos. En respuesta, el módulo asesor de fertilidad 136 puede almacenar los datos que indiquen que se han agregado sesenta libras de nitrógeno por acre al uno o más campos. Además, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar una disponibilidad actual de nitrógeno para los cultivos mediante la utilización de las técnicas descritas en este documento para determinar los índices de transmisión de nitrógeno en base a la temperatura y el contenido de humedad del suelo. El módulo de visualización de nutrientes 148 puede mostrar en el gráfico de disponibilidad de nutrientes la cantidad de nutriente a la que el cultivo es capaz de acceder en lugar de mostrar la cantidad del nutriente que existe en el sistema. Mediante la visualización de la cantidad del nutriente a la que el cultivo es capaz de acceder, el módulo de visualización de nutrientes 148 proporciona información que de otro modo no estaría disponible. Por ejemplo, un análisis de laboratorio de diferentes capas del suelo puede medir los niveles de nitrógeno dentro del suelo, pero sería incapaz de dar una estimación del nitrógeno que está disponible para un cultivo. Mientras que la concentración de un nutriente en el suelo es importante, el cultivo se ve principalmente afectado por su capacidad de recibir el nutriente. Por ejemplo, si el nitrógeno se aplica inmediatamente antes de un tiempo de merma, un gráfico de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo puede mostrar que solamente una pequeña cantidad del nitrógeno agregado se torna disponible para el cultivo inmediatamente. Así, el campo puede aún experimentar una merma en el nitrógeno que dañe el crecimiento del

cultivo aunque se agregara nitrógeno antes de que ocurra la merma. Mientras que el gráfico de la disponibilidad de nitrógeno mostraría los efectos de una aplicación posterior de nitrógeno, una representación del nitrógeno en el suelo crearía una falsa ilusión de que el cultivo siempre es capaz de recibir nitrógeno suficiente para cubrir sus necesidades.

El módulo de visualización de nutrientes 148 puede enviar, además, información del evento 912 al dispositivo informático administrador del campo 104. La información del evento 912 puede enviarse como parte del gráfico de la disponibilidad de nutrientes 900 o enviarse sola para mostrarse a un usuario del dispositivo informático administrador del campo 104. En una forma de realización, la información del evento 912 describe la información de fertilidad para un cultivo en base a los datos recibidos del módulo de fertilidad 140, del módulo de temperatura 142, del módulo de hidrología 144 y del módulo de cultivos 146. La información de fertilidad puede incluir las fechas y las características de los eventos de administración tales como la plantación, las aplicaciones de fertilizante y los eventos de labranza, los rangos de fechas y las cantidades de pérdida de nitrógeno junto con una descripción de la pérdida de nitrógeno, tal como a través de volatilización, deslizamiento, filtración o desnitrificación, patrones válidos en las transformaciones químicas dentro del suelo tales como la mineralización del suelo, los procesos de adsorción y desorción, y la nitrificación, y los rangos de fecha y gravedades del estrés del cultivo, tales como el estrés por nitrógeno, el estrés por agua y el estrés por temperatura. Por ejemplo, la información del evento 912 en la FIG. 9 describe los eventos de aplicación de nitrógeno, los eventos de pérdida de nitrógeno debido a la volatilización, y los eventos de pérdida de nitrógeno debido a la precipitación, incluso las fechas de cada evento y la cantidad de nitrógeno que se ganó/perdió debido a los eventos. En una forma de realización, el módulo de visualización de nutrientes 148 etiqueta el gráfico de la disponibilidad de nutrientes 900 con indicadores para cada evento de manera tal que la persona que mira el gráfico de la disponibilidad de nutrientes 900 pueda comprender una causa para cada pérdida y ganancia de nutrientes mostradas en el gráfico de la disponibilidad de nutrientes 900.

4.2. SIMULACIONES AGRONÓMICAS

En una forma de realización, el módulo asesor de fertilidad 136 envía los datos de la disponibilidad de nutrientes al módulo de simulaciones agronómicas 154. Además, el módulo de temperatura 142, el módulo de hidrología 144 y el módulo de cultivos 146 pueden enviar datos de la temperatura, hidrología y crecimiento de los cultivos respectivamente al módulo de simulaciones agronómicas 154. En una forma de realización, la simulación agronómica es una estructura de datos en la memoria del sistema informático de inteligencia agrícola 130 que contiene información sobre ubicación y cultivos para uno o más campos. Una simulación agronómica también puede contener factores que describen las condiciones que pueden afectar el crecimiento de uno o más cultivos en un campo. Además, una simulación agronómica puede contener recomendaciones basadas en factores agronómicos tales como las recomendaciones de los cultivos, las recomendaciones de riego, las recomendaciones de plantaciones, y las recomendaciones de cosecha. Los factores agronómicos también pueden usarse para estimar uno o más resultados relacionados con los cultivos, tales como el rendimiento agronómico. La producción agronómica en un cultivo es una estimación de la cantidad del cultivo que se produce, o en algunos ejemplos la ganancia o el beneficio obtenido del cultivo producido.

La falta de uno o más nutrientes puede afectar al potencial de producción de un cultivo. Por ejemplo, el estrés por nutrientes describe el efecto de la incapacidad de un cultivo para recibir una cantidad óptima de nitrógeno en el crecimiento del cultivo. Cada cultivo tiene una cantidad óptima distinta de nitrógeno que define una cantidad mínima de nitrógeno por debajo de la cual el crecimiento del cultivo se ve afectado de manera adversa. Las cantidades óptimas de nitrógeno pueden cambiar a través del ciclo de desarrollo del cultivo. El estrés por agua describe del mismo modo el efecto de la incapacidad de un cultivo de recibir una cantidad óptima de agua sobre el crecimiento del cultivo y el estrés por calor describe el efecto de las altas temperaturas sobre el crecimiento del cultivo. En base a los datos recibidos de temperatura, hidrología y nutrientes, el módulo de simulaciones agronómicas 154 puede estimar los efectos del estrés por nitrógeno, el estrés por calor y el estrés por agua sobre el uno o más cultivos. Por ejemplo, el estrés por nitrógeno puede conducir a la destrucción de las hojas, lo cual disminuye el índice del área de las hojas para un cultivo, reduciendo de este modo la cantidad de luz solar recibida por el cultivo. El módulo de simulaciones agronómicas 154 puede utilizar la lógica programada programada digitalmente y los datos almacenados que indican los efectos de las cantidades específicas de estrés por nitrógeno para un tipo de cultivo particular a los cambios de simulación en el desarrollo de un cultivo. En base a las simulaciones del cultivo afectado por el estrés por nitrógeno, el estrés por calor, el estrés por agua indistintamente o cualquiera de sus combinaciones el módulo de simulaciones agronómicas 154 puede estimar una producción total para el cultivo.

En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 utiliza los datos de la disponibilidad de nutrientes, los datos del flujo de agua, los datos de las temperaturas y los datos de los cultivos para crear una simulación agronómica en memoria o en un almacenamiento persistente como respuesta a una solicitud de un dispositivo informático administrador del campo 104 para una simulación agronómica. En otras formas de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 recibe una solicitud de un tercero para realizar una simulación agronómica. Por ejemplo, una compañía de seguros puede solicitar una simulación agronómica para el campo de un cliente asegurado para determinar los riesgos asociados con el cultivo plantado por el cliente. En otro ejemplo, un servidor de aplicación puede enviar una solicitud al sistema informático de inteligencia agrícola 130 para crear una simulación agronómica para el campo de un usuario específico. Alternativamente, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede generar simulaciones agronómicas en forma periódica. El sistema informático de

inteligencia agrícola 130 también puede generar simulaciones agronómicas en respuesta a la recepción de las observaciones meteorológicas actualizadas o en respuesta a la creación de datos meteorológicos, datos de nutrientes, datos del suelo u otros datos del campo actualizados.

En una forma de realización, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 envía las simulaciones agronómicas al dispositivo informático administrador del campo 104. En otras forma de realización, el módulo de recomendaciones 152 crea recomendaciones de uso de las simulaciones agronómicas 150 y envía las recomendaciones al dispositivo informático administrador del campo 104. El sistema informático de inteligencia agrícola 130 también puede almacenar las simulaciones agronómicas en la memoria. Las simulaciones agronómicas almacenadas pueden usarse más tarde para mejorar los procedimientos usados por el módulo de simulaciones agronómicas 154 o para calificar los varios procedimientos de simulación.

4.3. RECOMENDACIONES

En una forma de realización, el módulo de recomendaciones 152 crea una o más recomendaciones basadas en los datos de disponibilidad de nutrientes. La una o más recomendaciones pueden incluir las recomendaciones de riego actuales, las recomendaciones de la aplicación de nutrientes actuales y la aplicación de agroquímicos de eficiencia mejorada. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar que el nitrógeno en uno o más campos no cumplirá los requerimientos de nitrógeno para un cultivo en una determinada fecha. En respuesta, el módulo asesor de fertilidad 136 puede simular las aplicaciones de nitrógeno antes de la determinada fecha para determinar cuándo sería necesario agregar el nitrógeno al sistema para evitar la merma o para evitar que el cultivo sufra daño por la merma. El módulo de recomendaciones 152 puede crear una o más recomendaciones para la aplicación de nitrógeno en base a la determinación del módulo asesor de fertilidad 136. Además, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar si el nitrógeno perdido debido a filtración, volatilización o desnitrificación de las aplicaciones de nitrógeno simuladas excede un umbral específico y, en respuesta a la determinación de que la pérdida de nitrógeno excede el umbral específico, simular las aplicaciones de los inhibidores de nitrógeno junto con el nitrógeno. Además y/o alternativamente, el módulo de recomendaciones 152 puede recomendar una aplicación de inhibidores de nitrógeno en respuesta a la determinación de que la pérdida de nitrógeno a partir de las aplicaciones de nitrógeno simuladas excede el umbral específico.

El módulo de recomendaciones 152 puede crear una recomendación para la aplicación de agua en base a los datos recibidos del módulo de hidrología 144 y del módulo de simulaciones agronómicas 154. Por ejemplo, el módulo de recomendaciones 152 puede crear una recomendación para la aplicación de agua en respuesta a la determinación de que el estrés por agua sobre el cultivo afectará de manera adversa la producción agronómica del cultivo. Las recomendaciones de la aplicación de agua pueden incluir las fechas de riego específicas en base a las proyecciones de temperatura, las aplicaciones de nutrientes y los datos de hidrología. Por ejemplo, el módulo de hidrología 144 puede simular el flujo de agua a través del suelo para varios días y determinar las simulaciones óptimas en base a la eficiencia del riego. Una primera simulación de la aplicación de agua puede mostrar un gran porcentaje de la evaporación del agua producida por el calor elevado. Una segunda simulación de la aplicación de agua puede mostrar una gran reducción en la disponibilidad de nutrientes producida por filtración. Una tercera simulación de la aplicación de agua puede mostrar daño al cultivo en base al agua aplicada demasiado tarde. El módulo de recomendaciones 152 puede crear una recomendación que minimice los efectos negativos en base a las simulaciones. Además y/o alternativamente, el módulo de simulaciones agronómicas 154 puede simular la producción agronómica para cada simulación. El módulo de recomendaciones 152 puede crear una recomendación que incluya los parámetros en la simulación que generaron la producción agronómica más alta.

El módulo de recomendaciones 152 puede crear también recomendaciones para la aplicación de agua en base a una determinación del módulo asesor de fertilidad 136. Por ejemplo, si el módulo asesor de fertilidad 136 determina que el bajo contenido de humedad en el suelo hace que se encuentra disponible menos de un nutriente para el cultivo, el módulo de recomendaciones 152 puede crear una recomendación para la aplicación de agua con el objetivo de aumentar la disponibilidad de nutrientes para el cultivo. El módulo asesor de fertilidad 136 puede estar configurado para determinar si el contenido de humedad del suelo cae por debajo de un umbral específico. En respuesta a la determinación, el módulo asesor de fertilidad 136 puede simular los efectos del agregado de agua al suelo. En una forma de realización, si el módulo asesor de fertilidad 136 determina que el agregado de agua aumenta la disponibilidad de nutrientes para el suelo por más de un umbral específico, el módulo de recomendaciones 152 puede crear una recomendación para una aplicación de agua.

El módulo de recomendaciones también puede crear recomendaciones para aplicar a futuros cultivos. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear simulaciones alternativas de la disponibilidad de nutrientes en base a varias condiciones del campo, tales como las fechas de plantación del cultivo. Si la disponibilidad de nutrientes es más alta para un cultivo para una fecha de plantación anterior o si las aplicaciones de un nutriente son más efectivas para la fecha de plantación anterior, el módulo de recomendaciones 152 puede recomendar la plantación del siguiente cultivo antes. El módulo de recomendaciones 152 puede hacer recomendaciones para aplicar a futuros cultivos basados en simulaciones del futuro cultivo que utilizan la generación del cultivo actual como datos de entrada. Por ejemplo, el tipo de cultivo que actualmente se encuentra en el campo y la cantidad de un nutriente disponible en el campo después de que se ha cosechado un cultivo afecta la disponibilidad de nutrientes para el siguiente cultivo plantado. El módulo asesor de fertilidad 136 puede crear simulaciones de la disponibilidad de

nutrientes para un futuro cultivo con varias fechas de plantación, fechas de aplicación de nutrientes y varios procedimientos de labranza. El módulo asesor de fertilidad 136 puede seleccionar una simulación que reciba disponibilidad de nutrientes más alta o aplicaciones de nutrientes más efectivas como simulación óptima. Además, el módulo asesor de fertilidad 136 puede enviar los datos de los nutrientes al módulo de simulaciones agronómicas 154. El módulo de simulación agronómica 154 puede determinar una simulación que produzca un rendimiento superior o una mayor retribución sobre la ganancia. En respuesta, el módulo de recomendaciones 152 puede enviar una recomendación para el futuro cultivo que incluya los parámetros de la simulación óptima.

En una forma de realización, el módulo asesor de fertilidad 136 envía la una o más recomendaciones al nivel de presentación 134. El nivel de presentaciones 134 puede entonces enviar la una o más recomendaciones al dispositivo informático administrador del campo 104. Por ejemplo, el dispositivo informático administrador del campo 104 puede enviar una solicitud al sistema informático de inteligencia agrícola 130 para una recomendación de plantación para el siguiente cultivo. Además y/o alternativamente, el dispositivo informático administrador del campo 104 puede enviar una solicitud al sistema informático de inteligencia agrícola 130 para obtener una recomendación de la aplicación de nutrientes. En respuesta, el nivel de presentación 134 puede enviar una recomendación generada por el módulo de recomendaciones 152 al dispositivo informático administrador del campo 104. La recomendación puede acompañarse por gráficos de la disponibilidad de nutrientes que muestren la disponibilidad de nutrientes para el cultivo en base a una aplicación de la recomendación.

En una forma de realización, el módulo de recomendaciones 152 envía la una o más recomendaciones al nivel de comunicaciones 132. El nivel de comunicaciones 132 puede utilizar las recomendaciones para la aplicación de agua, la aplicación de nutrientes o la aplicación de agroquímicos de eficiencia mejorada para crear los parámetros de aplicación para el controlador de aplicación 114. Por ejemplo, el módulo de recomendaciones 152 puede crear una recomendación para la aplicación de nutrientes en base a los datos de la disponibilidad de nutrientes recibidos del módulo asesor de fertilidad 136. En respuesta a recibir la recomendación, el nivel de comunicaciones 132 puede utilizar los datos de la disponibilidad de nutrientes para crear los parámetros de aplicación para una válvula de liberación de nutrientes que describe una cantidad de un nutriente para liberar sobre el uno o más campos. El nivel de presentación 134 puede enviar entonces una notificación al dispositivo informático administrador del campo 104 que indique los datos de la disponibilidad de nutrientes y solicite permiso para aplicar el nutriente recomendado al uno o más campos. En respuesta a recibir el permiso de aplicar el nutriente recomendado, el nivel de comunicaciones 132 puede enviar los parámetros de aplicación al controlador de aplicación 114. El controlador de aplicación 114 puede implementar entonces los parámetros de aplicación, tales como la liberación de nitrógeno sobre el uno o más campos o el aumento de la cantidad de agua liberada a un cultivo específico.

4.4. NOTIFICACIONES

En una forma de realización, el nivel de presentación 134 envía las notificaciones al dispositivo informático administrador del campo 104. El nivel de presentación 134 puede enviar notificaciones al dispositivo informático administrador del campo 104 en base a la una o más simulaciones agronómicas, la una o más recomendaciones y/o el uno o más gráficos de la disponibilidad de nutrientes. En una forma de realización, el nivel de presentación 134 puede enviar una notificación al dispositivo informático administrador del campo 104 en respuesta a la determinación de un cambio en la disponibilidad de nutrientes para el uno o más cultivos en el uno o más campos. Por ejemplo, el nivel de presentación 134 puede estar programado o configurado para enviar una notificación al dispositivo informático administrador del campo 104 en respuesta a la determinación de: que la cantidad de un nutriente disponible a la madurez para el cultivo ha cambiado de una ganancia a una merma o viceversa, que la merma de los nutrientes disponibles a la madurez ha aumentado por más de un valor umbral o se ha reducido por más de un valor umbral, que la ganancia de los nutrientes disponibles a la madurez ha aumentado por más de un valor umbral o se ha reducido por más de un valor umbral, que una merma de nutrientes ha existido durante más tiempo que un período de tiempo umbral, o que un período de tiempo umbral ha transcurrido desde la actualización anterior.

Además, el nivel de presentación 134 puede enviar notificaciones al dispositivo informático administrador del campo 104 en respuesta a recibir una o más recomendaciones o detectar un cambio en una o más variables agronómicas de la simulación agronómica. Por ejemplo, si el módulo de recomendaciones 152 crea una recomendación de riego sobre la falta de nutrientes disponibles para los cultivos, el nivel de presentación 134 puede enviar la recomendación al dispositivo informático administrador del campo 104. Además, si una de las variables agronómicas, tales como el rendimiento total, los cambios basados en la disponibilidad de nutrientes para el cultivo, el nivel de presentación 134 puede enviar una notificación al dispositivo informático administrador del campo 104 que indique ese cambio en la variable agronómica. Por ejemplo, el módulo de simulaciones agronómicas 154 puede volver a calcular el rendimiento total del cultivo en base a los nutrientes disponibles para el cultivo. Si el módulo de simulaciones agronómicas 154 determina que el rendimiento se ha reducido debido a la baja disponibilidad de nutrientes, el nivel de presentación 134 puede enviar una notificación al dispositivo informático administrador del campo 104 indicando que el rendimiento total se ha reducido. En una forma de realización, las recomendaciones pueden enviarse junto con la notificación que indique un cambio en la variable agronómica. Por ejemplo, una recomendación para aumentar la cantidad de agua recibida por el cultivo puede acompañarse de una indicación de que el rendimiento total proyectado para el cultivo se ha reducido en base a la carencia de humedad.

En una forma de realización, el nivel de presentación 134 envía el uno o más gráficos de nutrientes, las

recomendaciones, las simulaciones agronómicas y/u otra información del campo al dispositivo informático administrador del campo 104 en respuesta a la recepción de una solicitud del dispositivo informático administrador del campo 104. Por ejemplo, el dispositivo informático administrador del campo 104 puede enviar un mensaje directamente al sistema informático de inteligencia agrícola 130 o a un servidor de aplicación a través de una aplicación que se ejecuta en el dispositivo informático administrador del campo 104 solicitando información sobre el uno o más campos. En respuesta, el nivel de presentación 134 puede generar la visualización de una interfaz de usuario gráfica en el dispositivo informático administrador del campo 104 que incluye el uno o más gráficos de nutrientes, las recomendaciones, una o más variables agronómicas tales como los días de crecimiento parcial o el rendimiento total del cultivo y/u otra información tal como el tipo de cultivo o los procedimientos de labranza usados para el cultivo. En una forma de realización, la solicitud de información del sistema informático de inteligencia agrícola se genera en una notificación enviada por el nivel de presentación 134. Por ejemplo, el nivel de presentación 134 puede enviar una notificación al dispositivo informático administrador del campo 104 indicando una baja disponibilidad de nutrientes en el campo. Tras recibir una selección de la notificación, el dispositivo informático administrador del campo 104 puede enviar un mensaje al sistema informático de inteligencia agrícola 130 solicitando la información adicional. Además, una selección de la notificación puede hacer que la aplicación se ejecute en el dispositivo informático administrador del campo 104 a través del cual el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede producir la visualización de la información adicional.

4.5. PROPUESTAS DEFINIDAS POR EL USUARIO

En una forma de realización, la disponibilidad de nutrientes se determina mediante el módulo asesor de fertilidad 136 en respuesta a la recepción de los datos del dispositivo informático administrador del campo 104 indicando una aplicación de un nutriente en el uno o más campos. Por ejemplo, el nivel de presentación 134 puede producir la visualización en el dispositivo informático administrador del campo 104 de una interfaz de usuario para indicar una aplicación de un nutriente particular. La interfaz puede incluir una fecha para la aplicación de nutrientes. En respuesta a la recepción de la entrada que identifique una cantidad de un nutriente, un tipo de nutriente y la fecha de aplicación, el dispositivo informático administrador del campo 104 puede enviar un mensaje al sistema informático de inteligencia agrícola 130 indicando la aplicación del nutriente. En base a los datos de aplicación de nutrientes, los datos del campo 106, los datos externos 110, los datos de temperatura recibidos del módulo de temperatura 142, los datos de hidrología recibidos del módulo de hidrología 144 y los datos del cultivo recibidos del módulo de cultivos 146, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar un efecto general de la aplicación de nutrientes. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede identificar los nutrientes disponibles en el sistema durante el transcurso del desarrollo del cultivo en base a la aplicación de nutrientes propuesta. El módulo asesor de fertilidad 136 puede crear una simulación digital de la disponibilidad de un nutriente como se describe en este documento con los nutrientes adicionales, aplicados en la fecha propuesta, simulados en el sistema. Además, el módulo asesor de fertilidad 136 puede identificar los nutrientes disponibles en el sistema en base a los datos que indiquen múltiples aplicaciones del nutriente. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear una simulación digital de la disponibilidad de nitrógeno como se describe en este documento con el nitrógeno adicional, aplicado en múltiples fechas simuladas en el sistema.

En una forma de realización, el nivel de presentación 134 también genera la visualización a través de la interfaz de usuario del dispositivo informático administrador del campo 104 de los controles para indicar una aplicación de uno o más agroquímicos de eficiencia mejorada, tales como nitrapirina, junto con la aplicación del nutriente. En respuesta a la recepción de una indicación de una aplicación de los agroquímicos de eficiencia mejorada, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear una simulación que incluya la aplicación del nutriente junto con los agroquímicos de eficiencia mejorada. En algunas formas de realización, en respuesta a recibir una propuesta para una aplicación de un nutriente, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear una simulación basada en la propuesta sin la aplicación de los agroquímicos de eficiencia mejorada y una simulación basada en la propuesta con la aplicación de los agroquímicos de eficiencia mejorada. El nivel de presentación 134 puede enviar los resultados de nutrientes disponibles al dispositivo informático administrador del campo 104 con el fin de permitir una comparación de la disponibilidad de nutrientes en base a la aplicación o la ausencia de los agroquímicos de eficiencia mejorada. De esta manera, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 crea un medio para que un usuario evalúe los beneficios del uso de agroquímicos de eficiencia mejorada, tales como los inhibidores de nitrógeno.

Mediante la estimación de la cantidad de un nutriente disponible al sistema durante el transcurso del desarrollo de un cultivo en base, al menos en parte, en las aplicaciones de nutrientes propuestas, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 crea un medio para que un usuario planifique de manera efectiva la aplicación de los nutrientes en el campo. Por ejemplo, un usuario puede ingresar una pluralidad de aplicaciones propuestas de nitrógeno antes del desarrollo de un cultivo o distribuidas en forma pareja durante todo el desarrollo de un cultivo. Mientras que el nitrógeno se aplica de manera uniforme, el calor estimado durante un mes específico puede conducir a que el nitrógeno aplicado se volatilice más rápidamente, reduciendo de este modo la cantidad de nitrógeno disponible en el sistema. El nivel de presentación 134 puede producir la visualización de la pérdida de nitrógeno a partir de la aplicación propuesta de nitrógeno en el dispositivo informático administrador del campo 104. En respuesta, el usuario puede agregar una aplicación de nitrógeno en cercana proximidad a la aplicación propuesta o mover la aplicación propuesta de nitrógeno a un día más fresco. El módulo asesor de fertilidad 136 puede entonces volver a estimar el nitrógeno disponible al cultivo durante el desarrollo del cultivo en base a los datos agregados o cambiados de la aplicación. De esta manera, el sistema informático de inteligencia agrícola proporciona

retroalimentación sobre los efectos de la aplicación de cada nutriente al dispositivo informático administrador del campo 104.

En una forma de realización, la disponibilidad de nutrientes se determina mediante el módulo asesor de fertilidad 136 en respuesta a la recepción de los datos del dispositivo informático administrador del campo 104 indicando las propuestas de plantación de cultivos. Por ejemplo, el módulo de interfaz del dispositivo móvil 132 puede producir la visualización de una interfaz de usuario en el dispositivo informático administrador del campo 104 para ingresar los datos de las propuestas. Los datos de las propuestas pueden incluir el tipo de cultivo propuesto, el procedimiento de labranza propuesto, la fecha de plantación propuesta, el riego propuesto y las aplicaciones propuestas de nutrientes y agroquímicos de eficiencia mejorada. En respuesta a la recepción de las propuestas de plantación de los cultivos, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear una o más simulaciones digitales de la disponibilidad de nutrientes limitadas por los parámetros de entrada. Además, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear las simulaciones de la disponibilidad de nutrientes con parámetros variables. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear simulaciones con diferentes procedimientos de labranza y enviar las distintas disponibilidades de nutrientes al dispositivo informático administrador del campo 104, permitiendo de este modo que el usuario compare los efectos sobre la disponibilidad de nutrientes de los diferentes procedimientos de labranza.

En una forma de realización, la interfaz de usuario incluye controles para ajustar uno o más parámetros libres. Un parámetro libre puede ser un parámetro que o bien no está identificado o no es requerido por el usuario. Por ejemplo, si se determina que un usuario cultiva maíz, el usuario puede no mencionar el maíz como parámetro libre. Si el usuario planea plantar el cultivo en algún momento entre enero y junio, el usuario puede fijar la fecha como parámetro libre. En respuesta a la identificación de un parámetro libre, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear múltiples simulaciones de la disponibilidad de nutrientes mediante la utilización de diferentes entradas para el parámetro libre. En una forma de realización, el módulo asesor de fertilidad 132 selecciona los parámetros óptimos en base a la disponibilidad de nutrientes durante el desarrollo del cultivo en cada simulación. Por ejemplo, si un modelo que incluye una fecha de plantación en febrero contiene una ganancia en la disponibilidad de nitrógeno a la madurez, mientras que una simulación que incluye una fecha de plantación en abril contiene una merma en la disponibilidad de nitrógeno a la madurez, el módulo asesor de fertilidad 132 puede seleccionar la fecha de plantación en febrero como fecha de plantación óptima sobre la fecha de plantación en abril.

En una forma de realización, el módulo de visualización de nutrientes 148 crea un gráfico de nutrientes para cada aplicación propuesta de un nutriente recibido del dispositivo informático administrador del campo 104. Por ejemplo, el sistema informático de inteligencia agrícola 120 puede recibir una primera propuesta de la aplicación de nitrógeno en una primera fecha y una segunda propuesta de la aplicación de nitrógeno en una segunda fecha. El módulo de visualización de nutrientes 148 puede crear un primer gráfico de nitrógeno que incluye la primera aplicación propuesta de nitrógeno y un segundo gráfico de nitrógeno que incluye la segunda aplicación propuesta de nitrógeno. El nivel de presentación 134 puede enviar luego los dos gráficos de nitrógeno al dispositivo informático administrador del campo 104, permitiendo de esta manera que el usuario 102 compare los efectos de la primera aplicación propuesta de nitrógeno con efectos de la segunda aplicación propuesta de nitrógeno. El módulo de visualización de nutrientes 148 también puede crear los gráficos de la disponibilidad de nutrientes para distintos parámetros de plantación recibidos del dispositivo informático administrador del campo 104. Por ejemplo, si el sistema informático de inteligencia agrícola 120 recibe una propuesta para plantar un cultivo en febrero y una segunda propuesta para plantar el cultivo en abril, el módulo de visualización de nutrientes 148 puede crear un gráfico de nitrógeno basado en una simulación de la disponibilidad de nitrógeno para cada fecha de plantación. Además, si el sistema informático de inteligencia agrícola 120 recibe una propuesta que incluye uno o más parámetros libres, el módulo de visualización de nutrientes 148 puede crear un gráfico de la disponibilidad de nutrientes en base a las simulaciones digitales creadas con diferentes parámetros para los parámetros libres. Por ejemplo, si la fecha de plantación se fija como parámetro libre, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear un primer gráfico de disponibilidad de nutrientes con la fecha de plantación fijada en enero, un segundo gráfico de disponibilidad de nutrientes con la fecha de plantación fijada en febrero, y así sucesivamente.

En una forma de realización, el módulo de recomendaciones 152 crea una o más recomendaciones para la aplicación de nutrientes basadas en una aplicación propuesta de un nutriente en el dispositivo informático administrador del campo 104. Por ejemplo, el sistema informático de inteligencia agrícola 130 puede recibir una propuesta del dispositivo informático administrador del campo 104 para una aplicación de nitrógeno. El módulo asesor de fertilidad 136 puede simular el flujo de nitrógeno a través del suelo mediante la utilización de las técnicas descritas con anterioridad en base a las aplicaciones de nitrógeno en distintas fechas y en distintos momentos. En una forma de realización, el módulo asesor de fertilidad 136 determina inicialmente una fecha o un momento en los cuales ocurriría una merma sin una aplicación de nutrientes. El módulo asesor de fertilidad 136 puede simular entonces la disponibilidad de nutrientes en base a una aplicación del nutriente en cada fecha anterior. En base a las simulaciones del nutriente, el módulo asesor de fertilidad 136 puede identificar un marco de tiempo óptimo en el cual aplicar el nutriente. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar inicialmente que la disponibilidad de nitrógeno en el uno o más campos alcanzará una merma en un mes. El módulo asesor de fertilidad 136 puede luego generar diferentes simulaciones de la disponibilidad de nitrógeno en base a la aplicación de nitrógeno para cada día durante el mes siguiente. El módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar que una simulación óptima de las simulaciones de la disponibilidad de nitrógeno incluye una cantidad más alta de disponibilidad de nitrógeno a la madurez que otras simulaciones, indicando de este modo que menos del nitrógeno

se pierde a través de filtración, volatilización o desnitrificación. En base a la determinación, el módulo de recomendaciones 152 puede recomendar la aplicación de nitrógeno en el día o en el momento que sirvió como base para la simulación óptima.

En algunas formas de realización, el módulo de recomendaciones 152 también genera una recomendación para una cantidad óptima de aplicación de nutrientes en base a la aplicación propuesta del nutriente. Por ejemplo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede identificar inicialmente el momento o la fecha óptimos para una aplicación de nitrógeno en base a una aplicación de una cantidad específica de nitrógeno. Una vez identificado el momento o la fecha específicos, el módulo asesor de fertilidad 136 puede simular la disponibilidad de nutrientes en el campo en base a las diferentes cantidades de aplicación del nutriente. En base a las simulaciones de la disponibilidad de nutrientes, el módulo asesor de fertilidad 136 puede determinar una cantidad óptima del nutriente para aplicar al uno o más campos. Por ejemplo, una primera simulación de la disponibilidad de nitrógeno puede indicar que el veinticinco por ciento del nitrógeno aplicado al campo finalmente se pierde por filtración, volatilización, o desnitrificación. Una segunda simulación de la disponibilidad de nitrógeno basada en una aplicación de una cantidad mayor de nitrógeno puede indicar que se encuentra disponible más nitrógeno para el uno o más cultivos, pero que el cuarenta y cinco por ciento del nitrógeno aplicado al campo se pierde. En base a las dos simulaciones, el módulo de recomendaciones 152 puede recomendar una aplicación de la cantidad menor de nitrógeno con el fin de aumentar el valor de la aplicación de nitrógeno. Además, el módulo de recomendaciones 152 puede determinar una distribución óptima de aplicaciones de nutrientes para lograr el efecto óptimo. Por ejemplo, si una tercera simulación de la disponibilidad de nitrógeno en base a una segunda aplicación de nitrógeno dos semanas después de la primera aplicación de nitrógeno indica que solamente el treinta y cinco por ciento del nitrógeno aplicado se pierde, el módulo de recomendaciones 152 puede recomendar la aplicación de la cantidad óptima de nitrógeno para la primera aplicación y la aplicación de una cantidad de nitrógeno correspondiente a la diferencia entre la cantidad más grande de nitrógeno y la cantidad óptima de nitrógeno durante una segunda aplicación de nitrógeno dos semanas después de la primera aplicación de nitrógeno.

El módulo de recomendaciones 152 puede programarse o configurarse, además, para crear recomendaciones para uno o más parámetros distintos, tales como la aplicación de agroquímicos de eficiencia mejorada, la fecha de plantación, la fecha de cosecha, las fechas de riego, los procedimientos de labranza y otros parámetros relacionados. Por ejemplo, si el sistema informático de inteligencia agrícola 130 recibe una propuesta para plantar un tipo particular de cultivo, el módulo asesor de fertilidad 136 puede crear simulaciones digitales de la disponibilidad de nutrientes mediante la utilización como entrada de varias fechas de plantación, varios procedimientos de labranza y varias fechas y cantidades de aplicación de nutrientes. El módulo asesor de fertilidad 136 puede seleccionar, luego, una simulación óptima que incluya la mínima cantidad de gasto de nutriente para recibir una ganancia. Además y/o alternativamente, el módulo asesor de fertilidad 136 puede seleccionar una simulación óptima que incluya la mínima cantidad de gasto de nutrientes que recibe la ganancia comparativamente más grande. Por ejemplo, si la aplicación de sesenta libras de nitrógeno por acre para un primer conjunto de parámetros devuelve una ganancia de veinte libras de nitrógeno por acre y una aplicación de cien libras de nitrógeno para un segundo conjunto de parámetros devuelve una ganancia de veinticinco libras de nitrógeno, el módulo asesor de fertilidad 136 puede seleccionar el primer conjunto de parámetros como parámetros óptimos porque genera la aplicación más eficiente de nitrógeno.

5. BENEFICIOS DE CIERTAS FORMAS DE REALIZACIÓN

Mediante la utilización de las técnicas descritas en este documento, una computadora puede arrojar los datos de la disponibilidad de nutrientes que de otro modo no estarían disponibles. Por ejemplo, las técnicas de este documento pueden determinar una porción del nitrógeno dentro del suelo de un campo que es susceptible de ser utilizada por los cultivos en el campo. El desempeño del sistema informático de inteligencia agrícola se mejora con el uso de las técnicas descritas en este documento que crean simulaciones precisas con alta eficiencia desde el punto de vista informático, reduciendo de este modo la cantidad de memoria usada para simular la futura disponibilidad de nutrientes para un cultivo. Además, las técnicas descritas en este documento pueden usarse para crear parámetros de aplicación para un controlador de aplicación, mejorando de este modo el rendimiento de los implementos de granja controlados por el controlador de aplicación.

6. EXTENSIONES Y ALTERNATIVAS

En la memoria descriptiva que antecede, se han descrito las formas de realización con referencia a numerosos detalles específicos que pueden variar entre una implementación y otra. La memoria descriptiva y las figuras, como consecuencia, deben considerarse en un sentido ilustrativo, en lugar de restrictivo. El único y exclusivo indicador del alcance de la divulgación, y lo que los solicitantes consideran el alcance de la divulgación, es el alcance literal y equivalente del pliego reivindicatorio que generan a partir de esta solicitud, en la forma específica en la cual se emiten dichas reivindicaciones.

REIVINDICACIONES**1. Un procedimiento para controlar un vehículo agrícola que comprende:**

recibir a través de una red en un sistema informático de inteligencia agrícola que comprende uno o más procesadores y memoria digital, datos digitales electrónicos que comprenden una pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos para uno o más campos;

mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en un módulo de temperatura del sistema informático de inteligencia agrícola, crear y almacenar en la memoria informática una primera simulación digital de la temperatura del suelo en uno o más campos sobre un periodo de tiempo particular en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos;

mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en un módulo de hidrología del sistema informático de inteligencia agrícola, crear y almacenar en la memoria informática una segunda simulación digital del flujo de agua a través de uno o más campos sobre un periodo de tiempo particular en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos;

mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en un módulo de cultivo del sistema informático de inteligencia agrícola, crear y almacenar una tercera simulación digital de una captación de agua de uno o más cultivos en uno o más campos sobre un periodo de tiempo particular en base, al menos en parte, al flujo de agua modelado a través de uno o más campos y la pluralidad de los valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos;

mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en el módulo del cultivo del sistema informático de inteligencia agrícola, crear y almacenar un cuarto modelo digital de una captación de un nutriente del uno o más cultivos en uno o más campos sobre un periodo de tiempo particular en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos;

mediante la utilización de la lógica programada de manera digital en un módulo asesor de fertilidad del sistema informático de inteligencia agrícola, crear una quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes en uno o más campos en base, por lo menos en parte, a la primera simulación de temperatura del suelo, la segunda simulación digital del flujo de agua, la tercera simulación digital de la captación de agua del uno o más cultivos, la cuarta simulación digital de la captación de nutrientes en el uno o más cultivos y una pluralidad de los valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos para el uno o más campos al:

calcular una disponibilidad inicial de nutrientes en un punto inicial en el tiempo que comprende una porción de los nutrientes en el suelo a la que el cultivo es capaz de acceder sobre el periodo de tiempo particular como una función de niveles iniciales de nutrientes en el suelo, composición inicial del suelo y humedad inicial del suelo;

calcular la captación del nutriente mediante el uno o más cultivos sobre el periodo de tiempo particular;

calcular la pérdida de nutrientes sobre el periodo de tiempo particular a la atmósfera;

calcular la pérdida de nutrientes sobre el periodo de tiempo particular mediante filtrado;

para un punto particular en el tiempo en el periodo de tiempo particular, modelar una cantidad del nutriente en el suelo al que el cultivo es capaz de acceder y utilizarlo como la disponibilidad inicial del nutriente menos la captación del nutriente antes del punto particular en el tiempo y la pérdida de nutrientes a la atmósfera y mediante filtrado;

mediante la utilización del módulo asesor de fertilidad, crear una o más recomendaciones de nutrientes para un módulo de aplicación del sistema informático de inteligencia agrícola;

mediante la utilización del módulo de aplicación, generar instrucciones para un controlador de aplicación basado en la una o más recomendaciones de nutrientes y enviar las instrucciones al controlador de aplicación;

en el que las instrucciones hacen que el controlador de aplicación controle un parámetro de funcionamiento de un vehículo agrícola para implementar la una o más recomendaciones de nutrientes.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el módulo de hidrología que crea y almacena la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos incluye, para cada incremento de tiempo dado de una pluralidad de incrementos de tiempo comprende:

crear una estimación inicial del flujo de agua en el uno o más campos en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan el contenido de humedad en el uno o más campos;

actualizar la pluralidad de valores que representan el contenido de humedad en el uno o más campos,

preferentemente en el que el módulo de hidrología altera de manera dinámica un tamaño de cada incremento de tiempo de la pluralidad de incrementos de tiempo en base, al menos en parte, a uno o más del contenido de humedad, el gradiente hidrológico o el tipo de suelo del uno o más campos.

3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el módulo de hidrología que crea y almacena la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos incluye determinar uno o más parámetros de forma para una curva de hidrología mediante la creación de una pluralidad de curvas que coinciden con parámetros conocidos y seleccionar un parámetro particular para la curva de hidrología que minimice una suma de diferencias cuadradas entre un punto de decrecimiento de la curva de hidrología y una capacidad del campo de la curva de hidrología.

4. El procedimiento de la reivindicación 1, que además comprende:

el módulo de hidrología, mediante la utilización de la lógica programada, que determina que la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos contiene uno o más perfiles de humedad no realistas;

el módulo de hidrología, en base a la determinación, que homogeneiza el contenido de humedad sobre un perfil del suelo del uno o más campos, o que además comprende

el módulo de hidrología que crea una o más recomendaciones de riego que se basan, al menos en parte, en la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos y la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos para uno o más campos;

mediante la utilización de un módulo de interfaz del dispositivo, enviar la una o más recomendaciones a un dispositivo informático administrador del campo, o que además comprende

mediante la utilización del módulo de hidrología, crear una o más recomendaciones de riego para un módulo de aplicación de un sistema informático de inteligencia agrícola;

mediante la utilización del módulo de aplicación, generar instrucciones para un controlador de aplicación en base a la una o más recomendaciones de riego y enviar las instrucciones al controlador de aplicación;

en el que las instrucciones hacen que el controlador de aplicación controle un parámetro de funcionamiento de un vehículo agrícola para implementar la una o más recomendaciones de riego.

5. El procedimiento de la reivindicación 1,

en el que la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos para uno o más campos incluyen los datos de entrada recibidos de un dispositivo informático administrador del campo que comprenden el tipo de cultivo, el tipo de suelo, la composición del suelo y los procedimientos de labranza aplicados al uno o más campos;

en el que el módulo asesor de fertilidad del sistema informático de inteligencia agrícola que crea y muestra la quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes incluye:

determinar un efecto sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo del uno o más campos a partir de la composición del suelo; y

determinar un efecto sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo del uno o más campos a partir de los procedimientos de labranza aplicados al uno o más campos.

6. El procedimiento de la reivindicación 1, que además comprende:

mediante la utilización del módulo asesor de fertilidad, crear una o más recomendaciones de estabilizador que se basan, al menos en parte, en la quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos y la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo, los datos del suelo y los datos meteorológicos para uno o más campos;

mediante la utilización de un módulo de interfaz del dispositivo, enviar la una o más recomendaciones de estabilizador a un dispositivo informático administrador del campo, o que además comprende:

mediante la utilización de la lógica programada en el módulo de cultivo del sistema informático de inteligencia agrícola, determinar una cantidad óptima de un nutriente para uno o más cultivos asociados con la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo;

determinar, en base a la quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos, que una cantidad simulada de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos es inferior a la cantidad óptima del nutriente para el uno o más cultivos;

- 5 mediante la utilización del módulo de interfaz del dispositivo móvil, enviar una notificación a un dispositivo informático administrador del campo que indique que la cantidad simulada de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos es inferior a la cantidad óptima del nutriente para el uno o más cultivos.

7. El procedimiento de la reivindicación 1, que además comprende:

mediante la utilización de un módulo de interfaz del dispositivo móvil, provocar la visualización en un dispositivo informático administrador del campo de un gráfico de la disponibilidad de nutrientes que indique, por lo menos:

- 10 una cantidad actual del nutriente disponible para uno o más cultivos del uno o más campos;
una cantidad pasada del nutriente disponible para el uno o más cultivos del uno o más campos;
una cantidad futura proyectada del nutriente disponible para el uno o más cultivos;
una incertidumbre en la cantidad futura proyectada del nutriente disponible para el uno o más cultivos; y
un estado de fertilidad del uno o más cultivos del uno o más campos que indique si un cultivo alcanzará sus requerimientos de nutrientes, que además comprende:
15 mediante la utilización de un módulo de interfaz del dispositivo móvil, provocar la visualización en un dispositivo informático administrador de la información del evento que incluye, para un evento particular:
una fecha del evento particular que afecta el nutriente disponible para el uno o más cultivos;
una descripción del evento particular que afecta el nutriente disponible para el uno o más cultivos; y
20 una indicación de una magnitud de un efecto sobre el nutriente disponible para el uno o más cultivos del evento particular.

8. El procedimiento de la reivindicación 1, que además comprende:

- 25 enviar, a través de una red a un dispositivo informático administrador del campo del sistema informático de inteligencia agrícola, los datos de disponibilidad de nutrientes que indiquen una disponibilidad del nutriente en el uno o más campos durante un transcurso del desarrollo del uno o más cultivos en base a la quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos;
recibir, a través de una red en el sistema informático de inteligencia agrícola del dispositivo informático administrador del campo, los datos digitales electrónicos que indiquen una aplicación propuesta del nutriente al uno o más campos;
30 mediante la utilización de la lógica programada digitalmente en el módulo asesor de fertilidad del sistema informático de inteligencia agrícola, actualizar la quinta simulación de la disponibilidad de nutrientes para que incluya la aplicación propuesta del nutriente al uno o más campos;
enviar, a través de la red al dispositivo informático administrador del campo del sistema informático de inteligencia agrícola, los datos actualizados de disponibilidad de nutrientes que indiquen una disponibilidad actualizada del nutriente en el uno o más campos durante el transcurso del desarrollo del uno o más cultivos en base a la quinta simulación digital actualizada de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos, preferentemente en el que la actualización de la quinta simulación de la disponibilidad de nutrientes para incluir la aplicación propuesta del nutriente al uno o más campos comprende:
35 generar una primera simulación actualizada de la disponibilidad de nutrientes con la aplicación propuesta del nutriente, mediante la utilización de un primer conjunto de parámetros específicos;
generar una o más simulaciones actualizadas de la disponibilidad de nutrientes, mediante la utilización de uno o más conjuntos de parámetros específicos;
en el que cada conjunto del uno o más segundos conjuntos de parámetros específicos incluye por lo menos un parámetro que es diferente al parámetro correspondiente en el primer conjunto de parámetros específicos;
40 determinar que la primera simulación actualizada de la disponibilidad de nutrientes es una simulación óptima de la disponibilidad de nutrientes;
45 en el que el envío de los datos actualizados de la disponibilidad de nutrientes al dispositivo informático administrador del campo comprende:

enviar los datos de la disponibilidad de nutrientes en base a la primera simulación actualizada de la disponibilidad de nutrientes junto con el primer conjunto de parámetros específicos, más preferentemente en el que el primer conjunto de parámetros específicos incluye una cantidad del nutriente aplicado, una fecha de aplicación del nutriente y una cantidad de un agroquímico de eficiencia mejorada aplicado.

5 9. Un sistema de procesamiento de datos que comprende:

una memoria;

uno o más procesadores acoplados a la memoria;

10 un módulo de interfaz del dispositivo móvil almacenado en la memoria, ejecutado mediante el uno o más procesadores, y configurado para hacer que el uno o más procesadores reciban, de un dispositivo informático administrador del campo, una pluralidad de valores que representen los datos del cultivo y los datos del suelo para uno o más campos;

15 un módulo de temperatura almacenado en la memoria, ejecutado mediante el uno o más procesadores, y configurado para hacer que el uno o más procesadores creen y almacenen en la memoria una primera simulación digital de la temperatura del suelo en el uno o más campos sobre un periodo de tiempo particular en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo y los datos del suelo para el uno o más campos;

20 un módulo de hidrología almacenado en la memoria, ejecutado mediante el uno o más procesadores, y configurado para hacer que el uno o más procesadores creen y almacenen en la memoria una segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos sobre un periodo de tiempo particular en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo y los datos del suelo para el uno o más campos;

25 un módulo de cultivo almacenado en la memoria, ejecutado mediante el uno o más procesadores, y configurado para hacer que el uno o más procesadores creen y almacenen en la memoria una tercera simulación digital de la captación de agua del uno o más cultivos en el uno o más campos y una cuarta simulación digital de una captación de un nutriente del uno o más cultivos en el uno o más campos sobre un periodo de tiempo particular en base, al menos en parte, al flujo de agua modelado a través del uno o más campos y una pluralidad de valores que representan los datos del cultivo y los datos del suelo para el uno o más campos;

30 un módulo asesor de fertilidad almacenado en la memoria, ejecutado por el uno o más procesadores, y configurado para hacer que el uno o más procesadores creen una quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos en base, por lo menos en parte, a la primera simulación de temperatura del suelo, la segunda simulación digital del flujo de agua, la tercera simulación digital de la captación de agua del uno o más cultivos, la cuarta simulación digital de la captación de nutrientes en el uno o más cultivos, y una pluralidad de los valores que representan los datos del cultivo y los datos del suelo para el uno o más campos, en el que el módulo asesor de fertilidad se configura para calcular una disponibilidad inicial de nutrientes en un punto inicial en el tiempo que comprende una porción de los nutrientes en el suelo a la que el cultivo es capaz de acceder sobre el periodo de tiempo particular como una función de niveles iniciales de nutrientes en el suelo, composición inicial del suelo y humedad inicial del suelo, para calcular la captación del nutriente mediante el uno o más cultivos sobre el periodo de tiempo particular, para calcular la pérdida de nutrientes sobre el periodo de tiempo particular a la atmósfera, para calcular la pérdida de nutrientes sobre el periodo de tiempo particular mediante filtrado, y para un punto particular en el tiempo en el periodo de tiempo particular, para modelar una cantidad del nutriente en el suelo a la que el cultivo es capaz de acceder y utilizarlo como la disponibilidad inicial de nutrientes menos la captación del nutriente antes del punto particular en el tiempo y la pérdida de nutrientes a la atmósfera y mediante filtrado; en el que el módulo asesor de fertilidad se configura además para hacer que el uno o más procesadores creen y almacenen en la memoria una o más recomendaciones de nutrientes basadas, al menos en parte, en la quinta simulación digital de disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos y la pluralidad de valores que representan datos de cultivos y datos del suelo, comprendiendo el sistema además:

50 un módulo de aplicación, almacenado en la memoria, ejecutado por el uno o más procesadores, y configurado para hacer que el uno o más procesadores generen instrucciones para un controlador de aplicación basado en la una o más recomendaciones de nutrientes y enviar las instrucciones al controlador de aplicación;

en el que las instrucciones hacen que el controlador de aplicación controle un parámetro de funcionamiento de un vehículo agrícola para implementar la una o más recomendaciones de nutrientes.

10. El sistema de procesamiento de datos de la reivindicación 9, en el que el módulo de hidrología está configurado, además, para hacer que uno o más procesadores:

55 creen y almacenen en la memoria la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos mediante, para cada incremento de tiempo dado de una pluralidad de incrementos de tiempo:

la creación de una estimación inicial del flujo de agua en el uno o más campos en base, al menos en parte, a la pluralidad de valores que representan el contenido de humedad en el uno o más campos;

la actualización de la pluralidad de valores que representan el contenido de humedad en el uno o más campos;

5 la alteración de manera dinámica un tamaño de cada incremento de tiempo de la pluralidad de incrementos de tiempo en base, al menos en parte, a uno o más del contenido de humedad, el gradiente hidrológico o el tipo de suelo del uno o más campos, o

10 en el que el módulo de hidrología está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores creen y almacenen en la memoria la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos mediante la determinación de uno o más parámetros de forma para una curva de hidrología mediante la creación de una pluralidad de curvas que coinciden con parámetros conocidos y seleccionar un parámetro particular para la curva de hidrología que minimice una suma de diferencias cuadradas entre un punto de decrecimiento de la curva de hidrología y una capacidad del campo de la curva de hidrología, o

15 en el que el módulo de hidrología está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores creen y almacenen en la memoria la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos mediante:

la determinación de que la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos contiene uno o más perfiles de humedad no realistas;

20 en base a la determinación, homogeneizar el contenido de humedad sobre un perfil del suelo del uno o más campos.

11. El sistema de procesamiento de datos de la reivindicación 9,

25 en el que el módulo de hidrología está configurado, además, para hacer que uno o más procesadores creen y almacenen en la memoria una o más recomendaciones de riego basadas, al menos en parte, en la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos y la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo y los datos del suelo para el uno o más campos, en el que el sistema comprende, además:

en el que el módulo de interfaz del dispositivo móvil está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores envíen la una o más recomendaciones de riego al dispositivo informático administrador del campo, o

30 en el que el módulo de hidrología está configurado, además, para hacer que uno o más procesadores creen y almacenen en la memoria una o más recomendaciones de riego basadas, al menos en parte, en la segunda simulación digital del flujo de agua a través del uno o más campos y la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo y los datos del suelo para el uno o más campos, en el que el sistema comprende, además:

35 un módulo de aplicación almacenado en la memoria, ejecutado por el uno o más procesadores, y configurado para hacer que el uno o más procesadores generen instrucciones para un controlador de aplicación basadas en la una o más recomendaciones de riego y envíe las instrucciones al controlador de la aplicación;

en el que las instrucciones hacen que el controlador de aplicación controle un parámetro de funcionamiento de un vehículo agrícola para implementar la una o más recomendaciones de riego.

40 12. El sistema de procesamiento de datos de la reivindicación 9:

en el que la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo y los datos del suelo para el uno o más campos incluyen los datos de entrada recibidos del dispositivo informático administrador del campo que comprenden el tipo de cultivo, el tipo de suelo, la composición del suelo y los procedimientos de labranza aplicados al uno o más campos;

45 en el que el módulo asesor de fertilidad está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores creen y muestren la quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes a través del uno o más campos mediante:

la determinación de un efecto sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo del uno o más campos a partir de la composición del suelo; y

50 la determinación de un efecto sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo del uno o más campos a partir de los procedimientos de labranza aplicados al uno o más campos.

13. El sistema de procesamiento de datos de la reivindicación 9:

en el que el módulo asesor de fertilidad está configurado, además, para hacer que uno o más procesadores creen y almacenen en la memoria una o más recomendaciones de estabilizador basadas, al menos en parte, en la quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos y la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo y los datos del suelo;

en el que el módulo de interfaz del dispositivo móvil está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores envíen la una o más recomendaciones de estabilizador al dispositivo informático administrador del campo.

14. El sistema de procesamiento de datos de la reivindicación 9:

en el que el módulo de cultivo está configurado, además, para hacer que uno o más procesadores determinen una cantidad óptima del nutriente para el uno o más cultivos asociados con la pluralidad de valores que representan los datos del cultivo;

en el que el módulo de cultivos está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores determinen, en base a la quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos, que una cantidad simulada de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos es inferior a la cantidad óptima del nutriente para el uno o más cultivos;

en el que el módulo de interfaz del dispositivo móvil está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores envíen una notificación al dispositivo informático administrador del campo que indique que la cantidad simulada de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos es inferior a la cantidad óptima del nutriente para el uno o más cultivos.

15. El sistema de procesamiento de datos de la reivindicación 9:

en el que el módulo de interfaz del dispositivo móvil está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores provoquen la visualización en el dispositivo informático administrador del campo de un gráfico de la disponibilidad de nutrientes que indique, por lo menos:

una cantidad actual del nutriente disponible para uno o más cultivos del uno o más campos;

una cantidad pasada del nutriente disponible para el uno o más cultivos del uno o más campos;

una cantidad futura proyectada del nutriente disponible para el uno o más cultivos;

una incertidumbre en la cantidad futura proyectada del nutriente disponible para el uno o más cultivos; y

un estado de fertilidad del uno o más cultivos del uno o más campos que indique si un cultivo alcanzará sus requerimientos de nutrientes, o

en el que el módulo de interfaz del dispositivo móvil está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores provoquen la visualización en el dispositivo informático administrador del campo de un gráfico de la información del evento que incluye, para un evento particular:

una fecha del evento particular que afecta el nutriente disponible para el uno o más cultivos;

una descripción del evento particular que afecta el nutriente disponible para el uno o más cultivos; y

una indicación de una magnitud de un efecto sobre el nutriente disponible para el uno o más cultivos del evento particular, o

en el que el módulo de interfaz del dispositivo móvil está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores envíen al dispositivo informático administrador del campo los datos de disponibilidad de nutrientes que indiquen una disponibilidad del nutriente en el uno o más campos durante un transcurso del desarrollo del uno o más cultivos en base a la quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos;

en el que el módulo de interfaz del dispositivo móvil está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores reciban del dispositivo informático administrador del campo los datos digitales electrónicos que indiquen una aplicación propuesta del nutriente al uno o más campos;

en el que el módulo asesor de fertilidad está configurado, además, para hacer que el uno o más procesadores actualicen la quinta simulación digital de la disponibilidad de nutrientes para que incluya la aplicación propuesta del nutriente al uno o más campos;

en el que el módulo de interfaz del dispositivo móvil está configurado, además, para hacer que el uno o

más procesadores envíen al dispositivo informático administrador del campo los datos actualizados de disponibilidad de nutrientes que indiquen una disponibilidad actualizada del nutriente en el uno o más campos durante el transcurso del desarrollo del uno o más cultivos en base a la quinta simulación digital actualizada de la disponibilidad de nutrientes en el uno o más campos.

Fig. 1

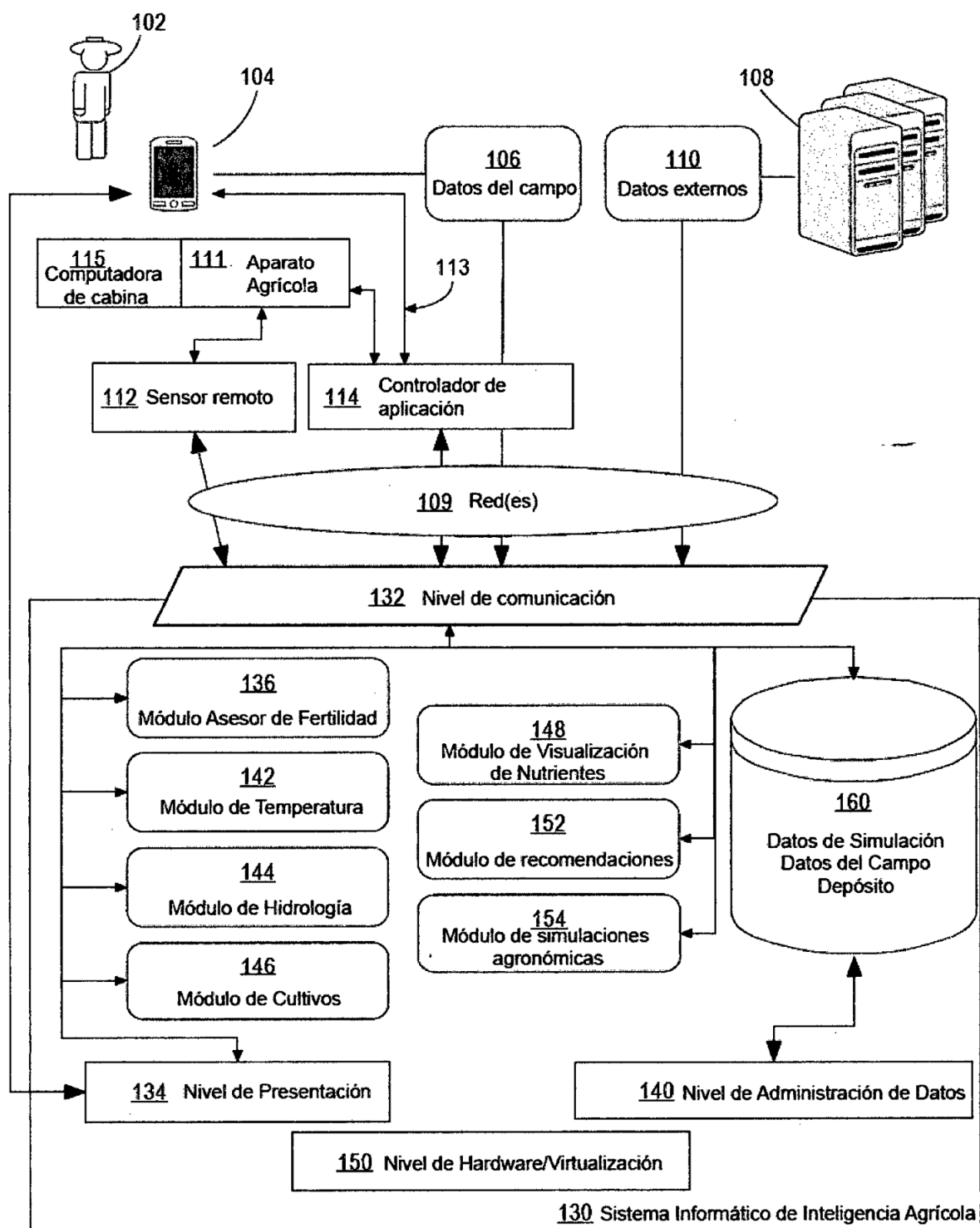
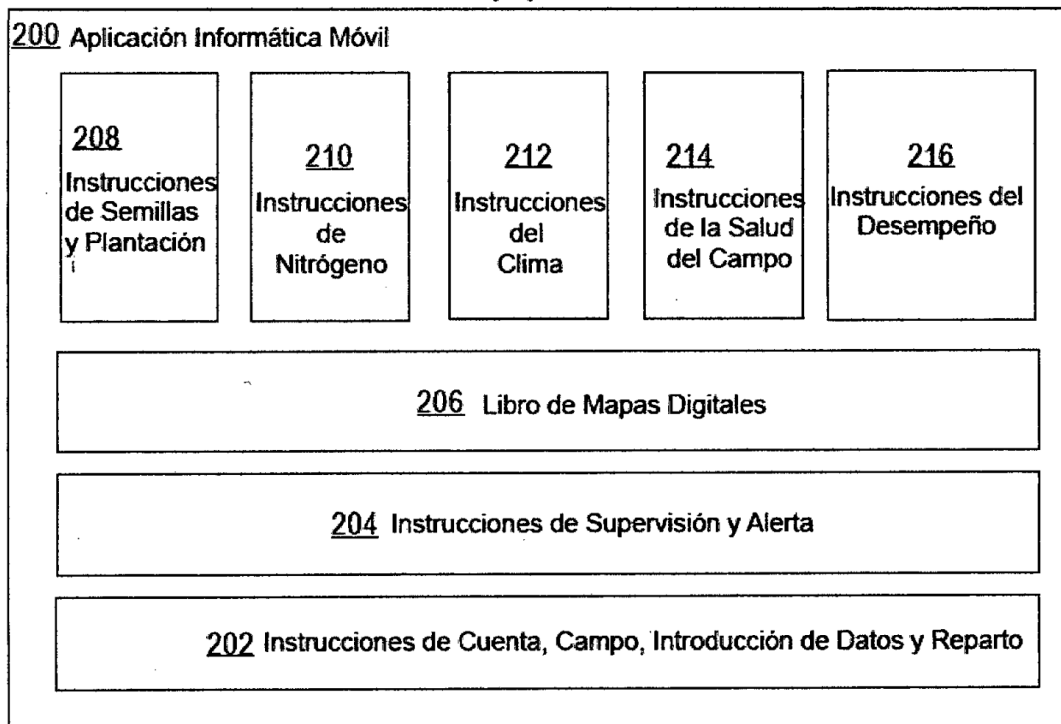


Fig. 2
(a)



(b)

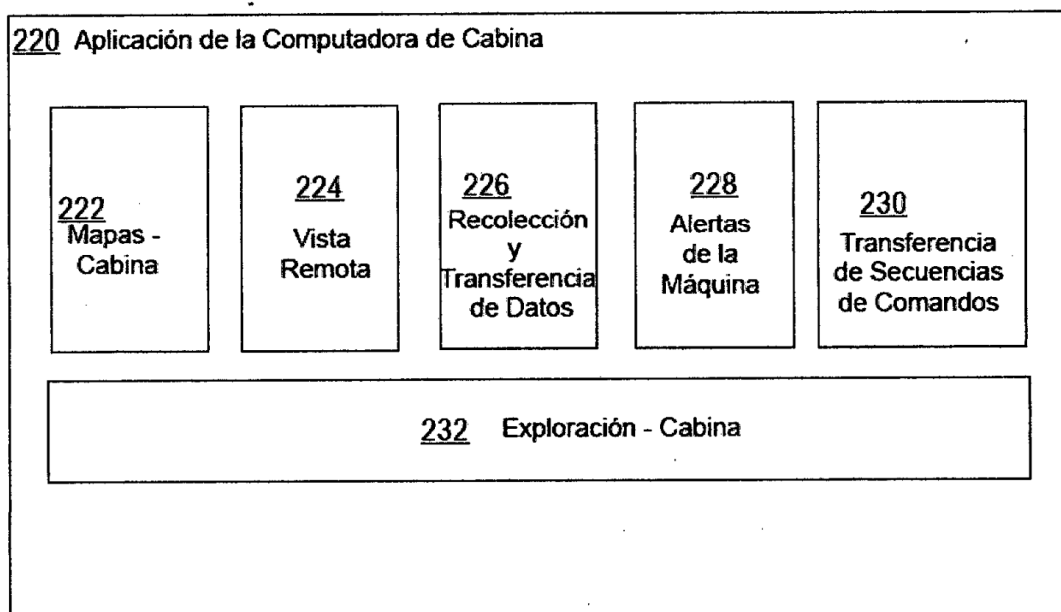


Fig. 3

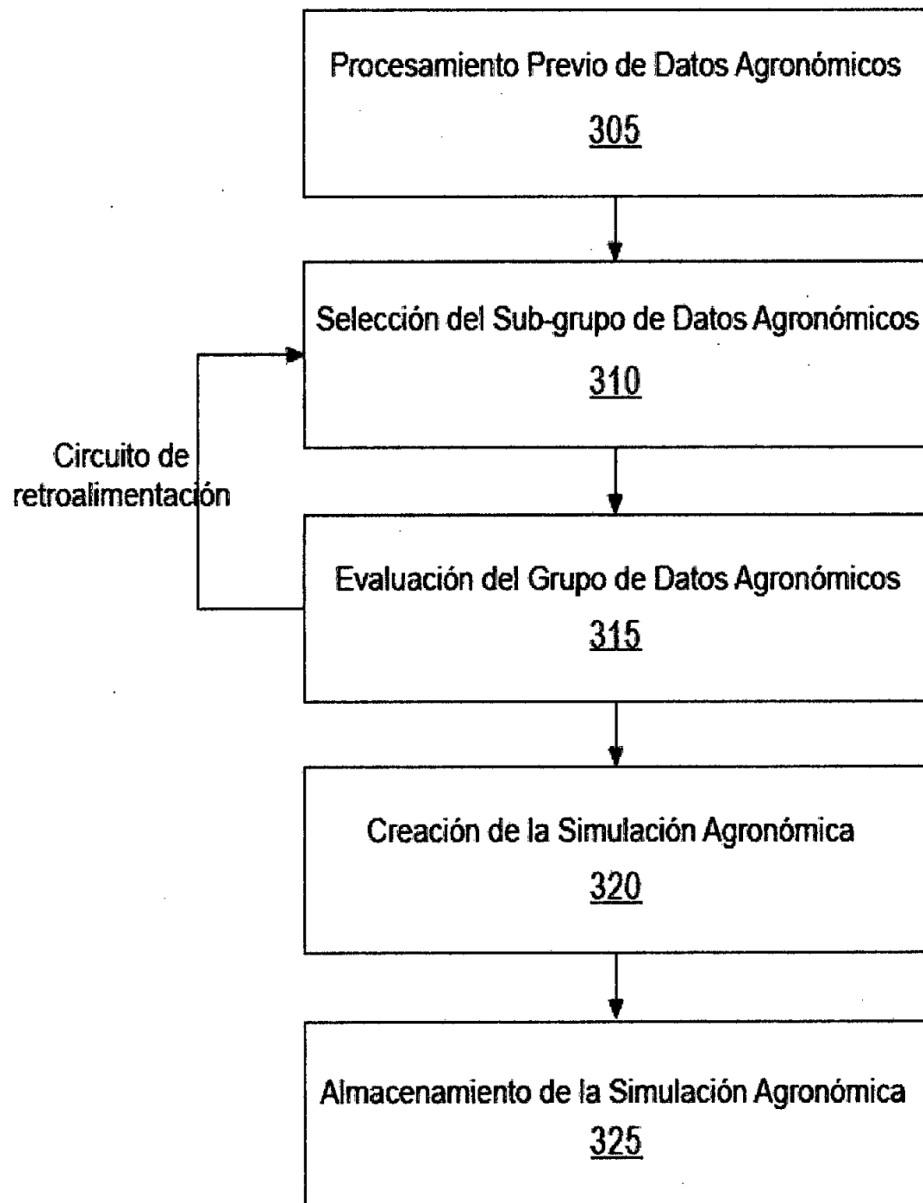
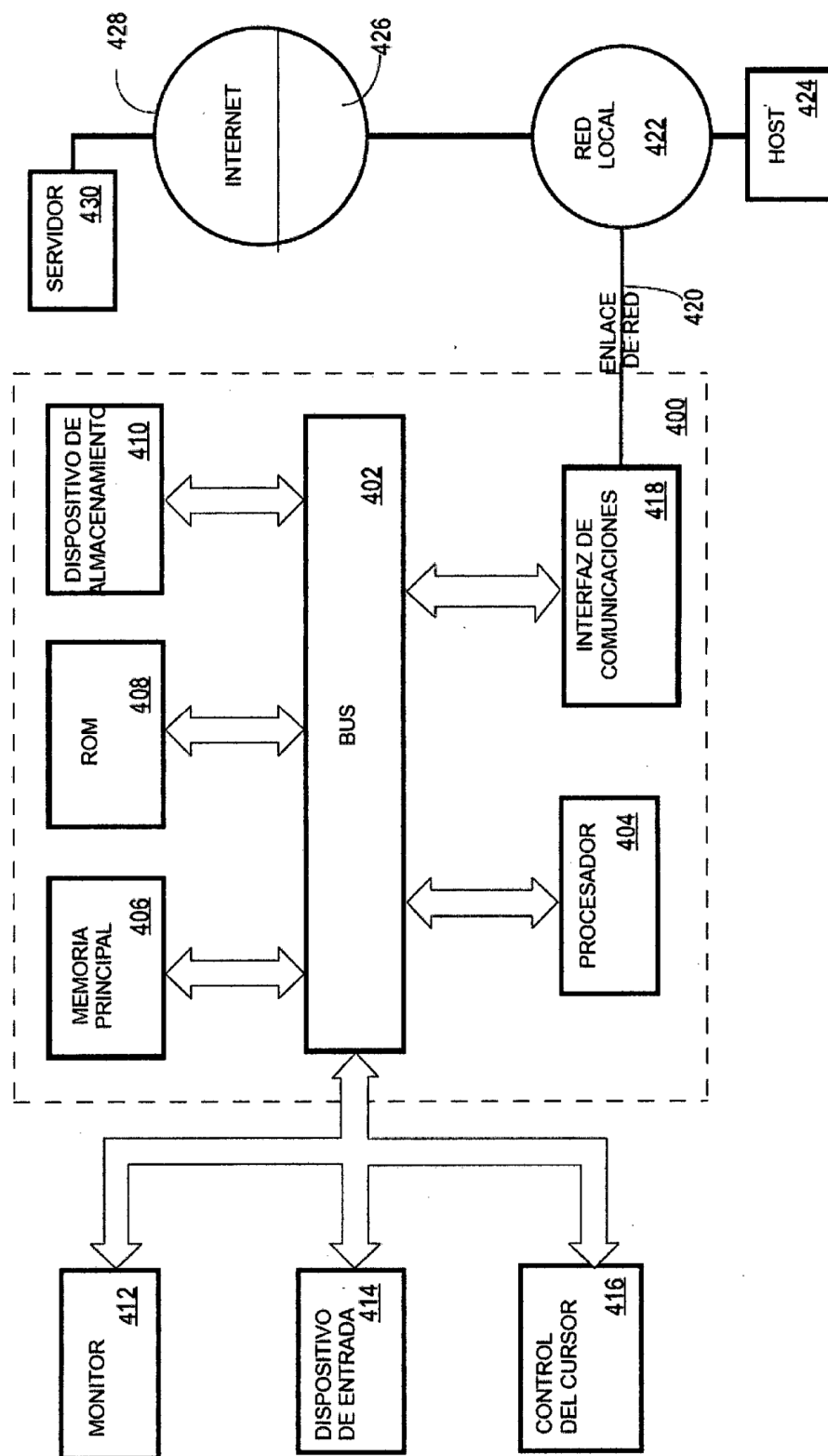


Fig. 4



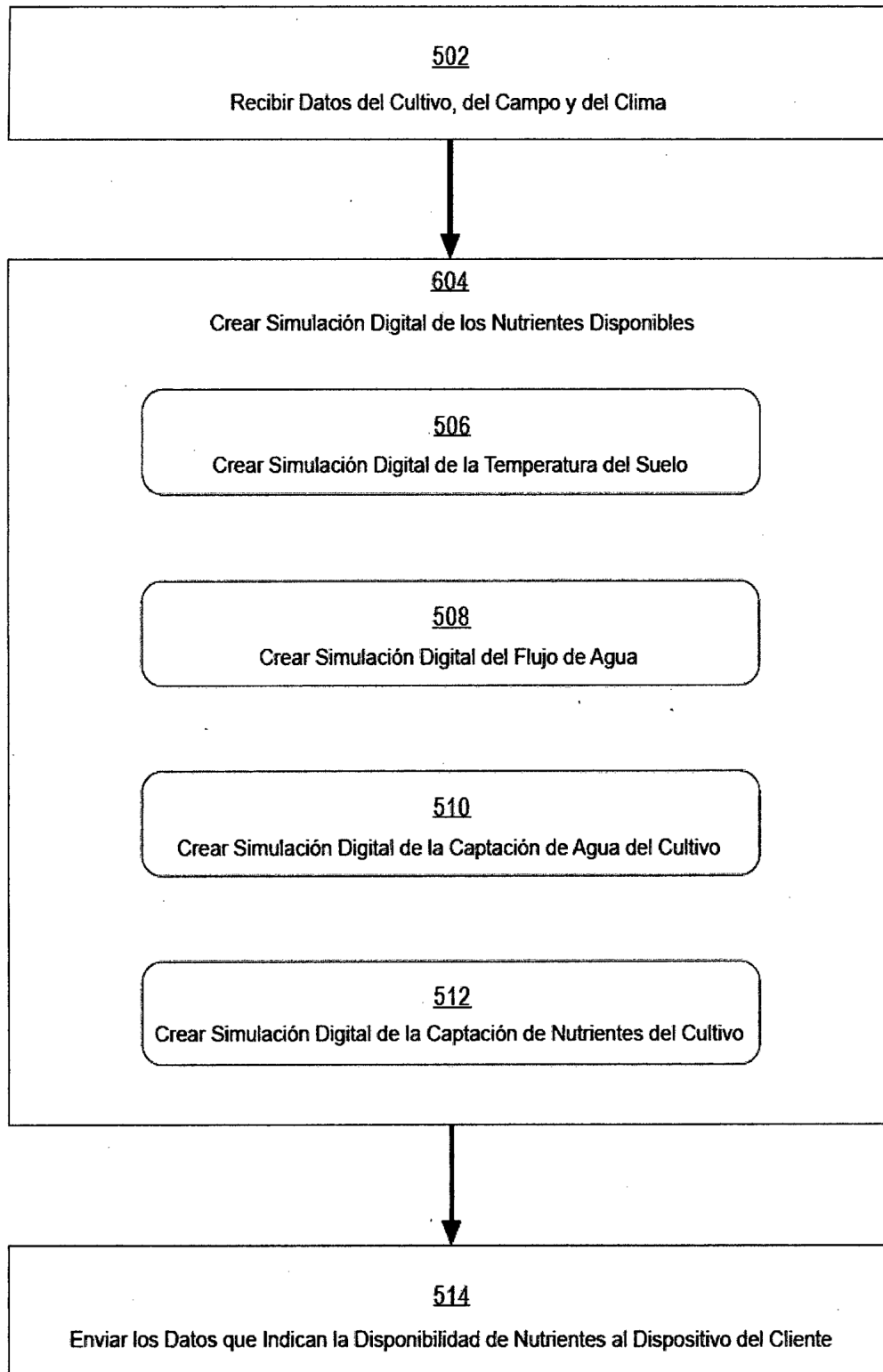


FIG. 5

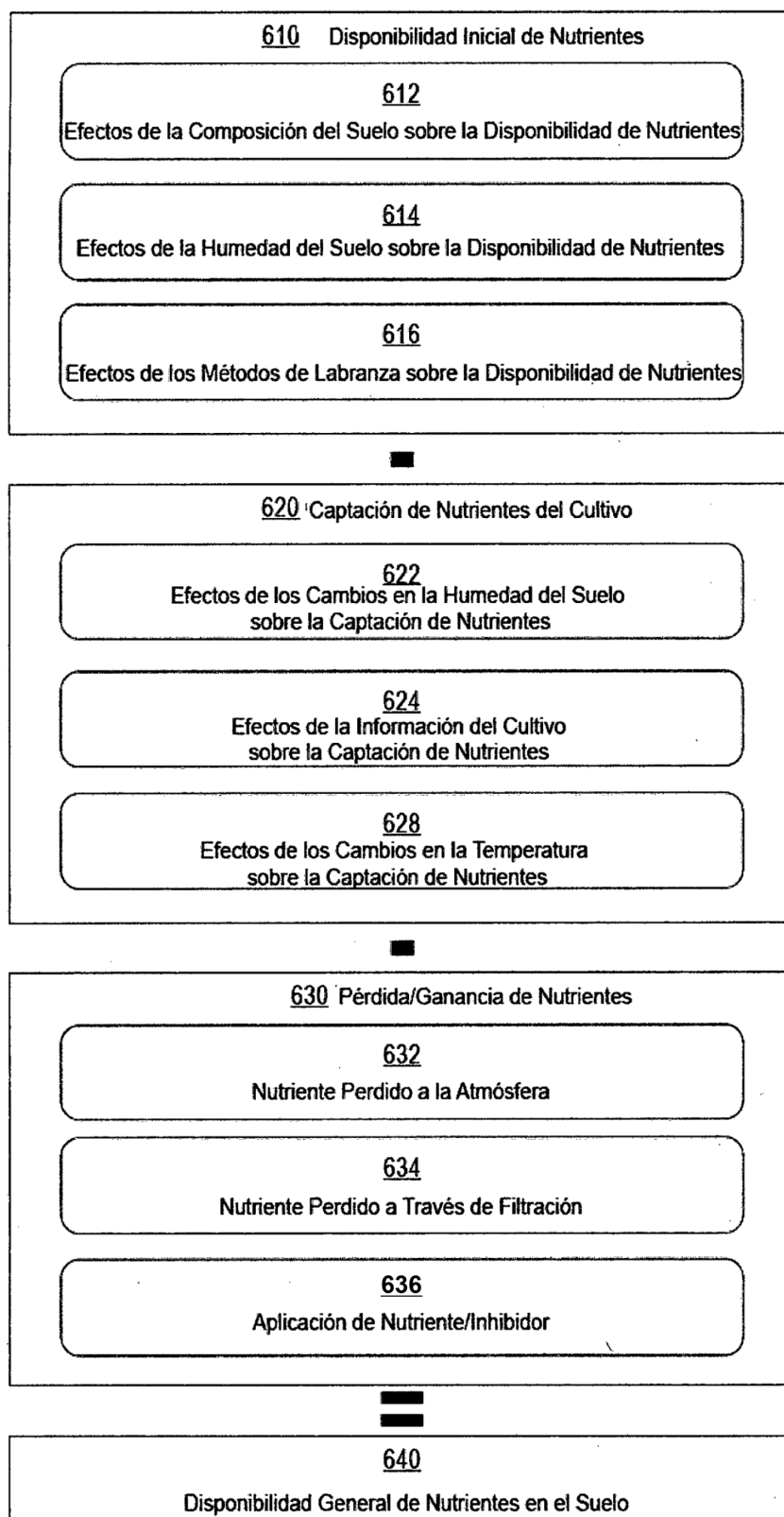


FIG. 6

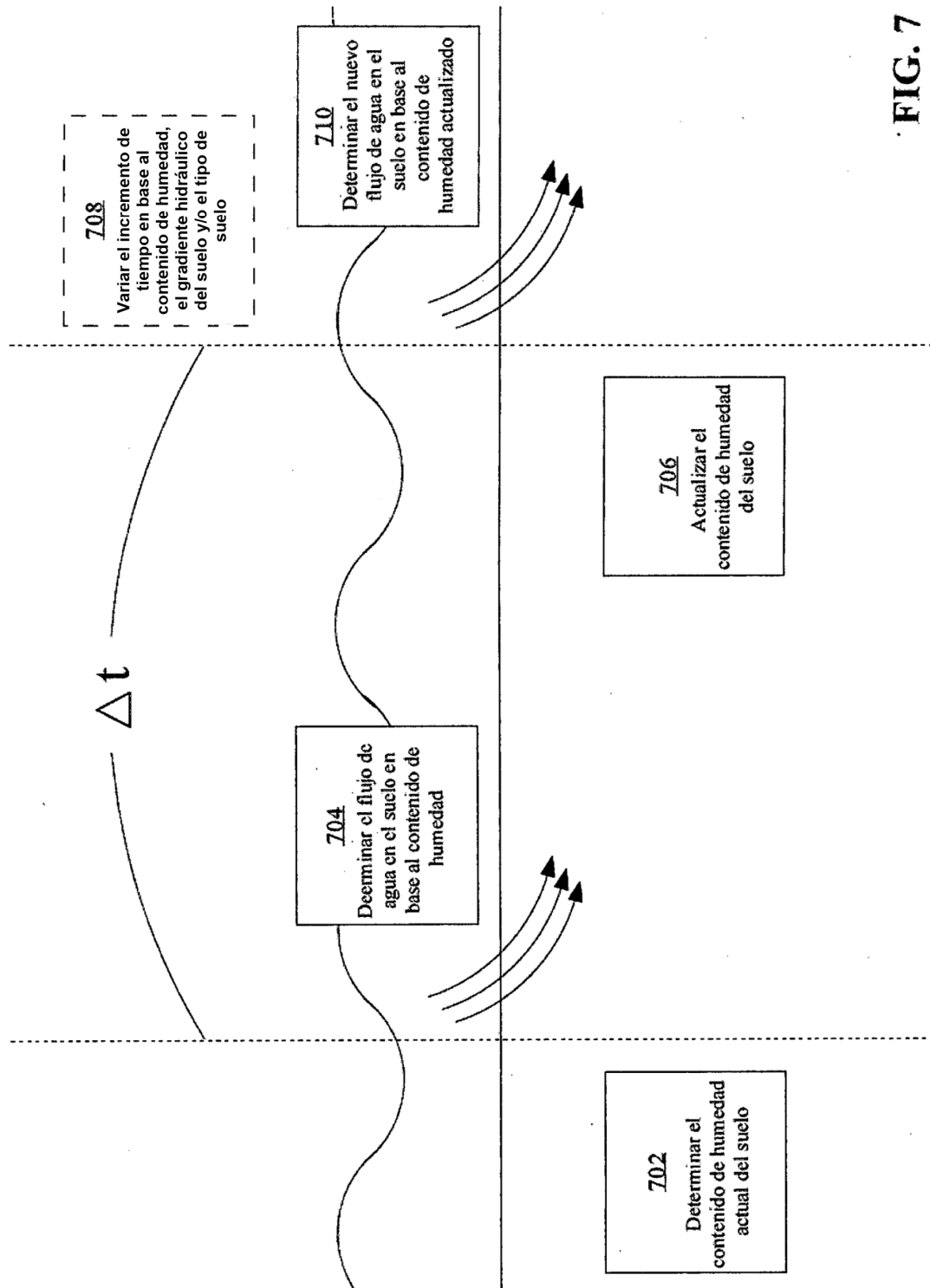


FIG. 7

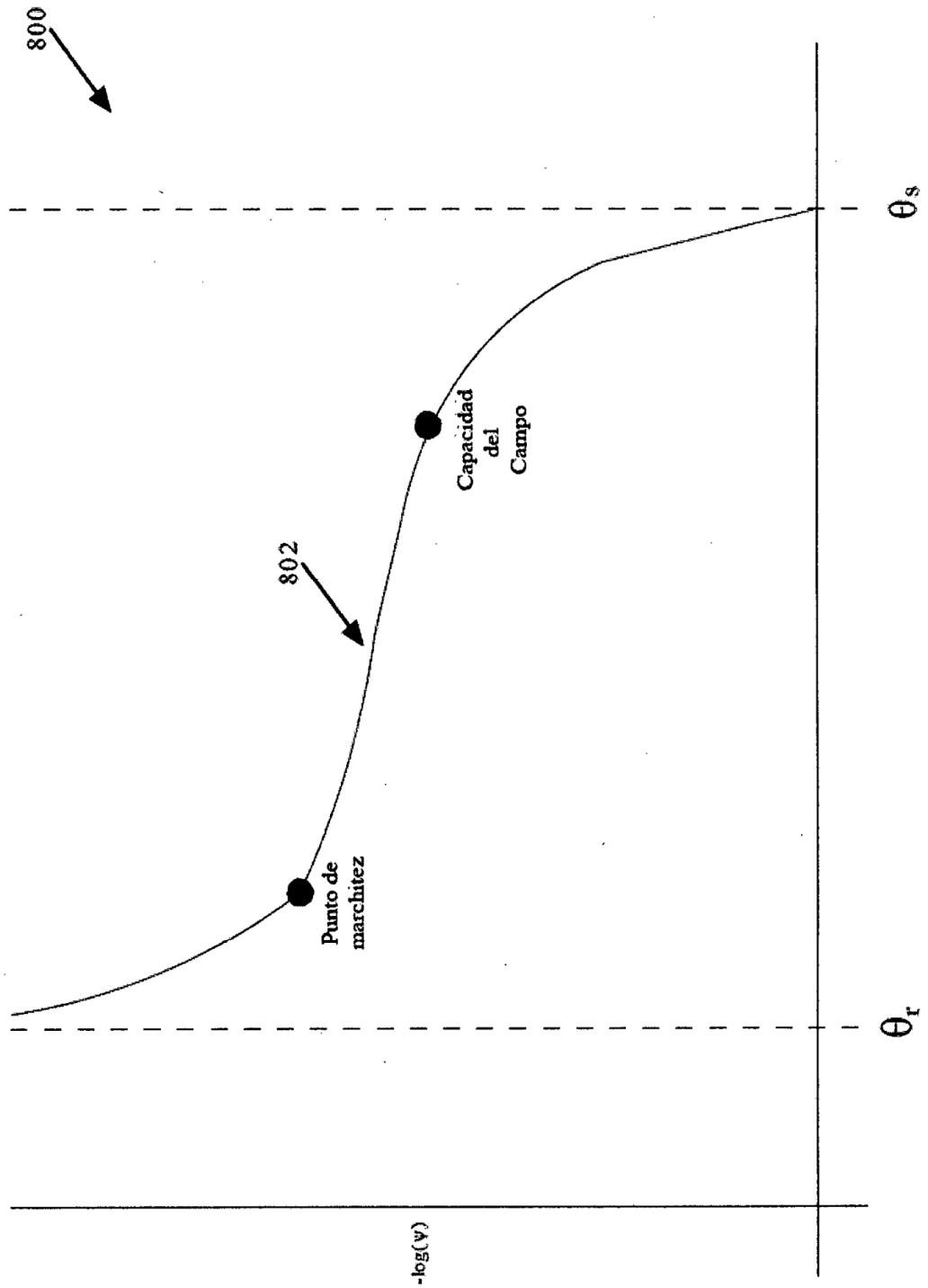


FIG. 8

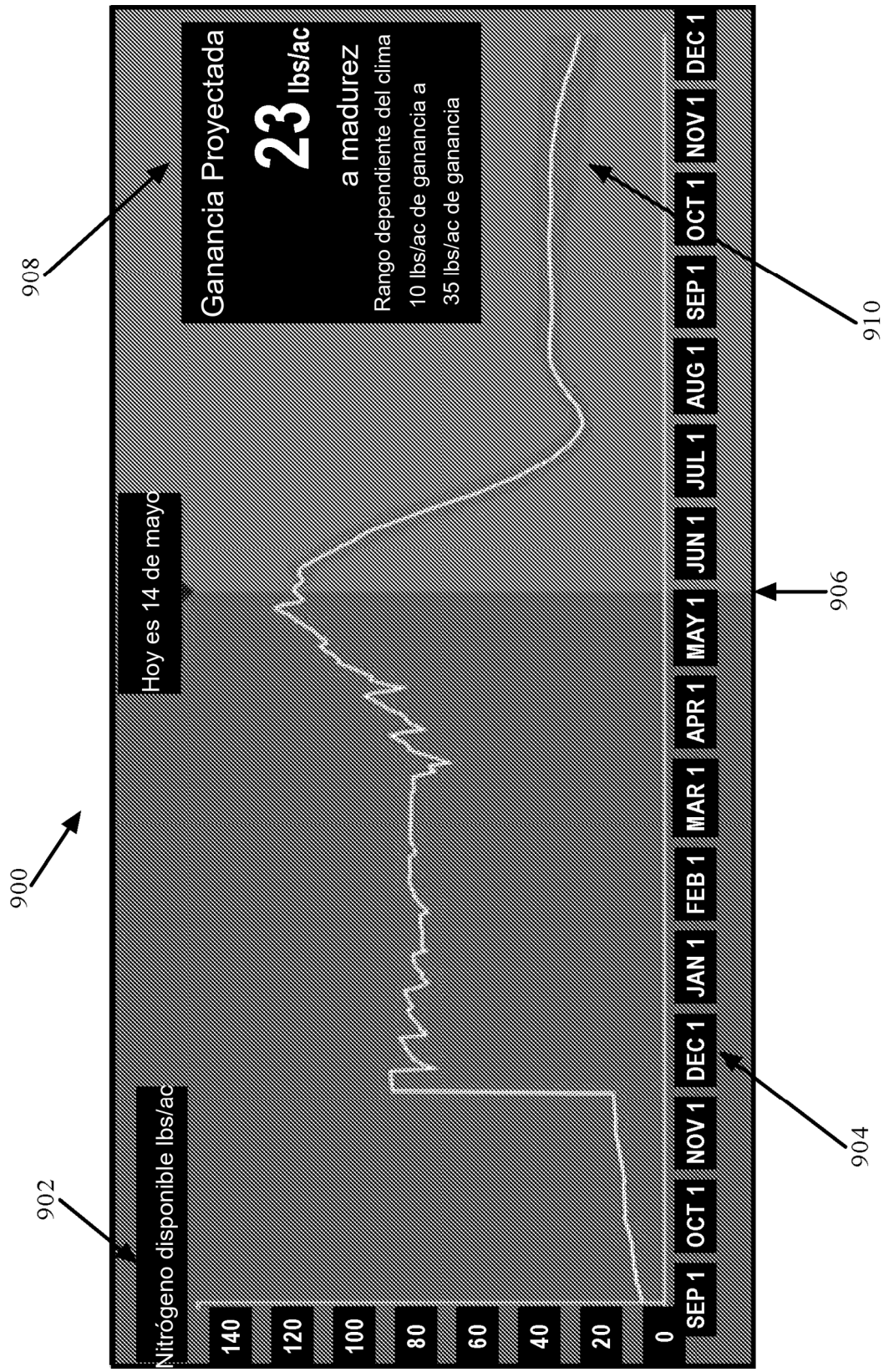


FIG. 9