



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Desarrollo y diseño gráfico de una in- terfaz para la gestión de fertilizantes en cabezales de riego

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Alejandro Rojas Urdillo

Director: Dolores Parras Burgos

Codirector: José Miguel Molina Martínez



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, 15/07/2021

ÍNDICE

1.Introduccion	6
2.Antecedentes	6
2.1. Fertirrigación	6
2.2. Solución madre, fertilizantes y plantas	9
3.Materiales y métodos	17
3.1. Fertilizantes	18
3.1.1. Base de datos fertilizantes solubles	18
3.1.2. Base de datos fertilizantes líquidos o ácidos	22
3.2 Compatibilidad de fertilizantes	23
3.3.1. Cálculo solución nutritiva	26
4.Resultados	39
4.1. Descripción de la aplicación	39
4.2. Resultados de los cálculos	46
4.2.1. Resultados de fertilizantes	46
4.2.2. Tabla de compatibilidades	47
4.2.3. Base de datos de cultivos y fases fenológicas	49
5.Discusión	53
6.Bibliografía	55
ANEXOS	56
ANEXO 1	56
ANEXO 2	57
ANEXO 3	62
ANEXO 4	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<u>Ilustración 1</u>	
<u>https://www.agroalimentariasclm.coop/images/cursos/ponencias/2019/fetirrigacion.pdf</u> <u>(Sánchez, s. f.)</u>	23
<u>Ilustración 2</u> <u>Compatibilidad de materiales más utilizados en fertigación (Ludwick, 2005)</u>	24
<u>Ilustración 3</u> <u>Carta de compatibilidades entre fertilizantes (Roddy, 2008)</u>	24
<u>Ilustración 4</u> <u>https://docplayer.es/52294708-Este-tercer-articulo-de-la-serie-abonos-minerales-tipos-y-uso-agricultura-fertilizacion-y-medio-ambiente-3a.html</u> <u>(L.Rincón, 2007)</u>	25
<u>Ilustración 5</u> <u>Captura Excel formulario</u>	26
<u>Ilustración 6</u> <u>Captura Excel formulario</u>	27
<u>Ilustración 7</u> <u>Captura Excel pantalla de cálculos</u>	28
<u>Ilustración 8</u> <u>Captura Excel pantalla Solver</u>	31
<u>Ilustración 9</u> <u>Panel principal formulario</u>	39
<u>Ilustración 10</u> <u>Pantalla de fertilizantes</u>	40
<u>Ilustración 11</u> <u>Pantalla de elección</u>	40
<u>Ilustración 12</u> <u>Pantalla de añadir fertilizante</u>	41
<u>Ilustración 13</u> <u>Pantalla de cultivos</u>	41
<u>Ilustración 14</u> <u>Pantalla añadir cultivo</u>	42
<u>Ilustración 15</u> <u>Pantalla de cálculos</u>	43
<u>Ilustración 16</u> <u>Pantalla elección fertilizantes</u>	44
<u>Ilustración 17</u> <u>Hoja de cálculo de verificación</u>	45
<u>Ilustración 18</u> <u>Base de datos fertilizantes solubles</u>	46
<u>Ilustración 19</u> <u>Base de datos fertilizantes líquidos y ácidos</u>	47
<u>Ilustración 20</u> <u>Tabla de compatibilidades 1</u>	48
<u>Ilustración 21</u> <u>Tabla de compatibilidades 2</u>	48
<u>Ilustración 22</u> <u>Leyenda tabla de compatibilidades</u>	48
<u>Ilustración 23</u> <u>Base de datos cultivos</u>	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Porcentajes de macronutrientes lixiviados.	17
Tabla 2 Masa molecular iones y cationes.....	19
Tabla 3 Valores de conversión. https://www.nutriterra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/factores_conversion_fert.pdf .	19
Tabla 4 Valencias aniones y cationes	20
Tabla 5 Valores dados dependiendo del error.	35
Tabla 6 Conductividad por cada meq/L.	38

1.Introduccion

Este trabajo ha consistido en crear una aplicación en Excel que realice la gestión de fertilizantes en cabezales de riego, es decir, el cálculo de la solución madre de cada uno de los depósitos, así como el caudal de cada uno de los inyectores en el agua de riego.

Además, se ha aprovechado la información obtenida de cada uno de los cultivos realizados, introduciendo las variables que influyen en cada uno de ellos en una base de datos, para estudiar la eficiencia obtenida según una serie de parámetros, obteniendo así una fórmula ajustada a cada cultivo y etapa fenológica a lo largo del tiempo.

De este modo, con este trabajo se pretende facilitar y agilizar los cálculos que se realizan a la hora de calcular la solución nutritiva de un cultivo, además de recoger los datos obtenidos y poder estudiarlos para así obtener una mejor agricultura de precisión cuya información es de difícil adquisición.

2.Antecedentes

2.1. Fertirrigación

La fertirrigación es el método de riego mediante el cual se aplican fertilizantes, solubles o líquidos, y componentes nutritivos necesarios para un tipo de planta a la vez que el agua de riego (Kafkafi et al., 2012).

Esta tiene como objetivo principal aprovechar al máximo el caudal de agua de riego para transportar los elementos nutritivos que absorbe la planta hasta las raíces, ayudando a reducir el consumo de agua, fertilizantes y energía a la vez que la contaminación. (Kafkafi et al., 2012).

Entre las ventajas frente a un sistema de riego convencional, según Leoncio M. B en 1998, están las siguientes:

Mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes. La planta absorbe mayor cantidad del fertilizante aplicado, además de que se mejora la uniformidad de aplicación y su distribución ayudando a reducir las pérdidas de este, así como la volatilización.

Adaptación del programa de fertirriego a la fase fenológica de la planta. Al ser la solución nutritiva dinámica, esta puede prepararse para cada una de las fases o modificar el caudal de inyección para cada una de estas.

Uso de suelos marginales. En suelos de tipo arenosos o pedregosos los cuales carecen de fertilidad se pueden conseguir altas producciones.

Ahorro de trabajo. Se requiere menor mano de obra, así como la aplicación se puede realizar a todas las horas del día.

Reducción de la compactación del suelo. Al no utilizarse maquinaria pesada se reduce la compactación debida al continuo tráfico de vehículos.

Reducción del daño mecánico al cultivo. Se elimina el daño a hojas, raíces y ramas completamente.

En cuanto a los inconvenientes se encuentran los siguientes:

Obturaciones. Estas se deben al mal uso de los fertilizantes los cuales producen precipitados y estos obstruyen las tuberías de riego debido a un error humano de cálculo, ya sea por incompatibilidad entre estos o una solubilidad insuficiente.

Dosificación. Es necesario aplicar correctamente la cantidad de fertilizante a la planta para no dañar a esta. Una elevada cantidad de estos productos puede inducir toxicidad alterando la producción final.

Como se puede deducir los inconvenientes asociados a la fertirrigación no se deben al proceso sino al error humano.

La fertirrigación empieza en los cabezales de riego donde se mezclan los fertilizantes dentro de las cubas y son inyectados al agua de riego. Después, esta solución madre es introducida por medio de tuberías a las plantas, como se puede ver en la Ilustración 1.

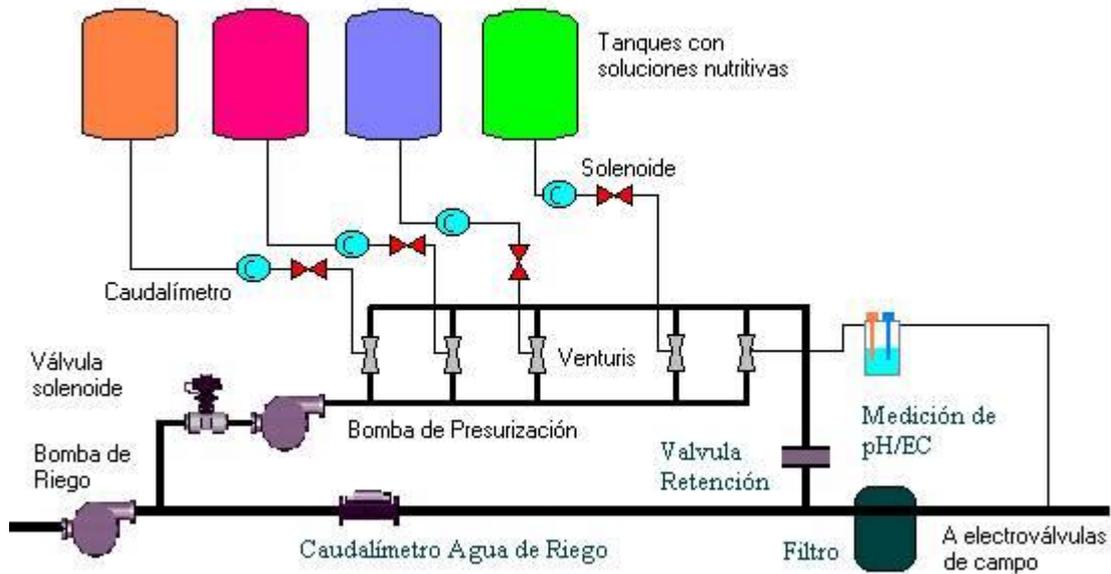


Ilustración 1 Sistema de fertirrigación.

Entre los dispositivos de inyección de los cabezales de riego están:

Venturi. Son los más simples, este se aprovecha de un efecto vacío debido al efecto Venturi que se produce por una disminución de la sección de paso produciendo así una diferencia de presiones y por ello un aumento de la velocidad.

Bombas inyectoras auxiliares. Estas se encargan de controlar estrictamente la dosis de agua de riego, la frecuencia y el tiempo de riego. Tienen un bajo caudal y alta presión y son resistentes a la corrosión.

Hay dos tipos, las de membrana y las centrifugas. Las primeras son perfectas para la inyección de ácidos para la inyección continua de un caudal bajo de estos. En cuanto a las últimas ofrecen un mayor caudal, es decir, una gran cantidad de solución madre en poco tiempo. Se escogerán unas u otras dependiendo de las dimensiones del cultivo.

Inyectores por succión positiva. Este tipo es el más fácil de incluir en el sistema ya que se conecta directamente al tanque que contiene la solución madre y funciona por diferencia de presiones, aunque es susceptible a la corrosión. También es necesario instalar una válvula para poder reanudar o terminar el proceso de inyección.

(INIA Chile)

2.2. Solución madre, fertilizantes y plantas

La solución nutritiva se define como la mezcla de agua con fertilizantes que contienen los nutrientes necesarios para las plantas. Los fertilizantes se definen como todo producto natural o sintético, orgánico o inorgánico que se añade al suelo o a las plantas para proporcionar los nutrientes contenidos en estos para su desarrollo, estos pueden dividirse en dos categorías, líquidos o solubles (A. Alarcón, 2002).

Por lo general, los fertilizantes solubles en fertirrigación se constituyen de sales disolventes en agua, es decir, al mezclarse con agua se separan en cationes y aniones aumentando la conductividad eléctrica del agua aumentando a su vez la presión osmótica de la mezcla, dificultando la absorción de la solución por la planta (A. Alarcón, 2002).

La cantidad de iones y cationes disueltos en la solución nutritiva produce un aumento de la presión osmótica como se ha mencionado anteriormente, siendo la relación entre estos dos directamente proporcional. Cuanto mayor sea la presión osmótica mayor energía deberá gastar la planta para absorber estos nutrientes, esto depende de cada planta siendo distinta la presión osmótica máxima en cada una de ellas. Por ello un aumento de la presión osmótica limita la absorción de nutrientes y agua por parte de la planta afectando así al rendimiento de esta (Chávez, Esteban and Preciado-Rangel, Pablo and Benavides-Mendoza, Adalberto, 2006).

Existen dos tipos fundamentales de nutrientes, los macronutrientes y los micronutrientes. Dentro de los macronutrientes, los más importantes son los nitrogenados (N), los fosfatados (P) y los potásicos (K), comúnmente conocidos como NPK. También dentro de los macronutrientes están el cloro (Cl), el magnesio (Mg), Calcio (Ca) y el sulfuro (S). En cuanto a los micronutrientes estos se componen principalmente de Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (B), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) y Nickel (Ni). Todos estos nutrientes son conocidos como esenciales para las plantas aun conteniendo estas más de 90 elementos (Taylor and Francis, 2011).

Las funciones que desempeñan cada uno de los nutrientes aportados, según Taylor y Francis en 2011, por la solución madre son las siguientes:

Hidrogeno (H). Juega un papel fundamental en el metabolismo de la planta. Es importante para el balance iónico y ejerce de rol principal en las relaciones energéticas de las células de la planta.

Oxígeno (O). El oxígeno es el componente molecular básico junto con el carbono constituyendo los carbohidratos, proteínas, grasas y ácidos nucleicos.

Nitrógeno (N). Al igual que el oxígeno este también es importante como componente de las proteínas y ácido nucleico.

Fosforo (P). Tiene un rol principal en la transferencia de energía y metabolismo de proteínas.

Potasio (K). Ayuda en la regulación osmótica y iónica. Además, funciona como un activador de muchas enzimas de carbohidratos y en el metabolismo proteico.

Calcio (Ca). El calcio está presente en la división celular y tiene un papel principal en el mantenimiento de la integridad de la membrana.

Magnesio (Mg). Es un componente de la clorofila y está presente en diversas reacciones de las enzimas.

Sulfuro (S). El sulfuro es parecido al fosforo presente en los procesos energéticos de la planta.

Cloro (Cl). Es esencial para la fotosíntesis además de ser un activador de enzimas.

Hierro (Fe). Actúa como transportador de electrones respiratorios involucrados en funciones metabólicas clave, como son la fotosíntesis y fijación del nitrógeno.

Cobre (Cu). Constituyente de un gran número de enzimas.

Zinc (Zn). Componente esencial de deshidrogenasas, proteinasas y peptidasas.

Boro (B). Fundamental para la síntesis de las paredes de las células y el metabolismo.

Molibdeno (Mo). Requerido para la asimilación del nitrógeno.

Manganeso (Mn). Involucrado en la fotosíntesis y componente de las enzimas arginasa y fosfotransferasa.

Según AGRI nova Science en 2021 el pH de la solución nutritiva puede llegar a afectar negativamente a la planta en cuanto a la absorción de nutrientes llegando estos incluso a precipitar y siendo imposible de absorber por parte de la planta. Estas también tienen un rango de pH en el cual tienen una absorción idónea de los nutrientes y si el pH sale fuera

de este rango la planta no podrá absorber todas las necesarias para una gran producción. Además, si el valor del pH es extremo puede llegar a dañar las raíces e intoxicar la planta.

El nitrógeno es aportado a la planta de muchas formas, pero las formas predominantes de los fertilizantes ricos en nitrógeno son la urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), fosfato monoamónico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), fosfato diamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), nitrato amónico (NH_4NO_3), y sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). En la ilustración 2 se puede observar cómo se descomponen estos fertilizantes en iones y cationes para que la planta pueda absorberlos.

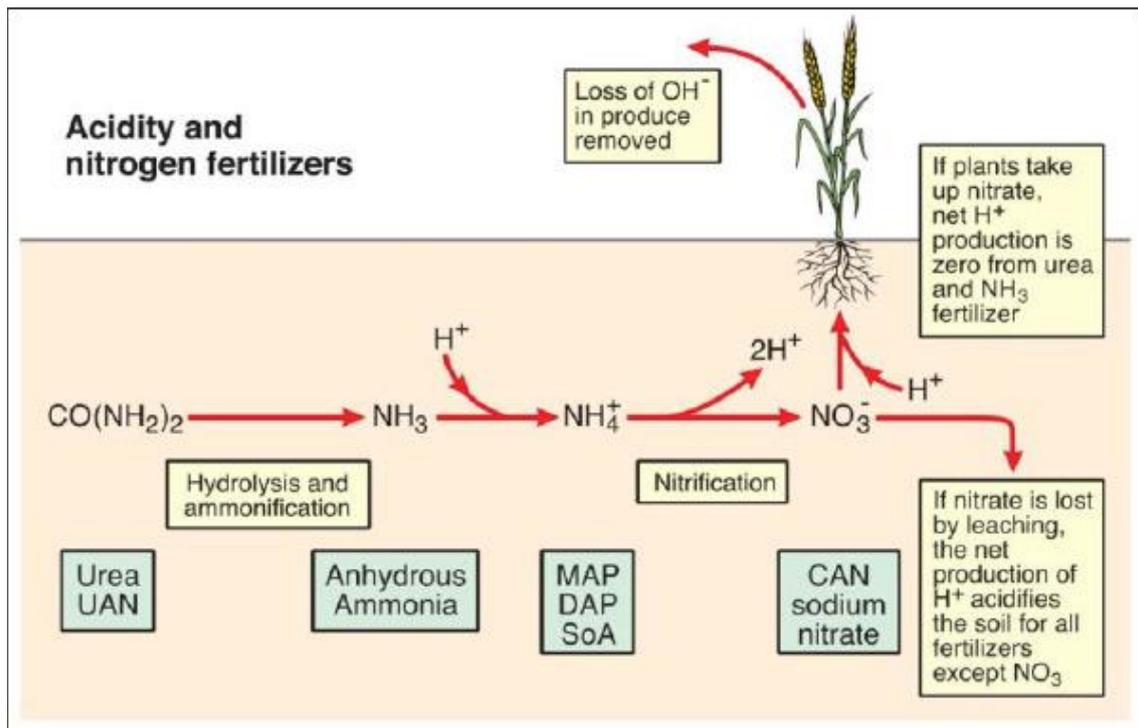


Ilustración 2 Ciclo del nitrógeno <https://www.cropnutrition.com/resource-library/fertilizers-and-soil-acidity>.

También se puede observar que aquellos fertilizantes que contienen amonio acidifican el suelo al ceder dos iones H^+ por cada molécula de amonio nitrificada a nitrato. El grado de acidificación depende de si el nitrato producido por el amonio es lixiviado o absorbido por la planta, de este modo es realmente difícil conocer el pH del suelo a priori. Algunos fertilizantes como la urea son menos acidificadores comparados con aquellos que contienen amonio pues uno de los iones H^+ es consumido en la conversión a amonio.

En cuanto al fósforo, la forma en la que es introducido al suelo puede variar la acidez de este debido a la pérdida o ganancia de iones H^+ . Se encuentra en varios tipos de fertilizantes como el ácido fosfórico (H_3PO_4), fosfato monoamónico ($(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$), fosfato diamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$). Pudiendo estos absorber o ceder iones H^+ variando

así la acidificación del suelo como se puede ver en la ilustración 3. A la dificultad de conocer el pH se le añade también este factor.

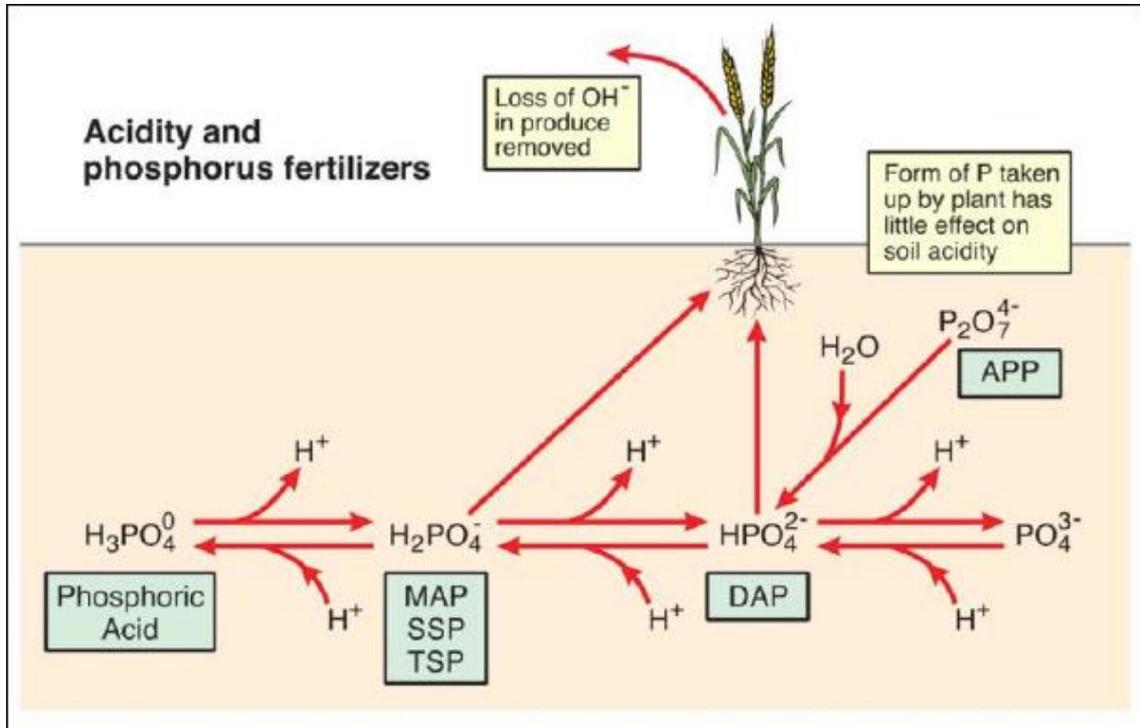


Ilustración 3 Ciclo del fósforo.

Por último, el sulfuro no se queda fuera. Este puede encontrarse en los fertilizantes como sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) o ácido sulfúrico (H₂SO₄). En cambio, el sulfuro no se añade en grandes cantidades lo que no representa un cambio importante en comparación con los dos elementos anteriormente mencionados. Aun así, este puede llegar a introducir dos iones H⁺ en el suelo como se ve en la ilustración 4.

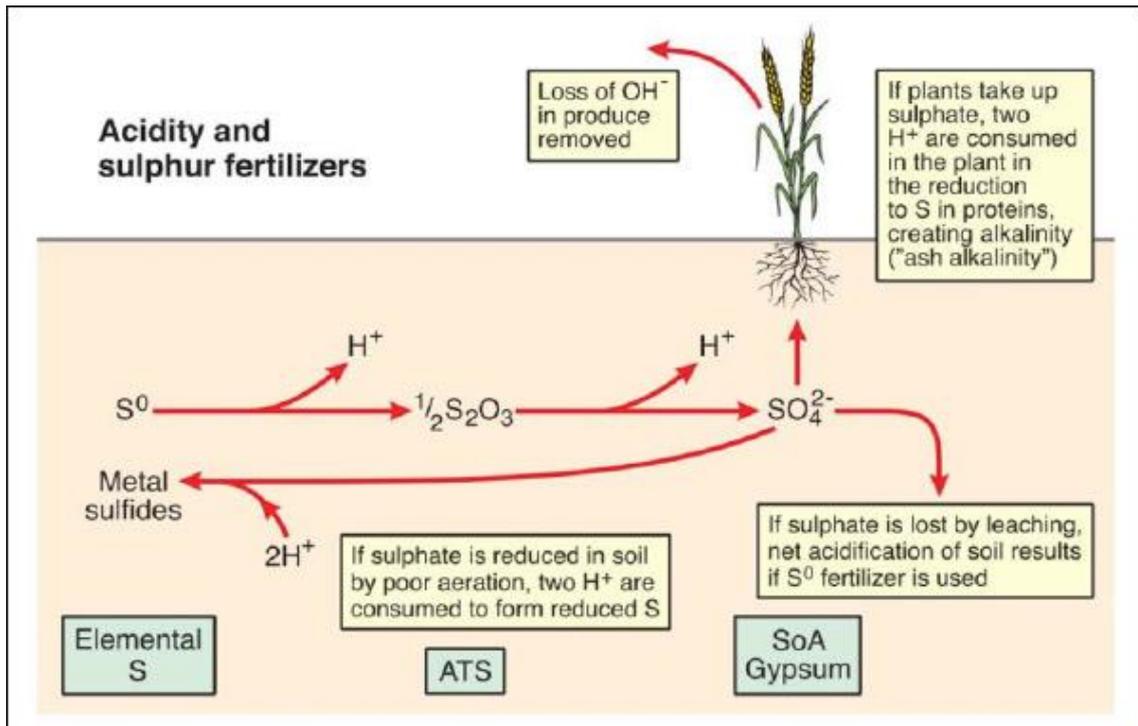


Ilustración 4 Ciclo del sulfuro.

Por parte del potasio, sus formas más habituales en los fertilizantes son el nitrato potásico (KNO_3), el fosfato mono potásico (KH_2PO_4) y cloruro potásico (KCl). En este caso al tratarse de una base fuerte con un ácido fuerte estos no acidifican el suelo.

En cuanto a los tres últimos macronutrientes, el calcio el cloro y el magnesio, sus formas más comunes en los fertilizantes son el nitrato cálcico ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), nitrato magnésico ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), sulfato magnésico (MgHPO_4), cloruro de calcio (CaCl_2) y cloruro potásico (KCl). Estos tres últimos no tienen una gran influencia, ya que, comparados con la cantidad de ellos presentes en el agua de riego, superando con creces la presente en la solución madre, no suponen un gran cambio en pH del suelo.

La acidificación del suelo no solo depende del tipo de fertilizante usado, ya sea básico ácido o neutro, también depende del tipo de planta ya que esta absorberá más o menos iones o cationes y estos se lixiviarán a la tierra o serán absorbidos obteniendo distintos valores de pH para cada una de ellas utilizando la misma solución nutritiva, dificultando aún más el resultado del pH resultante de la mezcla. De este modo se necesitaría una base de datos experimental con cada una de las plantas y especies para conocer el pH resultante (Johnson et al., 2013).

El clima también es un factor determinante a la hora de absorber los nutrientes y también influye en la solubilidad de los fertilizantes pudiendo llegar a disminuirla. Este

determina donde los cultivos pueden cultivarse o no, influye en la vegetación natural, las características del suelo, y el tipo de agricultura que puede practicarse en la zona. Existen dos tipos principales de clima, el tropical y el templado. Se suele asumir que el clima tropical es cálido y el templado frío, pero no siempre es así, en ocasiones el clima templado puede tener mayores temperaturas que el tropical. Las características más importantes de los climas en relación con la capacidad de cultivo son:

La temperatura. La temperatura del aire y el suelo son importantes y normalmente críticas para el cultivo de plantas. En las regiones templadas las temperaturas marcan la duración de la época de crecimiento con temperaturas bajas en primavera y otoño limitando esta temporada de crecimiento. En cuanto al clima tropical, la temperatura media es indirecta a la altitud, y cultivos con altas temperaturas óptimas se cultivan a altitudes más bajas que los crecen mejor a temperaturas más frías.

La temperatura de las raíces está influenciada por la intensidad, calidad y duración de la radiación solar, temperatura del aire y la conductividad térmica del suelo limitando en climas templados las fechas de siembra de los cultivos que necesitan temperaturas cálidas. La temperatura óptima para la mayoría de los cultivos y obtener una mayor producción se encuentra entre 20 y 30 °C al igual que la temperatura del suelo. (growth libro)

La humedad. La humedad disponible también es uno de los factores determinantes en la producción de cultivos. El agua es requerida por las plantas para la translocación de los nutrientes, fabricación de carbohidratos, y mantenimiento de la hidratación del fotoplasma. El rendimiento del cultivo puede reducirse debido a una elevada o muy baja humedad. La humedad en exceso reduce la aireación del suelo y de igual forma el oxígeno disponible para las raíces inhibiendo la absorción de nutrientes y agua, para el caso de plantas no acuáticas. Dependiendo del tipo de planta y de la temperatura los rangos de humedad varían enormemente la cantidad de humedad que pueden llegar a tolerar ya que tienen un aprovechamiento del agua mejor o peor.

La radiación solar es un factor importante en el desarrollo de la planta. Esta afecta a la fotosíntesis y como consecuencia a la producción final. De esta forma cambia mucho la forma en la que inciden los rayos del sol sobre la atmósfera dependiendo de la altitud a la que se plante el cultivo, existiendo diferencias entre los climas tropical y templado en la fotosíntesis máxima que pueden llegar a generar las plantas.

El suelo. Es el material mineral de la superficie terrestre que sirve como medio para el crecimiento vegetal. EN cuanto a las propiedades del suelo se encuentran las físicas, es decir, textura, estructura, consistencia y densidad. La textura se refiere a las capas del suelo, es decir, arena, limo y arcilla en el suelo. De acuerdo con el departamento de agricultura de U.S. (USDA) se clasifican los suelos en arenoso, limoso y arcilloso, pudiendo añadir franco arenoso y franco arcilloso. Estos se diferencian unos de otros en la distancia de separación de las que están compuestos siendo el arenoso el que más separación tiene y el arcilloso el que menos. Esto afecta a la capacidad de almacenamiento de agua que tiene el suelo, la aireación, la temperatura, la capacidad de intercambio de iones, y como resultado el crecimiento y producción del cultivo. Suele recomendarse el cultivo en suelos francos más que en arenosos o arcillosos. La estructura del suelo se refiere a la porosidad afectando está a la aireación, filtración del agua, penetración de las raíces, y actividades microbiológicas. Esta estructura se ve afectada por el proceso de encogimiento y agrandamiento debido a la acción del agua en el suelo. Aun así, la estructura del suelo puede ser modificada al contrario que la textura.

La consistencia es el grado de cohesión o adhesión del suelo. Esta consistencia está directamente relacionada con la estructura del suelo y su susceptibilidad a la erosión.

En cuanto a las propiedades químicas del suelo aparte de las mencionadas anteriormente respecto al pH y la conductividad eléctrica se encuentra la presencia de elementos tóxicos para las plantas en este. Entre estos elementos se encuentra un exceso de manganeso hierro y el más importante, el aluminio. El aluminio y manganeso suelen encontrarse en suelos ácidos mientras que el hierro aparece en áreas inundadas de arroz. La producción puede variar dependiendo del grado de toxicidad por estos elementos y de la planta, suelo y condiciones climáticas, pero aumentan cuadráticamente con el aumento de aluminio. La toxicidad limita la capacidad de absorción de nutrientes de la planta o con un desequilibrio de los nutrientes absorbidos.

Además, el aluminio inhibe el crecimiento radicular, la respiración celular, aumenta la viscosidad del fotoplasma, interfiere en las enzimas y reduce el contenido de azúcar. Todo esto conlleva un mal crecimiento de la planta.

Otro gran problema en la fertirrigación es la lixiviación, los nutrientes no son absorbidos directamente por la planta, sino que estos permanecen en el suelo disueltos y son absorbidos poco a poco por la planta, la lixiviación produce que estos nutrientes disueltos

en el suelo son lavados hacia capas inferiores que forman el suelo. Las consecuencias que produce este fenómeno ascienden desde un gasto económico por pérdidas de fertilizante y producción hasta producir un riesgo medioambiental por contaminación.

Uno de los elementos más lixiviados es el nitrógeno en su forma de nitrato (NO_3) pudiendo llegar a contaminar aguas subterráneas y afectando a la salud pública. Este proceso se ve afectado por factores como el clima, el suelo, la planta y el manejo del riego. En cuanto a la planta, cuando el sistema radicular de esta está bien desarrollado posee una mayor capacidad de absorción de nutrientes reduciendo la lixiviación y a la misma vez la parte aérea de la planta regula la cantidad de lluvia que cae al suelo impidiendo que esta se lleve consigo los nutrientes. El clima interfiere con la lluvia ya que esta disuelve los fertilizantes y arrastra estos consigo, siendo mayor la pérdida cuanto mayor sea la lluvia. Esto se puede prever y utilizar una menor agua de riego compensando así la cantidad de agua de riego a utilizar. El suelo afecta mediante sus propiedades físicas anteriormente explicadas, siendo la textura la más influyente y aquellos suelos con textura arenosa los más afectados por la lixiviación al haber más “hueco” por el que puede discurrir el agua. También depende en el suelo si este tiene un carácter ácido o base ya que la capacidad de intercambio catiónico siempre es mayor que la capacidad de intercambio aniónico, siendo los aniones los más lixiviados (Khalajabadi et al., s. f.).

Según Khalajabadi en 2015 los valores de lixiviación de los tres nutrientes principales, nitrógeno potasio y fosforo, bajo la experimentación llegaron a ser los siguientes tras 25 riegos con urea representados en la Tabla 1.

Tabla 1 Porcentajes de macronutrientes lixiviados.

Tipo de suelo	N lixiviado (%)	K lixiviado (%)	P lixiviado (%)	Ca lixiviado (%)	Mg lixiviado (%)
Franco arenoso	33	35	9	12	6
Franco arenoso	40	50	N/D	6	2
Franco	35	90	N/D	3	0
Franco arcilloso	20	23	3	13	9

Como se puede ver en la tabla 1 cada nutriente actúa distinto en cada tipo de suelo incluso obteniendo valores distintos para el mismo tipo de suelo, por ello es realmente difícil conocer cuál es la cantidad de fertilizante que va a ser lixiviado.

3. Materiales y métodos

Para la realización de las bases de datos se ha utilizado el programa del paquete office Excel. En este se han creado una serie de hojas de cálculo las cuales almacenan los datos recopilados y otras que realizan cálculos o almacenan información de estos.

En total existen 9 hojas distintas de cálculo, dos de ellas almacenan las bases de datos de los fertilizantes, solubles y líquidos, obtenidos de diversas páginas web de proveedores de estos como ICL, Fertiberia o ADP dentro de la categoría de fertirrigación, en otra se realizan los cálculos para realizar la solución nutritiva, otra para almacenar la base de datos de los cultivos con sus fases fenológicas y recomendaciones nutricionales, una a modo de panel principal para verificar que la información insertada es la correcta y poder corregirla si es necesario, otra que almacena las compatibilidades entre los fertilizantes,

otra que almacena los programas realizados para tener información y perfeccionar la solución nutritiva de cada cultivo y por último un “dashboard” para visualizar las relaciones de los factores que afectan al correcto crecimiento de las plantas.

Además de las hojas de cálculo, se han creado mediante la extensión de Excel VBA (VisualBasics) con código de programación una serie de pantallas externas a las hojas de cálculo para desplazarse por el Excel y sea más sencillo e interactivo la introducción de los datos para el cálculo de las soluciones nutritivas.

3.1. Fertilizantes

3.1.1. Base de datos fertilizantes solubles

Los fertilizantes solubles según el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, se rigen según el artículo 9 (Etiquetado) apartado 1 que dice:

En los «abonos CE», las etiquetas y toda la documentación o información que acompañe al producto deberán ajustarse a las normas sobre etiquetado del Reglamento (CE) n.º 2003/2003, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003. Los contenidos en elementos nutrientes se expresarán del modo siguiente:

- a) El nitrógeno, únicamente en forma de elemento (N).
- b) El fósforo y el potasio, en forma de óxido (H_2PO_5 y K_2O).
- c) El calcio, el magnesio, el sodio y el azufre, en forma de óxido (CaO , MgO , Na_2O y SO_3)

(RDL 506/2013, de 28 de junio)

Esto quiere decir, a modo de ejemplo un fertilizante te indicara el porcentaje de elementos nutrientes primarios que contiene, por ejemplo, nitrato potásico 13-0-46, teniendo un 13% de nitrógeno en forma de N, un 46% de potasio en forma de K_2O y 0% de los demás nutrientes principales.

Así para el cálculo de los elementos de cada uno de los fertilizantes he seguido el siguiente método.

3.1.1.1. Unidades de mmol/g

Para el cálculo en estas unidades es necesario conocer el peso molecular de cada uno de las moléculas, iones y cationes que componen los fertilizantes y absorben las plantas, de este modo he obtenido la siguiente tabla de masas moleculares

Tabla 2 Masa molecular iones y cationes.

Ion/Catión	Masa molecular
NO ₃ ⁻	62
H ₂ PO ₄ ⁻	97
SO ₄ ⁻²	96,1
HCO ₃ ⁻	61
Cl ⁻	35,5
NH ₄ ⁺	18
K ⁺	39,1
Ca ⁺²	40,1
Mg ⁺²	24,3
Na ⁺	23
H ⁺	1

Para transformar los valores de las moléculas de los fertilizantes a los iones o cationes que absorben las plantas se ha utilizado la siguiente tabla.

Tabla 3 Valores de conversión.

https://www.nutriterra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/factores_conversion_fert.pdf.

Para transformar	Multiplique por
N - NH ₄	1,287
N - NO ₃	4,425
P ₂ O ₅ - P	0,436
K ₂ O - K	0,83
CaO - Ca	0,715
MgO - Mg	0,603
S - SO ₃	3,105
S - SO ₄	2,5
Fe - FeO	1,29
Mn - MnO	1,29
Cu - CuO	1,25

B – B ₂ O ₃	3,22
Zn - ZnO	1,25

De este modo para pasar de las unidades de porcentaje a mmol/g de fertilizante tan solo habría que seguir el siguiente procedimiento:

$$\frac{\% \text{molécula}}{\text{g de fertilizante}} = \frac{\text{g de molécula}}{\text{g de fertilizante}} \quad (1.1)$$

$$\frac{\text{g de molécula}}{\text{g de fertilizante}} \cdot \text{valor de conversión} = \frac{\text{g de ion}}{\text{g de fertilizante}} \quad (1.2)$$

$$\frac{\text{g de ion}}{\text{g de fertilizante} \cdot \text{masa molecular de ión}} = \frac{\text{mol de ion}}{\text{g de fertilizante}} \quad (1.3)$$

$$\frac{\text{mol de ion}}{\text{g de fertilizante}} \cdot 1000 = \frac{\text{mmol de ion}}{\text{g de fertilizante}} \quad (1.4)$$

3.1.1.2. Unidades de meq/g

Para el cálculo en estas unidades es necesario conocer la valencia de cada uno de los iones o cationes en los que se descomponen los fertilizantes para ello se ha utilizado la siguiente tabla:

Tabla 4 Valencias aniones y cationes

Anión/Catión	Valencia
NO ₃ ⁻	1
H ₂ PO ₄ ⁻	1
SO ₄ ⁻²	2
HCO ₃ ⁻	1
Cl ⁻	1
NH ₄ ⁺	1
K ⁺	1
Ca ⁺²	2
Mg ⁺²	2
Na ⁺	1
H ⁺	1

De este modo para pasar de las unidades de porcentaje a meq/g de fertilizante tan solo habría que seguir el siguiente procedimiento añadiendo un paso más al cálculo anterior:

$$\frac{\%molécula}{g \text{ de fertilizante}} = \frac{g \text{ de molécula}}{g \text{ de fertilizante}} \quad (2.1)$$

$$\frac{g \text{ de molécula}}{g \text{ de fertilizante}} \cdot \text{valor de conversión} = \frac{g \text{ de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \quad (2.2)$$

$$\frac{g \text{ de ion}}{g \text{ de fertilizante} \cdot \text{masa molecular de ión}} = \frac{\text{mol de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \quad (2.3)$$

$$\frac{\text{mol de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \cdot 1000 = \frac{\text{mmol de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \quad (2.4)$$

$$\frac{\text{mmol de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \cdot \text{valencia} = \frac{\text{meq de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \quad (2.5)$$

3.1.1.3. Unidades de g/Kg

Para el cálculo en estas unidades se ha partido del cálculo en las unidades de mmol/g ya que estas son las más utilizadas en fertirriego, así se ha utilizado el siguiente procedimiento:

$$\frac{\%molécula}{g \text{ de fertilizante}} = \frac{g \text{ de molécula}}{g \text{ de fertilizante}} \quad (3.1)$$

$$\frac{g \text{ de molécula}}{g \text{ de fertilizante}} \cdot \text{valor de conversión} = \frac{g \text{ de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \quad (3.2)$$

$$\frac{g \text{ de ion}}{g \text{ de fertilizante} \cdot \text{masa molecular de ión}} = \frac{\text{mol de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \quad (3.3)$$

$$\frac{\text{mol de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \cdot 1000 = \frac{\text{mmol de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \quad (3.4)$$

Una vez obtenidos los mmol se hace el procedimiento inverso.

$$\frac{\text{mmol de ion}}{g \text{ de fertilizante}} \cdot \text{masa molecular} = \frac{g \text{ de ion}}{kg \text{ de fertilizante}} \quad (3.5)$$

3.1.2. Base de datos fertilizantes líquidos o ácidos

Para el cálculo de los fertilizantes líquidos es necesario además de conocer la riqueza en porcentaje, como en los solubles, la densidad de estos siendo los procedimientos de cálculo iguales que los anteriores, pero con distinta densidad. Para ello se sigue el siguiente procedimiento para las unidades de mmol/ml:

$$ml \text{ de fertilizante} \cdot densidad = g \text{ de fertilizante} \quad (4.1)$$

$$\frac{\% \text{ molécula}}{ml \text{ de fertilizante}} = g \text{ de molécula} \cdot \frac{densidad}{ml \text{ de fertilizante}} \quad (4.2)$$

$$g \text{ de molécula} \cdot \frac{densidad}{ml \text{ de fertilizante}} \cdot valor \text{ de conversión} = \frac{g \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizantes}} \quad (4.3)$$

$$\frac{g \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizantes} \cdot masa \text{ molecular ion}} = \frac{mol \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizante}} \quad (4.4)$$

$$\frac{mol \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizante}} \cdot 1000 = \frac{mmol \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizante}} \quad (4.5)$$

Para las unidades de meq/ml se ha seguido el mismo método que con los solubles:

$$ml \text{ de fertilizante} \cdot densidad = g \text{ de fertilizante} \quad (5.1)$$

$$\frac{\% \text{ molécula}}{ml \text{ de fertilizante}} = g \text{ de molécula} \cdot \frac{densidad}{ml \text{ de fertilizante}} \quad (5.2)$$

$$g \text{ de molécula} \cdot \frac{densidad}{ml \text{ de fertilizante}} \cdot valor \text{ de conversión} = \frac{g \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizantes}} \quad (5.3)$$

$$\frac{g \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizantes} \cdot masa \text{ molecular ion}} = \frac{mol \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizante}} \quad (5.4)$$

$$\frac{mol \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizante}} \cdot 1000 = \frac{mmol \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizante}} \quad (5.5)$$

$$\frac{mmol \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizante}} \cdot valencia = \frac{meq \text{ de ion}}{ml \text{ de fertilizante}} \quad (5.6)$$

Y por último para las unidades de g/L de fertilizante se ha procedido de la siguiente manera:

$$ml \text{ de fertilizante} \cdot densidad = g \text{ de fertilizante} \quad (6.1)$$

$$\frac{\% \text{ molécula}}{ml \text{ de fertilizante}} = g \text{ de molécula} \cdot \frac{densidad}{ml \text{ de fertilizante}} \quad (6.2)$$

$$g \text{ de molécula} \cdot \frac{\text{densidad}}{\text{ml de fertilizante}} \cdot \text{valor de conversión} = \frac{g \text{ de ion}}{\text{ml de fertilizantes}} \quad (6.3)$$

$$\frac{g \text{ de ion}}{\text{ml de fertilizantes} \cdot \text{masa molecular ion}} = \frac{\text{mol de ion}}{\text{ml de fertilizante}} \quad (6.4)$$

$$\frac{\text{mol de ion}}{\text{ml de fertilizante}} \cdot 1000 = \frac{\text{mmol de ion}}{\text{ml de fertilizante}} \quad (6.5)$$

$$\frac{\text{mmol de ion}}{\text{ml de fertilizante}} \cdot \text{masa molecular} = \frac{g \text{ de ion}}{L \text{ de fertilizante}} \quad (6.6)$$

3.2 Compatibilidad de fertilizantes

Es necesario conocer la compatibilidad entre fertilizantes, ya que en caso de que reacción dos compuestos que los componen puede generar gases tóxicos o corroer los tanques o crear precipitados que obstruyan las tuberías.

Para conocer cuáles de los fertilizantes pueden mezclarse en las mismas cubas se han recopilado varias tablas de distintos sitios web y creando una gran tabla con todas las compatibilidades.

	Nitrato amónico	Nitrato cálcico	Nitrato potásico	Nitrato Magnesio	Fosfato monoamónico	Ác. Fosfórico	Ác. nítrico	Sulfato potasio	Sulfato magnesio	NPK líquidos	Sulfatos de Fe, Zn, Cu y Mn	Quelatos de Fe, Zn, Cu y Mn
Nitrato amónico	-	N	S	S	X	N	N	S	S	N	S	S
Nitrato cálcico	N	-	N	S	N	N	N	X	N	N	N	N
Nitrato potásico	S	N	-	S	S	N	N	S	S	S	S	S
Nitrato Magnesio	S	N	S	-	S	N	N	N	S	S	S	S
fosfato monoamónico	N	N	S	S	-	N	N	S	S	N	N	N
Ác. Fosfórico	N	N	N	N	N	-	-	N	N	N	N	N
Ác. nítrico	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Sulfato potasio	S	N	S	S	S	N	N	-	S	N	N	N
Sulfato magnesio	S	N	S	S	S	N	N	C	-	N	N	S
NPK líquidos	N	N	N	N	N	N	N	N	N	-	N	N
Sulfatos de Fe, Zn, Cu y Mn	S	X	S	S	N	N	N	S	S	N	-	X
Quelatos de Fe, Zn, Cu y Mn	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	-

Ilustración 1 Compatibilidades entre fertilizantes.

<https://www.agroalimentariasclm.coop/images/cursos/ponencias/2019/fetirrigacion.pdf>(Sánchez, s. f.).

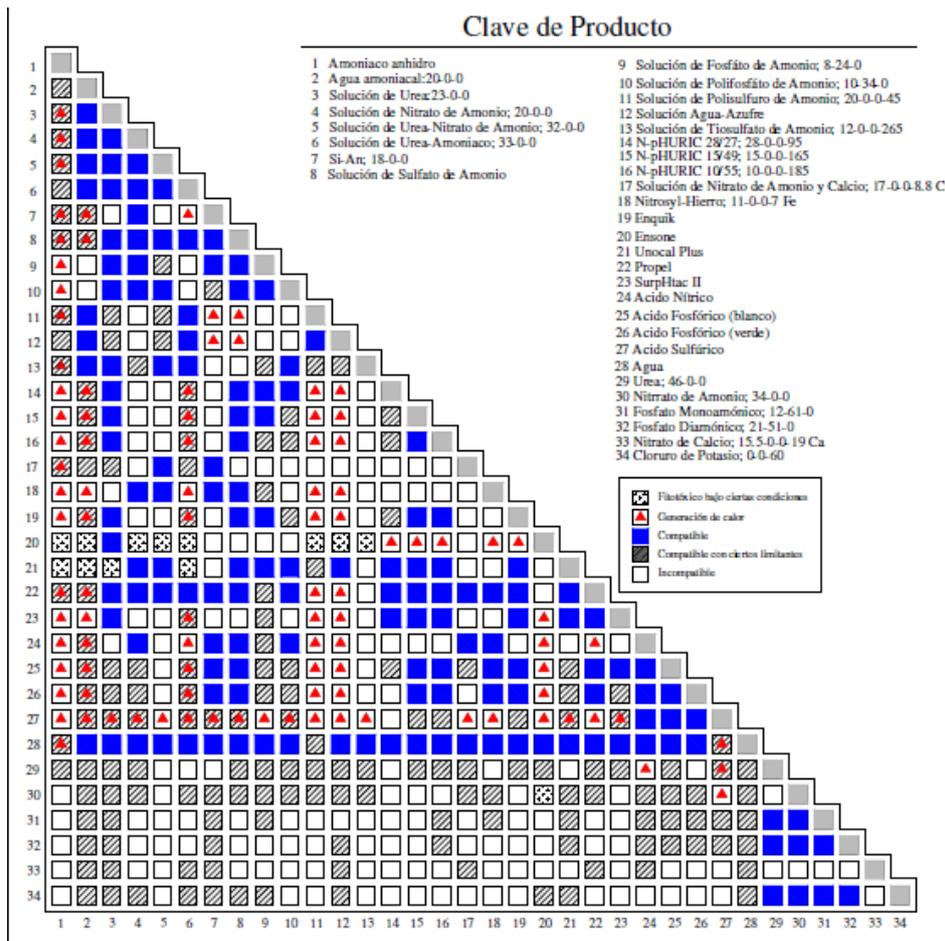


Ilustración 2 Compatibilidad de materiales más utilizados en fertigración (Ludwick, 2005).

	Urea	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de calcio	Nitrato de potasio	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Fosfato de amonio	Sulfato de Fe, Zn, Cu, Mn	Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Sulfato de magnesio	Acido fosfórico	Acido sulfúrico	Acido nítrico
Urea	√													
Nitrato de amonio	√	√												
Sulfato de amonio	√	√	√											
Nitrato de calcio	√	√	x	√										
Nitrato de potasio	√	√	√	√	√									
Cloruro de potasio	√	√	√	√	√	√								
Sulfato de potasio	√	√	R	x	√	R	√							
Fosfato de amonio	√	√	√	x	√	√	√	√						
Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	√	√	√	x	√	√	R	X	√					
Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	√	√	√	R	√	√	√	R	√	√				
Sulfato de magnesio	√	√	√	x	√	√	R	x	√	√	√			
Acido fosfórico	√	√	√	x	√	√	√	√	√	√	√	√		
Acido sulfúrico	√	√	√	x	√	√	R	√	√	√	√	√	√	
Acido nítrico	√	√	√	√	√	√	√	√	√	x	√	√	√	√

√ = compatible x = incompatible R = compatibilidad reducida

Ilustración 3 Carta de compatibilidades entre fertilizantes (Roddy, 2008).

Nitrato amónico		N	S	S	X	N	N	S	S	N	S	S
Nitrato cálcico	N		N	S	N	N	N	X	N	N	N	N
Nitrato potásico	S	N		S	S	N	N	S	S	S	S	S
Nitrato de magnesio	S	N	S		S	N	N	N	S	S	S	S
Fosfato monoamónico	N	N	S	S		N	N	S	S	N	N	N
Ácido fosfórico	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N	N
Ácido nítrico	N	N	N	N	N	N		N	N	N	N	N
Sulfato potásico	S	N	S	S	S	N	N		S	N	N	N
Sulfato de magnesio	S	N	S	S	S	N	N	X		N	N	S
NPK líquidos	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N	N
Sulfatos de Fe, Zn, Cu y Mn	S	X	S	S	N	N	N	S	S	N		X
Quelatos de Fe, Zn, Cu y Mn	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	

Ilustración 4 <https://docplayer.es/52294708-Este-tercer-articulo-de-la-serie-abonos-minerales-tipos-y-uso-agricultura-fertilizacion-y-medio-ambiente-3a.html> (L.Rincón, 2007).

Uniendo todas estas tablas de compatibilidades se ha creado una tabla que contiene todas las compatibilidades mostradas en el apartado de resultados.

3.3. Cálculo solución nutritiva y variables que intervienen.

3.3.1. Cálculo solución nutritiva

Para el cálculo de la solución nutritiva es necesario una serie de datos que deberá aportar el encargado del cultivo o finca. Para ello a la hora de comenzar un nuevo riego el Excel te abrirá la siguiente pantalla para introducir los datos:

Calculos

GENHIDRO

CÁLCULOS

1º Elige cultivo y fase

Fuente:

NO3-	H2PO4-	SO4-	HCO3-	Cl-	NH4+	K+	Ca+2	Mg+2	Na+	pH max	pH MIN	CE 100%(dS/m)	CE 75%(dS/m)	UNIDADES

Elige nutrición recomendada
 Introduce nutrición personal

2º Introduzca caudal y hectáreas

CAUDAL(m³/h) HECTÁREAS

3º Introduzca datos del agua

NO3-	H2PO4-	SO4-	HCO3-	Cl-	NH4+	K+	Ca+2	Mg+2	Na+	UNIDADES	pH

4º Tipo de suelo

ELEGIR FERTILIZANTES **VOLVER**

Ilustración 5 Captura Excel formulario.

En esta primero se deberá elegir el tipo de cultivo y fase fenológica en la que se encuentra este, de esta forma si este se encuentra dentro de la base de datos te ofrecerá una recomendación nutritiva y la fuente de donde esta ha sido obtenida. En caso de que esta no se considere correcta se podrá introducir las cantidades que se consideren adecuadas para ese tipo de cultivo y fase fenológica además de indicar las unidades en las que se encuentra, ya sean mili moles por litro o kilogramos por hectárea.

Una vez elegido la solución nutritiva que se desea obtener será necesario introducir el caudal de riego en metros cúbicos por hora y las hectáreas en las que se va a realizar el fertirriego.

El tercer paso sería introducir los iones y cationes que posee el agua de riego en cantidad de mili moles por litro de agua, debido a que estos afectarán a la cantidad de fertilizante que se va a utilizar.

Una vez introducido el dato anterior se deberá elegir el tipo de suelo para el cálculo de la lixiviación de nutrientes además del número de riegos y duración del actual o siguientes, necesarios para el cálculo de los caudales de inyección de la solución nutritiva en el agua de riego.

Ya introducidos estos datos llega la hora de elegir los fertilizantes a utilizar para poder complementar las necesidades introducidas anteriormente, de este modo pulsando el botón de “ELEGIR FERTILIZANTES” se abrirá la siguiente pantalla:



ELIJA LOS FERTILIZANTES

GENHIDRO

CUBA 1 CUBA 2 CUBA 3

TIPO
MARCA
FERTILIZANTE
RIQUEZA

TIPO
MARCA
FERTILIZANTE
RIQUEZA

TIPO
MARCA
FERTILIZANTE
RIQUEZA

FINALIZAR **VOLVER**

Ilustración 6 Captura Excel formulario.

Ahora el encargado se le darán hasta un máximo de tres cubas en cada cual podrá introducir un máximo de dos fertilizantes, así como la elección de el volumen de cada una de las cubas. Para la elección de los fertilizantes han sido ordenados en Tipo → Marca → Fertilizante → Riqueza. Siendo el tipo soluble o líquido y las demás opciones las vistas en las ilustraciones 1 y 2.

Primero el Excel pasa las unidades de los datos del agua de “mmol/L” a “g” cada ion o catión que contiene esta de la siguiente manera:

$$\frac{\text{mmol de ion}}{\text{L de agua}} \cdot \text{caudal de agua} \cdot \text{duración de riego} \cdot 1000 = \text{mmol de ion (7.1)}$$

$$\frac{\text{mmol de ion} \cdot \text{masa molecular}}{1000} = \text{g de ion (7.2)}$$

Siendo:

duración de riego = horas

caudal de agua = m³/h

De esta forma se tienen la cantidad en gramos que se tiene de cada ion o catión presentes en el agua en el caso de que los datos estén en mmol/L. Ahora toca pasar los datos de los fertilizantes obtenidos a g/g de fertilizante, el cálculo es el mismo que el explicado en el apartado 1.1.3., es decir:

% molécula/g de fertilizante = g de molécula/g de fertilizante

x molécula/g de fertilizante * valor de conversión = x ion/g de fertilizante

x ion/g de fertilizante / masa molecular ion = mol/g de fertilizante

mol/g de fertilizante * 1000 = mmol/g de fertilizante

Una vez obtenidos los mmol se hace el procedimiento inverso.

mmol/g de fertilizante * masa molecular = g/kg de fertilizante

El siguiente paso sería pasar los valores de la solución nutritiva a las unidades adecuadas, en este caso kg/Ha, suponiendo que las unidades introducidas no sean ya esas. Esto se realiza de la siguiente forma:

Primero el Excel detecta si las unidades introducidas son o no en kg/Ha

$$\frac{\text{mmol de ion}}{\text{L de agua}} \cdot \text{caudal} \cdot \text{duracion de riego} \cdot 1000 = \text{mmol de ion (8.1)}$$

$$\frac{\text{mmol de ion} \cdot \text{masa molecular}}{1000} = \text{g de ion (8.2)}$$

Siendo:

duración de riego = horas

caudal de agua = m³/h

Así, para obtener las cantidades necesarias a aportar al cultivo se le resta a la solución nutritiva las cantidades aportadas por el agua:

$$\text{solución nutritiva} \cdot \text{hectareas} \cdot 1000 - \text{nutrientes del agua} = \text{nutrientes necesarios a aportar (9)}$$

Siendo:

solución nutritiva = kg/Ha

nutrientes disueltos en el agua = g

nutrientes necesarios para aportar = g

Finalmente tenemos los fertilizantes en unidades de “g/Kg” de fertilizantes y los nutrientes para aportar en unidades de “g” y se pueden dar varios casos, un sistema de ecuaciones compatible determinado (ecuaciones = N.º incógnitas) o un sistema de ecuaciones compatible indeterminado.

En el primero de los casos la solución es exacta, o casi exacta, pero en el segundo es necesario hacer una aproximación a los nutrientes necesarios para aportar ya que es un sistema imposible de resolver.

La elección para el sistema se ha realizado mediante la opción de Excel “Solver”, esta opción es un programa utilizado para realizar un análisis y dar con un valor óptimo de una determinada celda dentro de una hoja de cálculo Excel, esta celda es llamada celda

objetivo. Esta celda está restringida por una serie de fórmulas impuestas en otras celdas y que varían el valor de la celda objetivo. De este modo, “Solver” cambia el valor de otras celdas elegidas por el usuario que están vinculadas con las celdas que contienen las fórmulas cambiando así el valor de la celda objetivo y llegando al valor deseado indicado por el usuario.

Al iniciar el comando “Solver” se obtiene una pantalla emergente tal que así:

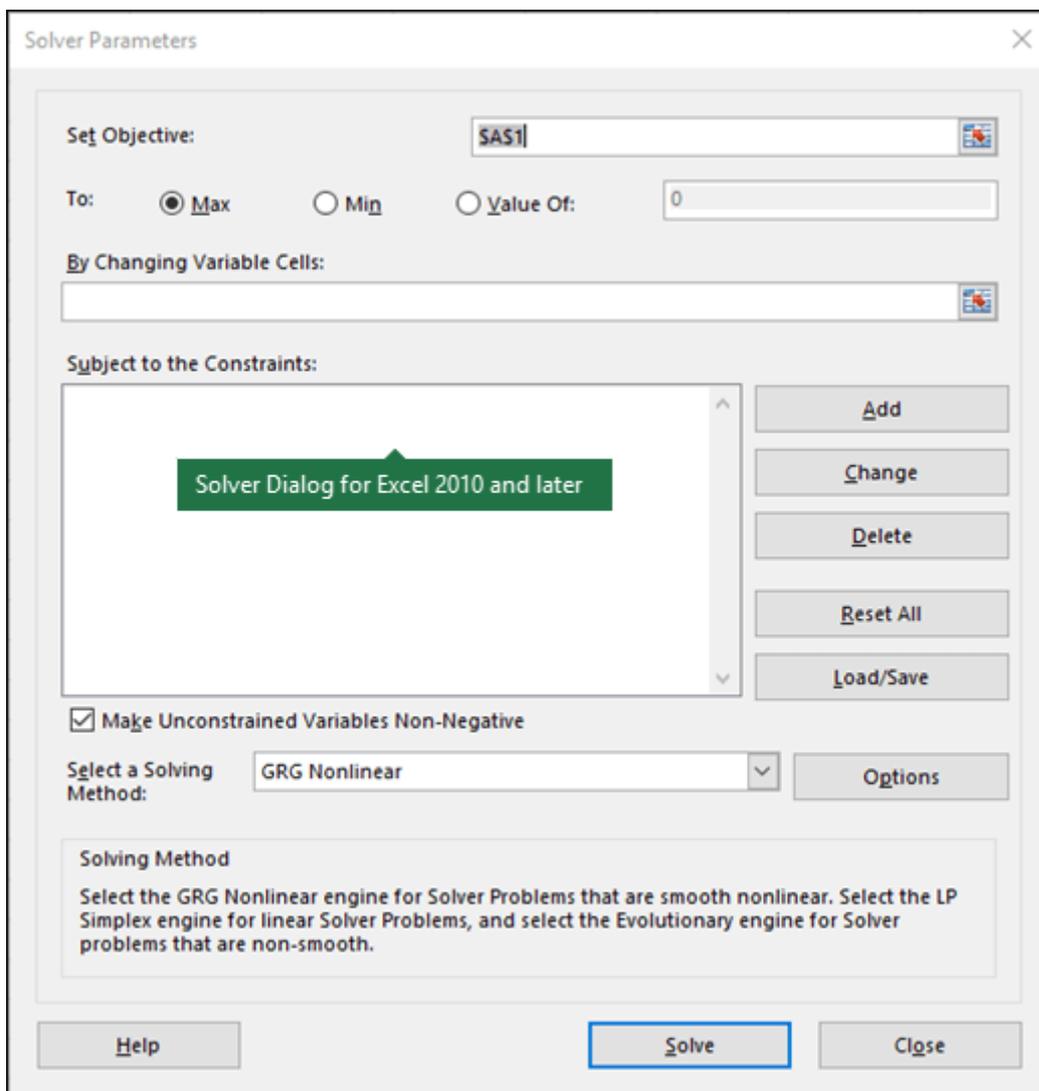


Ilustración 8 Captura Excel pantalla Solver.

fertilizante 4 * kg de fertilizante 4) + (g de Mg/kg de fertilizante 5 * kg de fertilizante 5)
+ (g de Mg/kg de fertilizante 6 * kg de fertilizante 6) – g de Mg necesarios = 0

(g de Na/kg de fertilizante 1 * kg de fertilizante 1) + (g de Na /kg de fertilizante 2 * kg
de fertilizante 2) + (g de Na /kg de fertilizante 3 * kg de fertilizante 3) + (g de Na /kg de
fertilizante 4 * kg de fertilizante 4) + (g de Na /kg de fertilizante 5 * kg de fertilizante 5)
+ (g de SO4/kg de fertilizante 6 * kg de fertilizante 6) – g de Na necesarios = 0

Visto en las fórmulas de Excel se queda tal que así:

D17*\$C\$30+D18*\$C\$31+D19*\$C\$32+D20*\$C\$33+D21*\$C\$34+D22*\$C\$35-D6

E17*\$C\$30+E18*\$C\$31+E19*\$C\$32+E20*\$C\$33+E21*\$C\$34+E22*\$C\$35-E6

F17*\$C\$30+F18*\$C\$31+F19*\$C\$32+F20*\$C\$33+F21*\$C\$34+F22*\$C\$35-F6

H17*\$C\$30+H18*\$C\$31+H19*\$C\$32+H20*\$C\$33+H21*\$C\$34+H22*\$C\$35-H6

I17*\$C\$30+I18*\$C\$31+I19*\$C\$32+I20*\$C\$33+I21*\$C\$34+I22*\$C\$35-I6

J17*\$C\$30+J18*\$C\$31+J19*\$C\$32+J20*\$C\$33+J21*\$C\$34+J22*\$C\$35-J6

K17*\$C\$30+K18*\$C\$31+K19*\$C\$32+K20*\$C\$33+K21*\$C\$34+K22*\$C\$35-K6

L17*\$C\$30+L18*\$C\$31+L19*\$C\$32+L20*\$C\$33+L21*\$C\$34+L22*\$C\$35-L6

M17*\$C\$30+M18*\$C\$31+M19*\$C\$32+M20*\$C\$33+M21*\$C\$34+M22*\$C\$35-M6

Los valores con el símbolo “\$” representan los Kg de fertilizante de cada uno de ellos, aquellos valores que debe cambiar el programa “Solver” para obtener la solución final, y el resto representa la cantidad de iones o cationes en unidades de g/Kg de fertilizante de cada fertilizante:

D → NO₃ (Nitrato)

E → H₂PO₄ (Fosfato)

F → SO₄ (Sulfato)

H → Cl (Cloro)

I → NH₄ (Amonio)

J → K (Potásio)

K → Ca (Calcio)

L → Mg (Magnesio)

M → Na (Sodio)

Además de estas fórmulas se han añadido otras las cuales están vinculadas al valor de las anteriores, es decir, dependen del valor final de estas. Estas consisten en que dependiendo del valor final que obtengan las anteriores formulas se le asigna un valor del 1 al 8 como se puede ver en la siguiente formula:

SI(D30=0;0;SI(Y(D30>0;D30<100);0,5;SI(Y(D30>100;D30<200);1;SI(Y(D30>200;D30<300);2;SI(Y(D30>300;D30<400);3;SI(Y(D30>400;D30<500);4;SI(Y(D30>500);5;SI(Y(D30<0;D30>-100);1;SI(Y(D30<-100;D30>-200);2,5;SI(Y(D30<-200;D30>-300);4;SI(D30<-300;8))))))))))

Explicando la formula anterior, si el valor final de alguna de las otras fórmulas se ajusta a la perfección se dará un valor de 0, si se obtiene un valor entre 0 y 1 se dará un valor de 0,5, si se obtiene un valor entre 1 y 2 se dará un valor de 1, si se obtiene un valor entre 2 y 3 se dará un valor de 2, si se obtiene un valor de 2, si se obtiene un valor entre 3 y 4 se dará un valor de 3, si se obtiene un valor entre 4 y 5 se dará un valor de 4, si se obtiene un valor mayor a 5 se dará un valor de 5, si se obtiene un valor entre -1 y 0 se dará un valor de 1, si se obtiene un valor entre -2 y -1 se dará un valor de 2,5, si se obtiene un valor entre -2 y -3 se dará un valor de 4 y finalmente si el valor obtenido es menor a -3 se dará un valor de 8. A modo de resumen se adjunta la siguiente tabla:

Tabla 5 Valores dados dependiendo del error.

Intervalo valores	Valor dado
<-300	8
(-300,-200)	4
(-200,-100)	2,5
(-100,0)	1
0	0
(0,100)	0,5
(100,200)	1
(200,300)	2
(300,400)	3
(400,500)	4
>500	5

Por lo tanto, añadiendo la formula a la celda objetivo que la suma de todos los valores dados sea mínima se ajustara al máximo la solución nutritiva obteniendo el mejor valor posible para la selección de fertilizantes que han sido elegidos por el agricultor o encargado. Todo esto poniendo la condición de que aquellas celdas que el comando “Solver” cambie, celdas variables, siempre sean mayor a 0, ya que sería incorrecto tener valores negativos de masa de fertilizante.

3.3.2. Cálculo de conductividad eléctrica, solubilidad y caudal de inyector.

Una vez obtenida la solución nutritiva ajustada es necesario calcular si los kilogramos serán solubles o no dentro de las cubas. Esto se realiza de la siguiente forma, con los datos obtenidos de solubilidad de los distintos fertilizantes obtenidas de las páginas de los proveedores, teniendo estas a las temperaturas de 0, 20 y 40°C en unidades de g/L.

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$kg \text{ de fertilizante} \cdot 1000 = g \text{ de fertilizante} \quad (10.1)$$

$$\frac{g \text{ de fertilizante}}{\text{Volumen de cuba}} = \frac{g \text{ de fertilizante}}{\text{Litro de agua}} \quad (10.2)$$

Si (g de fertilizante / Litro <= solubilidad(20°C); OK; Error solubilidad)

De este modo si la cantidad de fertilizante por litro de agua es superior a la solubilidad del fertilizante se obtendrá el valor de “Error solubilidad” y en caso de que sea menor se obtendrá el valor “OK”.

En el caso de los fertilizantes líquidos se deberá indicar la cantidad a aplicar en porcentaje a cada cuba que contenga uno de estos, debido a que estos tienen una solubilidad infinita.

Para el cálculo del caudal de los inyectores es necesario conocer el número de riegos para esa etapa fenológica, la duración del riego, el volumen de cada uno de las cubas y la solución nutritiva de cada una de las cubas obtenidas en el apartado 3.1.

De este modo tan solo sería aplicar la siguiente formula:

$$q_i = \frac{V}{t_a * N.^{\circ} \text{ riegos}} \quad (11)$$

Siendo:

q_i = caudal inyector (L/s)

t_a = Tiempo abonado (s)

N.º riegos = número de riegos para esa etapa fenológica

Para el cálculo de la conductividad eléctrica es necesario conocer el caudal de inyección de las cubas, una vez conocido se calcula la cantidad de fertilizantes que se expulsan por litro de agua de riego. Se procede multiplicando la cantidad en mmol/s inyectado de cada solución madre por una serie de valores dependiendo de cada ion o catión por un valor que determina el incremento de la conductividad eléctrica.

Tabla 6 Conductividad por cada meq/L.

ION/CATION	INCREMENTO C.E. (mS/cm)
NO3	71,4
H2PO4	33
SO4	88
HCO3	44,3
CL	76,3
NH4	73,5
K	73,5
Ca	59,5
Mg	53
Na	50,1

$$\text{caudal inyector} \cdot \frac{\text{gramos de fertilizante}}{\text{Litros de agua en la cuba}} = \frac{\text{g de fertilizante inyectados}}{\text{segundo}} \quad (12.1)$$

$$\frac{\text{g de fertilizante inyectados}}{\text{segundo}} \cdot 1000 \frac{1}{\text{masa molecular}} = \frac{\text{mmol de fertilizante inyectado}}{\text{segundo}} \quad (12.2)$$

$$\frac{\text{mmol de fertilizante inyectado}}{\text{segundo}} * \text{valor} = \text{conductividad eléctrica} \quad (12.3)$$

Se realizaría con cada uno de los cationes y iones de cada una de las cubas y la suma de cada uno de ellos sería la conductividad total del agua de riego.

4.Resultados

4.1. Descripción de la aplicación

El resultado final del proyecto puede resumirse con las siguientes imágenes. Al iniciarse el Excel este te mostrara la siguiente pantalla de opciones como se puede ver en la Ilustración 9, el código de programación está disponible en el Anexo 1.



Ilustración 9 Panel principal formulario.

Este te ofrece cuatro opciones principales: fertilizantes, cultivos, programas y calcular nuevo riego. E l primero es fertilizantes, al clicar en el botón se cerrará la pantalla y se abrirá la correspondiente a fertilizantes como se muestra en la Ilustración 10.

Fertilizantes



FERTILIZANTES

SOLUBLES Marca Tipo Riqueza

VER TABLA

LIQUIDOS Marca Tipo Riqueza

AÑADIR FERTILIZANTE

VOLVER

Ilustración 10 Pantalla de fertilizantes.

En esta pantalla se ofrece la posibilidad mediante cuadros de lista despegable visualizar los fertilizantes disponibles en las bases de datos de fertilizantes, tanto líquidos como solubles. Estos están categorizados por marca, tipo y riqueza de estos.

Además, se da la opción de acceder a las hojas de cálculo Excel si el usuario lo necesita y la opción de añadir fertilizantes en caso de querer ampliar la lista de estos. Al clicar en el botón de añadir fertilizante, nos mostrara otra pantalla

Selección

SOLUBLES

LIQUIDOS

VOLVER

Ilustración 11 Pantalla de elección

En esta habrá que elegir que tipo de fertilizantes se desea añadir, accediendo así a una de las dos bases de datos para añadir un fertilizante, obteniéndose así una tercera pantalla con todas las características del fertilizante necesarias para incluirlo en la base de datos, como se ve en la Ilustración 12.

Ilustración 12 Pantalla de añadir fertilizante.

En esta pantalla además de añadir, se puede modificar o eliminar cualquier fertilizante. El código referente a esta pantalla de fertilizantes se puede encontrar en el Anexo 2.

En cuanto a la opción de cultivos, si clicamos en la pantalla de inicio en el botón “cultivos” accederemos a la siguiente pantalla mostrada en la Ilustración 13.

Fuente:														
NO3-	H2PO4-	SO4-	HCO3-	Cl-	NH4+	K+	Ca+2	Mg+2	Na+	pH max	pH FDB	CE 100%	CE 75%	UNIDADES

Ilustración 13 Pantalla de cultivos.

En esta pantalla podremos visualizar los cultivos que existen en la base de datos, mediante dos listas desplegables eligiendo primero la especie del cultivo y después la fase fenológica de este, así como la recomendación nutricional, el pH máximo y mínimo y la conductividad eléctrica en base al rendimiento en unidades de dS/cm además de las unidades de los valores nutricionales recomendados ya sea mmol/L o kg/Ha.

A su vez, al igual que en la pantalla de fertilizante también tendremos los botones de ver tabla, el cual nos permite acceder a la hoja de cálculo con la base de datos y el botón de añadir cultivo que nos abrirá una pantalla similar a la Ilustración 12 pero con los datos referentes a los cultivos como se puede ver en la Ilustración 14.

The screenshot shows a window titled 'Cultivos' with a search icon and a close button. The form contains the following fields and values:

Especie:	Pimiento
Fase fenológica:	Trasplante
Fuente:	sqm
NO ₃ ⁻ :	30
H ₂ PO ₄ ⁻ :	11
SO ₄ ⁻² :	14
HCO ₃ ⁻ :	
Cl ⁻ :	
NH ₄ ⁺ :	
K ⁺ :	37
Ca ⁺² :	25
Mg ⁺² :	3.6
Na ⁺ :	
pH MAX:	7.8
pH MIN:	6.3
unidades:	kg/ha
C.E. 100%(dS/m):	1.5
C.E. 75%(dS/m):	3.3

On the right side of the form, there is a list of 188 items (1 de 188) and several action buttons: 'Nuevo', 'Eliminar', 'Restaurar', 'Buscar anterior', 'Buscar siguiente', 'Criterios', and 'Cerrar'.

Ilustración 14 Pantalla añadir cultivo.

Al clicar en el botón programas de la pantalla de inicio nos llevara directamente a la hoja de cálculo del dashboard donde podremos elegir el cultivo que deseamos visualizar y los parámetros del cultivo que se desean estudiar.

Por último, si clicamos en el botón de la pantalla de inicio “calcular nuevo riego” se abrirá la siguiente pantalla como se muestra en la ilustración 15.

CÁLCULOS

1º Elige cultivo y fase

Fuente:

NO3-	H2PO-	SO4-	HCO3-	Cl-	BB4+	K+	Ca+2	Mg+2	Na+	pH max	pH MIN	CE 100%(dS/m)	CE 75%(dS/m)	UNIDADES

2º Introduzca caudal y hectáreas

CAUDAL(m³/h) HECTÁREAS

3º Introduzca datos del agua

NO3-	H2PO-	SO4-	HCO3-	Cl-	BB4+	K+	Ca+2	Mg+2	Na+	UNIDADES	pH

4º Tipo de suelo

Numero de riegos

Tiempo de riego (MINUTOS)

ELEGIR FERTILIZANTES **VOLVER**

Ilustración 15 Pantalla de cálculos.

En esta pantalla el usuario deberá introducir los datos necesarios para el cálculo del nuevo riego, empezando por el tipo de cultivo y su fase fenológica, eligiendo una de las cuales se encuentra en la base de datos antes mencionada. Una vez elegido se mostrará la recomendación nutricional que se proporcionara, en caso de que el usuario no esté de acuerdo podrá introducir manualmente la que considere correcta debiendo así elegir en la parte izquierda cuál de ellas desea.

Aparte de la solución nutritiva, el usuario deberá introducir los datos de caudal y hectáreas que se van a regar. El siguiente dato es la cantidad de elementos en suspensión que posee el agua, además de las unidades en las que se están introduciendo estos datos.

Por último, se deberá elegir el tipo de suelo en el cual se está cultivando, el número de riegos que se va a realizar y la duración de estos para realizar un correcto cálculo de la solución nutritiva y demás parámetros. El código de programación de esta pantalla puede visualizarse en el Anexo 3.

El siguiente paso sería la elección de los fertilizantes que van a ser utilizados para ello se deberá pulsar el boto “elegir fertilizantes” el cual mostrará la siguiente pantalla de elección como se muestra en la Ilustración 16.

The screenshot shows a web application window titled 'UseForm2'. The main heading is 'ELIJA LOS FERTILIZANTES'. In the top left, there is a globe icon and the 'GENHIDRO' logo. The interface is divided into three columns, each representing a fertilizer tank: 'CUBA 1', 'CUBA 2', and 'CUBA 3'. Each tank is depicted as a blue cylindrical container on a brown stand. To the left of each tank, there is a 'Litros' label and a text input field. Below the input field are four dropdown menus labeled 'TIPO', 'MARCA', 'FERTILIZANTE', and 'RIQUEZA'. At the bottom of the screen, there are two large buttons: 'FINALIZAR' on the left and 'VOLVER' on the right.

Ilustración 16 Pantalla elección fertilizantes.

En esta pantalla se da la opción de elegir hasta en seis fertilizantes, dos por cuba, en tres cubas distintas. El usuario deberá elegir el volumen en litros de cada una de las cubas además del tipo de fertilizante a introducir en cada una de ellas según el criterio antes explicado, pero añadiendo un factor más; el tipo, es decir, si el fertilizante es soluble o líquido, después la marca, seguido del fertilizante y finalmente la riqueza de este.

Una vez elegidos los fertilizantes que van a ser utilizados se deberá pulsar en el botón “finalizar” el cual nos llevar a la hoja de cálculo de Excel que recopila todos los datos introducidos para verificar que estos son correctos como se muestra en la Ilustración 17.

Excel spreadsheet interface showing a calculation verification tool for three plots (Cuba 1, Cuba 2, Cuba 3). The interface includes a ribbon with various tabs (Inicio, Insertar, etc.) and a main workspace with input fields and data tables.

Inputs:

- Berenjena:
- Plántula:
- Transplante:
- CAUDAL(L/min):
- TIEMPO DE FIEBRO(h):

Labels: BARRERAS, PLANTACION, FASE FENOLOGICA, HECTAREAS, SUELO.

Buttons: CUBAS (with yellow arrow), CALCULAR.

Tables:

UNIDADES	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	PO ₄	CI	NH ₄	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na	pH
UNIDADES	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	PO ₄	CI	NH ₄	K <td>Ca²⁺</td> <td>Mg²⁺</td> <td>Na <td>pH</td> </td>	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na <td>pH</td>	pH
Mmol/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

UNIDADES	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	PO ₄	CI	NH ₄	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na	pH
UNIDADES	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	PO ₄	CI	NH ₄	K <td>Ca²⁺</td> <td>Mg²⁺</td> <td>Na <td>pH</td> </td>	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na <td>pH</td>	pH
Mmol/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Output Tables (Cuba 1, 2, 3):

Cuba 1		Cuba 2		Cuba 3	
VOLUMEN(Litros)		VOLUMEN(Litros)		VOLUMEN(Litros)	
500	500	500	500	500	500
Fertilizante 1	Fertilizante 1	Fertilizante 1	Fertilizante 1	Fertilizante 1	Fertilizante 1
Fertilizante 2	Fertilizante 2	Fertilizante 2	Fertilizante 2	Fertilizante 2	Fertilizante 2

Summary Tables (Cuba 1, 2, 3):

Fertilizante	OK	Substrato	CE	COMPATIBLES	CAUDAL INVECTOR	Fertilizante 2	OK
Fertilizante 1	OK	Substrato	CE	COMPATIBLES	CAUDAL INVECTOR	Fertilizante 2	OK
#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D

Ilustración 17 Hoja de cálculo de verificación.

Una vez verificados todos los datos se procederá a pulsar el botón “calcular” para realizar el cálculo de la solución nutritiva y todos los elementos no introducidos como son: la conductividad eléctrica del agua de riego, la cantidad en kilos de cada fertilizante a introducir, el caudal de inyección de cada cuba, la solubilidad de cada fertilizante y la compatibilidad de los fertilizantes.

Además, se generará un pdf el cual se podrá imprimir o no con todos los datos introducidos y los valores obtenidos en los cálculos.

4.2. Resultados de los cálculos

4.2.1. Resultados de fertilizantes

La base de datos de fertilizantes solubles ha sido calculada mediante el método mencionado en el apartado 3.1.1. con la ecuación 1, obteniendo la siguiente base de datos mostrada en la Ilustración 18.

Marca	Tipo	Riqueza	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺	0°	20°	40°
General	Nitrato Potásico	13-0-46	9,3						9,80					133	300	639
General	Nitrato Cálcico	15.5% N 27% CaO	10,30					0,8		4,8				1185	1700	2830
General	Nitrato Amónico	33.5-0-0	12					12						143	230	339
General	Fosfato Monopotásico	0-52-34		7,3						7,2				227	368	567
General	Fosfato Monoamónico	12-61-0		8,6				8,6						75	110	148
General	Sulfato Potásico	52 % K ₂ O 47,5% SO ₃			5,9				11					639	701	818
General	Nitrato Magnésico	11% N 15,7% MgO	7,9								3,9			260	356	454
General	Sulfato Magnésico	16 % MgO 31,7 % SO ₃			4						4			704	730	812
General	Sulfato Amónico	21 % N 58,8% SO ₃			7,4			15								
ICL	Nova Potassium	5%N 49%K 21%SO3	3,57		2,625				10,42						180	
ICL	PeKacid	0-60-20		8,44											670	
ICL	Nova N-K	13-0-46	9,3						9,8						310	
ICL	Nova Calcium	15.5-0-26.5CaO	10,3					0,8		4,8						
ICL	Nova MAP	12-61-0		8,6				8,6								
ICL	Nova ferti-K	0-0-61							12,98							
ICL	Nova SOP	0-0-50+46SO3			5,75					10,64						
ICL	Nova Mag-N	11-0-0+16MgO	7,85								4,02					
ICL	Nova Mag-S	16MgO+32SO3			4						4,02					
ICL	Nova MagPhos	0-55-18+7MgO		7,71					3,83							400
ICL	Nova Quick-Mg	0-0-15+13MgO							3,19		3,26					680
General	urea	46-0-0						32,86						670	1033	1670
ICL	Cloruro de Calcio	38% CaO					13,5			6,8				603	745	
General	Cloruro Potásico	0-0-40					12,7		12,7					265	342	403
ICL	Nova Peak	0-51.5-34		7,2						7,2					300	
General	Fosfato Diamónico	21-62-0		7,3				15							400	
Adp	SOLUTECK 1	13-0-13	2,85	5,63				6,42	2,75							
Adp	SOLUTECK 2	15-5-30	7,14	0,7	1,18			3,57	6,36							
Adp	SOLUTECK 3	20-5-5	3,2	0,7	5,15			11,1	1,1							
Fertiberia	NAC 27	27-0-0+3,5%MgO	9,64								1				1000	
Fertiberia	Nitramon 24	24-0-0+16%SO3	8,57		2,06			8,57							1700	
Fertiberia	Nitramon 27	27-0-0+12%SO3	9,64		1,55			9,64							1700	
Fertiberia	Nitromagnesio 22	22%N+5%MgO	7,85					7,85			1,44				700	
Fertiberia	SSP	0-16-9+27%SO3+10%CaO		2,25	2,5					1,5						

Ilustración 18 Base de datos fertilizantes solubles.

En esta se muestran las riquezas de los fertilizantes, su nombre, su marca y su composición en mmol/g de fertilizante de cada uno de los iones que contiene, además de sus solubilidades a 0, 20 y 40°C.

En cuanto a los fertilizantes líquidos y ácidos, la base de datos se ha realizado mediante el método mencionado en el apartado 3.2 con la ecuación 3, obteniendo la siguiente base de datos mostrada en la Ilustración 19.

Marca	Tipo	Riqueza	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	H ⁺
Acido	Ácido Nítrico	59	12,7										12,7
Acido	Ácido Fosfórico	75		12									12
Acido	Sol. Nitrogenada	N32	7,6					7,6					
Acido	Ácido Nítrico	54	11,4										11,4
Acido	Ácido Fosfórico	72		11,8									11,8
Acido	Ácido Fosfórico	85		15									15
Acido	Ácido sulfúrico	98			18,8								37,6
ICL	COMPLEJO	12-4-6	0,85	0,676				9,42	1,53				
ICL	COMPLEJO	10-3-5	2,1	0,5				6,32	1,25				
ICL	COMPLEJO	9-6-6	1,91	1,03				5,9	1,55				
ICL	COMPLEJO	8-4-8	1,45	0,675				5,4	2,1				
ICL	COMPLEJO	8-4-10	0,43	0,68				6,48	2,57				
ICL	COMPLEJO	4-3-10	0,846	0,5				2,54	2,52				
ICL	COMPLEJO	5-10-10		1,76				4,48	2,66				
ICL	COMPLEJO	3-5-11	0,6	0,84				1,97	2,82				
ICL	COMPLEJO	3-3-12	0,677	0,503				1,86	3,03				
ICL	Sol. Nitrogenada	N20	9,1					9,1					
ADP	NUTRIFLUID	0-0-14,5							3,5				
ADP	NUTRIFLUID	7-0-0 + 9,5%MgO	6,5								3,6		
ADP	NUTRIFLUID	12-3-6	10,6	0,5					1,6				
ADP	NUTRIFLUID	12-3-6 +3%CaO	10,6	0,5					1,6	0,37			
ADP	NUTRIFLUID	12-3-4+2%CaO	10,6	0,5					1,6	0,25			
ADP	NUTRIFLUID	13-6-5	10,8	1					1,34				
ADP	NUTRIFLUID	15-3-6	14	0,54					1,65				
ADP	NUTRIFLUID	4-4-12	3,5	0,7					3				
ADP	NUTRIFLUID	5-15-5	4,5	2,6					1,3				
ADP	NUTRIFLUID	6-15-9	5,3	2,6					2,38				
ADP	NUTRIFLUID	6-3-12	5,14	0,5					3,05				
ADP	NUTRIFLUID	8-24-0	7,42	4,3									
ADP	NUTRIFLUID	8-24-0 neutro	7,42	4,3									
ADP	NUTRIFLUID	8-4-12	7	0,7					3,1				
ADP	NUTRIFLUID	8,3-0-0+10%CaO+5,8Mg	7,8							2	2,3		
ADP	NUTRIFLUID	8,6-0-0+15%CaO	7,92							2,9			
ADP	NUTRIFLUID	5-3-8	4,14	0,5					1,996				
ADP	NUTRIFLUID	20-3-4	18,28	0,54					1,08				

Ilustración 19 Base de datos fertilizantes líquidos y ácidos.

En esta se muestra al igual que en la anterior, la marca, el nombre, la riqueza y la cantidad de iones que lo componen en mmol/ml.

4.2.2. Tabla de compatibilidades

La tabla de compatibilidades se ha realizado mediante el método mencionado en el apartado 3.2 obteniendo una tabla completa con la mayoría de los fertilizantes, tanto líquidos como solubles, como se muestra en la Ilustración 20 y 21.

	Sulfato Amónico	Solucion nitrogenada	Urea	Nitrato Cálcico	Nitrato Potásico	Fosfato Diamónico	Ácido Fosfórico	Sulfato Potásico	Cloruro Potásico
Nitrato Amónico	Y	Y	X	N	X	X	X	Y	Y
Sulfato Amónico	Y	Y	X	N	Y	N	N	Y	Y
Solucion nitrogenada	X	X	X	X	X	X	X	Y	Y
Urea	X	X	Y	X	X	X	X	Y	Y
Nitrato Cálcico	N	N	X	Y	X	N	N	N	Y
Nitrato Potásico	Y	Y	X	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Fosfato Diamónico	X	N	X	N	Y	Y	Y	Y	Y
Ácido Fosfórico	X	N	X	N	Y	Y	Y	Y	Y
Sulfato Potásico	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y
Cloruro Potásico	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Fosfato Monopotásico	Y	Y	Y	X	N	Y	Y	Y	Y
Sulfato Magnésico	Y	Y	Y	X	N	X	Y	Y	Y
Acido Nítrico	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Acido Sulfúrico	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y
Nitrato Magnésico	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y
COMPLEJO	Y	X	N	N	Y	X	X	X	Y
Cloruro de Calcio	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

Ilustración 20 Tabla de compatibilidades 1.

Fosfato Monopotásico	Sulfato Magnésico	Acido Nítrico	Acido Sulfúrico	Nitrato Magnésico	Nitrato Amónico	Cloruro de Calcio
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
X	X	Y	Y	Y	X	Y
N	N	Y	N	Y	N	Y
Y	X	Y	Y	Y	X	Y
Y	Y	Y	N	N	X	Y
Y	Y	Y	Y	N	X	Y
Y	Y	Y	Y	N	Y	Y
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Y	X	Y	Y	N	Y	Y
X	Y	Y	Y	N	Y	Y
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Y	Y	Y	Y	N	Y	Y
N	N	Y	N	Y	Y	Y
X	X	Y	N	N	X	Y
Y	Y	Y	N	Y	Y	Y

Ilustración 21 Tabla de compatibilidades 2.

Y: SE PUEDE	
N: NO SE PUEDE	
X: SOLO EN EL MOMENTO DE EMPLEO	

Ilustración 22 Leyenda tabla de compatibilidades.

Puerro	Formacion de bulbo	66	9,15	224,1	9,3	6,6	kg/ha
Puerro	Maduracion	10	14,8	52,3	14,3	6,6	kg/ha
Judía Verde	Desarrollo vegetativo	170	218	150	60	10	kg/ha
Judía Verde	Floracion						kg/ha
Judía Verde	Cuajado						kg/ha
Judía Verde	Engorde						kg/ha

Ilustración 23 Base de datos cultivos.

Como se puede ver no existen recomendaciones nutritivas para todos los cultivos, pero los que si tienen han sido obtenidas de distintas páginas webs y producciones integradas como infoagro.com, yara.com, haifa-group.com, sqm.com, agromatica.es, edicionesagroalimentarias.es, ipni.org y la producción integrada de la región de Murcia. Además, otras han sido sacadas de artículos de investigación.

En cuanto al pH y conductividad eléctrica han sido obtenidos de un artículo de infoagro.com el cual puede encontrarse en https://www.infoagro.com/abonos/pH_suelo.htm, en cuanto a la conductividad eléctrica la información se ha obtenido de <https://www.agromatica.es/conductividad-electrica-del-agua/>.

5. Discusión

Los resultados obtenidos han sido satisfactorios, a pesar de las dificultades a la hora de obtener las bases de datos. En cuanto a las bases de datos de los fertilizantes se han obtenido un gran número de estos, teniendo un total de 68 tipos distintos de fertilizantes entre líquidos y solubles, dando así una gran variedad a elegir. En cuanto a la base de datos de cultivos ha sido mucho más complicado la obtención de datos para completarla, por ello se ha dado la opción en ambas bases de datos de añadir nuevos cultivos y fertilizantes. Aun así, se han obtenido un total de 36 tipos de cultivos con sus respectivas fases fenológicas, además de recomendaciones nutricionales para un importante número de estos y niveles óptimos de pH y conductividad eléctrica para todos ellos. La dificultad de la obtención de datos reside en que no existe información precisa sobre valores nutricionales necesarios por etapa fenológica, sino que para aquellos cultivos que se logra encontrar algún dato se menciona para la duración de todo el cultivo o por días después del trasplante, por ello ha sido necesario además encontrar la duración aproximada de las fases fenológicas y aproximar las recomendaciones interpolando los datos.

En cuanto a la aplicación, resulta de gran utilidad ya que reduce en gran medida el tiempo de realización de los cálculos que antes debían realizarse a mano. Además de indicarte posibles fallos en la mezcla de fertilizantes, solubilidad, conductividad etc. Los cuales podían ser tediosos de calcular o revisar. También presenta una facilidad para almacenar datos y así tener un registro de los distintos cultivos y las variables que intervienen en el para así realizar un estudio mediante un dashboard y ajustar al máximo la solución nutritiva según los parámetros de temperatura, suelo, humedad etc.

Un inconveniente que tiene la aplicación es la imposibilidad de elegir el número de cubas ya que mediante Excel no se ha encontrado la manera de programar con objetos dinámicos los cuales te darían la posibilidad de elegir este parámetro, por ello se ha seleccionado el número de 3 cubas el cual es el más utilizado en la mayoría de los sistemas de fertirriego.

En conclusión, la aplicación permite de manera rápida realizar cálculos y estudiar la efectividad de la solución nutritiva de manera sencilla e intuitiva. Además, es posible actualizarla de rápidamente exceptuando la inserción de cambios a la hora de elegir el número de cubas, las cuales serían necesarias programarlas para añadir o eliminar el número de estas.

6. Bibliografía

Khalajabadi, S. S., Osorio, H. G., & Suárez, E. A. (s. f.). *Prácticas que ayudan a reducirla*. 36.

Nand K.F., Virupax C.B., Charles A.J., B. Growth and mineral nutrition of field crops 3rd ed; Taylor and Francis Group, LLC, 2011.

U. Kafkafi, J. Tarchitzky, B. Fertirrigacion Una herramienta para una eficiente fertilizacion y manejo del agua, Asociacion Internacional de la Industria de fertilizantes, Insatituto Nacional de la Potasa, Paris, Francia y Horgen, Suiza, 2012. ISBN 978-2-9523139-9-5.

Esteban F.C., Pablo P. R., Adalberto B. M., B. Manual para la preparacion de soluciones nutritivas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2006. ISBN 96-8844-051-5

S.S. de Oliviera Neto, A.S.F. Gonçalves, Environmental factors, phenology and nutrition: a technical review on the impacts in soybean culture, Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2019

R.Scott Johnson, K. Uriu, Mineral nutrition,

Connie N. Johnsona, Paul R. Fishera,*, Jinsheng Huang, Thomas H. Yeagera, Thomas A. Obrezaa, Richard P. Vetanovetzb, William R. Argoc, A. Jeremy Bishko, Effect of fertilizer potential acidity and nitrogen form on the pH response in a peat-based substrate with three floricultural species, daIFAS, University of Florida, Gainesville, FL 32611, United StatesbSun Gro Horticulture, 16250 Hunters Run, Marysville, OH 43040, United StatescBlackmore Company, 10800 Blackmore Avenue, Belleville, MI 48111, United StatesdUniversity of New Hampshire, Durham, NH 03824, United Statesa, 2013.

Antonio L. A., Nutrición y riego en los viveros, Dpto. Ciencia y tecnología Agraria Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Cartagena, 2006.

Antonio L. A., Consideraciones necesarias en la preparación de la solución nutritiva, Dpto. Ciencia y tecnología Agraria Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Cartagena, 2002.

Portal frutícola. [https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/08/que-es-un-cabecal-de-riego-manejo-del-riego-localizado-y-fertirrigacion/\(09/07/2021\)](https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/08/que-es-un-cabecal-de-riego-manejo-del-riego-localizado-y-fertirrigacion/(09/07/2021))

Wilfredo J.Y.T., Francisco M.L.R., MANUAL DE OBSERVACIONES FENOLÓGICAS, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI, Perú, 2011.

Infoagro, [https://infoagro.com/riegos/acidificacion_fertirrigacion.htm\(09/07/2021\)](https://infoagro.com/riegos/acidificacion_fertirrigacion.htm(09/07/2021))

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

Siavosh S.K., Hernan G.O., Esnéider A.S., Lixiviacion de nutrientes en suelos de la zona cafetera. Practicas que ayudan a reducirla, FNC-Cenicafé, 2015, ISBN 978-958-8490-16-8

Infoagro, [https://www.infoagro.com/abonos/pH_suelo.htm\(09/07/2021\)](https://www.infoagro.com/abonos/pH_suelo.htm(09/07/2021))

Cropnutrition, [https://www.cropnutrition.com/resource-library/fertilizers-and-soil-acidity\(07/09/2021\)](https://www.cropnutrition.com/resource-library/fertilizers-and-soil-acidity(07/09/2021))

Jordi F. A. S., Decoración en el interior de edificios, Departamento de Investigación y Desarrollo Hydroplant S.A., Producción de ornamentales, 2002.

Infoagro, [https://infoagro.com/documentos/imprimir.asp?iddoc=316&idcap=1\(09/07/2021\)](https://infoagro.com/documentos/imprimir.asp?iddoc=316&idcap=1(09/07/2021))

Agromática, [https://www.agromatica.es/conductividad-electrica-del-agua/\(09/07/2021\)](https://www.agromatica.es/conductividad-electrica-del-agua/(09/07/2021))

Lenntech, [https://www.lenntech.com/applications/irrigation/sar/sar-hazard-of-irrigation-water.htm\(09/07/2021\)](https://www.lenntech.com/applications/irrigation/sar/sar-hazard-of-irrigation-water.htm(09/07/2021))

ANEXOS

ANEXO 1

Código de programación pantalla inicio

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Calculo_Click()
```

```
    panel_principalUserForm.Hide
```

```
    Calculos_UserForm.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Cultivos_Click()
```

```
    panel_principalUserForm.Hide
```

```
    Cultivos_UserForm.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Fertilizantes_Click()
```

```
    panel_principalUserForm.Hide
```

```
    fertilizantes_UserForm.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image1_BeforeDragOver(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean, ByVal Data As MSForms.DataObject, ByVal X As Single, ByVal Y As Single, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, ByVal Effect As MSForms.ReturnEffect, ByVal Shift As Integer)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Programas_Click()
```

```
    panel_principalUserForm.Hide
```

```
    Calculos_UserForm.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TextBox1_Change()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub UserForm_Click()
```

```
End Sub
```

ANEXO 2

Código de programación panel fertilizantes

```
Private Sub Añadir_Click()
```

```
    fertilizantes_UserForm.Hide
```

```
    UserForm1.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmbmarca_Change()
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("D1").Value = Me.cmbmarca.Value
```

```
    Me.cmbtipo.Clear
```

```
    Me.txtqrz1.Value = ""
```

```
    Filas3 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("C:C"))
```

```
    For i = 1 To Filas3
```

```
        Me.cmbtipo.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(i, 3).Value
```

```
    Next i
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmbmarca2_Change()
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("R1").Value = Me.cmbmarca2.Value
```

```
    Me.cmbtipo2.Clear
```

```
    Me.cmbrqz.Clear
```

```
    Filas4 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("Q:Q"))
```

```
    For i = 1 To Filas4
```

```
        Me.cmbtipo2.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(i, 17).Value
```

```
    Next i
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmbtipo_Change()
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("E1").Value = Me.cmbtipo.Value
```

```
    Me.txtqrz1.Text = Range("F1")
```

```
End Sub
```

```

Private Sub cmbtipo2_Change()
    ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("S1").Value = Me.cmbtipo2.Value

    If cmbtipo2 = "" Then
    Else

    Me.cmbmqz.Clear
    Filas5 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("T:T"))
    For i = 1 To Filas5
        Me.cmbmqz.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(i, 20).Value
    Next i

    End If

End Sub

Private Sub Image1_BeforeDragOver(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean, ByVal Data As MSForms.DataObject, ByVal X
As Single, ByVal Y As Single, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, ByVal Effect As MSForms.ReturnEffect, ByVal Shift
As Integer)

End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
    Sheets("Hoja2").Select
End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()

    Sheets("Hoja2").Select

    Me.cmbmarca.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter
    Me.cmbtipo.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

    Me.cmbmarca.Style = fmStyleDropDownList
    Me.cmbtipo.Style = fmStyleDropDownList

    Me.cmbmarca2.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter
    Me.cmbtipo2.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

```

```
Me.cmbmarca2.Style = fmStyleDropDownList
```

```
Me.cmbtipo2.Style = fmStyleDropDownList
```

```
Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("A:A"))
```

```
Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("P:P"))
```

```
For i = 2 To Filas1
```

```
    Me.cmbmarca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(i, 1).Value
```

```
Next i
```

```
For Y = 2 To Filas2
```

```
    Me.cmbmarca2.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(Y, 16).Value
```

```
Next Y
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Ver_tabla_Click()
```

```
    fertilizantes_UserForm.Hide
```

```
    UserForm1.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Volver_fert_Click()
```

```
    fertilizantes_UserForm.Hide
```

```
    panel_principalUserForm.Show
```

```
End Sub
```

Código de programación pantalla cultivos

```
Private Sub Añadir_Click()
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Cultivos").Select
```

```
    Cultivos_UserForm.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmbespecie_Change()
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("X1").Value = Me.cmbespecie.Value
```

```
    Me.cmbfase.Clear
```

```
    Filas4 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("W:W"))
```

```
    For i = 1 To Filas4
```

```
        Me.cmbfase.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(i, 23).Value
```

```
    Next i
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmbfase_Change()
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("X2").Value = Me.cmbfase.Value
```

```
    If cmbfase = "" Then
```

```
        Else
```

```
        Me.TextBox19.Text = Range("Y1")
```

```
        Me.TextBox20.Text = Range("Z1")
```

```
        Me.TextBox21.Text = Range("AA1")
```

```
        Me.TextBox22.Text = Range("AB1")
```

```
        Me.TextBox23.Text = Range("AC1")
```

```
        Me.TextBox24.Text = Range("AD1")
```

```
        Me.TextBox25.Text = Range("AE1")
```

```
        Me.TextBox26.Text = Range("AF1")
```

```
        Me.TextBox27.Text = Range("AG1")
```

```
        Me.TextBox28.Text = Range("AH1")
```

```
        Me.TextBox29.Text = Range("AI1")
```

```
        Me.TextBox30.Text = Range("AJ1")
```

```
        Me.TextBox31.Text = Range("AM1")
```

```
        Me.TextBox32.Text = Range("AL1")
```

```

Me.TextBox33.Text = Range("AK1")
Me.TextBox18.Text = Range("AN1")

End If

End Sub

Private Sub TextBox19_Change()

End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
    Sheets("Hoja2").Select
End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()
    Sheets("Hoja2").Select

    Me.cmbespecie.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter
    Me.cmbfase.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter
    Me.cmbespecie.Style = fmStyleDropDownList
    Me.cmbfase.Style = fmStyleDropDownList

    Filas3 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("V:V"))

    For i = 2 To Filas3
        Me.cmbespecie.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(i, 22).Value
    Next i

End Sub

Private Sub Ver_tablacult_Click()
    Sheets("Cultivos").Select
    Cultivos_UserForm.Hide
End Sub

Private Sub Volver_cult_Click()
    Cultivos_UserForm.Hide
    panel_principalUserForm.Show

End Sub

```

ANEXO 3

Código de programación pantalla cálculos

```
Private Sub cmbespeciecalc_Change()  
ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("AS1").Value = Me.cmbespeciecalc.Value  
Me.cmbfasecalc.Clear  
  
Filas4 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("AR:AR"))  
For i = 1 To Filas4  
  
    Me.cmbfasecalc.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(i, 44).Value  
  
Next i  
End Sub  
  
Private Sub cmbfasecalc_Change()  
  
ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("AS2").Value = Me.cmbfasecalc.Value  
  
If cmbfasecalc = "" Then  
  
Else  
  
Me.TextBox19.Text = Range("Y2")  
Me.TextBox20.Text = Range("Z2")  
Me.TextBox21.Text = Range("AA2")  
Me.TextBox22.Text = Range("AB2")  
Me.TextBox23.Text = Range("AC2")  
Me.TextBox24.Text = Range("AD2")  
Me.TextBox25.Text = Range("AE2")  
Me.TextBox26.Text = Range("AF2")  
Me.TextBox27.Text = Range("AG2")  
Me.TextBox28.Text = Range("AH2")  
Me.TextBox29.Text = Range("AI2")  
Me.TextBox30.Text = Range("AJ2")  
Me.TextBox31.Text = Range("AM2")  
Me.TextBox32.Text = Range("AL2")  
Me.TextBox33.Text = Range("AK2")  
Me.TextBox18.Text = Range("AN2")
```

End If

End Sub

Private Sub ComboBox1_Change()

End Sub

Private Sub cmbsueldo_Change()

End Sub

Private Sub CommandButton1_Click()

If OptionButton1 = True Then

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("C25").Value = TextBox19.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("D25").Value = TextBox20.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("E25").Value = TextBox21.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("F25").Value = TextBox22.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("G25").Value = TextBox23.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("H25").Value = TextBox24.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("I25").Value = TextBox25.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("J25").Value = TextBox26.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("K25").Value = TextBox27.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("L25").Value = TextBox28.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("M25").Value = TextBox29.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("N25").Value = TextBox30.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("B25").Value = TextBox33.Value

End If

If OptionButton2 = True Then

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("C25") = TextBox34.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("D25") = TextBox35.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("E25") = TextBox36.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("F25") = TextBox37.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("G25") = TextBox38.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("H25") = TextBox39.Value

```
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("I25") = TextBox40.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("J25") = TextBox41.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("K25") = TextBox42.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("L25") = TextBox43.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("M25") = TextBox44.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("N25") = Val(TextBox45.Value)
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("B25") = cmbunidades1.Value
```

End If

```
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("C21") = TextBox61.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("D21") = TextBox62.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("E21") = TextBox63.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("F21") = TextBox64.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("G21") = TextBox65.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("H21") = TextBox66.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("CI21") = TextBox67.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("CJ1") = TextBox68.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("K21") = TextBox69.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("L21") = TextBox70.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("M21") = TextBox105.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("B21") = cmbunidades2.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("C15") = textboxTIEMPORIEGO.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("G6") = textboxNUMRIEGOS.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("G9") = TextBox50.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("C12") = TextBox49.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("G12") = cmbsueldo.Value
```

Dim i&

For i = 3 To Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row

Cells(25, i).NumberFormat = "0.00"

Cells(25, i) = Cells(25, i) * 1

Next

Calculos_UserForm.Hide

Eleccion_Userform.Show

End Sub

```
Private Sub OptionButton1_Change()
```

```
Range("Y3").Clear
```

```
End Sub
```

```
Private Sub OptionButton1_Click()
```

```
Range("Y3") = Me.TextBox19.Text
```

```
End Sub
```

```
Private Sub OptionButton2_Change()
```

```
Range("Y4").Clear
```

```
End Sub
```

```
Private Sub OptionButton2_Click()
```

```
Range("Y4") = Me.TextBox19.Text
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TextBox49_Change()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub UserForm_Activate()
```

```
Sheets("Hoja2").Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub UserForm_Initialize()
```

```
    Sheets("Hoja2").Select
```

```
    Me.cmbespeciecalc.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter
```

```
    Me.cmbfasecalc.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter
```

```
    Me.cmbunidades1.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter
```

```
    Me.cmbunidades2.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter
```

```
    Me.cmbsuelo.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter
```

```
    Me.cmbespeciecalc.Style = fmStyleDropDownList
```

```
    Me.cmbfasecalc.Style = fmStyleDropDownList
```

```
    Me.cmbunidades1.Style = fmStyleDropDownList
```

```
Me.cmbunidades2.Style = fmStyleDropDownList
```

```
Me.cmbsuelo.Style = fmStyleDropDownList
```

```
Filas3 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("V:V"))
```

```
For i = 2 To Filas3
```

```
    Me.cmbspeciecalc.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(i, 22).Value
```

```
Next i
```

```
Filas5 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Range("AO:AO"))
```

```
For Y = 2 To Filas5
```

```
    Me.cmbunidades1.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(Y, 41).Value
```

```
    Me.cmbunidades2.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja2").Cells(Y, 41).Value
```

```
Next Y
```

```
Me.cmbsuelo.AddItem ("Arcilloso")
```

```
Me.cmbsuelo.AddItem ("Franco arcilloso")
```

```
Me.cmbsuelo.AddItem ("Arenoso")
```

```
Me.cmbsuelo.AddItem ("Franco arenoso")
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Volver_fert_Click()
```

```
    Calculos_UserForm.Hide
```

```
    panel_principalUserForm.Show
```

```
End Sub
```

Código de programación pantalla elección fertilizantes

```
Private Sub fert1_Change()
```

```
    Me.fert1marca.Clear
```

```
    Me.fert1tipo.Clear
```

```
    Me.fert1rqz.Clear
```

```
If fert1.Value = "Soluble" Then
```

```
    Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("C:C"))
```

```
For i = 2 To Filas1 + 1
```

```
    Me.fert1marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 1).Value
```

```
Next i
```

End If

If fert1.Value = "Liquido" Then

 Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("A:A"))

For i = 2 To Filas1 + 1

 Me.fert1marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 3).Value

Next i

End If

ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("H1").Value = Me.fert1.Value

End Sub

Private Sub fert2_Change()

 Me.fert2marca.Clear

 Me.fert2tipo.Clear

 Me.fert2rqz.Clear

If fert2.Value = "Soluble" Then

 Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("C:C"))

For i = 2 To Filas1 + 1

 Me.fert2marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 1).Value

Next i

End If

If fert2.Value = "Liquido" Then

 Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("A:A"))

```

For i = 2 To Filas1 + 1
    Me.fert2marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 3).Value
Next i

End If

ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("N1").Value = Me.fert2.Value
End Sub

Private Sub fert3_Change()
    Me.fert3marca.Clear
    Me.fert3tipo.Clear
    Me.fert3rqz.Clear

    If fert3.Value = "Soluble" Then
        Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("C:C"))
        For i = 2 To Filas1 + 1
            Me.fert3marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 1).Value
        Next i

    End If

    If fert3.Value = "Liquido" Then
        Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("A:A"))
        For i = 2 To Filas1 + 1
            Me.fert3marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 3).Value
        Next i

    End If

    ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("S1").Value = Me.fert3.Value

End Sub

Private Sub fert4_Change()
    Me.fert4marca.Clear
    Me.fert4tipo.Clear
    Me.fert4rqz.Clear

    If fert4.Value = "Soluble" Then

```

```

    Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("C:C"))
For i = 2 To Filas1 + 1
    Me.fert4marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 1).Value
Next i

End If

If fert4.Value = "Liquido" Then
    Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("A:A"))
For i = 2 To Filas1 + 1
    Me.fert4marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 3).Value
Next i

End If

ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("X1").Value = Me.fert4.Value
End Sub

```

```

Private Sub fert5_Change()
    Me.fert5marca.Clear
    Me.fert5tipa.Clear
    Me.fert5rqz.Clear

    If fert5.Value = "Soluble" Then
        Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("C:C"))
For i = 2 To Filas1 + 1
    Me.fert5marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 1).Value
Next i

End If

If fert5.Value = "Liquido" Then
    Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("A:A"))
For i = 2 To Filas1 + 1
    Me.fert5marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 3).Value
Next i

End If

ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AC1").Value = Me.fert5.Value

```

End Sub

Private Sub fert6_Change()

Me.fert6marca.Clear

Me.fert6tipo.Clear

Me.fert6rqz.Clear

If fert6.Value = "Soluble" Then

Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("C:C"))

For i = 2 To Filas1 + 1

Me.fert6marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 1).Value

Next i

End If

If fert6.Value = "Liquido" Then

Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("A:A"))

For i = 2 To Filas1 + 1

Me.fert6marca.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 3).Value

Next i

End If

ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("A11").Value = Me.fert6.Value

End Sub

Private Sub fert1marca_Change()

ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("J1").Value = Me.fert1marca.Value

If fert1marca = "" Then

Else

Me.fert1tipo.Clear

Me.fert1rqz.Clear

Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("I:I"))

For i = 1 To Filas2

Me.fert1tipo.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 9).Value

```

Next i

End If

End Sub

Private Sub fert2marca_Change()

    ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("P1").Value = Me.fert2marca.Value

    If fert2marca = "" Then
    Else

        Me.fert2tipo.Clear
        Me.fert2rqz.Clear

        Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("O:O"))
        For i = 1 To Filas2
            Me.fert2tipo.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 15).Value

        Next i

    End If

End Sub

Private Sub fert3marca_Change()

    ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("U1").Value = Me.fert3marca.Value

    If fert3marca = "" Then
    Else

        Me.fert3tipo.Clear
        Me.fert3rqz.Clear

        Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("T:T"))
        For i = 1 To Filas2
            Me.fert3tipo.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 20).Value

        Next i

```

```

End If

End Sub

Private Sub fert4marca_Change()

    ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("Z1").Value = Me.fert4marca.Value

    If fert4marca = "" Then
    Else

        Me.fert4tipo.Clear
        Me.fert4rqz.Clear
        Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("Y:Y"))
        For i = 1 To Filas2
            Me.fert4tipo.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 25).Value

        Next i

    End If

End Sub

Private Sub fert5marca_Change()

    ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AE1").Value = Me.fert5marca.Value

    If fert5marca = "" Then
    Else

        Me.fert5tipo.Clear
        Me.fert5rqz.Clear
        Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AD:AD"))
        For i = 1 To Filas2
            Me.fert5tipo.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 30).Value

        Next i

    End If

End Sub

Private Sub fert6marca_Change()

```

```

ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AK1").Value = Me.fert6marca.Value

If fert6marca = "" Then
Else

Me.fert6tipo.Clear
Me.fert6rqz.Clear
Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AJ:AJ"))
For i = 1 To Filas2
Me.fert6tipo.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 36).Value

Next i

End If
End Sub
Private Sub fert1tipo_Change()

ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("K1").Value = Me.fert1tipo.Value

If fert1tipo = "" Then
Else

Me.fert1rqz.Clear

Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("L:L"))
For i = 1 To Filas2
Me.fert1rqz.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 12).Value

Next i

End If

End Sub
Private Sub fert2tipo_Change()

ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("Q1").Value = Me.fert2tipo.Value

If fert2tipo = "" Then
Else

```

```
Me.fert2rqz.Clear

Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("R:R"))
For i = 1 To Filas2
    Me.fert2rqz.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 18).Value

Next i

End If

End Sub

Private Sub fert3tipo_Change()

    ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("V1").Value = Me.fert3tipo.Value

    If fert3tipo = "" Then
    Else

        Me.fert3rqz.Clear

        Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("W:W"))
        For i = 1 To Filas2
            Me.fert3rqz.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 23).Value

        Next i

    End If

End Sub

Private Sub fert4tipo_Change()

    ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AA1").Value = Me.fert4tipo.Value

    If fert4tipo = "" Then
    Else
```

```

Me.fert4rqz.Clear

Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AB:AB"))
For i = 1 To Filas2
    Me.fert4rqz.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 28).Value

Next i

End If

End Sub

Private Sub fert5tipo_Change()

    ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AG1").Value = Me.fert5tipo.Value

    If fert5tipo = "" Then
        Else

        Me.fert5rqz.Clear

        Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AH:AH"))
        For i = 1 To Filas2
            Me.fert5rqz.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 34).Value

        Next i

        End If

    End Sub

Private Sub fert6tipo_Change()

    ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AM1").Value = Me.fert6tipo.Value

    If fert6tipo = "" Then
        Else

        Me.fert6rqz.Clear

```

```

Filas2 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("AN:AN"))
For i = 1 To Filas2
    Me.fert6rqz.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 40).Value

Next i

End If

End Sub

Private Sub FinalizarButton_Click()
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("P11").Value = Me.fert1.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("P12").Value = Me.fert1tipo.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("P13").Value = Me.fert1rqz.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("P15").Value = Me.fert2.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("P16").Value = Me.fert2tipo.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("P17").Value = Me.fert2rqz.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("P7").Value = Me.litros1.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("V11").Value = Me.fert3.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("V12").Value = Me.fert3tipo.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("V13").Value = Me.fert3rqz.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("V15").Value = Me.fert4.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("V16").Value = Me.fert4tipo.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("V17").Value = Me.fert4rqz.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("V7").Value = Me.litros2.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("AB11").Value = Me.fert5.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("AB12").Value = Me.fert5tipo.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("AB13").Value = Me.fert5rqz.Value

ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("AB15").Value = Me.fert6.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("AB16").Value = Me.fert6tipo.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("AB17").Value = Me.fert6rqz.Value
ThisWorkbook.Sheets("Hoja6").Range("AB7").Value = Me.litros3.Value

```

Sheets(Hoja6).Select

Eleccion_Userform.Hide

End Sub

Private Sub Image2_BeforeDragOver(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean, ByVal Data As MSForms.DataObject, ByVal X As Single, ByVal Y As Single, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, ByVal Effect As MSForms.ReturnEffect, ByVal Shift As Integer)

End Sub

Private Sub UserForm_Activate()

Sheets("Hoja4").Select

Me.fert1.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert2.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert3.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert4.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert5.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert6.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert1marca.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert2marca.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert3marca.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert4marca.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert5marca.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert6marca.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert1tipo.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert2tipo.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert3tipo.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert4tipo.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert5tipo.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert6tipo.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert1rqz.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert2rqz.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert3rqz.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert4rqz.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert5rqz.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert6rqz.MatchEntry = fmMatchEntryFirstLetter

Me.fert1.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert2.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert3.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert4.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert5.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert6.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert1marca.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert2marca.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert3marca.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert4marca.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert5marca.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert6marca.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert1tipo.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert2tipo.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert3tipo.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert4tipo.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert5tipo.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert6tipo.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert1rqz.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert2rqz.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert3rqz.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert4rqz.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert5rqz.Style = fmStyleDropDownList

Me.fert6rqz.Style = fmStyleDropDownList

Filas1 = Application.WorksheetFunction.CountA(ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Range("E:E"))

For i = 1 To Filas1

Me.fert1.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 5).Value

```
Me.fert2.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 5).Value
Me.fert3.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 5).Value
Me.fert4.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 5).Value
Me.fert5.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 5).Value
Me.fert6.AddItem ThisWorkbook.Sheets("Hoja4").Cells(i, 5).Value
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Volver_fert_Click()
```

```
    Eleccion_Userform.Hide
```

```
    Calculos_UserForm.Show
```

```
End Sub
```

ANEXO 4

MANUAL DE USUARIO

Al iniciar el Excel se abrirá la siguiente pantalla, la cual nos ofrece 4 posibilidades, siendo fertilizantes, programas, cultivos y calcular nuevo riego.



Al clicar en fertilizantes se abrirá otra pantalla:

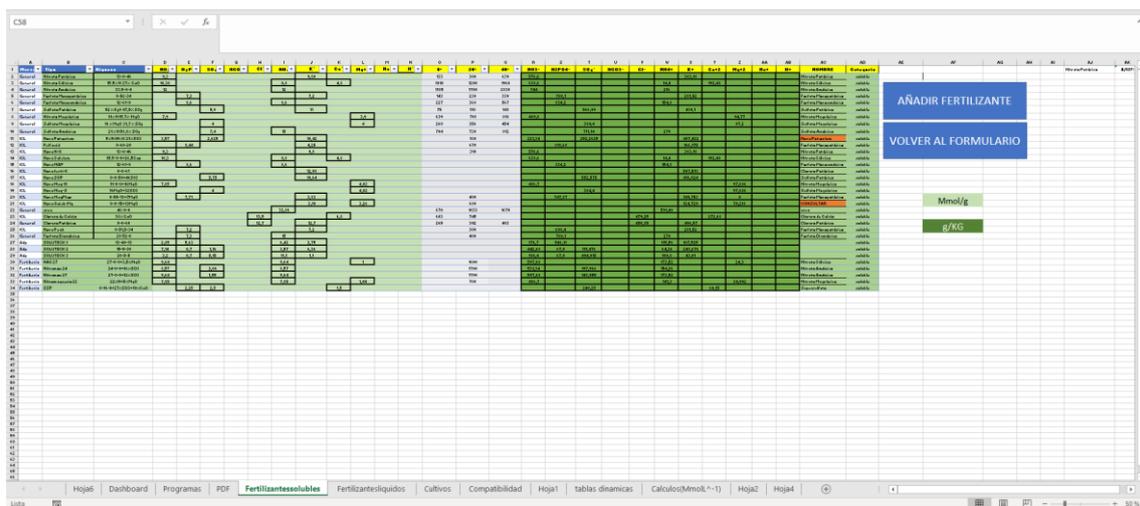


En esta podremos visualizar los fertilizantes existentes en la base de datos mediante listas desplegables. También se nos ofrecen 3 botones: ver tabla, añadir fertilizante y volver.

Al clicar en volver se regresará a la pantalla anterior, y al clicar en tabla o añadir fertilizante se abrirá la siguiente pantalla:



En esta deberemos elegir el tipo de fertilizante que deseamos añadir o ver. Clicando en solubles iremos a la base de datos de fertilizantes solubles y si se clicca en líquidos se accederá a la base de fertilizantes líquidos cerrándose la pantalla y abriéndose la siguiente hoja de Excel.



En esta hoja podremos visualizar la base de datos y podremos añadir un fertilizante clicando en el botón de la derecha “añadir fertilizante” obteniendo la siguiente pantalla

para añadirlo. También puede añadirse manualmente debajo de la última fila. Clicando en volver al formulario se abrirá la pantalla de inicio.

Fertilizantessolubles ? X

Marca:	General	1 de 33
Tipo:	Nitrato Potásico	Nuevo
Riqueza:	13-0-46	Eliminar
NO ₃ -:	9.3	Restaurar
H ₂ PO ₄ -:		Buscar anterior
SO ₄ -2:		Buscar siguiente
HCO ₃ -:		Criterios
Cl-:		Cerrar
NH ₄ +:		
K+:	9.8	
Ca+2:		
Mg+2:		
Na+:		
H+:		
0°:	133	
20°:	300	
40°:	639	

Para añadir un nuevo fertilizante habrá que clicar en nuevo y rellenar cada uno de los campos de los que se tengan datos.

Volviendo al panel principal, al clicar en cultivos se abrirá la siguiente pantalla:

The screenshot shows a web interface titled "CULTIVOS" within the "GENHIDRO" system. On the left is a globe icon. The main area contains two dropdown menus labeled "Especie" and "Fase fenológica". Below these are two buttons: "VER TABLA" and "AÑADIR CULTIVO". A table is displayed with the following columns: Fuente, NO3-, H2PO-, SO4-, HCO3-, Cl-, NH4+, K+, Ca+2, Mg+2, Na+, pH max, pH MIN, CE 100%, CE 75%, and UNIDADES. The "Fuente" column has a small dropdown menu. At the bottom right is a large "VOLVER" button.

Fuente:	NO3-	H2PO-	SO4-	HCO3-	Cl-	NH4+	K+	Ca+2	Mg+2	Na+	pH max	pH MIN	CE 100%	CE 75%	UNIDADES

En esta se nos dan las mismas opciones que en la pantalla de fertilizantes teniendo los botones las mismas funciones. A la hora de elegir el tipo de cultivo que queremos visualizar se hará mediante las listas desplegables de especie y fase fenológica obteniendo los datos correspondientes a cada elección en la tabla de abajo.

Siendo:

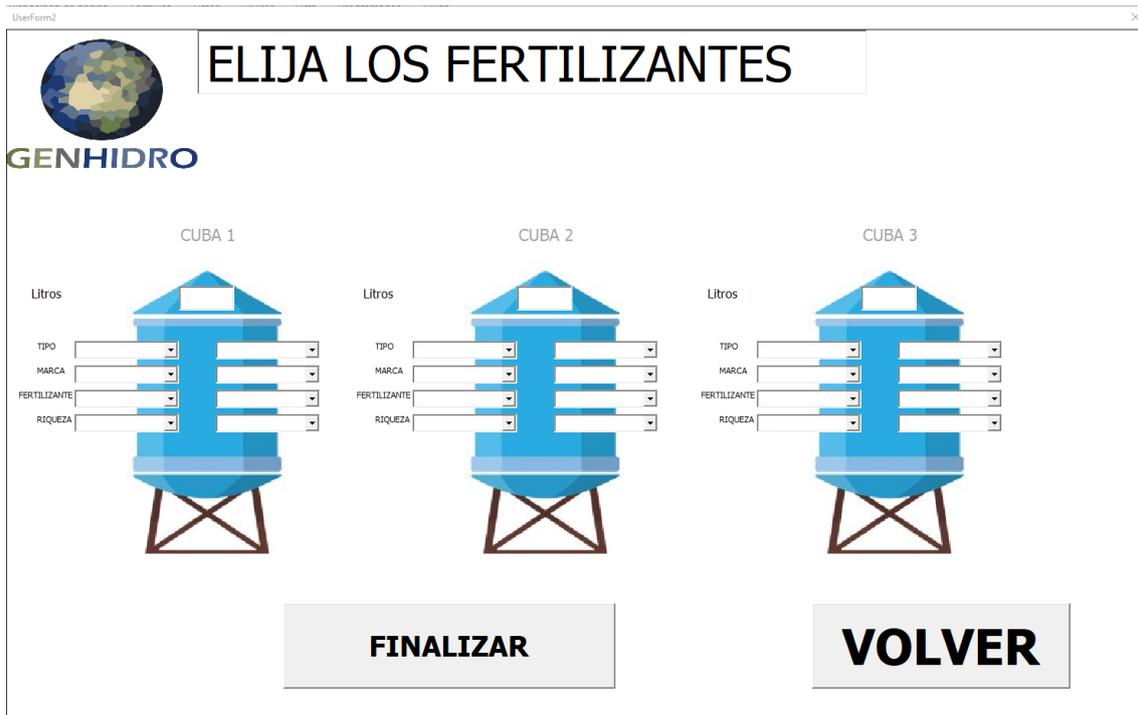
Fuente → Fuente de la que ha sido obtenida la información.

Nutrientes → Las unidades se observan en la última celda de la derecha.

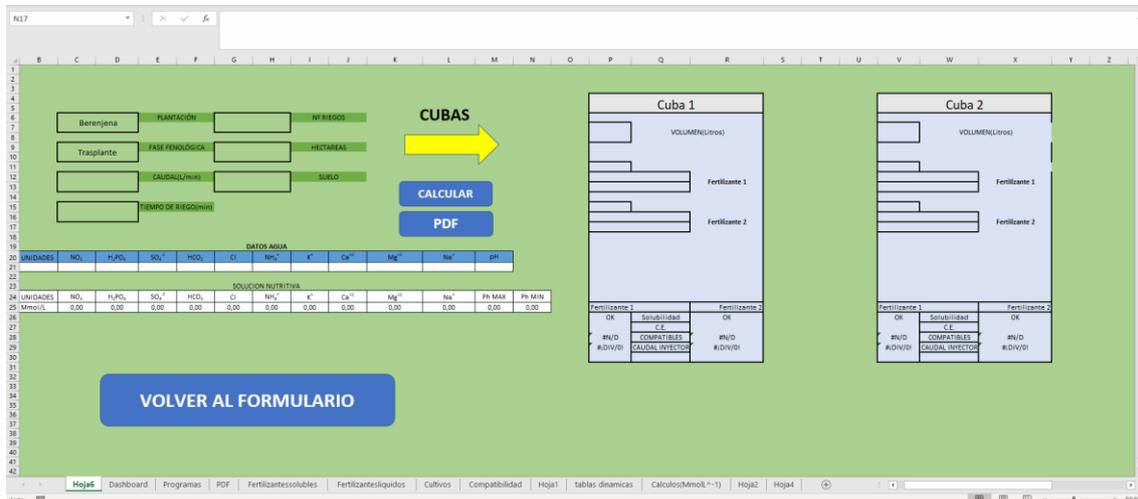
pH max y pH min → pH máximo y mínimo que soporta el cultivo.

C.E. 100% y C.E. 75% → Rendimiento del cultivo en función de la conductividad eléctrica.

UNIDADES → unidades de los nutrientes.



En esta pantalla deberemos elegir los fertilizantes que deseamos utilizar para satisfacer las necesidades del cultivo, sin ser necesario introducir los seis, así como el volumen en litros de cada cuba. Una vez elegidos clicaremos en finalizar, accediendo a la siguiente hoja de Excel.

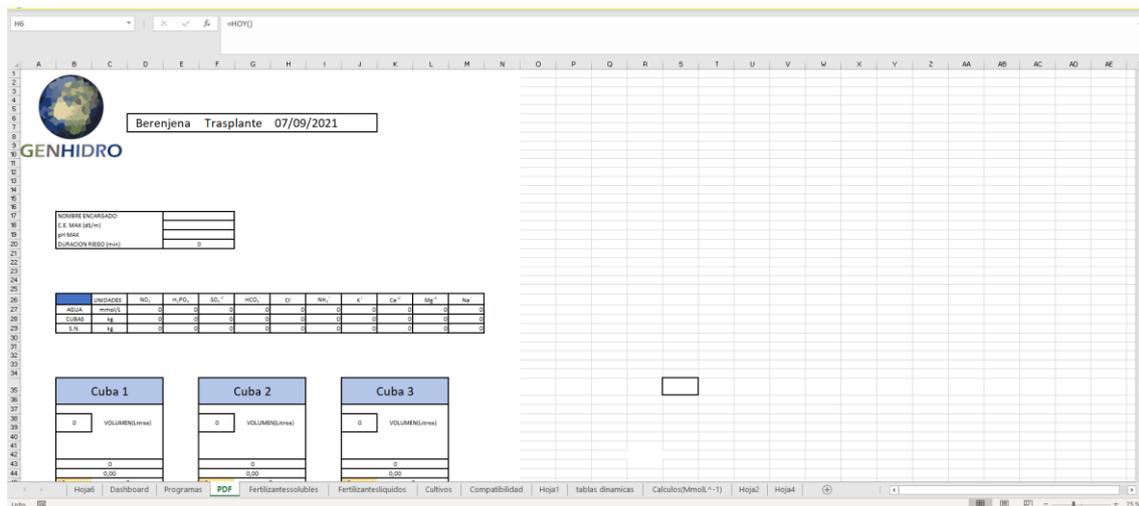


DATOS AGUA											
UNIDADES	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl	NO ₂ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH
UNIDADES	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl	NO ₂ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH MAX
25 Mmo/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Esta hoja sirve para verificar que todos los datos introducidos son correctos y los fertilizantes son compatibles entre sí. En caso de algún error se clicará en el botón volver al formulario para corregir los errores.

Una vez introducidos los datos correctamente se clicará en el botón calcular. En caso de que no se encuentre una solución válida Excel abrirá una ventana emergente de error, debiendo cambiar algún fertilizante o añadir otro.

Una vez realizados los cálculos clicaremos en el botón "PDF" el cual nos llevara a la siguiente hoja de Excel.



En esta hoja se generará un pdf con los datos de riego necesarios para la fertirrigación el cual podrá imprimirse en formato A4, clicando arriba a la izquierda de la barra de opciones de Excel en archivo y en la barra de opciones de la izquierda en imprimir.

Al finalizar todo el proceso se deberá introducir manualmente los datos del riego en la pestaña “Programas” para más tarde realizar el estudio de la eficiencia de este mediante el dashboard.

RECOMENDACIONES:

Ajustar el zoom de las hojas de Excel en función de la resolución de pantalla mediante la barra que aparece abajo a la derecha.

Se recomienda utilizar una resolución de 1920x1080.

A la hora de introducir el ID del cultivo en la pestaña programas utilizar el formato #0000.

A la hora de introducir la fecha en la pestaña programas utilizar el formato DD/MM/YY.

No acceder a las hojas de Excel “Hoja2” y “Hoja4”.

No cambiar el nombre de ninguna de las hojas de Excel.